

---

博士學位論文

濟州火山島の 岩石層序 및 年代層序

濟州大學校 大學院

海洋學科

孫 仁 錫

1997年 6月

# 濟州火山島의 岩石層序 및 年代層序

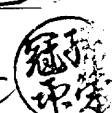
指導教授 尹 正 守

孫 仁 錫

이 論文을 理學博士 學位論文으로 提出함

1997年 6月

孫仁錫의 理學博士 學位論文을 認准함

|       |       |                                                                                       |
|-------|-------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 審査委員長 | 高 有 峰 |   |
| 委 員   | 李 文 遠 |  |
| 委 員   | 손 영 관 |  |
| 委 員   | 이 정 수 |  |
| 委 員   | 최 영 차 |  |

濟州大學校 大學院

1997年 6月

---

**Lithostratigraphy and Chronostratigraphy  
of Cheju volcanic Island, Korea.**

**In-Seok Son**

**(Supervised by Professor Jeong-Su Yoon)**

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL  
FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS  
FOR THE DEGREE OF DOCTOR OF SCIENCE**

**DEPARTMENT OF OCEANOGRAPHY  
GRADUATE SCHOOL  
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY**

**JUNE 1997**

# - 목 차 -

|                         |    |
|-------------------------|----|
| □ List of Figures ----- | IV |
| □ List of Tables -----  | X  |
| □ Summary -----         | i  |

## I. 서 론

|                 |   |
|-----------------|---|
| 1. 연구의 목적 ----- | 1 |
| 2. 선행연구 -----   | 3 |

## II. 연구방법

|                         |    |
|-------------------------|----|
| 1. 연구절차 -----           | 7  |
| 2. 연구 지역의 구분 -----      | 7  |
| 3. 암석층서의 설정 -----       | 8  |
| 4. 암석화학 -----           | 8  |
| 5. 암석(층)명의 정의와 명명 ----- | 11 |

## III. 결 과

|                     |    |
|---------------------|----|
| 1. 지형 -----         | 17 |
| 1-1. 해수면하의 지형 ----- | 17 |
| 1-2. 해수면위의 지형 ----- | 19 |

|                                   |     |
|-----------------------------------|-----|
| 2. 지질                             | 23  |
| 2-1. 해저지질과 지체구조 환경                | 23  |
| 2-2. 해수면위의 일반지질                   | 26  |
| 3. 암석층서                           | 28  |
| 3-1. 북서부 지역                       | 28  |
| 3-2. 북동부 지역                       | 48  |
| 3-3. 남서부 지역                       | 82  |
| 3-4. 남동부 지역                       | 108 |
| 4. 화산활동과 절대 연대                    | 137 |
| 4-1. 1.20Ma 이전의 화산활동              | 140 |
| 4-2. 1.20~0.94Ma 의 기저 현무암 분출단계    | 140 |
| 4-3. 0.917~0.689Ma의 조면암류 분출단계     | 140 |
| 4-4. 0.67~0.60Ma의 현무암류[ I ] 분출단계  | 141 |
| 4-5. 0.55~0.470Ma의 하와이아이트 분출단계    | 141 |
| 4-6. 0.44~0.27Ma의 현무암류[ II ] 분출단계 | 142 |
| 4-7. 0.19~0.025Ma 의 기생화산 활동단계     | 142 |
| 4-8. Holocene의 화산활동               | 143 |
| 5. 화산암류의 암석기재 및 지화학적 특성           | 144 |
| 5-1. 암석분석자료                       | 144 |
| 5-2. 화산암류의 암석 기재                  | 151 |
| 5-3. 화산암류의 지화학적 특성                | 154 |

## IV. 고 찰

|                                            |     |
|--------------------------------------------|-----|
| 1. 암층의 분포 및 층서 -----                       | 170 |
| 1-1. 기지의 화강암과 그 상위층 -----                  | 170 |
| 1-2. 응회암과 그 상·하위층 -----                    | 173 |
| 1-3. 미고결층(세화리층)과 그 상위층 -----               | 176 |
| 1-4. 고토양층과 그 상·하위층 -----                   | 179 |
| 1-5. 서귀포층과 그 상·하위층 -----                   | 185 |
| 1-6. 감람석회석현무암과 침상장석감람석현무암의 해수준면하의 분포 ----- | 191 |
| 1-7. 조면암류 -----                            | 193 |
| 2. 제주도의 형성과 화산활동 -----                     | 195 |
| 2-1. I 단계 기반 활동단계 -----                    | 197 |
| 2-2. II 단계 제주도 기저 형성단계 -----               | 197 |
| 2-3. III 단계 해안 저지대 형성단계 -----              | 198 |
| 2-4. VI 단계 제주도 완성단계 -----                  | 199 |
| 2-5. V 단계 기생화산 형성단계 -----                  | 200 |

## V. 결 론

- ☐ 참고문헌
- ☐ 사사
- ☐ Appendices

## List of Figures

|                                                                                                                                                    |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Fig. 1. Location map of Cheju Island, showing distribution of Cenozoic alkali volcanism in the East Sea area. -----                                | 2  |
| Fig. 2. The direction in the lava flows in Cheju Island (Lee. 1987) and division of the studied area. -----                                        | 9  |
| Fig. 3. Distribution map of boring sites in the study area. -----                                                                                  | 10 |
| Fig. 4. Bathymatric map around Cheju Island. -----                                                                                                 | 18 |
| Fig. 5. Topographic map of Cheju Island. -----                                                                                                     | 22 |
| Fig. 6. Major structural zones in the East China Sea and its vicinity. -----                                                                       | 24 |
| Fig. 7. Distribution of sediments in the sea around Cheju Island. -----                                                                            | 25 |
| Fig. 8. Generalized geological map of Cheju Island (APPC. 1971). -----                                                                             | 27 |
| Fig. 9. Geological map in the northwestern part of the Cheju Island. -----                                                                         | 29 |
| Fig. 10. Lava flow direction in the northwestern part of Cheju Island, interpreted from aerial photographs (Lee 1987). -----                       | 30 |
| Fig. 11. Location map of boring sites in the northwestern part of Cheju Island. ---                                                                | 32 |
| Fig. 12. Columnar sections of cores drilled in the northwestern part of Cheju Island.-----                                                         | 33 |
| Fig. 13. Distribution and altitude of the highest and lowest occurrences of the Tuff in the northwestern area of Cheju Island. -----               | 35 |
| Fig. 14. Distribution and altitude of the highest and lowest occurrences of the Seogwipo Formation in the northwestern area of Cheju Island. ----- | 37 |

|                                                                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Fig. 15. Distribution and altitude of the highest and lowest occurrences of the paleosols in the northwestern area of Cheju Island. ----- | 39 |
| Fig. 16. Distribution and altitude of the highest and lowest occurrences of the SSF in the northwestern area of Cheju Island. -----       | 41 |
| Fig. 17. Distribution and altitude of the highest and lowest occurrences of the FOB in the northwestern area of Cheju Island. -----       | 43 |
| Fig. 18. Distribution and altitude of the highest and lowest occurrences of the FB in the northwestern area of Cheju Island. -----        | 45 |
| Fig. 19. Distribution and altitude of the highest and lowest occurrences of the T in the northwestern area of Cheju Island. -----         | 47 |
| Fig. 20. Geological map in the northeastern part of Cheju Island. -----                                                                   | 49 |
| Fig. 21. Lava flow directions in the northeastern part of Cheju Island. -----                                                             | 50 |
| Fig. 22. Location map of boring sites in the northeastern area of Cheju Island. ----                                                      | 52 |
| Fig. 23. Columnar sections of cores drilled in the northeastern area of Cheju Island. -----                                               | 53 |
| Fig. 24. Distribution and altitude of the highest and lowest occurrences of the Tuff in the northeastern area of Cheju Island. -----      | 57 |
| Fig. 25. Distribution and altitude of the highest and lowest occurrences of the SHF in the northeastern area of Cheju Island. -----       | 59 |
| Fig. 26. Distribution and altitude of the highest and lowest occurrences of the SGF in the northeastern area of Cheju Island. -----       | 61 |
| Fig. 27. Distribution and altitude of the highest and lowest occurrences of the PS in the northeastern area of Cheju Island. -----        | 63 |

|                                                                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Fig. 28. Distribution and altitude of the highest and lowest occurrences of the SSF<br>in the northeastern area of Cheju Island. -----  | 65 |
| Fig. 29. Distribution and altitude of the highest and lowest occurrences of the FOB<br>in the northeastern area of Cheju Island. -----  | 69 |
| Fig. 30. Distribution and altitude of the highest and lowest occurrences of the FB<br>in the northeastern area of Cheju Island. -----   | 73 |
| Fig. 31. Distribution and altitude of the highest and lowest occurrences of the PAB<br>in the northeastern area of Cheju Island. -----  | 75 |
| Fig. 32. Distribution and altitude of the highest and lowest occurrences of the PFB<br>in the northeastern area of Cheju Island. -----  | 77 |
| Fig. 33. Distribution and altitude of the highest and lowest occurrences of the APB<br>in the northeastern area of Cheju Island. -----  | 79 |
| Fig. 34. Distribution and altitude of the highest and lowest occurrences of the T<br>in the northeastern area of Cheju Island. -----    | 81 |
| Fig. 35. Geological map in the southwestern part of Cheju Island. -----                                                                 | 83 |
| Fig. 36. Lava flow directions in the southwestern part of Cheju Island. -----                                                           | 84 |
| Fig. 37. Location map of boring sites in the southwestern area of Cheju Island. ---                                                     | 86 |
| Fig. 38. Columnar sections of cores drilled in the southwestern part of Cheju Island.<br>-----                                          | 87 |
| Fig. 39. Distribution and altitude of the highest and lowest occurrences of the Tuff<br>in the southwestern area of Cheju Island. ----- | 90 |
| Fig. 40. Distribution and altitude of the highest and lowest occurrences of the SGF<br>in the southwestern area of Cheju Island. -----  | 93 |

|                                                                                                                                           |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Fig. 41. Distribution and altitude of the highest and lowest occurrences of the paleosols in the southwestern area of Cheju Island. ----- | 96  |
| Fig. 42. Distribution and altitude of the highest and lowest occurrences of the SSF in the southwestern area of Cheju Island. -----       | 99  |
| Fig. 43. Distribution and altitude of the highest and lowest occurrences of the FOB in the southwestern area of Cheju Island. -----       | 102 |
| Fig. 44. Distribution and altitude of the highest and lowest occurrences of the FB in the southwestern area of Cheju Island. -----        | 105 |
| Fig. 45. Distribution and altitude of the highest and lowest occurrences of the T in the southwestern area of Cheju Island. -----         | 107 |
| Fig. 46. Geological map in the southeastern part of Cheju Island. -----                                                                   | 109 |
| Fig. 47. Lava flow directions in the southeastern part of Cheju Island. -----                                                             | 110 |
| Fig. 48. Location map of boring sites in the southeastern part of Cheju Island. ---                                                       | 112 |
| Fig. 49. Columnar sections of cores drilled in the southeastern part of Cheju Island. -----                                               | 113 |
| Fig. 50. Distribution and altitude of the highest and lowest occurrences of the Tuff in the southeastern area of Cheju Island. -----      | 116 |
| Fig. 51. Distribution and altitude of the highest and lowest occurrences of the SHF in the southeastern area of Cheju Island. -----       | 118 |
| Fig. 52. Distribution and altitude of the highest and lowest occurrences of the SGF in the southeastern area of Cheju Island. -----       | 120 |
| Fig. 53. Distribution and altitude of the highest and lowest occurrences of the paleosols in the southeastern area of Cheju Island. ----- | 123 |

|                                                                                                                                                       |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Fig. 54. Distribution and altitude of the highest and lowest occurrences of the SSF<br>in the southeastern area of Cheju Island. -----                | 126 |
| Fig. 55. Distribution and altitude of the highest and lowest occurrences of the FOB<br>in the southeastern area of Cheju Island. -----                | 128 |
| Fig. 56. Distribution and altitude of the highest and lowest occurrences of the FB<br>in the southeastern area of Cheju Island. -----                 | 130 |
| Fig. 57. Distribution and altitude of the highest and lowest occurrences of the PFB<br>in the southeastern area of Cheju Island. -----                | 132 |
| Fig. 58. Distribution and altitude of the highest and lowest occurrences of the APB<br>in the southeastern area of Cheju Island. -----                | 134 |
| Fig. 59. Distribution and altitude of the highest and lowest occurrences of the T<br>in the southeastern area of Cheju Island. -----                  | 136 |
| Fig. 60. Locations of volcanic rock used for determination of absolute ages by<br>radiometric method. -----                                           | 139 |
| Fig. 61. Locations of rock samples used for analyses of chemical and mineral<br>compositions. -----                                                   | 145 |
| Fig. 62. Classification and nomenclature of alkaline volcanic rocks based on their<br>alkalis. -----                                                  | 153 |
| Fig. 63. Plots of major elements (wt %) vs. MgO for Cheju Island. All data were<br>normalized to 100% on a volatile-free basis before plotting. ----- | 156 |
| Fig. 64. Plots of compatible trace elements (ppm) vs. MgO for Cheju Island. -----                                                                     | 163 |
| Fig. 65. Plots of incompatible trace elements (ppm) vs. La for Cheju Island. -----                                                                    | 164 |
| Fig. 66. Plot of K <sub>2</sub> O vs. Na <sub>2</sub> O for Cheju Island. -----                                                                       | 165 |

|                                                                                                                                    |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Fig. 67. Plot of $\text{SiO}_2$ vs. norm Q and Ne. -----                                                                           | 166 |
| Fig. 68. Plot of $\text{FeO/MgO}$ vs. norm Q+Hy and Ne. -----                                                                      | 167 |
| Fig. 69. Discrimination diagram for basalts based upon $\text{Ti/Y}$ vs. $\text{Zr/Y}$ variation from Pearce and Gale(1977). ----- | 168 |
| Fig. 70. Discrimination diagram for basalts based upon $\text{Zr/Y-Zr}$ variation from Pearce and Norry(1979). -----               | 169 |
| Fig. 71. Distribution of bore holes in which granite is encountered. -----                                                         | 171 |
| Fig. 72. Distribution of bore holes in which basal tuff is encountered. -----                                                      | 174 |
| Fig. 73. Distribution of bore holes in which Sehvari Formation is encountered. ---                                                 | 177 |
| Fig. 74. Distribution of paleosols near sea level and below sea level. -----                                                       | 180 |
| Fig. 75. Altitude of occurrence of the Paleosol I and adjacent strata. -----                                                       | 181 |
| Fig. 76. Altitude of occurrence of the Paleosol I and adjacent strata. -----                                                       | 182 |
| Fig. 77. Altitude of occurrence of the Onpyeong Paleosol. -----                                                                    | 183 |
| Fig. 78. Distribution of bore holes in which Segwipo Formation (SGF) is encountered. -----                                         | 186 |
| Fig. 79. Altitude of occurrence of the Lower Seogwi Formation (SGF) and adjacent strata. -----                                     | 189 |
| Fig. 80. Altitude of occurrence of the Upper Seogwipo Formation (SGF) and adjacent strata. -----                                   | 190 |
| Fig. 81. Distribution of bore holes in which Feldspar Olivine Basalts (FOB) are encountered. -----                                 | 192 |
| Fig. 82. Distribution of bore holes and outcrops in which trachytes (T) occur. ----                                                | 194 |

---

## List of Tables

|                                                                                                                                             |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Table 1. Stratigraphic correlation of the sedimentary as determine by previous and this study. -----                                        | 6  |
| Table 2. Bore hole data in the northwestern area. -----                                                                                     | 31 |
| Table 3. Altitude of occurrence and thickness of Tuff and the types of overlying and underlying strata in the northwestern area. -----      | 34 |
| Table 4. Altitude of occurrence and thickness of SGF and the types of overlying and underlying strata in the northwestern area. -----       | 36 |
| Table 5. Altitude of occurrence and thickness of paleosols and the types of overlying and underlying strata in the northwestern area. ----- | 38 |
| Table 6. Altitude of occurrence and thickness of SSF and the types of overlying and underlying strata in the northwestern area. -----       | 40 |
| Table 7. Altitude of occurrence and thickness of FOB and the types of overlying and underlying strata in the northwestern area. -----       | 42 |
| Table 8. Altitude of occurrence and thickness of FB and the types of overlying and underlying strata in the northwestern area. -----        | 44 |
| Table 9. Altitude of occurrence and thickness of T and the types of overlying and underlying strata in the northwestern area. -----         | 46 |
| Table 10. Bore hole data in the northeastern area. -----                                                                                    | 51 |
| Table 11. Altitude of occurrence and thickness of Tuff and the types of overlying and underlying strata in the northeastern area. -----     | 56 |
| Table 12. Altitude of occurrence and thickness of SHF and the types of overlying and underlying strata in the northeastern area. -----      | 58 |

|                                                                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Table 13. Altitude of occurrence and thickness of SGF and the types of overlying and underlying strata in the northeastern area. -----  | 60 |
| Table 14. Altitude of occurrence and thickness of PS and the types of overlying and underlying strata in the northeastern area. -----   | 62 |
| Table 15. Altitude of occurrence and thickness of SSF and the types of overlying and underlying strata in the northeastern area. -----  | 64 |
| Table 16. Altitude of occurrence and thickness of FOB and the types of overlying and underlying strata in the northeastern area. -----  | 68 |
| Table 17. Altitude of occurrence and thickness of FB and the types of overlying and underlying strata in the northeastern area. -----   | 72 |
| Table 18. Altitude of occurrence and thickness of PAB and the types of overlying and underlying strata in the northeastern area. -----  | 74 |
| Table 19. Altitude of occurrence and thickness of PFB and the types of overlying and underlying strata in the northeastern area. -----  | 76 |
| Table 20. Altitude of occurrence and thickness of APB and the types of overlying and underlying strata in the northeastern area. -----  | 78 |
| Table 21. Altitude of occurrence and thickness of T and the types of overlying and underlying strata in the northeastern area. -----    | 80 |
| Table 22. Bore hole data in the southwestern area. -----                                                                                | 85 |
| Table 23. Altitude of occurrence and thickness of Tuff and the types of overlying and underlying strata in the southwestern area. ----- | 89 |
| Table 24. Altitude of occurrence and thickness of SGF and the types of overlying and underlying strata in the southwestern area. -----  | 92 |
| Table 25. Altitude of occurrence and thickness of paleosols and the types of                                                            |    |

---

|                                                                                                                                              |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| overlying and underlying strata in the southwestern area. -----                                                                              | 95  |
| Table 26. Altitude of occurrence and thickness of SSF and the types of overlying and underlying strata in the southwestern area. -----       | 98  |
| Table 27. Altitude of occurrence and thickness of FOB and the types of overlying and underlying strata in the southwestern area. -----       | 101 |
| Table 28. Altitude of occurrence and thickness of FB and the types of overlying and underlying strata in the southwestern area. -----        | 104 |
| Table 29. Altitude of occurrence and thickness of T and the types of overlying and underlying strata in the southwestern area. -----         | 106 |
| Table 30. Bore hole data in the southeastern area. -----                                                                                     | 111 |
| Table 31. Altitude of occurrence and thickness of Tuff and the types of overlying and underlying strata in the southeastern area. -----      | 115 |
| Table 32. Altitude of occurrence and thickness of SHF and the types of overlying and underlying strata in the southeastern area. -----       | 117 |
| Table 33. Altitude of occurrence and thickness of SGF and the types of overlying and underlying strata in the southeastern area. -----       | 119 |
| Table 34. Altitude of occurrence and thickness of paleosols and the types of overlying and underlying strata in the southeastern area. ----- | 122 |
| Table 35. Altitude of occurrence and thickness of SSF and the types of overlying and underlying strata in the southeastern area. -----       | 125 |
| Table 36. Altitude of occurrence and thickness of FOB and the types of overlying and underlying strata in the southeastern area. -----       | 127 |
| Table 37. Altitude of occurrence and thickness of FB and the types of overlying and underlying strata in the southeastern area. -----        | 129 |

|                                                                                                                                                                                              |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Table 38. Altitude of occurrence and thickness of PFB and the types of overlying and underlying strata in the southeastern area. -----                                                       | 131 |
| Table 39. Altitude of occurrence and thickness of APB and the types of overlying and underlying strata in the southeastern area. -----                                                       | 133 |
| Table 40. Altitude of occurrence and thickness of T and the types of overlying and underlying strata in the southeastern area. -----                                                         | 135 |
| Table 41. Absolute age of volcanic rocks in Cheju Island determined by K-Ar method. -----                                                                                                    | 138 |
| Table 42. Major element composition represented as oxides CIPW norms of volcanic rocks in Cheju Island and Mt. Peakdu -----                                                                  | 146 |
| Table 43. Major element composition represented as oxides CIPW norms of volcanic rocks in Cheju Island and Mt. Peakdu -----                                                                  | 146 |
| Table 44. Abundance of trace elements in volcanic rocks of Cheju Island and Mt. Peakdu. -----                                                                                                | 158 |
| Table 45. Level of occurrence of granite and the stratigraphic relationship with overlying strata. -----                                                                                     | 172 |
| Table 46. Level of occurrence of basal tuff (Tuff) and the stratigraphic relationship with other strata. -----                                                                               | 175 |
| Table 47. Level of occurrence of Sehwari Formation (SHF) and the stratigraphic relationships with other strata. -----                                                                        | 178 |
| Table 48. Stratigraphic relationships and level of occurrence of the Upper and Lower Seogwipo Formation (SGF), Feldspar Olivine Basalts (FOB), Trachyte (T), and other volcanic rocks. ----- | 187 |
| Table 49. Division of volcanic stages in Cheju Island based on radiometric ages of volcanic rocks. -----                                                                                     | 196 |

---

## Summary

Cheju Island is underlain by Late Cretaceous granites and acidic tuffs (Basal Tuff) that are comparable to those in the Korean Peninsula. The granites and Basal Tuff are overlain successively by Sehwari Formation, Seogwipo Formation, paleosols, pyroclastic materials, and a series of basalts that are designated as Olivine Augite Basalt (OAB), Feldspar Olivine Basalt (FOB), Aphanitic Basalt (AB), Porphyritic Augite Basalt (PAB), Porphyritic Feldspar Basalt (PFB), and Feldspar Basalt (FB) based on mineral constituents. However, the basalts are classified as alkali basalt, hawaiite, mugearite, benmorite, trachyte and tholeiite according to chemical compositions. The geologic history of the island can be divided into five stages based on litho- and chronostratigraphic study of surface and subsurface strata.

During the first stage before 1.20Ma, the earliest eruption started, represented by Panpo Basalt(2.20Ma). Sehwari Formation, The Lower Paleosol(I), and The Lower Seogwipo Formation(I) were deposited above the Cretaceous basement rocks.

During the second stage between 1.20 and 0.71Ma, Olivine Augite Basalt (1.20Ma ± 0.05Ma), Feldspar Olivine Basalt were formed all over Cheju Island below present sea level ; Kaksu Trachyte ( $0.917\text{Ma} \pm 0.028\text{Ma}$ ), Sanbongsan Trachyte ( $0.87\text{Ma} \pm 0.02\text{Ma}$ ) and Munseom Trachyte ( $0.721\text{Ma} \pm 0.038\text{Ma}$ ) were formed above present sea level.

During the third stage (0.70~0.41Ma), most of the volcanic rocks in the low - altitude coastal areas were erupted, including Shinheung Porphyritic Augite Basalt (0.70Ma), Shioeum Benmorite ( $0.68\text{Ma} \pm 0.02\text{Ma}$ ), Onpyeongri Feldspar Olivine Basalt ( $0.67\text{Ma} \pm 0.03\text{Ma}$ ), Kosan Feldspar Olivine Basalt ( $0.60\text{Ma} \pm 0.03\text{Ma}$ )

Jeongbang Hawaiiite ( $0.55\text{Ma} \pm 0.04\text{Ma}$ ), Yeongsil Hawaiiite ( $0.52\text{Ma} \pm 0.03\text{Ma}$ ), Cheonwangsa 99Valleys, Cheonaoreum Valley Hawaiiite, Kwangryeong Valley Hawaiiite, Susan (Jongdal) Aphanetic basalt ( $0.51\text{Ma} \pm 0.05\text{Ma}$ ), Manjang (Deokcheon) Feldspar Olivine basalt ( $0.42\text{Ma}$ ) and Namseong Hawaiiite ( $0.41\text{Ma} \pm 0.01\text{Ma}$ ). The Onpyeongri Paleosol(II) and the Upper Seogwipo Formation(II) formed during this stage. Construction of Cheju Island was almost completed during the fourth stage ( $0.37 \sim 0.27\text{Ma}$ ) by the eruption Wimi Feldspar Olivine Basalt ( $0.37\text{Ma}$ ), Teaheung Feldspar Olivine Basalt ( $0.31\text{Ma} \pm 0.04\text{Ma}$ ), and Sumangri Porphyrite Augite Basalt ( $0.27\text{Ma}$ ). Hanjangdong Paleosol(III) was formed during this stage.

The last stage ( $0.19 \sim 0.025\text{Ma}$ ) is characterized by the formation of numerous parasitic volcanoes, such as Kungsan Trachyte ( $0.190\text{Ma} \pm 0.019\text{Ma}$ ), Yongnuni Hawaiiite ( $0.17\text{Ma}$ ), Bulgunoreum Feldspar Basalt ( $0.161\text{Ma} \pm 0.031\text{Ma}$ ), Hallasan Trachyte ( $0.16\text{Ma} \pm 0.071\text{Ma}$ ), Keorinsasum Feldspar Basalt ( $0.121\text{Ma} \pm 0.018\text{Ma}$ ), Kogunsan Feldspar Basalt ( $0.097\text{Ma}$ ), Suak Feldspar basalt ( $0.045\text{Ma} \pm 0.007\text{Ma}$ ), Byeongak Basalt ( $0.035\text{Ma} \pm 0.0014\text{Ma}$ ) and Dongnam Paleosol(IV).

This study also reveals subsurface distribution of sedimentary strata that are important in controlling groundwater behavior in Cheju Island. The Sehwa Formation is encountered in cores in Jongdal, Songdang, Sehwa, Seongeup, Donneko, Namseongdong, Jungmundong, Yeondong, and Idodong. It's interpreted that the entire area of Cheju Island is underlain by the formation. Paleosols are classified into four units ; (1) the Lower Paleosol(I) is distributed below sea level and interbedded between Lower and Upper Seogwipo Formations ; (2) the Onpyeongri (Sinsan) Paleosol(II) is underlain by Onpyeong, Kosan, and Teaheung Feldspar Olivine Basalt near the sea level ; (3) the Hanjangdong Paleosol(III) is

underlain by Suwolbong tuff ring, Jeongbang Hawaiiite and Jagunea Tuff ; and (4) Dongnam Paleosol(IV) is intercalated between Sinyang Formation and Sinyang sand dune. The Seogwipo Formation is classified into the Lower Seogwipo Formation, which is underlain by the covered with paleosol I, and the Upper Seogwipo Formation, which is exposed above sea level, and underlain by Namseongdong Hawaiiite, Feldspar Olivine Basalt, Trachyte, and Hawaiiite. The volcanic rocks of Cheju Island mostly belong to Alkali series and Na series and are classified into alkali basalt, hawaiiite, mugearite, benmorite, trachyte, and tholeiite. The trends of major elements, trace elements and rare earth elements indicate that alkali olivine basalt magma was derived from a parental magma by simple fractional crystallization. The tectonic setting related to basalt formation in Cheju Island is interpreted to be an intraplate basaltic volcanism.

# I. 서 론

## 1. 연구의 목적

한반도에는 유라시아판 가장자리에 위치하며 제주도, 울릉도, 독도, 추가령열곡대 및 백두산 일대에 신생대 화산지대가 분포한다(Fig 1). 특히 이들 지역에 분포하는 제 4 기의 화산암류는 화학적으로 알카리암계열로 분류되는 것이 특징이다. 이들 중 제주도는 제 4기 동안에 화산활동에 의해 형성된 화산도이다. 제주도의 화산활동은 기반 지형이 변천되는 동안 연속적으로 이어졌으며 화산활동과 수반된 화산암류, 응회암, 응회질 퇴적층, 화산쇄설층과 화산활동 휴지기에 형성되는 고토양층으로 구성되어 있다. 이들은 제주도가 형성되는 과정에 있었던 화산활동사를 밝히는데 중요한 대상이 되고 있다. 본도 화산지질은 여러 연구자에 의해 연구되어 왔으나, 지역적이거나 개괄적이며 어느 한 분야에 편중되어 있다. 따라서 하부지질이 층서를 고려한 섬 전체에 체계적이고 종합적인 화산층서에 대한 연구는 미흡한 상태이다. 이 연구에서는 섬전체에 걸쳐 대표적인 시추자료 및 지표지질을 분석하여 제주도 형성과정과 관련된 화산층서를 수직적, 수평적인 면에서 정립한다. 한편 정립된 층에서 채취한 암석시료에 대한 조암광물의 조성과 화학조성을 분석하여 지구화학적 특징을 기재한다. 그리고 기 제안된 제주도 형성단계와 절대연대 측정자료를 대비시키면서 제주도의 형성과정을 단계별로 구분하여, 각 단계에서의 화산활동의 층서 및 분포의 특징을 밝힌다. 또한 본도에 분포하고 있는 퇴적층인 세화리층, 서귀포층, 고토양층은 투수성이 현무암에 비해 매우 낮은 편이어서 지하수 부존과 흐름의 특성을 지배하는

요인이 되고 있어서 이 퇴적층들의 분석자료는 지하수 개발에 매우 중요한 자료가 될 것이다.

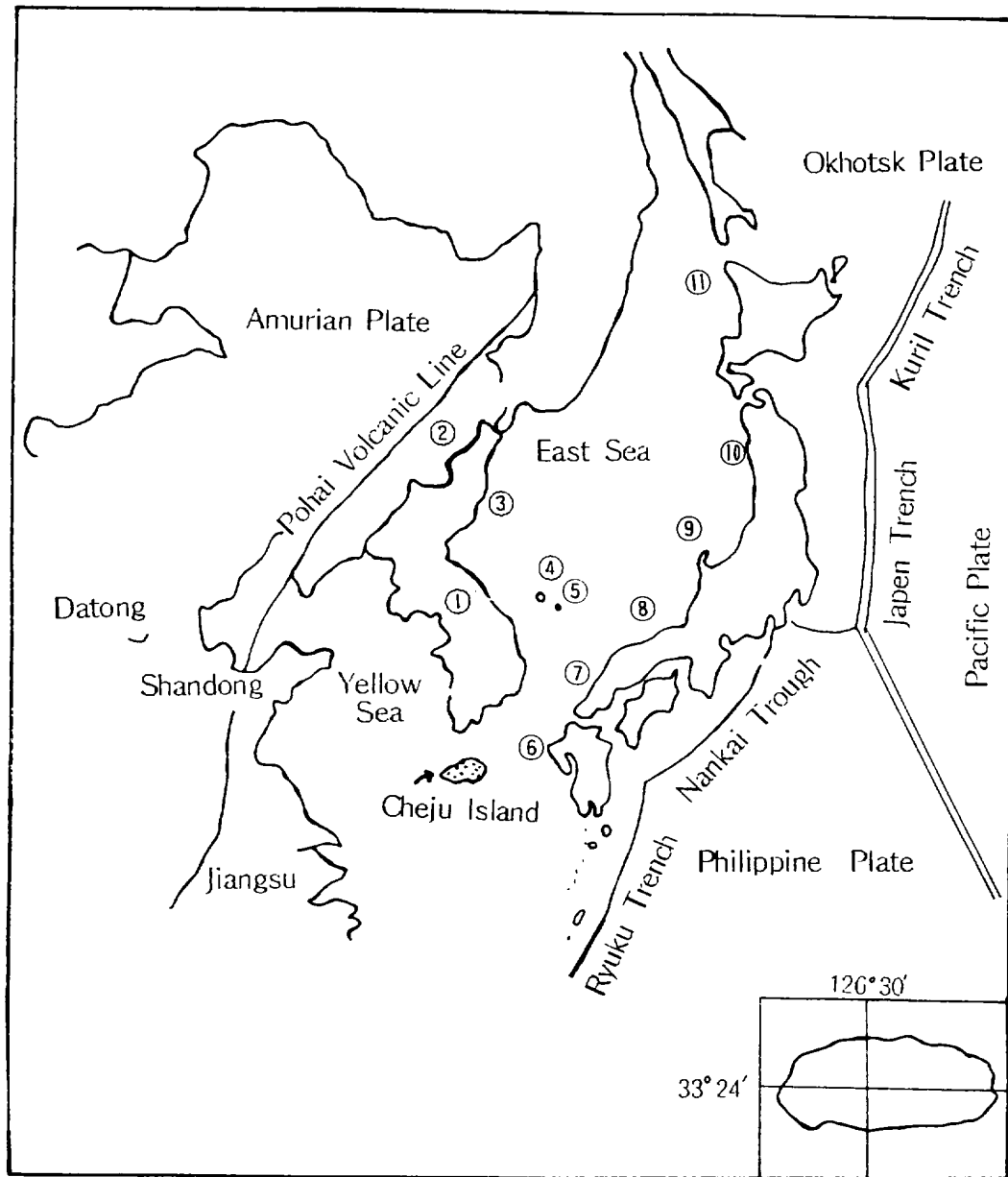


Fig. 1. Location map of the Cheju Island, showing distribution of Cenozoic alkali volcanism in the East Sea area. (modified from Zhou and Armstrong, 1982 and Nakamura et al., 1985)

- ①Jeonggog ②Mt. Peakdu ③Gilju-Myoungcheon ④Ulrung Island ⑤Tokdo  
⑥Northwestern Kyushu ⑦Sanin ⑧Oki Island ⑨Noto ⑩Oga ⑪Rishiri Island

## 2. 선행연구

제주도의 지질에 대한 연구는 Yokoyama(1923)가 서귀포 지역의 퇴적암내에서 27종의 연체동물화석을 감정하여 그 지질시대를 Upper Pliocene 으로 추정 한 것이 시작이다. 그후 Nakamura (1925)는 처음으로 본도에 대한 지질조사를 실시하였으며, Haraguchi(1928, 1930, 1931)는 한라산 중심부근에 분포한 조면암은 Middle Pliocene 로 조면질 안산암은 Low Pleistocene 한라산 현무암은 Upper Pleistocene로 구분하여 제주도 화산암의 분출순서가 한라산 조면암 - 조면질 안산암 - 현무암으로 주장하였다(Table 1).

그 후 1960년도부터 지하수 개발을 위하여 국립지질조사소(현 한국자원연구소)에서 지질 및 지하수 조사를 실시하였다. 서해길 외 2인(1964), 홍만섭 외8인(1965), 남기영 외1인(1965), 김옥준과 한국지하자원조사소 (현 한국자원연구소 1966)는 전도에 분포한 화산암류에 대한 암석기재, 손치무(1968)등은 한라산 학술조사및 1/10만 제주도 지질도 제작에 착수하였다. Kienzzle (1968)은 평균 고지자기 위치를  $3.6^{\circ}$  의 신뢰도를 갖는  $86.4^{\circ} \text{ N } 32.2^{\circ} \text{ E}$  로 나타내었고 본도에 나타나는 역자극은 Matuyama 역자극기의 상부에 대비된다고 하였다. Matsumoto 외 1인 (1969)은 제주화산암류의 화학적 특징, 김봉균(1969)은 성산읍 신양리와 고산리 해안에 분포하는 퇴적층을 신양리층이라 명명하고 화석감별에 의해 Pleistocene 로 구분하였다.

Taneda 외 2인(1970)은 산방산 조면암에서 현재의 극 방향과 반대인 Negative Polarity 가 측정됨을 밝히고 이의 분출시기를 "Matuyama reversed polarity epoch" 에 해당하는 2.0Ma ~0.70Ma 사이인 것으로 해석하였다. 이들은 서귀포 지역에 분포하는 서귀포층은 Haraguchi 의 주장과는 달리 Pliocene 말기로 해석하였다.

1970년대 중반기에 들어와 농어촌 진흥공사에서 제주도 지하수 개발을 위한 시추조사가 계속되었으며 이 시추자료는 본도의 심부 지질을 연구하는데 결정적 역할을 하였다. 시추자료는 Haraguchi (1931)가 제시한 제주도 화산활동 층서에 대한 논의를 활발하게 하였다. 그 결과 제주도 화산층서 및 지질에 대해 여러안이 제시되었다 (Table 1). 원종관(1975)은 시추자료 및 지표조사를 근거로 제주도의 형성과정과 화산층서를 수정 제시 하였다. 손인석(1980)은 기생 화산의 유형분류특성, 이승국(1982)은 중력분포의 구조적 특징을 밝히었다. 이문원(1982)은 화산암류에 대해 암석화학적 연구를 하여 마그마의 분화와 관련지어 화산층서 및 활동단계를 분류하였다.

이기화(1983)와 3인은 Bougen gravity anomaly 가 서편으로 갈수록 증가 하며 이는 화산암의 두께가 동편으로 갈수록 증가 함에 기인하는 것으로 유추하였다. 윤상규, 김원영(1984)이 지열 개발 가능성의 측면에서 야외지질조사를 실시한 바 있고 한국자원연구소 (1984~1986)는 UNDP사업의 일환으로 제주도 지하수원에 대한 재 평가 및 조사를 하였다. 원종관, 이문원, 김광호(1986)는 조면암류를 산방산군과 백록담군으로 구분하고, 역자극을 나타내는 산방산 조면암의 평균연령은  $0.73 \pm 0.056\text{Ma}$ 이며, 이는 Brunches 정자극과 Matuyama 역자극기 경계에서의 약간 하부에 대비 하였다. 정자극을 나타내는 백록담 조면암류의 평균연령은  $0.025 \pm 0.008\text{Ma}$ 으로 측정하였다. 김동학외 3인 (1986)은 제주도에 분포하는 퇴적층과 화산암들의 상호층서 관계를 고지자와 K-Ar 년대 측정자료를 이용하여 해석 하였다.

윤정수(1986)는 제주도 근해의 Scotra의 지질암석과, 이동영(1987)은 제주도 항공사진을 이용하여 용암류 지도(Lava flow map)를 작성하였다. 이동영외 2인(1987)은 제주도 남부의 제 4기 지질조사, 이병조(1987)는 제주도 표선리 현무암고지자기 연구,

윤정수(1989, 1991, 1992)는 제주도 주변해역대륙붕의 광물학적 연구를 하였다.

1990년대에는 온천개발을 위한 심부시추가 실시되어 제주도 기반암 및 하부지질을 해석하는 중요한 자료가 제공되었다.

손영관, 조성권(1988, 1991)은 응회환에 관한 연구, 권성택, 박준범(1991)은 제주도 화산암에 대한 지화학적 연구, 최순학(1991)은 제주도 지하수에 관한 재평가 조사를 실시하였다. 원종관, 이문원(1993)은 성산도폭 지질도, 김문섭(1993)은 남사면일대 암석학적 연구, 원종관, 이문원(1995)은 표선도폭지질도, 길영우(1995)는 동북사면에 화산층서 연구를 실시한 바 있다. 상기한 기존문헌 외에도 제주도 지질에 대한 연구들이 있으며 현재에도 지하수 개발과 온천개발을 위해 지속적인 심부지질층서연구가 실시되고 있다.

제주도 화산층서 및 형성단계에 대해 여러안이 제시되었으며 원종관(1976)은 제주도의 형성단계를 크게 5단계로, 대표적인 화산층서를 10단계, 이문원(1982)은 크게 4단계, 작게 18단계, 이동영은 크게 4단계, 작게 10단계, 최순학은 크게 3단계, 작게 13단계, 윤선은 6단계 및 농어촌 진흥공사는 10단계 등으로 제시가 되었다. 제안된 제주도 형성단계는 연구자에 따라 각 단계의 대표적인 층서가 다르며, 각 단계의 구분기준은 연대 층서값, 지형적 특징 및 용암류의 화학조성, 반복성 등 다양하다. 이 연구에서는 섬 전체에 걸쳐 해수준면 하의 심부층서를 시추자료를 중심으로 정밀 분석하여 정립하였고 해수면 상위에서 절대 연령 측정 값과 지표조사를 통하여 제주도 형성단계에 대한 새로운 안을 제시하였다(Table 1).

Table 1. Stratigraphic correlation of the volcanic and sedimentary as determined by previous and this study.

|                                                     |                            | Haraguchi<br>(1931)                                                      | Won, J. K.<br>(1976)                                                               | Lee, M. W.<br>(1982)                                                                                                                                                  | Lee, D. Y.<br>(1986)                                                                                                              | This study (1997)                                                                                                                                                                                                                                                        |                   |                                         |
|-----------------------------------------------------|----------------------------|--------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|-----------------------------------------|
|                                                     |                            |                                                                          |                                                                                    |                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                   | Major rock type<br>(Ma)                                                                                                                                                                                                                                                  | cone              | sediments<br>sequence                   |
| Holo-<br>cene                                       | upper                      | 1002-1007<br>activities<br>Groups of small<br>basalt cones               | 1002-1007<br>activities<br><br>volcanic cone 1<br>volcanic cone 2                  | 1002-1007<br>activities<br>Groups of small basalt<br>cones                                                                                                            | 1002-1007<br>activities                                                                                                           | historic<br>(activities)<br>1445AD 1670AD<br>1002AD 1007AD                                                                                                                                                                                                               | Cinder<br>cone II | Dune-<br>sand                           |
|                                                     | lower                      |                                                                          |                                                                                    |                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                   | Spatter cone<br>Scoria mounds                                                                                                                                                                                                                                            | Cinder<br>cone I  |                                         |
| P<br>L<br>E<br>I<br>S<br>T<br>O<br>C<br>E<br>N<br>E | U<br>P<br>P<br>E<br>R      | Sukido basalt<br>Halasan basalt<br><br>aphanitic basalt<br>augite basalt | Beegrogdam basalt<br>Halasan trachyandesite<br>Halasan basalt<br>Seongpanak basalt | Sinyangri formation<br>Halasan trachyte<br>Halasan Hawaiite<br>Seongpanak hawaiite<br>Shungri hawaiite<br>Beobyeongri mugearite<br>Hahyori hawaiite<br>Cheju hawaiite | Dongnam paleosole<br><br>Basalt flows<br>along the flanks<br>of Halasan<br>Sinyangri formation                                    | Peakrok trachyte<br>(0.025 ± 0.008)<br>Kang Jeong basalt<br>Pyongak basalt<br>Tosan FOB<br>Suak FOB<br>Peakrok trachyte<br>Kogyeusan FB<br>Keorin FB<br>Halasan T.<br>Tosan FOB<br>Pulgunorum FB<br>Sangdo FOB<br>Peobyeong T<br>Uboak T<br>Kungsan T<br>(0.190 ± 0.019) | Ilichul<br>Songak | Dongnam<br>Paleosol(IV)                 |
|                                                     |                            | feldspar basalt<br>Cheju basalt<br>alkali basalt                         | Shungri basalt<br>Beobyeongri trachyte<br>Hahyori basalt<br>Cheju basalt           |                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                          |                   | SYF                                     |
|                                                     | M<br>I<br>D<br>D<br>L<br>E | Homblende<br>trachandesite                                               |                                                                                    | Homblende mugearite                                                                                                                                                   | Halasan trachyte tuff<br>-rings<br>(Songaksan, Ichulbong,<br>Suwolbong)<br>Seogupo<br>trachyandesite<br>tuff-rings(Dansan, Dusan) | Sumang PAB<br>Teehung FOB<br>Wimi FOB<br>Namwon FOB<br>Namseong trachyte<br>Manjang FOB<br>(0.42)                                                                                                                                                                        | Suwol             | Hanjiang<br>-dong<br>Paleosol(III)      |
|                                                     |                            | Sanbangsan lava                                                          | Sinyangri formation                                                                | Sanbangsan trachyte                                                                                                                                                   | Seogupo formation<br>Pyoseonri basalt                                                                                             | Peakrok trachyte<br>Yongsil trachyte<br>Jeongbang trachyte<br>Kosan FOB<br>Teehung FOB<br>Onpyeong FOB<br>Shinhung PAB<br>(0.7305)                                                                                                                                       | Dansan            | Upper<br>SGF(II)                        |
| Plio-<br>cene                                       | upper                      |                                                                          |                                                                                    |                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                          |                   |                                         |
|                                                     | middle                     |                                                                          |                                                                                    |                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                          |                   |                                         |
|                                                     | lower                      | Halasan alkaline<br>trachyte                                             | Seogupo formation<br>basal basalt                                                  | Seogupo formation<br>basal basalt                                                                                                                                     |                                                                                                                                   | Panpo basalt<br>(2.22 ± 0.16)                                                                                                                                                                                                                                            |                   | Lower<br>SGF(I)<br>Lower<br>Paleosol(I) |
| older<br>than<br>Plio-<br>cene                      |                            |                                                                          |                                                                                    |                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                   | Tuff                                                                                                                                                                                                                                                                     |                   | SHF                                     |
|                                                     |                            | granite                                                                  | granite                                                                            | granite                                                                                                                                                               | granite in the northern<br>park tuff in the eastern<br>and southern parts                                                         | granite<br>(66.4 ± 1.7)                                                                                                                                                                                                                                                  |                   |                                         |

## II. 연구방법

### 1. 연구절차

이 연구의 목적을 달성하기 위해 제주도 지형도(1/2.5만), 지질도(1/10만), 용암류 유동방향 항공사진 판독도(이 1987, Fig 2) 및 시추공지질주상도(1971~1997)등의 문헌 분석을 통해 필요한 정보를 얻은 후 야외 조사를 실시 하였다. 선정된 시추공 지역에 서는 직접 야외조사를 실시함과 아울러 필요에 따라 지질주상도를 작성하고 분석용 시료를 채취하여 실내작업을 하였다.

### 2. 연구지역의 구분

연구목적이 제주도 전체의 하부지질과 지표지질의 총서를 확립하는 것이므로 연구 지역이 매우 넓다. 따라서 편의상 연구지역을 Fig 2 와 같이 4개 지역으로 구분 하였다. 각 지역은 북서부지역, 북동부지역, 남서부지역, 남동부지역으로 구분하였다. I 선은 백록담과 우도를 연결한 백우선, II선은 백록담과 문섬을 연결한 백문선, III선은 백록담과 차귀도를 연결한 백차선, IV선은 백록담과 도두봉을 연결한 백도선이다.

### 3. 암석층서의 설정

이제까지 (1971~1997) 제주도에서 지하수 개발 및 그밖의 목적으로 시추된공은 필자의 파악으로는 1000여개 정도가 된다. 이들 중 주상도가 확인되어 연구자료로 이용할 수 있는 137지점을 선별하였다(Fig 3. 북서지역 24지점, 북동지역 37지점, 남서지역 42지점, 남동지역 34지점, 필요에 따라 지역별로 첨가). 한편 제주도의 형성단계를 확립하기 위해서 용암류의 K-Ar연대 측정값을 한국자원연구소, 개인통신 등의 협조와 기 발표된 문헌자료 등 52점을 이용하여 체계적으로 정리하여 층서를 설정하였다.

### 4. 암석화학

화산암류의 주성분, 미량원소, 희토류원소 등에 대한 전암분석을 위해서 해수면상의 암석시료와 해수면 하부의 암석시료를 북동지역 25점, 남동지역14점, 남서지역 16점, 북서지역 13점 등 총 68점을 채취하였다. 해수면상의 암석시료는 해안선을 기준으로 하여 야외관찰에 의해 채취하였으며,해수면하의 시료는 층서에 따라 상위로부터 하위로 채취하였다. 대표적인 시료는 박편을 제작한 후 현미경 하에서 암석 기재를 하였고 화학분석은 캐나다의 “ACTLABS” 실험연구소의 Dr. HOFFMAN과 한국자원연구소에서 실시하였다.

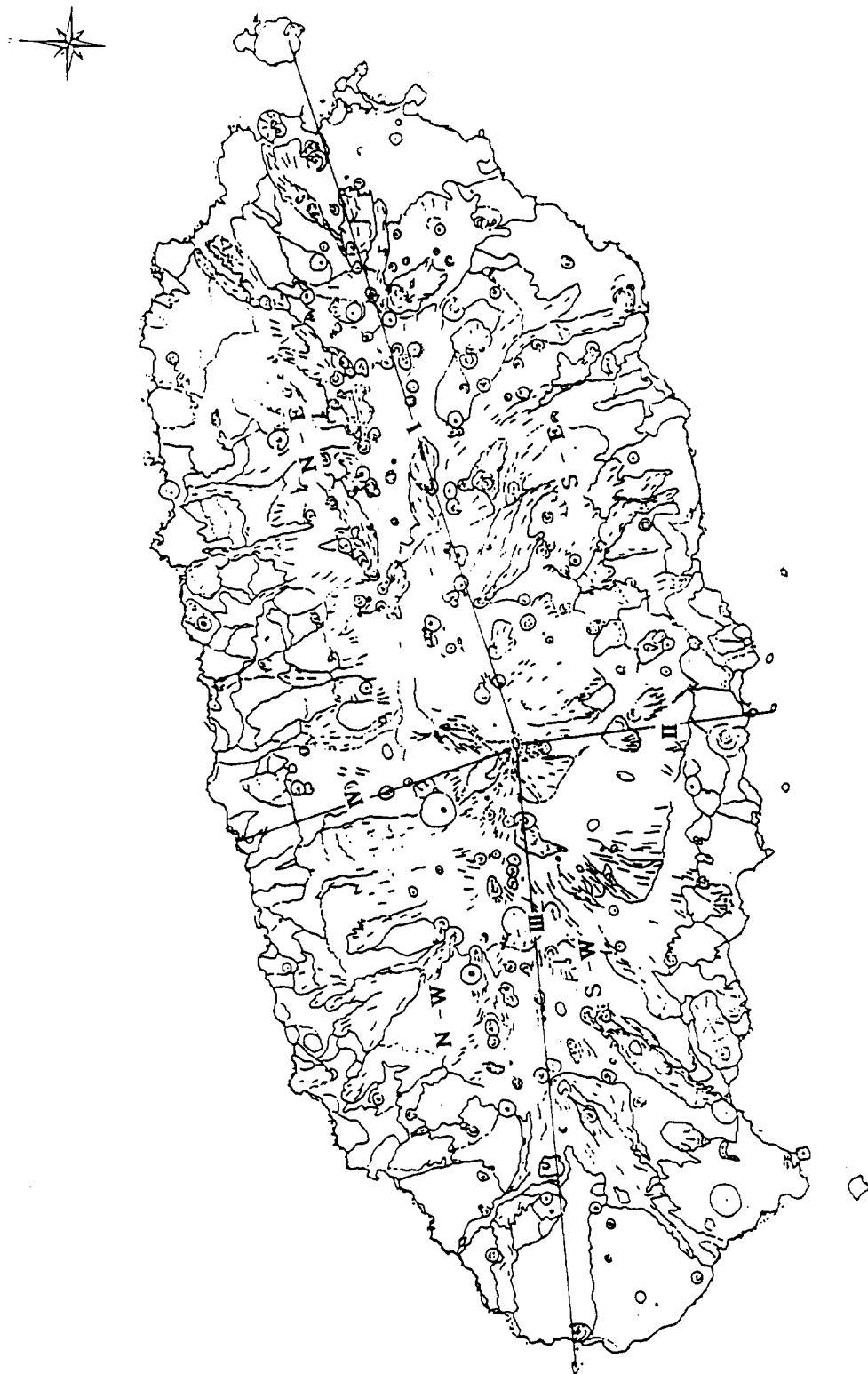


Fig. 2. The direction in the lava flows in Cheju Island (Lee, 1987) and division of the studied area.

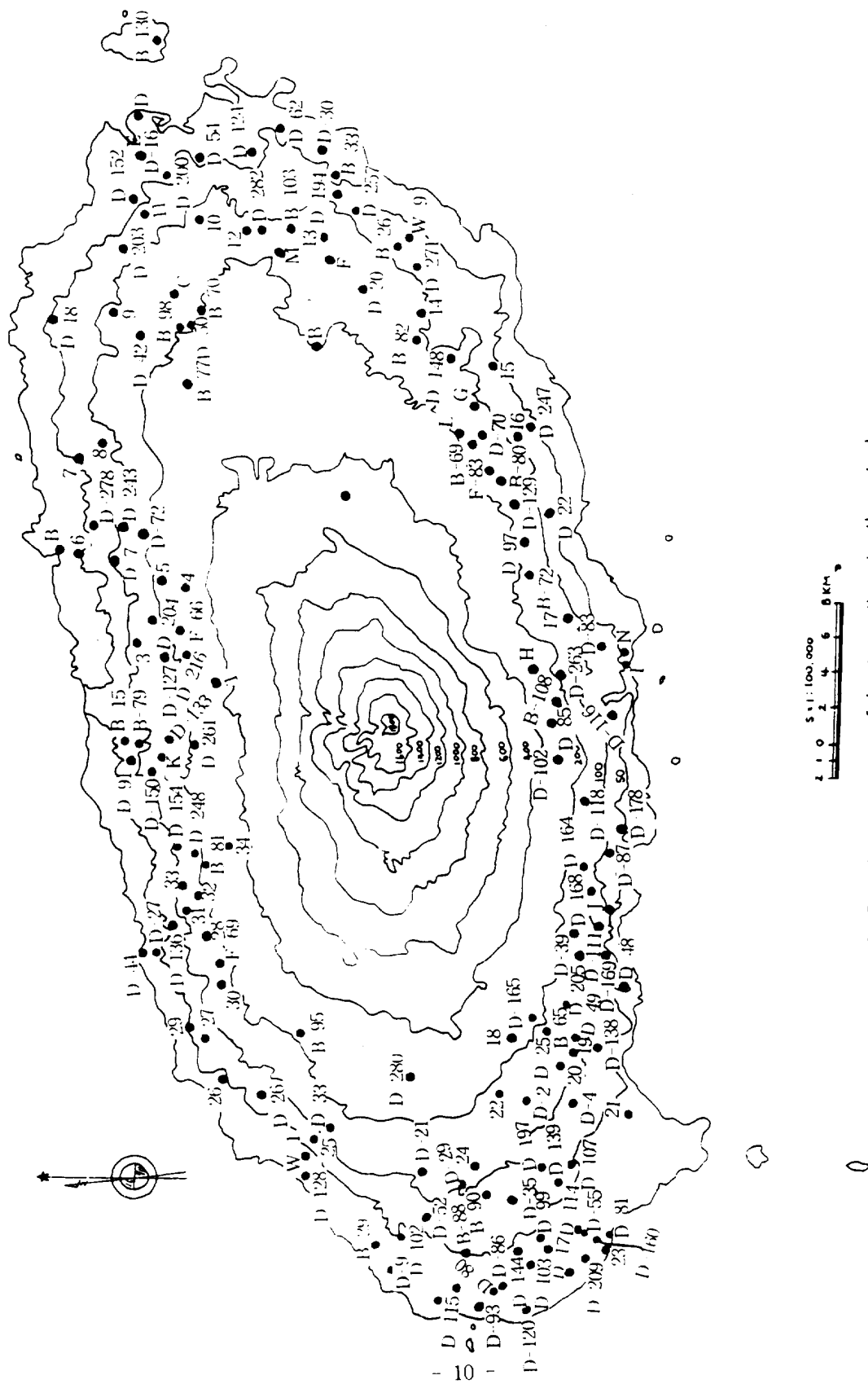


Fig. 3. Distribution map of boring sites in the study area.

## 5. 암석(층)명 정의와 명명

제주도에 분포하는 화산암류의 암층(석)명은 Haraguchi(1931)가 명명을 시작하였다. 그후 1/10만 지질도(농어촌진흥공사, 1971)에서 분류된 암석명을 기초로 각 연구자들은 광물구성과 화학성분에 따라 화산암류를 재분류 하였다. 이 연구에서는 본도의 대표적인 암석(층)에 대해 기 기재된 내용을 정리하고, 이에 따라 암석(층)명을 기재하기로 한다.

### 1) 화강암(Granites : Gr)

사라봉 북쪽 산기슭에서 화산쇄설물(응회층) 내에 다량의 화강암편들이 포획되어 있다. Haraguchi(1931)는 이 암편을 거문도에 분포하는 화강암에 대비시켜 백악기 말에 속하는 불국사화강암임을 시사한 바 있다. 이로 인하여 제주도의 기반암은 화강암으로 추정되고 있다. 최근의 시추공주상도에서 제주도 하부 전체가 화강암으로 구성되어 있음을 추정하였다.(1992, 1993, 원종관, 이문원, 이동영)

### 2) 응회암(TUFF)

이 암석은 화강암을 피복하고 있으며 기저 응회암과 미고결 응회암으로 분류되고 있다. 기저 응회암은 우도 소머리오름층에 포획되어 있는 응회암(이동영, 1991)과 지질주상도 (종달, 성읍)에서 확인된 응회암과 대비된다. 이동영(1991)은 이 암석을 한반도 서남해안 지역에 널리 분포하는 백악기 말의 응회암류와 대비했다. 농진공에서는 이 암석을 응회암으로 분류하고 있으며 필자는 분류명을 함께 기재한다.

### 3) 미고결층 (세화리층 : SEHWARI Formation : SHF)

기저 응회암층을 피복하고 있는 미고결상태의 퇴적층이다(원종관, 이문원, 이동영, 1993). 이 암층을 세화리층이라 명명하였다. 이층은 해수면하에 분포하여 야외관찰은 불가능하며, 이 층속에는 실트질점토층(신촌)과 모래층이 교호하며 패류화석편들이 있다. 이층은 서귀포층과 구별을 위해서는 다양한 증거와 고생물학, 분포상태 및 층서 등 다양한 증거를 밝히기 위한 연구가 필요하다. 이 연구에서 이미 발표된 세화리층 외에 제주시 이도동 지하수개발 시추공 코어에서 확인이 되었다.

### 4) 서귀포층 (Seogwipo Formation : SGF)

서귀포시 천지연 폭포 서쪽절벽을 따라 분포하는 퇴적층을 Haraguchi(1931)는 서귀포층이라 명명하였다. 이 보다 앞서 Yokoyama (1923)는 이층에 대해 최초로 지질조사를 실시하여 연체동물화석 27종을 기재하였고 이층을 상부 Pleiocene 추정하였다. 특히 이 층은 세화리층이 밝혀지기 전까지는 제주도 지하수 대수층과 관련해서 매우 중요시 되어왔다. 이 연구에서는 이미 발표된 세화리층 지점을 제외하고는 화석을 포함하는 퇴적층을 모두 서귀포층으로 기재하였다.

### 5) 고토양층 (paleosol : PS)

고토양은 지질시대에 생성된 토양으로 현재의 환경하에서 생성되는 토양에 대응하는 용어로서 매물 또는 지표에 노출되어있는 경우가 있다. 매물토는 주로 용암, 빙하 퇴적물, 화산회 및 산록퇴적물에 의해 피복되는 경우이다(J. Thorp, R. V. Rhue 1958). 원종관 이문원 이동영(1993, 1995)은 제주도의 지질주상도 보고서에서 용암류 단위사이나 응회질 퇴적층 사이에 협재되어 있는 점토층을 고토양층이라 명명하였다. 이

고토양층은 화산활동의 휴식기를 지시하는 증거가 되고있다. 이층은 층리구조 발달이 거의 없으며 토양 발달이 불량하고 유기물 함량이 극소하여 현생 퇴적층과는 구별이 용이하다. 따라서 이 층은 화산암층서 선정 및 화산활동 양상을 해석하는데 중요한 역할을 한다.

#### **6) 성산층 (Seongsan Formation : SSF)**

이 층은 제주도 동서 해안 저지대에서 용회구(환) 형태로 분포하며 화산쇄설물로 구성되어 있다. 성산일출봉을 표식지로하여 해안 저지대에 있는 용회구 형태의 지층을 모두 성산층이라 명명 되었다. 그러나 원종관(1975)은 사라봉, 별도봉, 매봉, 화순 등은 조면암류와 함께 분포하기 때문에 이들은 화순층이라고 다시 분류하였다. 이 연구에서는 성산층과 화순층의 형성시기가 용회구의 형성시기와 같기 때문에, 성산층과 화순층을 함께 성산층(SSF)으로 기재하였다.

#### **7) 감람석 휘석현무암 (Olivine Augite Basalt : OAB)**

이 암석은 서귀포층 최하부에 분포하는 암석으로 원종관(1975)은 이 암석을 제주도의 기저 현무암으로 분류하였다. 이 암석은 시추자료 B-94, B-95, D-33, B-96에서도 확인되며, 절대연대측정값은 1.20Ma~0.94Ma이다. 이 연구에서는 감람석휘석현무암으로 기재한다.

#### **8) 침상장석감람석현무암 (Feldspar Olivine Basalt : FOB)**

이 암석은 제주도 동서 해안 저지대에 대지상으로 넓게 분포한다. 1/10만 지질도(농업진흥공사, 1971)에서는 침상장석감람석현무암으로 기재되어 있으며, 원종관(1975)에

의해 표선리 현무암이라 명명되어 해수면상에서 최하부 용암류로 간주되어 왔다. 이 암석은 감람석반정에, 석기에 침상장석이 유문조직을 보이는 것이 특징이다. 그러나 그 후 제주도 전역에 대한 암석기재 연구가 진행됨에 따라 이 암석과 유사한 암상을 가진 용암류가 매우 젊은 시기에 분출된 것도 확인이 되고 있다. 특히, 토산 해안 지역에서는 이 용암류 사이에 고토양층이 협재하는 것이 확인되고, 또 상, 하 용암류가 자극 방향이 각각 정자극, 역자극을 나타내는 것이 확인이 되었다(이병조, 1987). 따라서 이 연구에서는 해안 저지대에 분포하며, 절대연령 측정값도 시대적으로 다르게 나타내는 것을 침상장석감람석현무암명으로 기재한다.

#### **9) 장석 현무암 (Feldspar Basalt : FB)**

이 암석은 제주도 남부와 북부지역의 제주도 중산간지대(고도 약 200m~600m)와 고산지대에 넓게 분포하고 장석반정이 많은 것이 특징이다. 이 암석은 1/10만 지질도에서 장석현무암 1 ~ 장석현무암 7까지 분류되며, 이문원(1982)은 고산지대 분포하는 장석현무암을 한정된 지역에 따라 한라산 하와이아이트로 명명하였다. 이 연구에서는 암석을 장석 현무암이라 기재한다.

#### **10) 비현정질 현무암 (Aphanitic Basalt : APB)**

이 암석은 1/10만 지질도에서 제주도 동, 서부 지역의 중산간지대에서 해안저지대까지 주로 침상장석감람석현무암을 피복하고 있다. 이문원(1982)은 시흥리 현무암이라 명명하였으며, 화학조성을 기준으로 이 암석을 하와이아이트로 분류하였다. 이 연구에서는 비현정질 현무암으로 기재한다.

### 11) 반상회석 현무암(Porphyritic Augite Basalt : PAB)

이 암석은 1/10만 지질도에서는 제주시 일원 애월동부에 주로 분포하며 원종관(1975)은 이 암석을 제주현무암이라 명명하였다. 이 연구에서는 반상회석현무암으로 기재한다.

### 12) 반상장석 현무암 (Porphyritic Feldspar Basalt : PFB)

이 암석은 1/10만 지질도에서 남.북해안저지대 즉, 남원, 위미와 제주시 외도, 도두일대에 분포한다. 원종관(1975)은 이 암석을 현무암으로 명명되었으며, 이 연구에서는 반상장석현무암으로 기재한다.

### 13) 조면암 (Trachyte : T)

이 암석은 1/10만 지질도(1971. 농진공)에서는 조면암(Trachyte)과 조면안산암(Trachy-Andesite)로 분류하고 조면암은 T-I (서귀포 해안, 중문, 대포일대 : 해안지대), T-II (서귀포 서흥, 도순, 월랑봉, 대포, 군산일대 : 준해안지대), T-III (미악산, 범정동, 돈네코 : 고중산간지대)로 구분하였다. 조면안산암(TA)은 TA-I (상귀, 용흥, 향파두리 일대 : 북부), TA-II (산방산, 각수바위 : 남부), TA-III (한라산정상, 영실오백나한 일대, 어승생 99계곡 천왕사)로 구분하여 기재되어 있다. 그 후 이 암석은 화학조성면에서 조면암, 하와이아이트, 뮤저라이트 등으로 분류되고 있다. 원종관, 김광호, 이문원, Jun-ichi Matsuda, Keisuke Nagao(1986)은 조면암류를 백록담 그룹의 99계곡 천왕사, 영실오백나한 일대, 백록담 일대와 산방산 그룹의 월라봉, 문섬, 숲섬, 범섬, 산방산 일대로 구분하여 두 그룹의 조면암류에 대한 고지자기 및 방사성 동위원소 연대를 측정하였다. 백록담 그룹은 99계곡 천왕사, 영실오백나한 일대, 백록담

일대, 산방산 그룹은 월랑봉, 문섬, 숲섬, 범섬, 산방산 일대 등으로 구분하여 조면암류라 명명하였다. 백록담 그룹은 K-Ar연령이  $0.023 \pm 0.010 \sim 0.027 \pm 0.013\text{Ma}$ 의 범위이고, 산방산 그룹은 K-Ar연령이  $0.747 \pm 0.023\text{Ma} \sim 0.725 \pm 0.038\text{Ma}$ 의 범위를 나타낸다. 이 연구에서는 이들을 조면암(T) 또는 하와이아이트로 기재한다.

### Ⅲ. 결 과

#### 1. 지형

##### 1-1. 해수면하의 지형

제주도 주변의 해저지형은 섬주변은 경사가 매우 가파르며, 특히 북동해안지형이 가장 가파르다(Fig 4). 섬 주변의 수심은 남서부에서 40m미만이며 남동부 쪽으로 향함에 따라 50~100m 로 점차적으로 깊어진다. 추자도와 제주도 사이에는 소위 제주해협이라는 골을 형성하며 요철지형과 Moat 가 발달하고 제주도 해안에 근접하면서 수심은 120m 이상으로 급경사를 보인다.

전체적으로 북서부에서 남동부로 감에 따라 수심이 깊어지며, 최대 수심은 남동쪽 끝지역에서 150m 이상이다. 이처럼 수심이 남동쪽으로 향함에 따라 깊어지는 현상은 황해 분지 지형의 축이 북서~남동 방향으로 발달하고 있음을 의미한다. 또한 황해의 서부가 중국대륙 쪽에서 황하나 양자강을 통해 공급된 퇴적물로 구성되어 있기 때문이다.

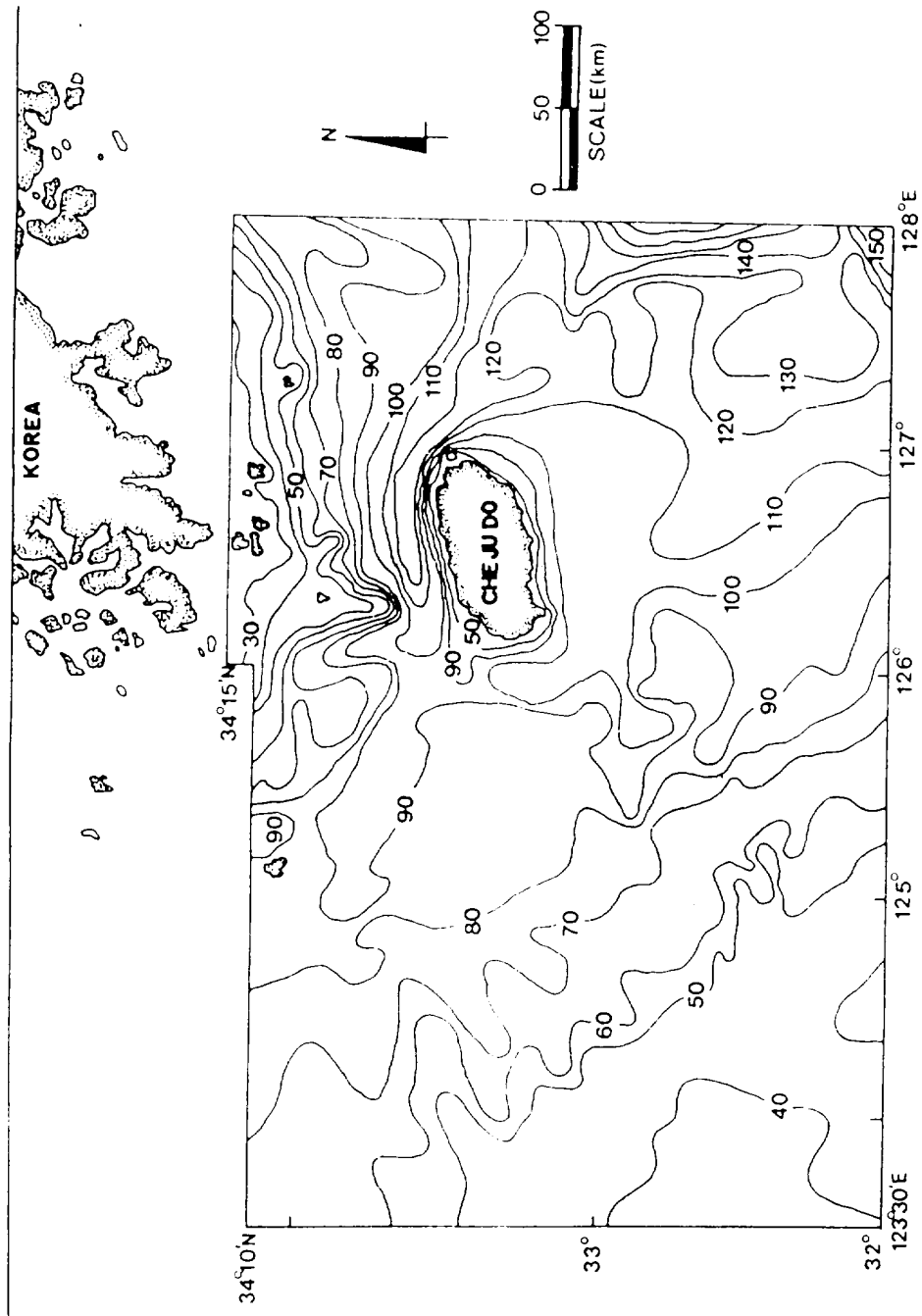


Fig. 4. Bathymetric map around Cheju Island (countours depth in meters).

## 1-2. 해수면 위의 지형

제주도는 섬전체가 거의 화산암류로 구성되어 있으며 형성시기가 비교적 젊고 개석(開析)의 정도가 얼마 되지 않아 화산원지형이 잘 보존되고 있다. 제주도의 평면상의 형태는 동서장축의 길이가 약 74km, 남북단축의 길이는 약 40Km인 타원형으로 그 면적은 8,825km<sup>2</sup>이다. 장축방향은 N75E°로서 한반도의 남해안 선과 나란하며 이는 요동방향과 일치한다. 본도는 해발고도 1950m인 한라산을 정점으로 동서사면은 경사가 전체적으로 순상화산에서 흔히 볼 수 있는 아스피테(Aspate)형이다. 그러나 제주도는 크게 5단계 이상의 화산활동주기를 거치면서 여러 분화구에서, 수십회 이상의 현무암류 용암을 분출하여 이루어진 섬으로서 특이한 화산지형들이 많이 발달하여 있다.

제주도의 산계는 크게보아 한라산을 정상으로 순상화산체의 주화산체에 300여개 이상의 기생화산들이 산재되어 있다. 손(1980)은 기생화산들 중에서 171개를 선택하여 이들을 분화구의 유형에 따라 정상부에 화구가 있는 ○자형이 8개, 화구가 없는 원추형 61개, 화구의 일부에서 용암이 경사를 따라 흘러간 U자형 54개, 위의 형태를 복합형적으로 구성되어 있는 복합형은 48개로 분류하였다. 이들은 대부분 화산쇄설물이나 용암 등으로 혼합하여 구성되어 있으며 분석구라고도 한다. 한편 원종관(1976)은 해안가에 분포하는 성산일출봉, 두산봉, 소머리오름, 고내봉, 당산봉, 수월봉, 송악산, 단산, 매오름등은 고기의 기생화산으로 중산간지대에 주로 분포하는 기생화산들은 중기 또는 신기의 기생화산으로 분류하였다.

손영관(1993)은 해안에 분포한 기생화산중 수월봉, 송악산은 옹회환(Tuff ring)으로 성산일출봉, 소머리오름은 옹회구(Tuff cone)로 분류하였다. 전자는 후자에 비해 폭발심도가 깊으며, 폭발심도는 지하지질구조 및 암석의 종류 그리고 외부수(external

water)의 양과 공급 심도에 따라 결정될 것으로 추정하였다. 제주도에 분포하는 옹화  
환과 옹화구는 화순에 있는 용머리층을 제외하고 나머지는 모두 성산층이라 명명되  
어 있다. 이들은 분출당시 해안(해저)환경임을 지시해 주고있다. 한라산 남사면에  
는 해안절벽을 이루거나 V자형 침식계곡지형을 보이는 곳이 있다. 이와 같이 절벽해  
안이 발달한 송악산, 산방산 및 일출봉, 당산봉, 수월봉 일대등은 쇄설성 퇴적암류가  
노출되어 있다. 반면에 안덕 서귀포 등지에서는 하와이아이트 용암류가, 남원 지역  
에서는 현무암 절벽이 발달하기도 한다. 또한 일부 해안에는 사구가 분포한다. 사구의  
분포는 제주도의 북서지역인 협재, 광지, 이호 등 3곳에, 북동지역인 삼양, 함덕, 김녕,  
평대, 하도 5곳에, 남서지역인 중문, 사계, 화순 3곳, 남동지역인 신양, 표선 2곳에 총  
13지역에 분포한다. 이들중 협재 사구층은 길이가 약 2km, 폭이 3km이며 해안에서  
사구가 발달한 내륙쪽으로는 2~3°의 완만한 사면을 이룬다. 해발고도 약 70m까지  
사구가 형성되어 있다. 사구의 단면을 관찰해 보면 표층에서 약 1.5m의 심층부 까지  
준고결상태로 균일한 퇴적상을 보인다. 협재사구 중앙 부분에는 협재 용암동굴이 발  
달하며 동굴의 천정과 천저에는 이 사구의 영향으로 소규모의 중유석과 석순이 형성  
되어 있다. 퇴적물들은 주로 천해에서 서식하는 패각류의 파편들로 구성되어 있다.  
이호사구층은 길이가 약 2km, 폭이 약 300m 정도로 해안에서 내륙쪽으로 완만한 사  
면이 형성되며 해발고도 10m 내외에까지 사구가 발달되어 있다. 이호 사구층은 패사  
의 비율이 현무암류의 암편이나 화산쇄설물 보다 적은 흑사구층이다. 사구층의 두께  
는 3m 내외이며 표층에서 기반암 까지 동질이다.

함덕 사구층은 길이가 1km 내외이며 폭은 2km정도이다. 기생화산인 서우봉이 연안  
쪽으로 돌출 되어 있어 사구층 발달에 장애요인이 되고 있다. 사구층이 형성된 후  
서우봉이 분출하여 내륙쪽에 형성된 사구층과 해안에 형성된 사구층을 가로막고 있

다. 구성물질은 석회질 패각류이며 백사구층이다.

성산 신양사구층은 길이가 약 5km 정도로 내륙쪽으로 발달되어있으며, 성산육계도를 포함하여 폭은 100~200m 폭으로 좁게 발달되어 있다. 성산 신양사구층의 구성물질은 화산쇄설물이며 성산층과 신양리층의 퇴적암편들이 파랑에 의해 사질화된 물질로 구성된 흑·적사구층이다.

표선사구층은 길이와 폭이 각각 1km 내외의 둥근 형태이며 내륙쪽으로 고도 10m 내외로 매우 낮게 발달되어 있다. 구성물질은 패각사를 주로 하는 백사구층이다.

중문 사구층은 길이가 600~700m, 폭 80~200m이며 사구의 기저부에서 정상까지는 35° 정도의 급경사를 이루며 조면암류의 주상절리가 내륙쪽으로 모래이동을 막고있다. 구성물질은 패각사가 주성분인 백사구층이다.

제주도 수계는 지세가 한라산을 정상으로 하여 원추상을 이루고 있어 방사상수계(放射狀水系)를 이룬다. 동서쪽은 남북 양사면에 비해 경사가 완만하고 긴 사면(斜面)과 넓은 용암대지(熔岩臺地)가 발달하여 수계의 발달이 빈약하나 산계(寄生火山)는 발달하였다.

북사면은 비교적 직선형이며 평행상 하천을 이루고, 급류나 폭포의 발달이 빈약하다. 남사면에서 남류하는 하천들은 유로(流路)의 우회(迂廻)가 비교적 다양하고 하류에 폭포나 급류를 이루는 경우가 많다. 남사면에서의 유로는 V자형, U자형의 계곡을 이루고 있으며 해안지대에 이르기 까지 하각작용이 매우 활발하여 유년기지형(幼年基地形)의 특색을 보인다(Fig 5).

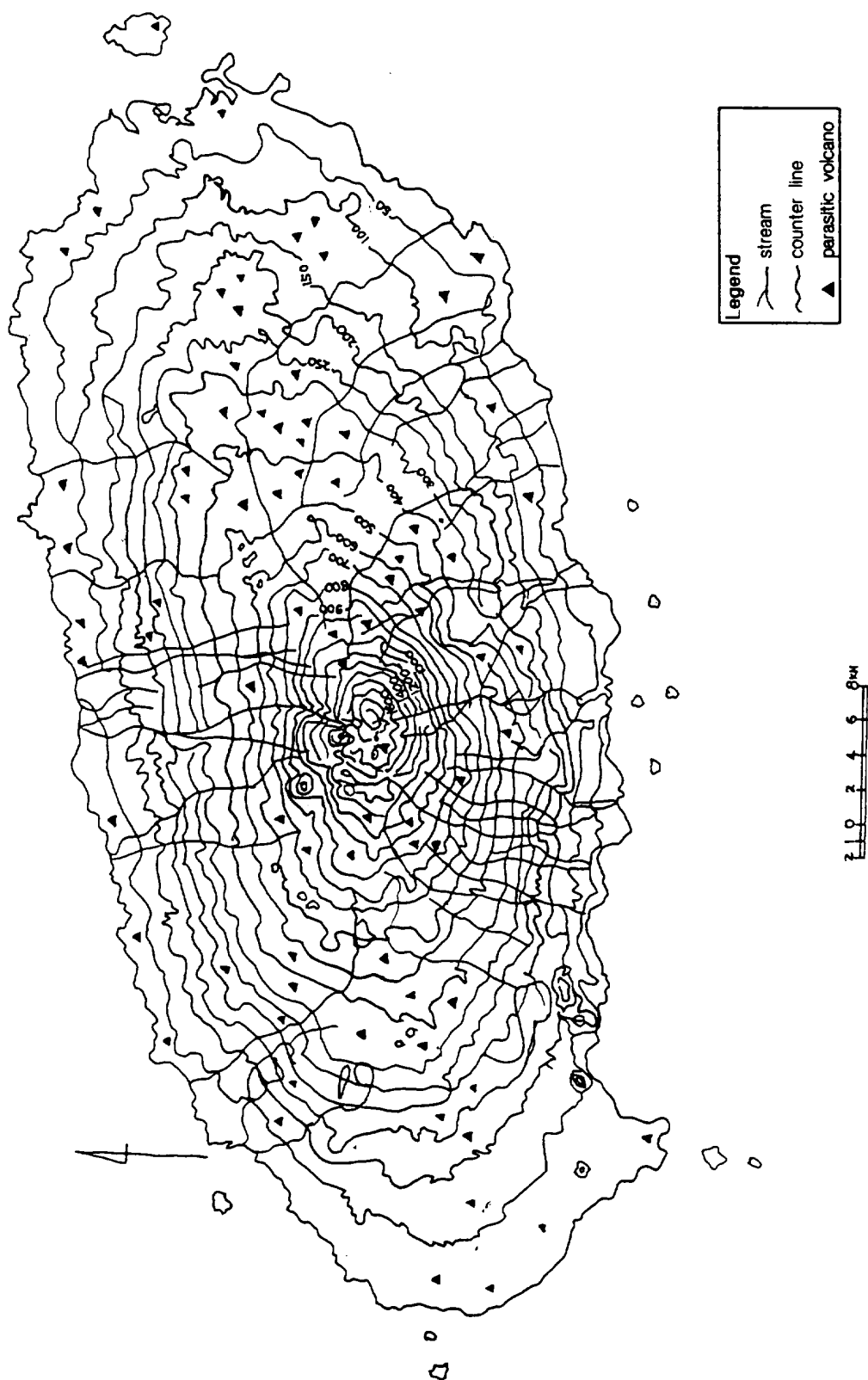


Fig. 5. Topographic map of Cheju Island.

## 2. 지질

### 2-1. 해저지질과 지체구조 환경

제주도의 지체구조적 위치는 태평양판이 섭입하는 일본해구로부터 약 1400km, 필리핀 해판이 섭입하는 난카이(Nankai) 해구로부터 약 600km 정도 떨어져 있다(Fig 1, 6). 제주도 주변해인 황해나 동지나해는 대체로 북동~남서방향으로 배열된 황해분지, 타이완 분지, 오키나와 곡분 및 류구 등의 해저분지들과 복건~영남육괴와 타이완~신지습곡대 등의 융기부로 구성된다(Wagemanetal. 1970). 특히 복건~영남육괴는 제주도 서부를 이루고 있다. 이러한 융기부들은 주로 중국동부와 한반도에서 공급된 퇴적물을 모으는 제방의 역할을 하여 육상기원 퇴적물로 채워진 황해분지, 타이완 분지 및 오키나와 곡분등이 형성된 것으로 밝혀졌다. 제주도 주변해역 퇴적물의 유형은 자갈함유이질사(gravelly muddy sand), 소량자갈함유이질사(muddy sand), 점토질사(clay sand), 사질점토(sand clay), 이토(mud) 및 점토(clay)등이 유형물로 다양한 분포를 보이며 크게 보아 사질퇴적물, 이질퇴적물, 혼합퇴적물 등으로 나눌 수 있다(Fig 7).

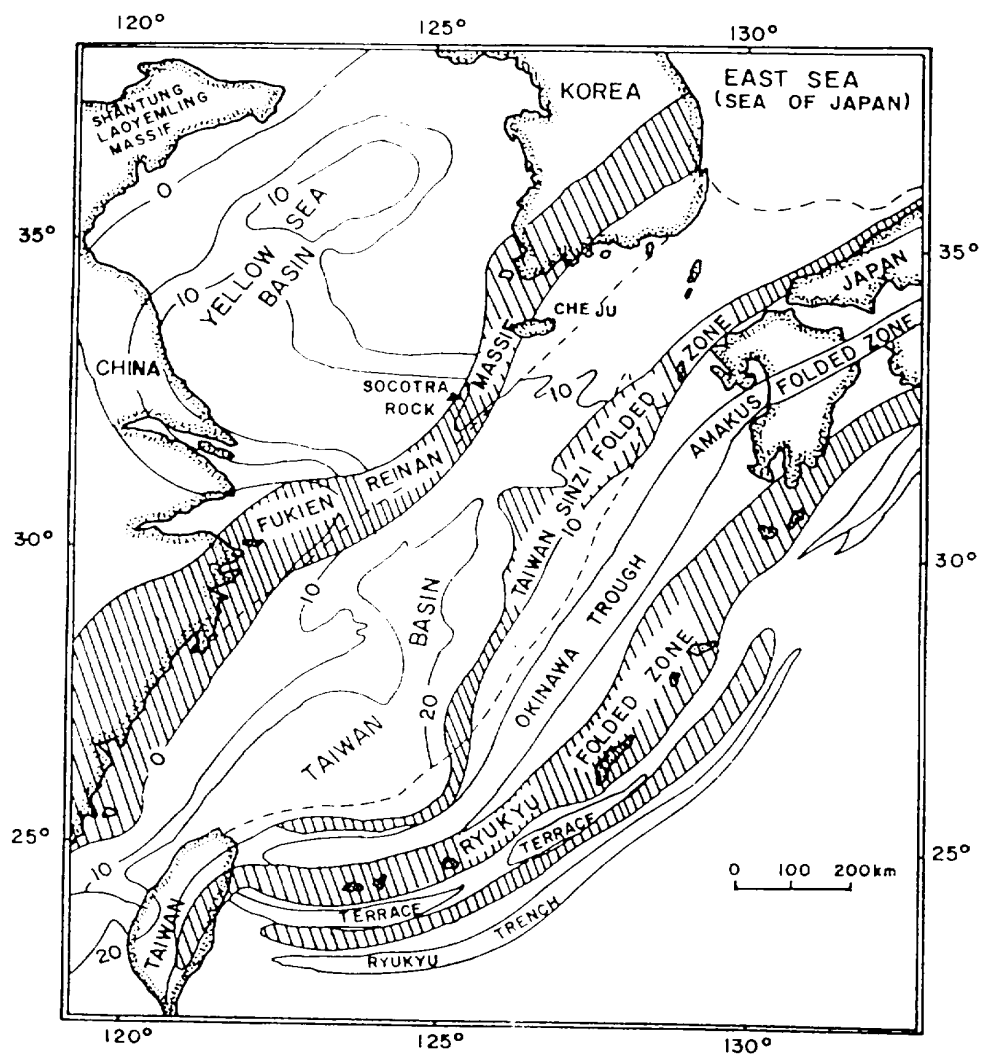


Fig. 6. Major structural zones in the East China Sea and its vicinity (after Wageman et al., 1970).

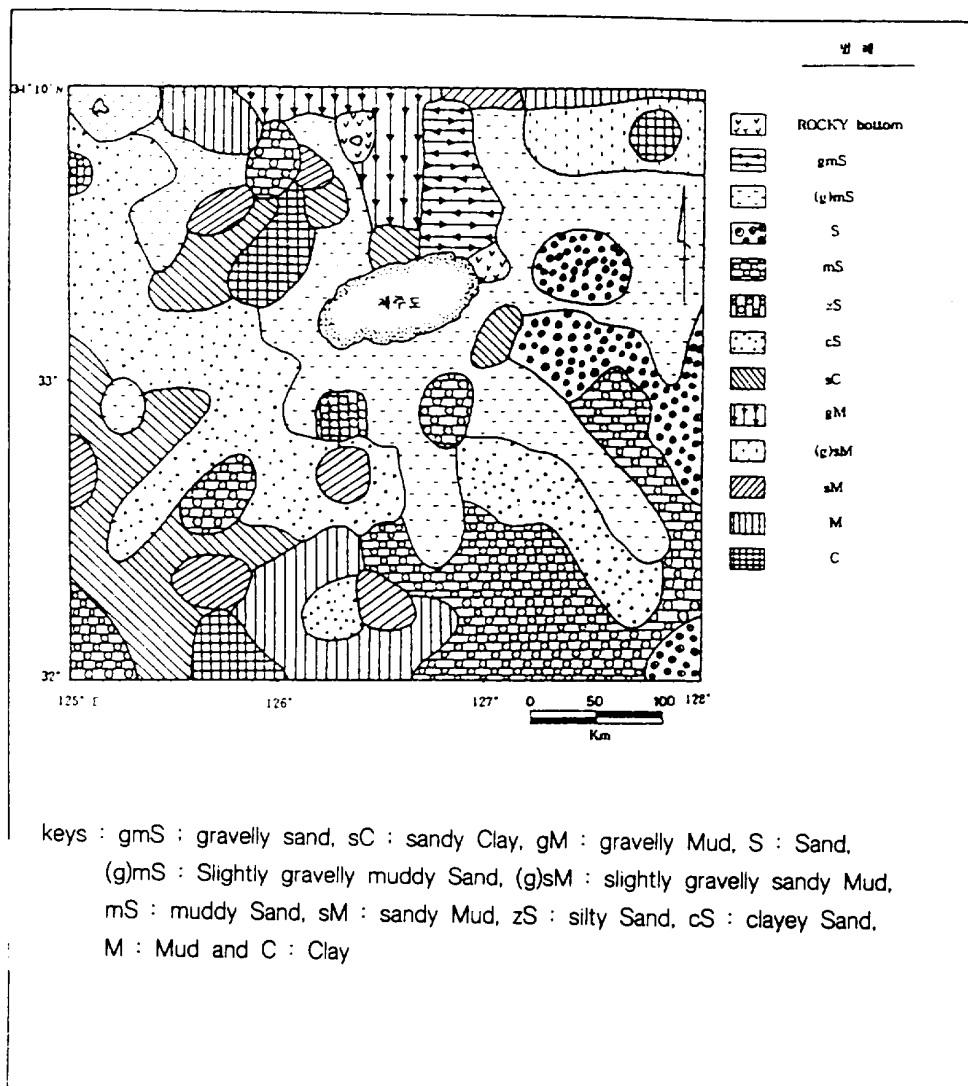


Fig. 7. Distribution of sediments in the sea around Cheju Island  
 (sediment size terms after Folk et al., 1968).

## 2-2. 해수면위의 일반지질

제주도 해수면위 지질은 지형에 따라 해발고도 약 200m 이하의 저지대 지질과 약 300~600m 중산지대, 600m이상인 고산지대 내지 한라산체 그리고 분석구와 옹회구(환)등의 기생화산으로 구분이 된다. 저지대에는 동서해안에 대지상으로 침상장석감람석현무암이 분포하며 이는 유동성이 크며 여러번 반복하여 분출한 흔적을 관찰할 수 있다. 이 암석은 분출시기는 다를지라도 암상은 유사한 것이 특징이다. 중산간 지역은 저지대에 비해 경사가 커지며 이들 용암들은 반정 광물에 따라 장석현무암, 반상회석·장석 현무암 등으로 분류된다. 이들 용암류의 일부는 저지대 해안가에까지 흘러간 흔적을 현지에서 관찰할 수 있다. 고산지대와 한라산체 부근은 큰 장석반정을 함유하는 장석현무암과 치밀한 조면암(백록담 분화구서편)이 3~4회 정도로 분출한 용암단위가 관찰이 된다. 퇴적암(층)으로는 미고결층(세화리층), 고토양층, 서귀포층, 성산층, 신양리층, 사빈, 사구층이 분포한다(Fig 8).



### 3. 암석층서

#### 3-1. 북서부 지역

##### 3-1-1. 일반지질

이 지역의 지질도와 항공사진 판독도는 Fig 9, 10 과 같다.

이 지역의 지질은 퇴적암층인 성산층(SSF)이 고산지역 해안가를 중심으로 당산봉(148m), 수월봉(74m), 도두봉(60m)에 분포하며 내륙쪽에는 고내봉(74m)에 분포한다. 이들은 담회색 내지 암회색을 띠며 세립 및 조립질 응회질이 고결도가 낮다. 화산암류로는 침상장석감람석현무암(FOB)은 고산, 신창, 한림일대에, 비현정질현무암(APB)은 청수, 저지 지역인 저지오름을 중심으로 한 지역과 한림읍 금오름 지역을 중심으로 분포한다. 장석 현무암(FB)은 과오름지역과 도두봉지역, 중산간지역 이상인 고산지대에서 후기에 장석 현무암이 어승생오름, 노루오름, 한대악 등에서 분출하면서 형성된 것으로 추정된다. 조면안산암(TA, 하와이아이트)은 항파두리일대와 천아계곡 등지에 분포한다.

이 지역에는 저지오름(102m), 정월오름(40m), 금오름(180m), 어도오름(56m), 발이오름(150m), 붉은오름(130m), 산심봉(112m), 어승생악(169m)등이 분포하는데 이들은 화산사, 화산회, 화산탄 등으로 이뤄져 있다. 사구(Sand Dune)는 협재, 괏지 해안에는 패사인 백사구층이며 이호사구층은 화산사 화산회로 이루어진 흑사구 층이다.

항공사진 판독도를 보면 해발고도 600~700m 이상에 있는 분화구에서 젊은 용암류가 분출하여 경사를 따라 해안가로 흘렀으며, 특히 검은 오름, 발이오름, 노루오름, 붉은오름 등에서 흘러나온 용암은 해안 저지대까지 흘렀다. 이러한 용암류의 층서는 야외에서 용암단위 별로 확인된다.

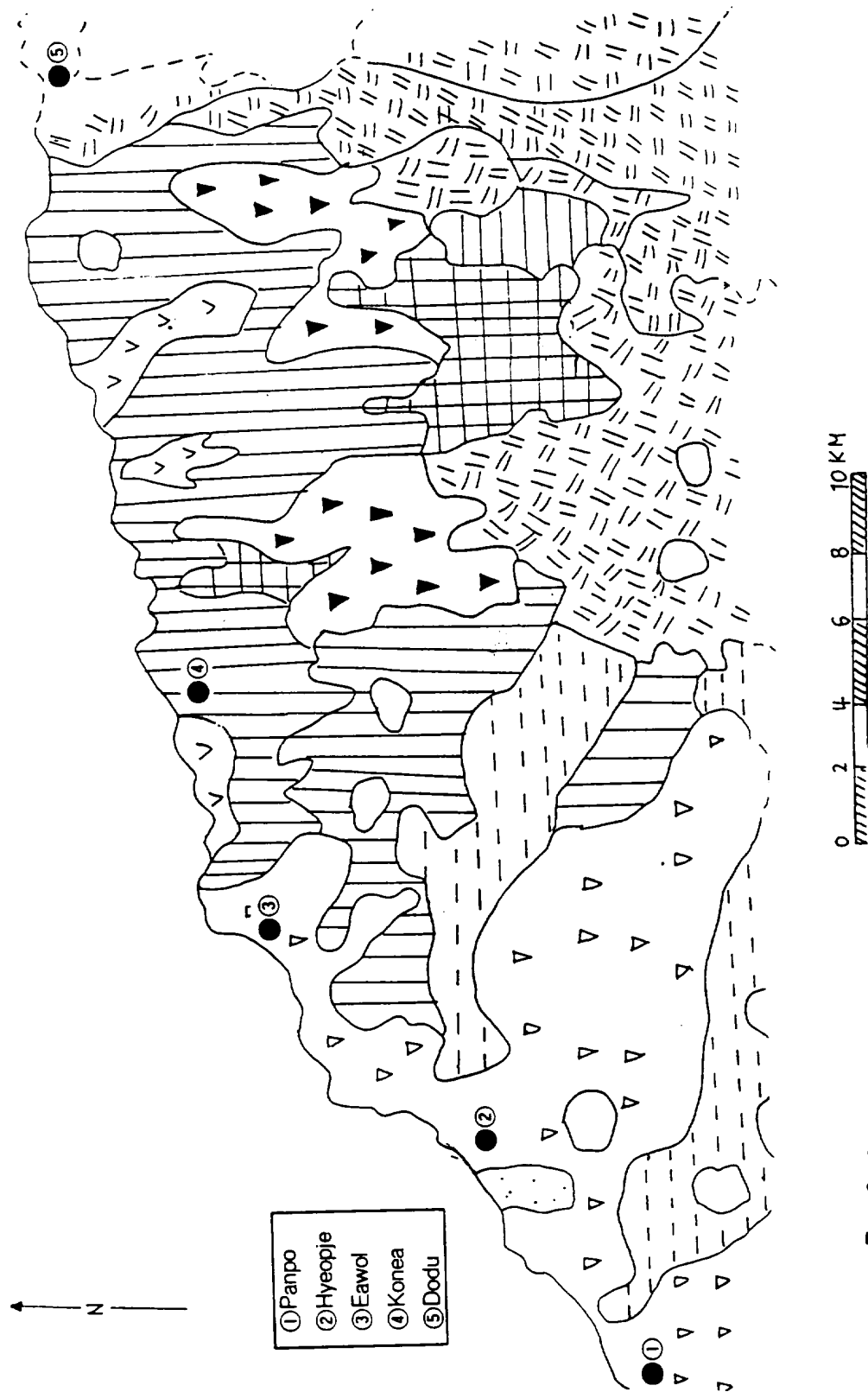


Fig. 9. Geological map in the northwestern part of the Cheju Island. Symbols as in Fig. 8.



1.Tangsanbong 2.Phanpoorum 3.Chcojiorum 4.Kumorum 5.Kwaorum 6.Paliorum 7.Handeaorum

8.Keunorum 9.Sansimbong 10.Noruorum 11.Koneabong 12.Eosungseng

Fig. 10. Lava flow direction in the northwestern part of Cheju Island, interpreted from aerial photographs (Lee 1987).

### 3-1-2. 암석층서

이 지역에서 선별된 시추공위치는 Fig 11과 같다. 각 지점의 시추공 지질주상도와 자료는 각각 Fig 12, Table 2 와 같다.

Table 2. Bore hole data in the northwestern area.

| A<br>r<br>e<br>a | Boring site | Bore<br>hole<br>No. | Altitude<br>(m) | Boring<br>depth | A<br>r<br>e<br>a | Boring site | Bore<br>hole<br>No. | Altitude<br>(m) | Boring<br>depth |
|------------------|-------------|---------------------|-----------------|-----------------|------------------|-------------|---------------------|-----------------|-----------------|
|                  |             |                     |                 |                 |                  |             |                     |                 |                 |
| N<br> <br>W      | Yongsu      | D-123               | 20              | 100             | N<br> <br>W      | Sangga      | 31                  | 132             | 170             |
|                  | Yongsu      | D-115               | 15              | 101             |                  | Keuem       | F-9                 | 40              | 108             |
|                  | Phanpo      | D-221               | 45              | 153             |                  | Hagwi       | F-56                | 772             | 121             |
|                  | Sangdea     | 88-W                | 109             | 130             |                  | Sanggwi     | D-136               | 90              | 130             |
|                  | Phanpo      | F-72                | 35              | 90              |                  | Kwangryeong | D-218               | 185             | 201             |
|                  | Chosu       | D-52                | 70              | 125             |                  | Kwangryeong | A                   | 335             | 523             |
|                  | Kumak       | D-280               | 312             | 320             |                  | Hean        | D-248               | 196             | 220             |
|                  | Kumak       | B-94                | 225             | 255.2           |                  | Nohyeong    | D-214               | 104             | 129             |
|                  | Tongmyeong  | W-1                 | 27.6            | 60              |                  | Tonggwi     | W-14                | 34.42           | 58              |
|                  | Sangdea     | F-28                | 109             | 130             |                  | Sogil       | D-231               | 198             | 220             |
|                  | Kwideok     | D-26                | 60.81           | 101             |                  | Panpo       | F-72                | 35              | 90              |
|                  | Kwakji      | 29                  | 50              | 90              |                  | Panpo       | D-221               | 45              | 153             |
|                  | Joem        | B-95                | 220             | 223.7           |                  | Sangga      | 31                  | 132             | 170             |
|                  | Sangga      | D-18                | 92.67           | 117             |                  |             |                     |                 |                 |

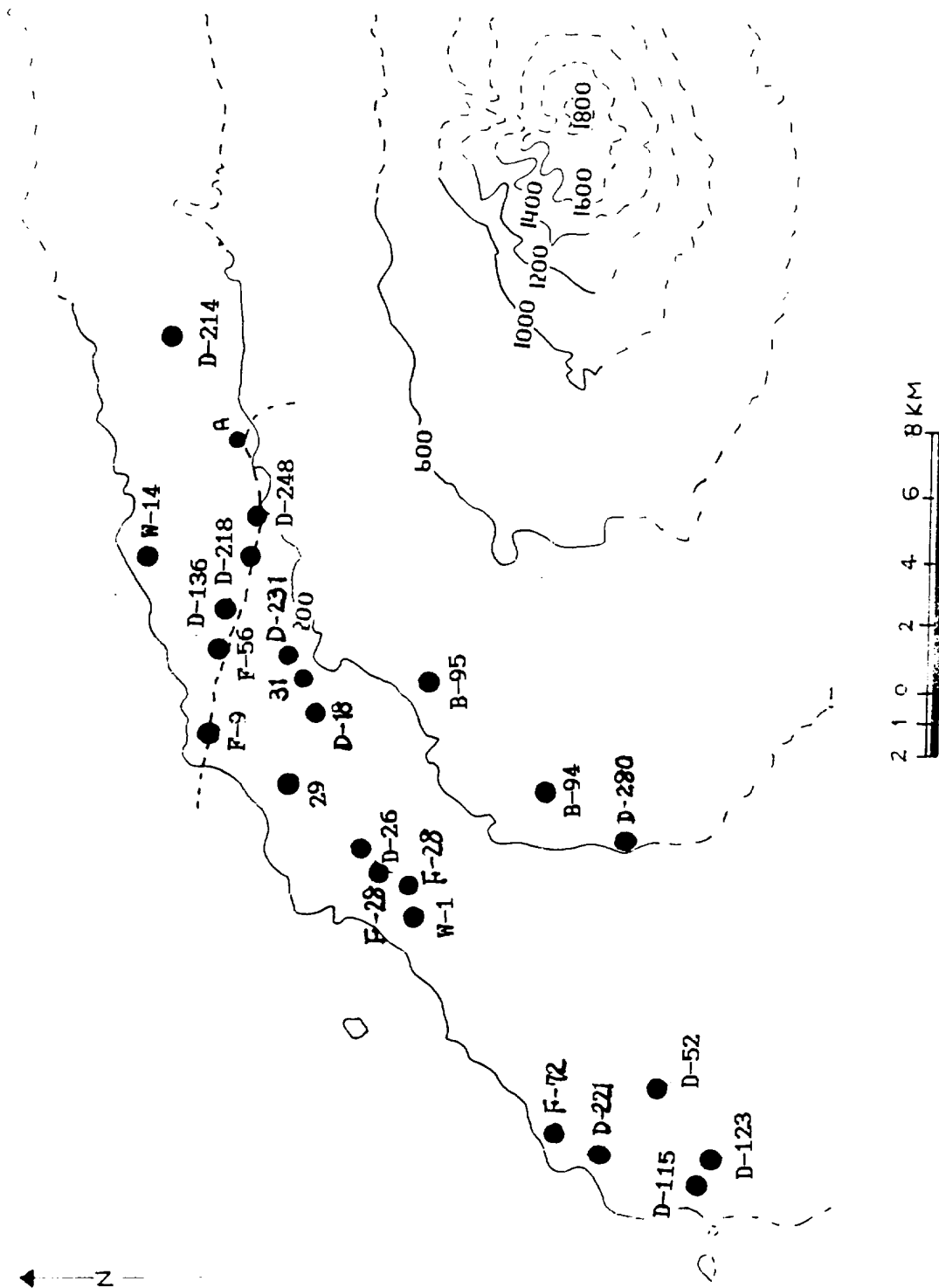


Fig. 11. Location map of boring sites in the northwestern part of Cheju Island.  
(Dashed line is Kueom - Kwangryeong.)

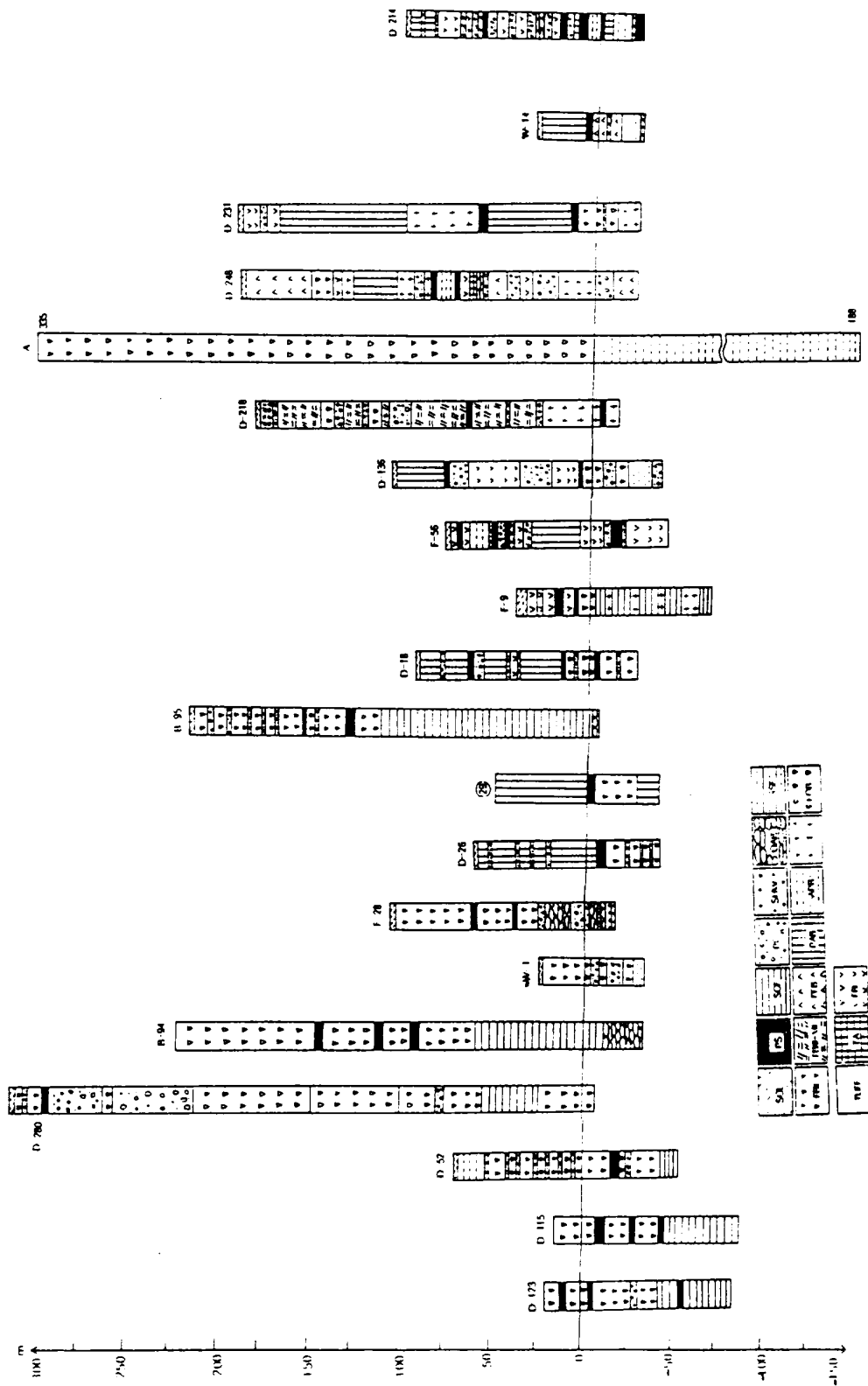


Fig. 12. Columnar sections of cores drilled in the northwestern part of Cheju Island.

## 1) 퇴적층(암)류

### (1) 응회암층 (Tuff)

이 지역에서 응회암층은 W-1, D-136, W-14 등에서 확인된다. 이들의 상위층은 모두 해발고도 (-)30.8~(-)9.08m 사이에서 시작이 되며 시추가 도중에 종료되었기 때문에 이층의 두께는 정확히 알수 없다. 이 응회암의 분포심도는 현재의 지표지형고도와는 관계가 없다. (Table 3. Fig 13)

Table 3. Altitude of occurrence and thickness of Tuff and the types of overlying and underlying strata in the northwestern area.

| Boring site | Bore hole No. | Altitude (m) | Boring depth (m) | Occurrence altitude (m) |     | Thickness (m) |     | Number of Occurrence | overlying strata | underlying strata |
|-------------|---------------|--------------|------------------|-------------------------|-----|---------------|-----|----------------------|------------------|-------------------|
|             |               |              |                  | Max                     | min | Max           | Min |                      |                  |                   |
| Tongmyeong  | W-1           | 27           | 60               | -30.8                   |     | 1.6           |     | 1                    | FOB              |                   |
| Sanggwi     | D-136         | 90           | 130              | -22                     |     | 14            |     | 1                    | FOB              |                   |
| Tonggwi     | W-14          | 34.4         | 58               | -9.08                   |     | 11.9          |     | 1                    | FOB              |                   |

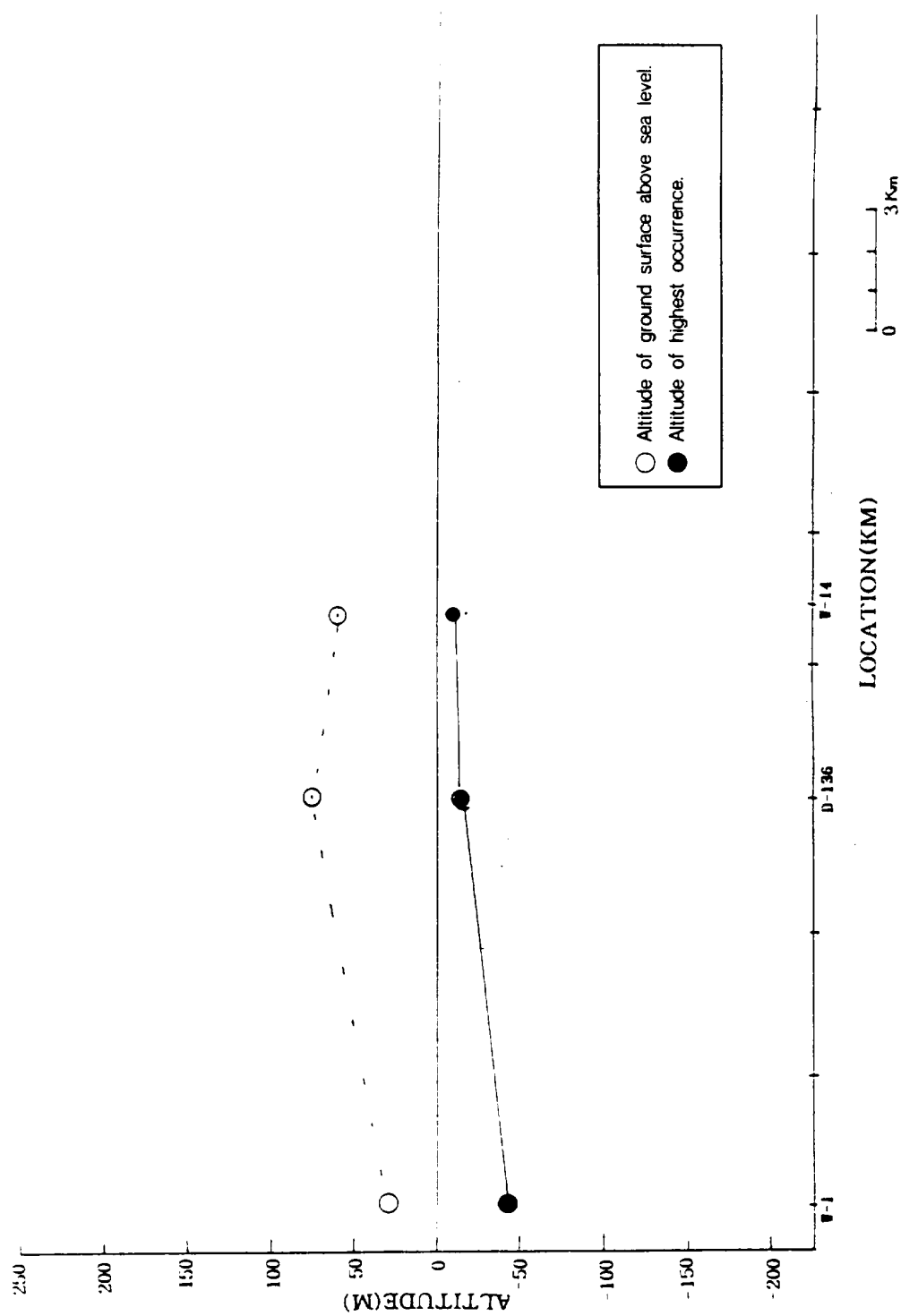


Fig. 13. Distribution and altitude of the highest and lowest occurrences of the Tuff in the northwestern area of Cheju Island.

## (2)서귀포층 (SGF)

이 지역에서 서귀포층은 D-123, D-52, D-280, B-94, B-95, F-9 등지에서 확인된다. 이들중 D-123, D-52, F-9 에서는 본층이 해수면하에서 D-280, B-94, B-95 에서는 해수면상에 분포한다(Table 4, Fig 14). 전자는 해발고도 70~40m 지역이며, 후자는 220m~312m 지역이다. 이 층의 두께는 하부가 확인된 D-123, D-52, F-9 지점에서 각각 28.5m, 8.5m, 8m이다. 서귀포층의 위치는 D-280 지점을 제외하고는 해발고도의 변화와 거의 일치한다. 한편 이 지역에서 서귀포층은 F-9(구엄) 과 A(광령)를 있는 선을 경계로 서쪽지역에서만 분포하고 동쪽지역에서는 분포하지 않는 특징이 있다. 또한 D-280 지점의 지형은 지질주상도에서 확인된 것과같이 (Fig 12), FOB용암이 6 회 분출한후 금오름이 분출하면서 주변 지역의 지반을 융기시키고, 화산쇄설층을 퇴적시켜 지형의 고도가 높아진 것으로 해석이 된다. 구엄(F-9)지점을 제외하고 모든 지점에서 서귀포층은 FOB에 의해 피복되어 있다. D-280 지점에서 이 층의 하부에 FOB 가 분포하는 것은 중요한 의미를 갖는다.

Table 4. Altitude of occurrence and thickness of SGF and the types of over- and underlying strata in the northwestern area.

| Boring site | Bore hole No. | Altitude (m) | Boring depth (m) | Occurrence altitude(m) |       | Thickness (m) |     | Number of occurrence | Overlying strata | Underlying strata |
|-------------|---------------|--------------|------------------|------------------------|-------|---------------|-----|----------------------|------------------|-------------------|
|             |               |              |                  | Max                    | Min   | Max           | Min |                      |                  |                   |
| Yongsu      | D-123         | 20           | 100              | -38                    | -51.5 | 28.5          | 9   | 2                    | PS               |                   |
| Chosu       | D-52          | 70           | 125              | -46.5                  |       | 8.5           |     | 1                    | FOB              |                   |
| Kumak       | D-280         | 312          | 320              | 26                     |       | 21            |     | 6                    | FOB              | FOB               |
| Kumak       | B-94          | 225          | 255.2            | 70.8                   |       | 83.8          |     | 1                    | FOB              | OAB               |
| Eoum        | B-95          | 220          | 223.9            | 90.4                   |       | 93.9          |     | 1                    | FOB              | OAB               |
| Kueom       | F-9           | 40           | 108              | -25                    | -67   | 8             | 1   | 5                    | T                |                   |

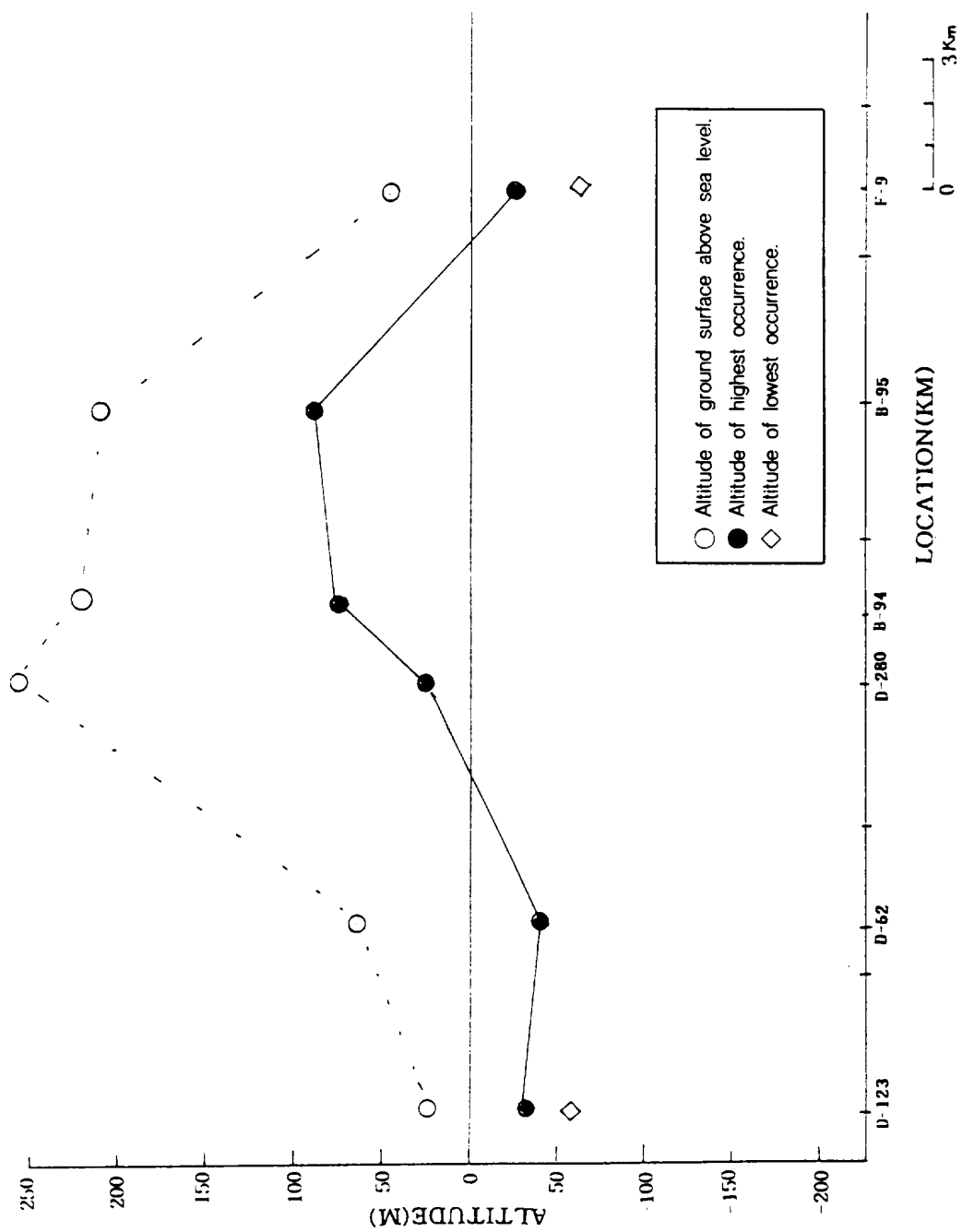


Fig. 14. Distribution and altitude of the highest and lowest occurrences of the Seogwipo Formation in the northwestern area of Cheju Island.

### (3) 고토양층 (PS)

이 층의 분포는 서부용수(D-123)에서 동부인 노형(D-214) 까지 전 지역에 분포하며 1~5개층이 확인된다(Table 5, Fig 15). D-123(-50.5m), D-52(-16m), D-26(-4.69m), F-9(-1m), F-56(-16m), D-218(-13.7m),D-214(-24m)에서는 최하위 고토양층이 해수면하에 분포한다. 해수준면하 평균 분포고도는 (-)17.6m이며 해수준면상의 평균분포 고도는 77.3m 이다.

고토양층을 덮고있는 암층은 서귀포층, 침상장석감람석현무암, 장석현무암, 조면암, 비현정질현무암 등 다양하다. 최하위의 고토양층은 두께가 0.5m~3.1m 이다. 고토양층의 심도는 지표면 지형의고도 변화와 거의 일치한다.

Table 5. Altitude of occurrence and thickness of paleosols and the types of over- and underlying strata in the northwestern area.

| Boring site | Bore hole No. | Altitude (m) | Boring depth (m) | Occurrence altitude(m) |       | Thickness (m) |     | Number of occurrence. | Overlying strata | Underlying strata |
|-------------|---------------|--------------|------------------|------------------------|-------|---------------|-----|-----------------------|------------------|-------------------|
|             |               |              |                  | Max                    | Min   | Max           | Min |                       |                  |                   |
| Yongsu      | D-123         | 20           | 100              | 9.7                    | -50.5 | 1.1           | 0.5 | 3                     | SGF              | SGF               |
| Chosu       | D-52          | 70           | 125              | -16                    |       | 3             |     | 1                     | FOB              | FOB               |
| Kumak       | D-280         | 312          | 320              | 278                    |       | 6             |     | 1                     | FOB              | PC                |
| Sangdea     | F-28          | 109          | 130              | 68                     | 40.8  | 3             | 2.2 | 2                     | FOB              | FOB               |
| Kwideok     | D-26          | 60.81        | 101              | -4.69                  |       | 4.5           |     | 1                     | PAB              | FOB               |
| Kwakji      | 29            | 50           | 90               | 0                      |       | 2             |     | 1                     | PAB              | FOB               |
| Eoum        | B-95          | 220          | 223.7            | 136.5                  | 5.7   | 10.7          | 3.1 | 2                     | FOB              | FOB               |
| Sangga      | D-18          | 93           | 117              | 66                     | -1.7  | 2             | 0.4 | 3                     | FOB              | FOB               |
| Kueom       | F-9           | 40           | 108              | 17                     | -1    | 5.2           | 2   | 2                     | FBI              | FOB               |
| Hagwi       | F-56          | 77           | 121              | 75                     | -16   | 5             | 1   | 5                     | PC               | PC                |
| Kwangryeong | D-218         | 185          | 201              | 64                     | -13.7 | 3.7           | 1.8 | 2                     | T                | T                 |
| Hean        | D-248         | 196          | 220              | 64                     | 56    | 1             | 0.5 | 2                     | APB              | FB                |
| Nohyeong    | D-214         | 104          | 129              | 73.5                   | -24   | 3.5           | 1   | 5                     | FB               |                   |

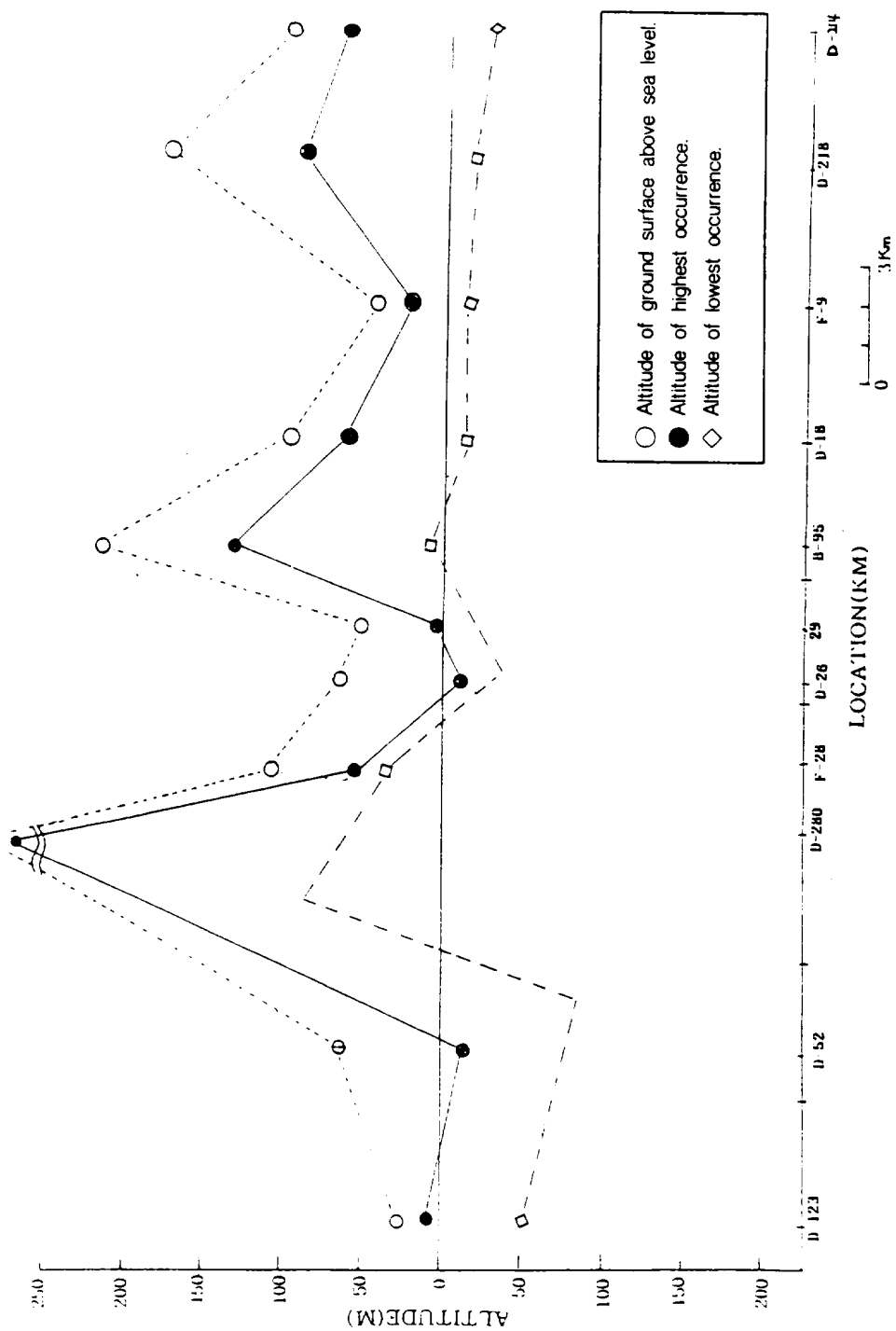


Fig. 15. Distribution and altitude of the highest and lowest occurrences of the paleosols in the northwestern area of Cheju Island.

#### (4) 성산층 (SSF)

이 층은 지표에서 당산봉, 고내봉, 파군봉, 도두봉 부근에 분포한다. 최하부의 분포심도는 D-221(17m), 88-W(-50m), F-72(-44m), 31(37m)이며, 그 두께는 각각 125m, 10m, 11m, 7m 이다. 이 층의 하부에는 PFB, PS 층이 있고, 상부에는 PS, FOB, PFB 등이 피복되어 있다(Table 6, Fig 16).

Table 6. Altitude of occurrence and thickness of SSF and the types of over- and underlying strata in the northwestern area.

| Boring site | Bore hole No. | Altitude (m) | Boring depth (m) | Occurrence altitude(m) |     | Thickness (m) |     | Number of occurrence | Overlying strata | Underlying strata |
|-------------|---------------|--------------|------------------|------------------------|-----|---------------|-----|----------------------|------------------|-------------------|
|             |               |              |                  | Max                    | Min | Max           | Min |                      |                  |                   |
| Phanpo      | D-221         | 45           | 153              | 17                     |     | 125           |     | 1                    | FOB              | PS                |
| Sangdea     | 88-W          | 109          | 130              | -50                    |     | 10            |     | 1                    | PS               |                   |
| Phanpo      | F-72          | 35           | 90               | -44                    |     | 11            |     | 1                    | PS               |                   |
| Sangga      | 31            | 132          | 170              | 37                     | 20  | 7             | 6   | 2                    | PFB              | PFB               |

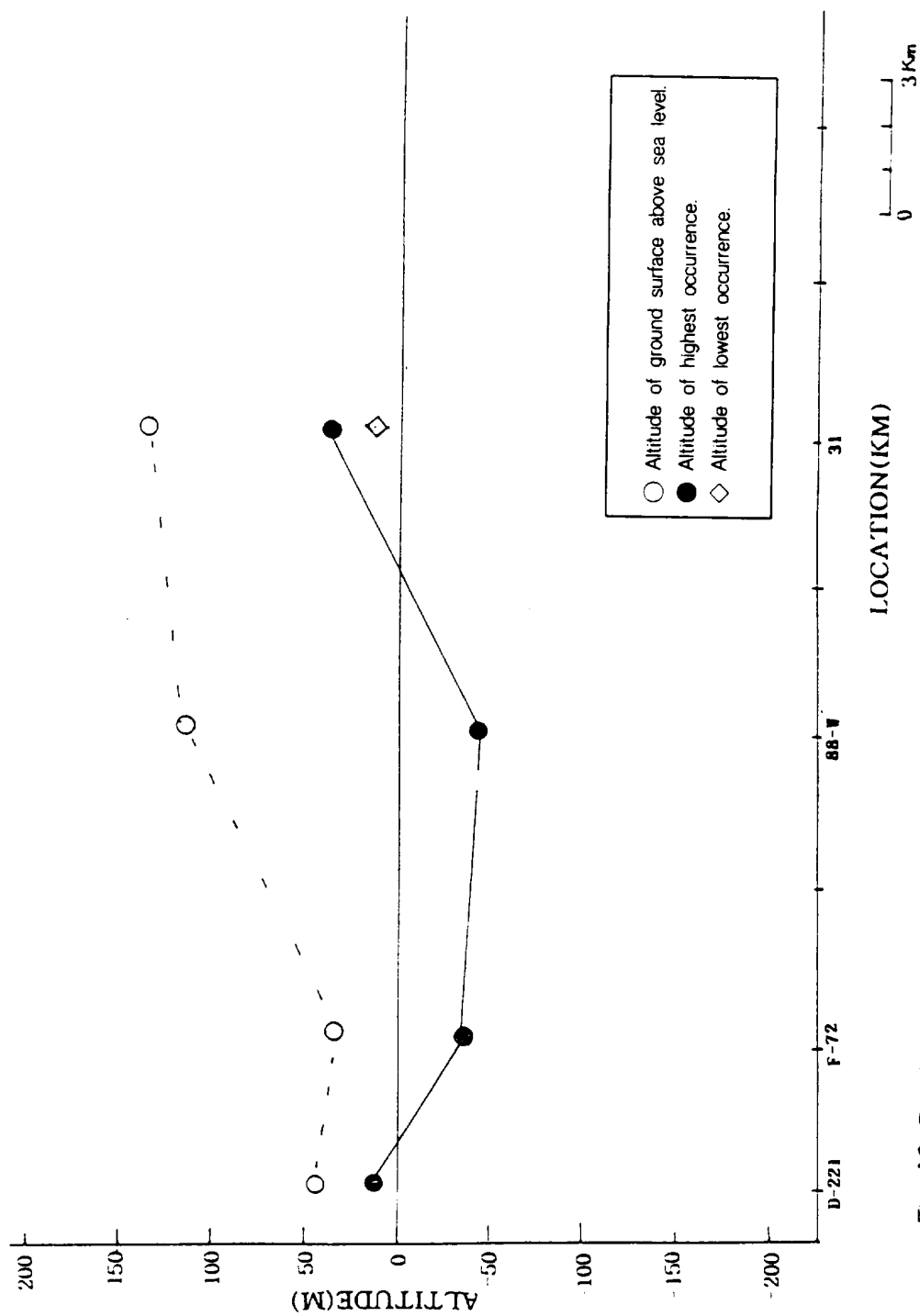


Fig. 16. Distribution and altitude of the highest and lowest occurrences of the SSF in the northwestern area of Cheju Island.

## 2) 화산암류

### (1) 감람석 휘석 현무암 (OAB)

이 지역에서 분암은 서귀포층 하부 금악(B-94)에서 (-)12.8m에 분포한다. 따라서 이 층은 기저 현무암으로 분류한다. 그 밖에 어음(B-95)(-)3m, 동명(D-33)(-)3.5m에서도 확인된다. 이 암층의 최하부는 시추자료서에 확인되지 않아 두께는 알수 없다. 시추자료에서 확인된 두께는 약 3~20m 이다. 이 암석의 K-Ar 연령은 1.20Ma~0.94Ma 이다. 한편 판포에서 서귀포층하부의 지하 144~152m사이 분포하는 현무암 K-Ar 연령은  $2.22\text{Ma} \pm 0.16\text{Ma}$ (1991.澤田제주도 특정지구 보고서 한국과학 재단)이다.

### (2) 침상장석감람석현무암 (FOB)

이 암층은 D-123, D-115, D-52, D-280, B-94, B-95지점에서 서귀포층을 바로 피복하고 있다. 이 층의 분포심도는 D-123(용수) D-115(용수) 등과 같이 해안지역에서는 해수면 아래이지만 B-95(어음) B-94(금악) 지역에서는 해수면 위이다. 한편 이 층은 서귀포층의 분포와 유사하게 F-9 (구엄)을 경계로 하여 서쪽지역에만 하부 FOB가 분포하고, 동쪽지역에는 분포하지 않은 특징이 있다.(Table 7, Fig 17)

Table 7. Altitude of occurrence and thickness of FOB and the types of over- and underlying strata in the northwestern area.

| Boring site | Bore hole No. | Altitude (m) | Boring depth (m) | Occurrence  |      | Thickness (m) |     | Numbere of occurrence | Overlying strata | Underlying strata |
|-------------|---------------|--------------|------------------|-------------|------|---------------|-----|-----------------------|------------------|-------------------|
|             |               |              |                  | altitude(m) |      |               |     |                       |                  |                   |
|             |               |              |                  | Max         | Min  | Max           | Min |                       |                  |                   |
| Yongsu      | D-123         | 20           | 100              | 20          | -29  | 19            | 9   | 4                     | PC               | SGF               |
| Kumak       | D-280         | 312          | 320              | 312         | -3   | 9             | 3.3 | 14                    | SGF              |                   |
| Sangdea     | F-28          | 109          | 130              | 108         | 23.5 | 14            | 2   | 10                    | PC               | PC                |
| Eoum        | B-95          | 220          | 223.7            | 220         | 101  | 21.6          | 5.2 | 10                    | PS               | SGF               |
| Sangga      | D-18          | 93           | 117              | 17.7        | -11  | 13            | 7   | 4                     | PC               |                   |
| Kwangryeong | A             | 335          | 523              | 335         |      | 335           |     | 1                     |                  | APB               |
| Kumak       | B-94          | 225          | 255.2            | 225         | 94   | 80            | 10  | 4                     | PS               | SGF               |

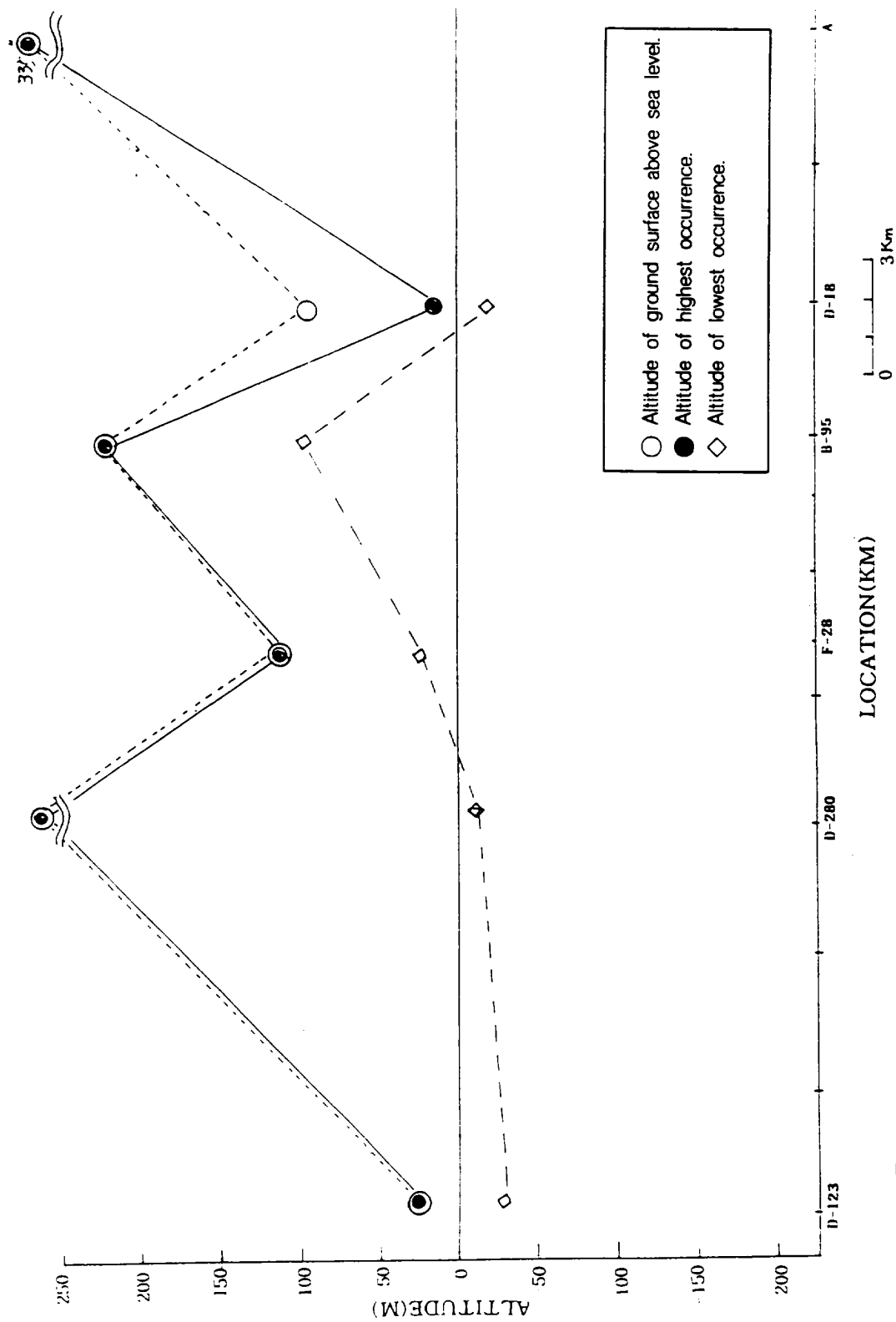


Fig. 17. Distribution and altitude of the highest and lowest occurrences of the FOB in the northwestern area of Cheju Island.

### (3) 장석 현무암(FB)

이 암석의 분포는 전 지역에서 해수준면상에 분포한다.

두께는 최고 29.3m(D-218)이다. 분출횟수는 11회(D-218)가 최고이며 상하위층에는 화산쇄설층과 고토양층이 분포한다. 해수준면상 평균 분출고도는 86m이다. (Table 8, Fig 18)

Table 8. Altitude of occurrence and thickness of FB and the types of over- and underlying strata in the northwestern area.

| Boring site | Bore hole No. | Altitude (m) | Boring depth (m) | Occurrence altitude(m) |      | Thickness (m) |     | Number of occurrence | Overlying strata | Underlying strata |
|-------------|---------------|--------------|------------------|------------------------|------|---------------|-----|----------------------|------------------|-------------------|
|             |               |              |                  | Max                    | Min  | Max           | Min |                      |                  |                   |
| Sangga      | D-18          | 93           | 117              | 43                     | 35   | 16.5          | 4   | 2                    | PC               | PS                |
| Kuem        | F-9           | 40           | 108              | 35.5                   | 7    | 14            | 2   | 5                    | PS               | PS                |
| Hagwi       | F-56          | 77           | 121              | 76.5                   |      | 1.5           | 1.5 | 7                    | PC               |                   |
| Kwangryeong | D-218         | 185          | 201              | 184.5                  | 49.5 | 29.3          | 2   | 11                   | SOL              | PC                |
| Nohyeong    | D-214         | 104          | 129              | 92                     | 34   | 13            | 2.5 | 5                    | PC               | PS                |

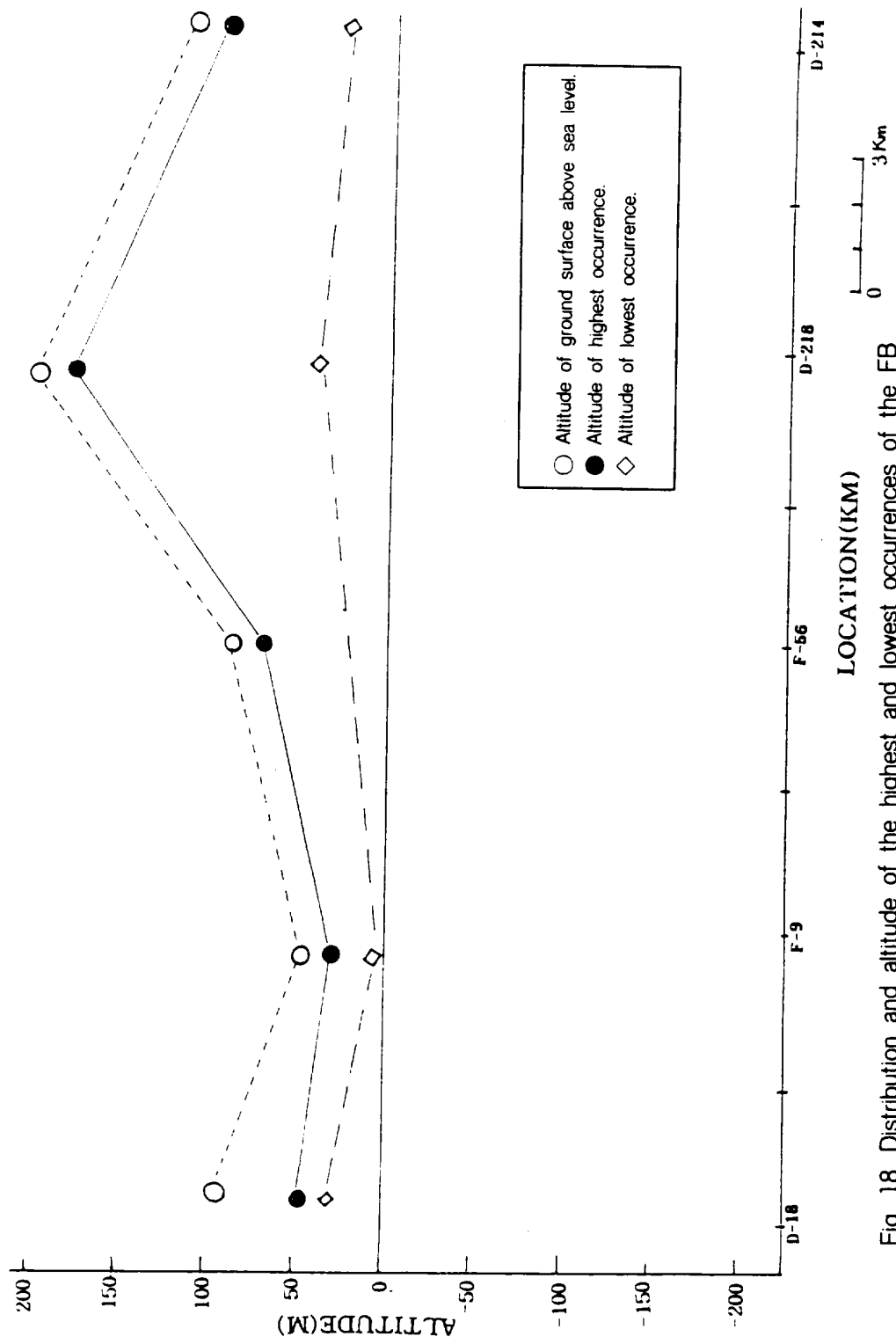


Fig. 18. Distribution and altitude of the highest and lowest occurrences of the FB in the northwestern area of Cheju Island.

#### (4) 조면암 (T)

이 지역에서 해수면하의 하부층에서 조면암의 분포는 보고가 없다. 조면암은 F-9(-51m), D-218(-15.5m), D-248(9m), D-231(17m)에 한정된 지역에 분포하며 그 두께는 최고 15~36m, 최저 0.1~6m이다. F-9(구엄)에서는 이 층의 상·하위에 서귀포층이 분포하며 남사면의 서귀포시 서흥, 동흥, 남성동 일대에서 해수면하에 분포하는 조면암과 대비된다.

이 암층의 최상부분포고도는 현지형 고도 변화와 거의 일치한다. 한편 구엄에서는 구엄해안에, 소길과 향파두리 및 광령계곡 등지에서 조면암계통과 유사한 암층을 관찰할 수 있다. 각 지역에서 지형의 형태가 돛 형태인 것으로 보아 하부에서 이 암층은 돛형태일 가능성이 있다.

특히 조면암은 구엄(F-9)를 경계로하여 동쪽에만 분포한다(Table 9 Fig 19).

이 지역에서 구엄(F-9)을 경계로 하여 동쪽 광령(A)으로는 조면암이 분포하고 이 지역의 동쪽에서 하와이아이트(조면암, 비현정질현무암)하부에서 세화리층을 일도 대림아파트 지하수개발공(봉개 서북쪽) 해수준면하 -40m 지점에서 미고결 상태의 패각이 함유된 퇴적층 코어(주 진산제공 : 1995)를 필자는 확인했다.

Table 9. Altitude of occurrence and thickness of T and the types of over- and underlying strata in the northwestern area.

| Boring site | Bore hole No. | Altitude (m) | Boring depth (m) | Occurrence altitude(m) |       | Thickness (m) |     | Number of occurrence | Overlying strata | Underlying strata |
|-------------|---------------|--------------|------------------|------------------------|-------|---------------|-----|----------------------|------------------|-------------------|
|             |               |              |                  | Max                    | Min   | Max           | Min |                      |                  |                   |
| Kueom       | F-9           | 40           | 108              | -27                    | -51   | 16            | 1   | 5                    | SGF              | SGF               |
| Kwangryeong | D-218         | 185          | 201              | 32                     | -15.5 | 22            | 0.5 | 3                    | PS               |                   |
| Hean        | D-248         | 196          | 220              | 143                    | 9     | 15            | 6   | 4                    | FB               | PC                |
| Sogil       | D-231         | 198          | 220              | 102                    | 17    | 36            | 17  | 2                    | PC               |                   |

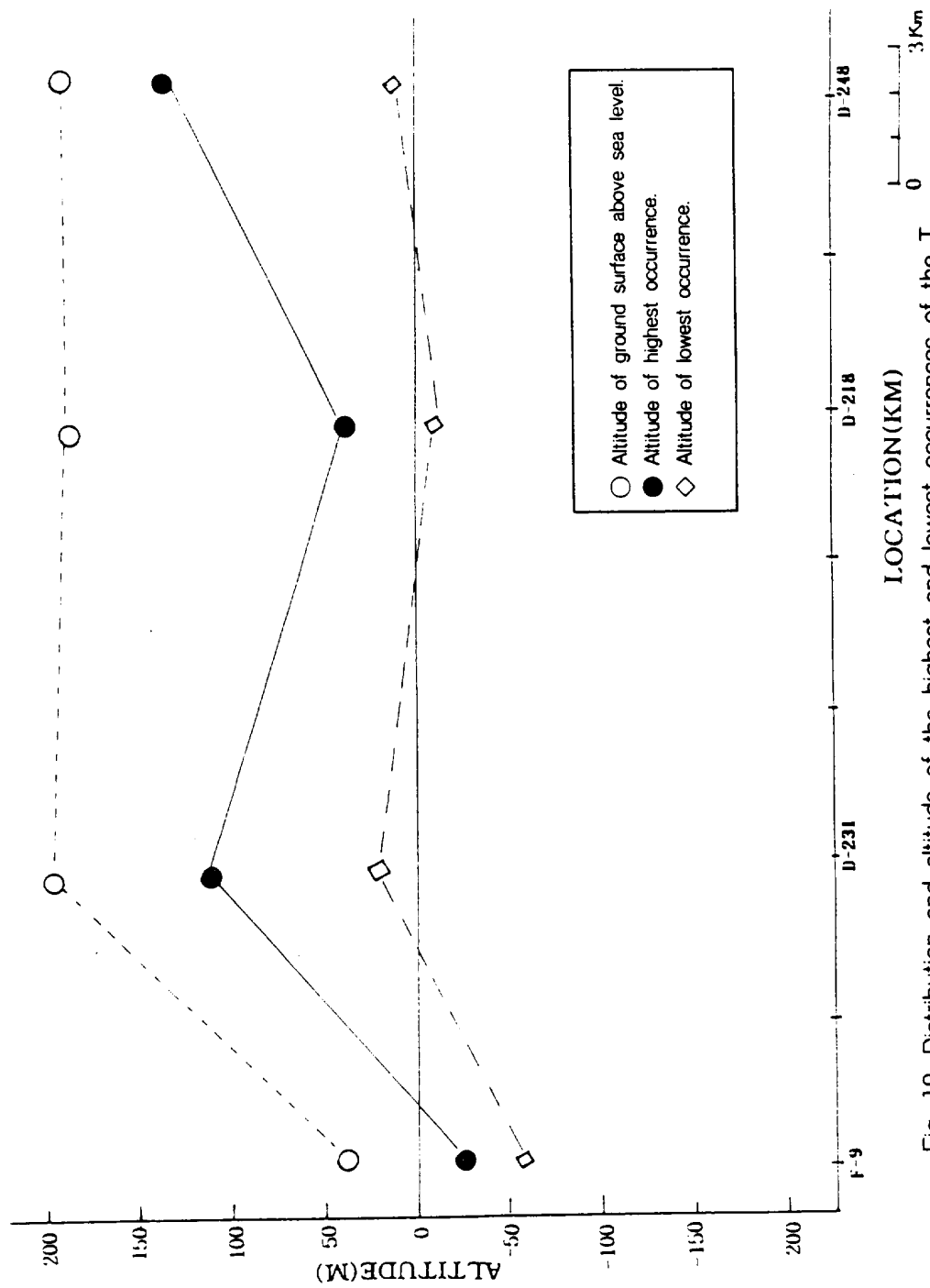


Fig. 19. Distribution and altitude of the highest and lowest occurrences of the T in the northwestern area of Cheju Island.

### 3-2. 북동부 지역

#### 3-2-1. 일반지질

이 지역의 퇴적층(암)은 사라봉(104m) 화북동(92m) 두산봉(92m) 소머리오름(118m) 등이 성산층이 있다. 응회암(기저), 미고결층, 고토양층 등이 하부 또는 지표에 분포하며 화북봉과 사라봉 기슭사이에는 제주도 기저에 분포하고 있는 화강암과 대비되는 화강암편들이 포획암으로 대량 나타난다.

화산암류는 침상장석감람석현무암이 제주시 화북동주원 부근과 조천, 김녕, 세화 지역에 넓게 분포한다. 비현정질 현무암이 와산, 선흘과 시흥리와 종달리 부근에 분포하며 장석현무암은 제주시 동부지역인 물장울 오름부근에 분포한다. 반상휘석현무암은 삼양지역의 중산간지대에, 반상장석현무암은 고산지대에 분포한다. 분석구로는 월라봉(108m) 서우봉(98m), 돈지봉(106m) 높은오름(150m) 묘산봉(65m) 삼의양오름(103m) 지미봉(106m) 화산쇄설층과 용암층으로 이루어져 있다.

사구층은 삼양, 함덕, 김녕, 월정, 세화, 종달 등의 해안지역에 분포하며 이들 중 삼양 사구층만이 화산사 화산회로 구성된 흑사구층이며, 그밖의 사구층은 주로 패각사로 이루어진 백사구층이다(Fig 20,21).

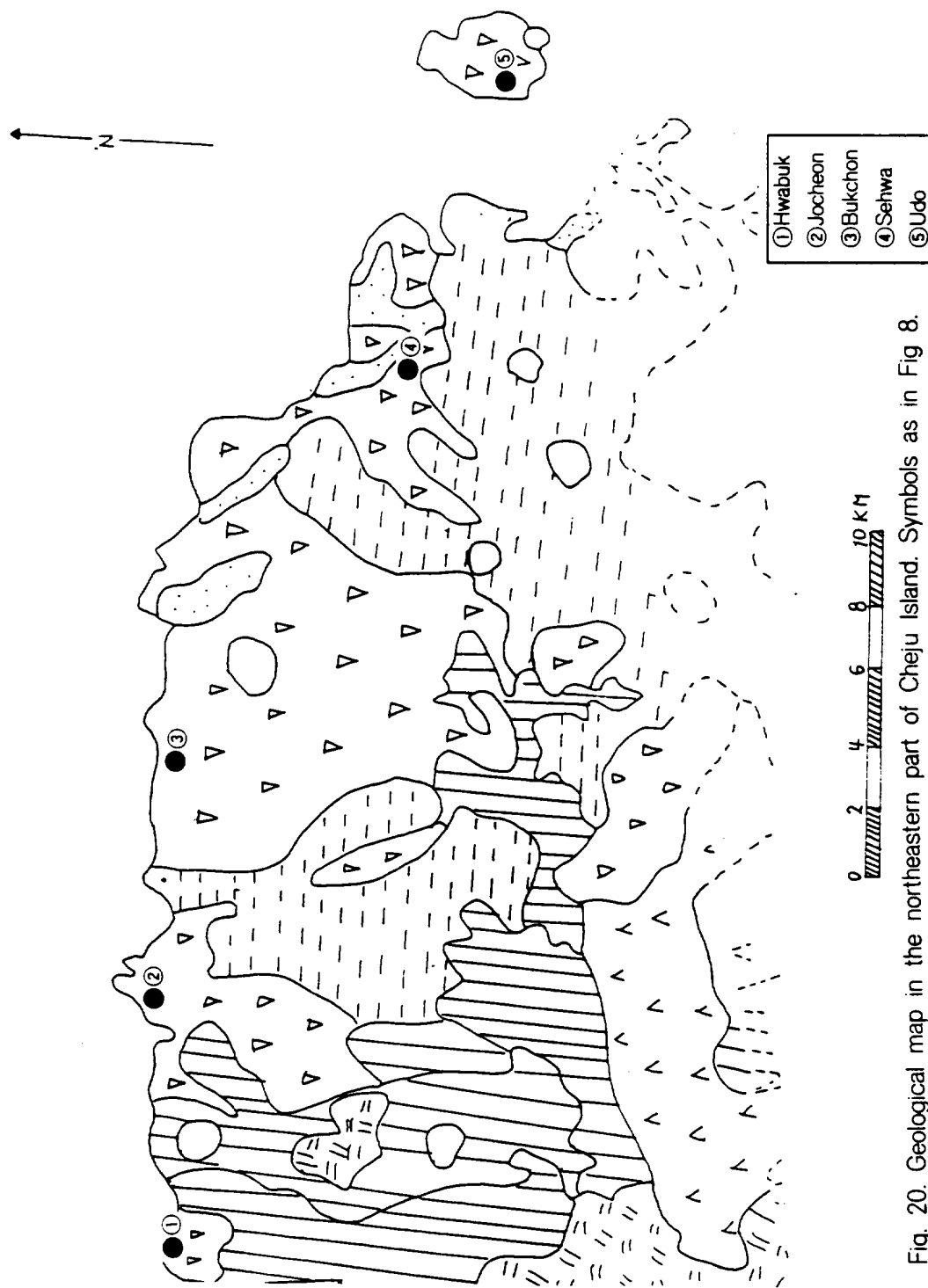
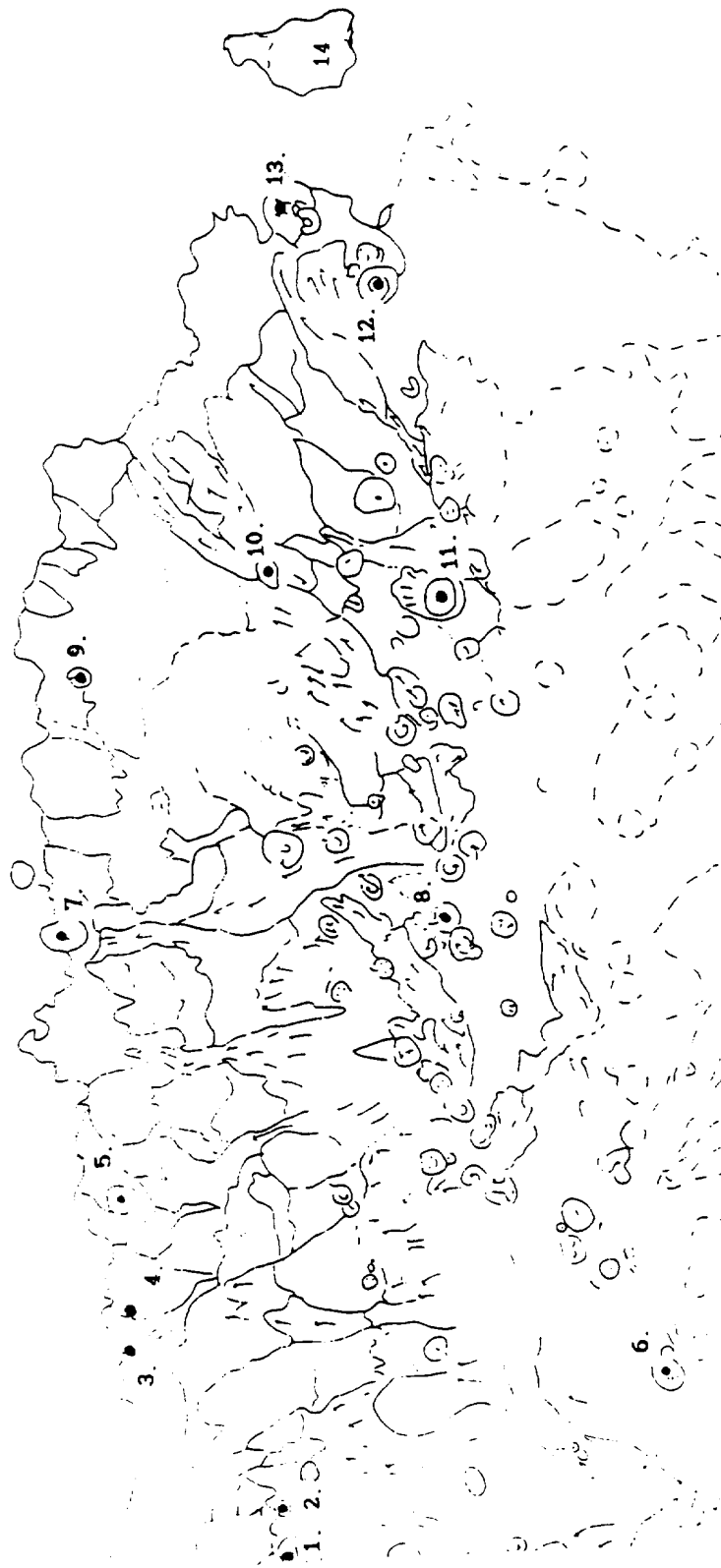


Fig. 20. Geological map in the northeastern part of Cheju Island. Symbols as in Fig 8.



1.Namjosunorun 2.Minorum 3.Sarabong 4.Hwabukbong 5.Wondangbong 6.Samuiyang 7.Seoubong  
8.Cheorun 9.Yipsanbong 10.Tunjibong 11.Nopunorum 12.Tusanbong 13.Chimibong 14.Someoriorun

Fig. 21. Lava flow directions in the northeastern part of Cheju Island (Lee, 1987).

### 3-2-2. 암석층서

이 지역에서 선별된 시추공위치는 Fig 22와 같으며, 각지점에서 시추공지질주상도와 자료는 각각 Fig 23 과 Table 10과 같다.

Table 10. Bore hole data in the northeastern divided area.

| A<br>r<br>e<br>a | Boring site | Bore<br>hole<br>No. | Altitude<br>(m) | Boring<br>depth | A<br>r<br>e<br>a | Boring<br>site | Bore<br>hole<br>No. | Altitude<br>(m) | Boring<br>depth |
|------------------|-------------|---------------------|-----------------|-----------------|------------------|----------------|---------------------|-----------------|-----------------|
|                  |             |                     |                 |                 |                  |                |                     |                 |                 |
| N                | Yeondong    | D-150               | 150             | 144             | N                | Teokcheon      | B-96                | 130             | 158.5           |
|                  | Yeondong    | D-166               | 120             | 156             |                  | Teokcheon      | ROS                 | 120             | 1500            |
|                  | Yeondong    | K                   | 130             | 700             |                  | Teokcheon      | B-77                | 230             | 243.2           |
|                  | Ora         | D-261               | 202             | 240             |                  | Songdang       | D-50                | 200             | 180             |
|                  | Yeondong    | D-238               | 192             | 220             |                  | Songdang       | C-6                 | 210             | 903             |
|                  | Ora         | D-91                | 80              | 112             |                  | Teokcheon      | D-265               | 240             | 270             |
|                  | Odungdong   | D-272               | 260             | 265             |                  | Pyeongdega     | 10                  | 132             | 150             |
|                  | Odungdong   | D-133               | 140             | 150             |                  | Songdang       | C-4                 | 210             | 960             |
|                  | Ora         | D-216               | 202             | 240             |                  | Songdang       | C-3                 | 211             | 904             |
|                  | Yeongpyeong | D-204               | 230             | 230             |                  | Songdang       | C-5                 | 214             | 850             |
|                  | Ponggea     | C                   | 300             | 170             |                  | Songdang       | C-1                 | 178             | 680             |
|                  | Ponggea     | D-127               | 140             | 180             |                  | Sehwa          | C                   | 180             | 680             |
|                  | Myeongdoam  | 4                   | 250             | 226             |                  | Chongdal       | D                   | 21              | 700             |
|                  | Hwecheon    | 5                   | 225             | 230             |                  | Chongdal       | E                   | 15              | 603             |
|                  | Shinchon    | B                   | 39              | 125             |                  | Chongdal       | D-200               | 52              | 72              |
|                  | Shinchon    | D-78                | 35              | 62              |                  | Udo            | B-130               | 37              | 38.5            |
|                  | Waheul      | F-71                | 215             | 250             |                  | Udo            | B-131               | 30              | 32              |
|                  | Wasan       | D-232               | 195             | 220             |                  | Udo            | B-129               | 10              | 65              |
|                  | Seonheul    | 8                   | 90              | 117             |                  |                |                     |                 |                 |

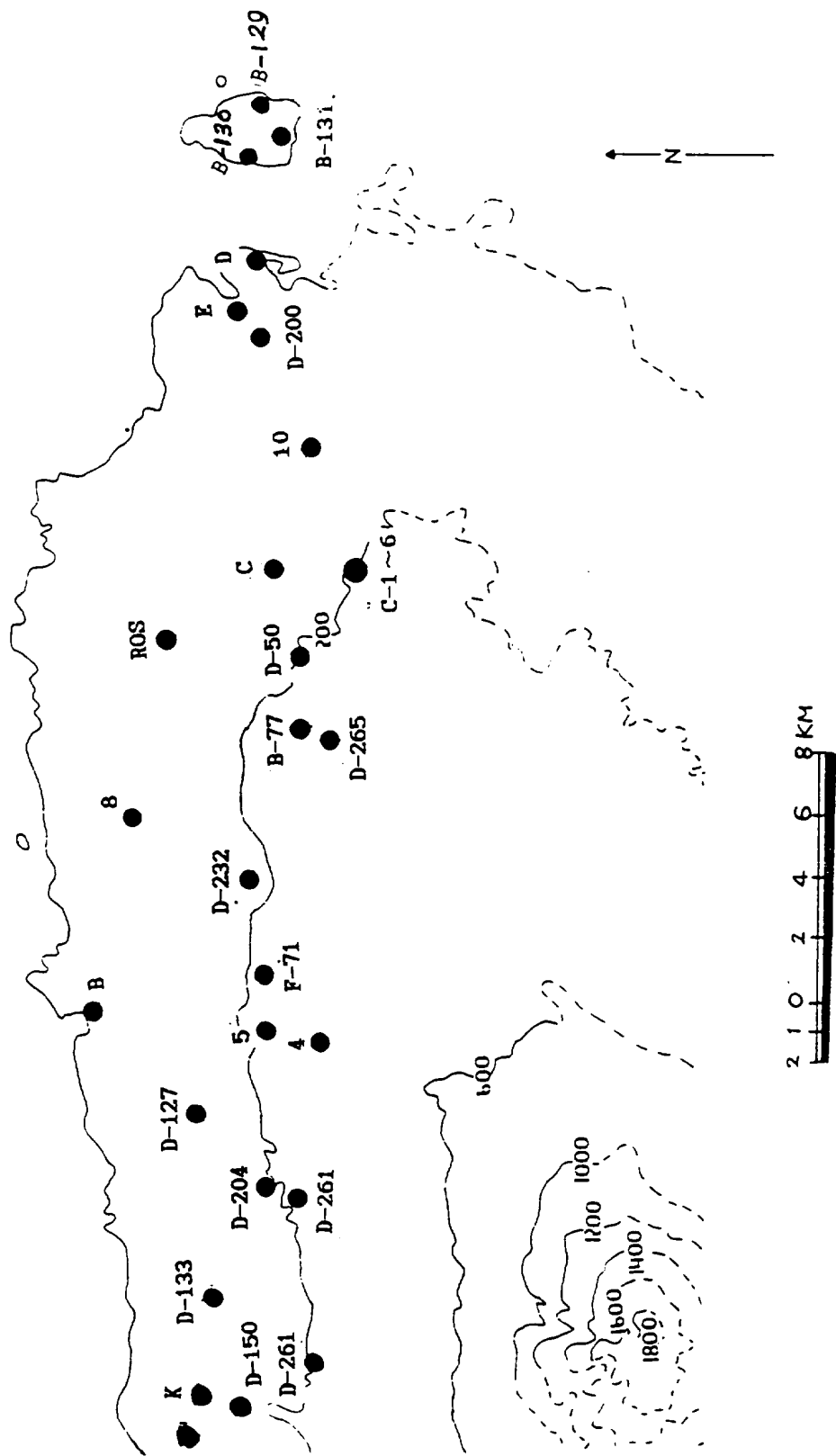


Fig. 22. Location map of boring sites in the northeastern area of Cheju Island.



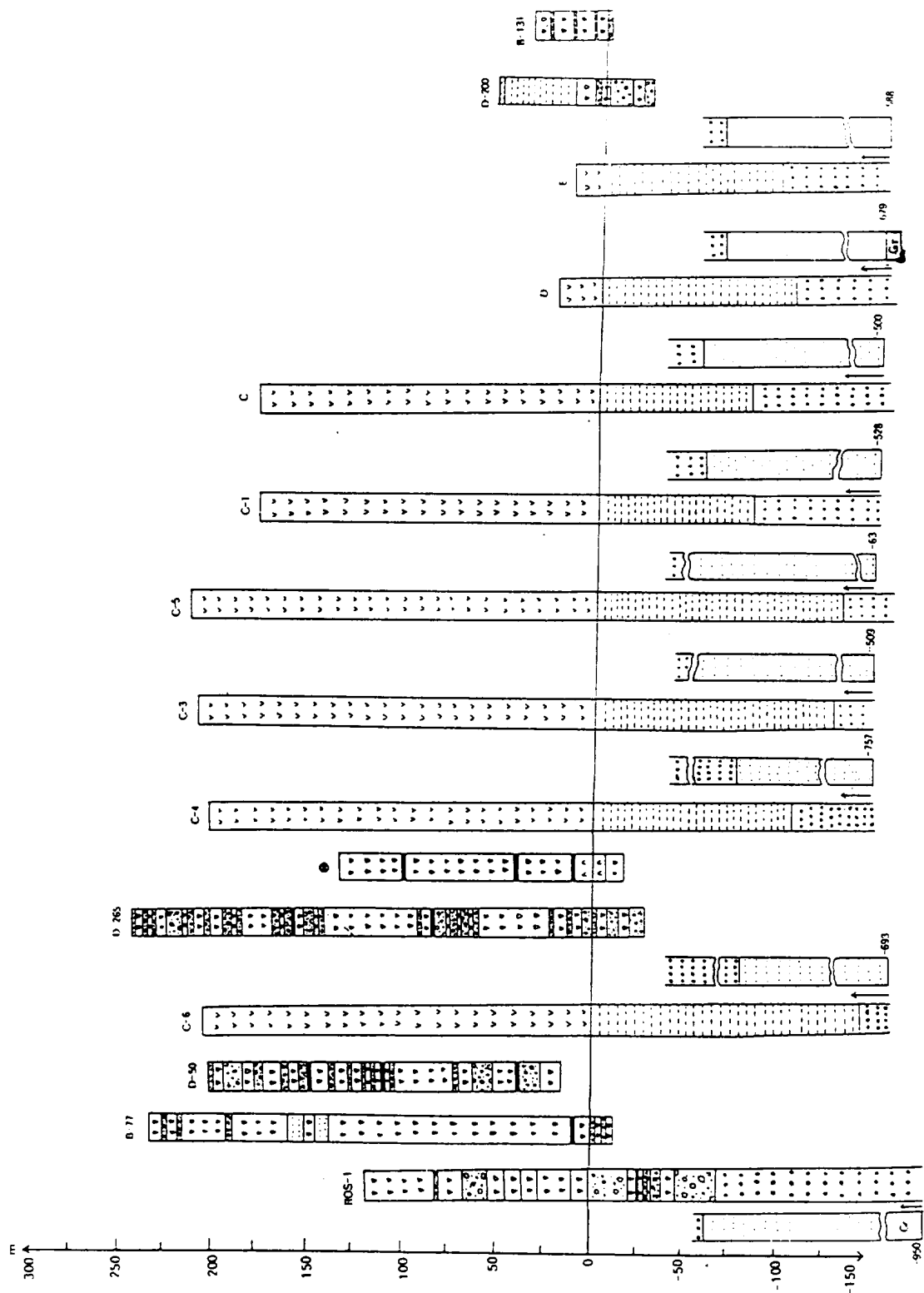


Fig. 23. Continued

## 1) 화강암 (Gr)

이 지역의 연동(K)에서 (-)321m에서 시추종료 (-700m)까지 화강암이 분포(두께 약 339m)하며, 상위에는 TUFF층이 피복(두께 41m)하고 있다. 또한 종달에서는 (-)687m에서부터 분포하며, 하덕천(러시아인 지열개발, 표고 120, 심도1500m)에서는 약 (-)950m에서 시추종료까지 화강암이 확인된다. 하덕천에서 확인된 화강암이 K-Ar 연령측정 값은  $66.4\text{Ma} \pm 1.7\text{Ma}$ (1996. 제주도 지열자원탐사연구Ⅲ.통상산업부. 한국자원연구소)이다. 한편 와흘(표고 265m) 시추공에서는 지하 약 180m에서 응회퇴적층 내에 기력의 화강암편이 표획된 것을 확인하였다.

## 2) 퇴적층(암)류

### (1) 응회암 (Tuff)

이 암석은 심부지질주상도 K, Ros, C-6, C-4, C-3, C-5, C-1, C-2, D, E 등에서 확인이 되며 이들의 평균 심부는 (-)230m 이다(Fig 23. 24. Table 11). 이들 암층 최고 두께는 519m(C-4)이며, 최저 두께는 41m(K)이며, 확인된 평균 두께는 약 300m이다. 이 지역에서는 이층을 세화리층이 피복하고 있으며, 이 층의 하위에는 K, Ros, D지역에서 화강암이 분포가 확인된다(Table 11, Fig 24).

Table 11. Altitude of occurrence and thickness of Tuff and the types of over-  
and underlying strata in the northeastern area.

| Boring site | Bore hole No. | Altitude (m) | Boring depth (m) | Occurrence altitude(m) |     | Thickness (m) |     | Number of occurrence | Overlying strata | Underlying strata |
|-------------|---------------|--------------|------------------|------------------------|-----|---------------|-----|----------------------|------------------|-------------------|
|             |               |              |                  | Max                    | Min | Max           | Min |                      |                  |                   |
| Yeondong    | K             | 130          | 700              | -190                   |     | 41            |     | 1                    | SHF              | Gr                |
| Teokcheon   | Ros-1         | 120          | 1500             | -177                   |     | 45            |     | 1                    | SHF              | Gr                |
| Songdang    | C-6           | 210          | 903              | -264                   |     | 429           |     | 1                    | SHF              |                   |
| Songdang    | C-4           | 203          | 960              | -234                   |     | 519           |     | 1                    | SHF              |                   |
| Songdang    | C-3           | 211          | 904              | -252                   |     | 257           |     | 1                    | SHF              |                   |
| Songdang    | C-5           | 214          | 850              | -244                   |     | 392           |     | 1                    | SHF              |                   |
| Songdang    | C-1           | 178          | 680              | -262                   |     | 240           |     | 1                    | SHF              |                   |
| Sehwa       | C             | 180          | 680              | -260                   |     | 240           |     | 1                    | SHF              |                   |
| Chongdal    | D             | 21           | 700              | -227                   |     | 452           |     | 1                    | SHF              | Gr                |
| Chongdal    | E             | 15           | 603              | -194                   |     | 394           |     | 1                    | SHF              |                   |

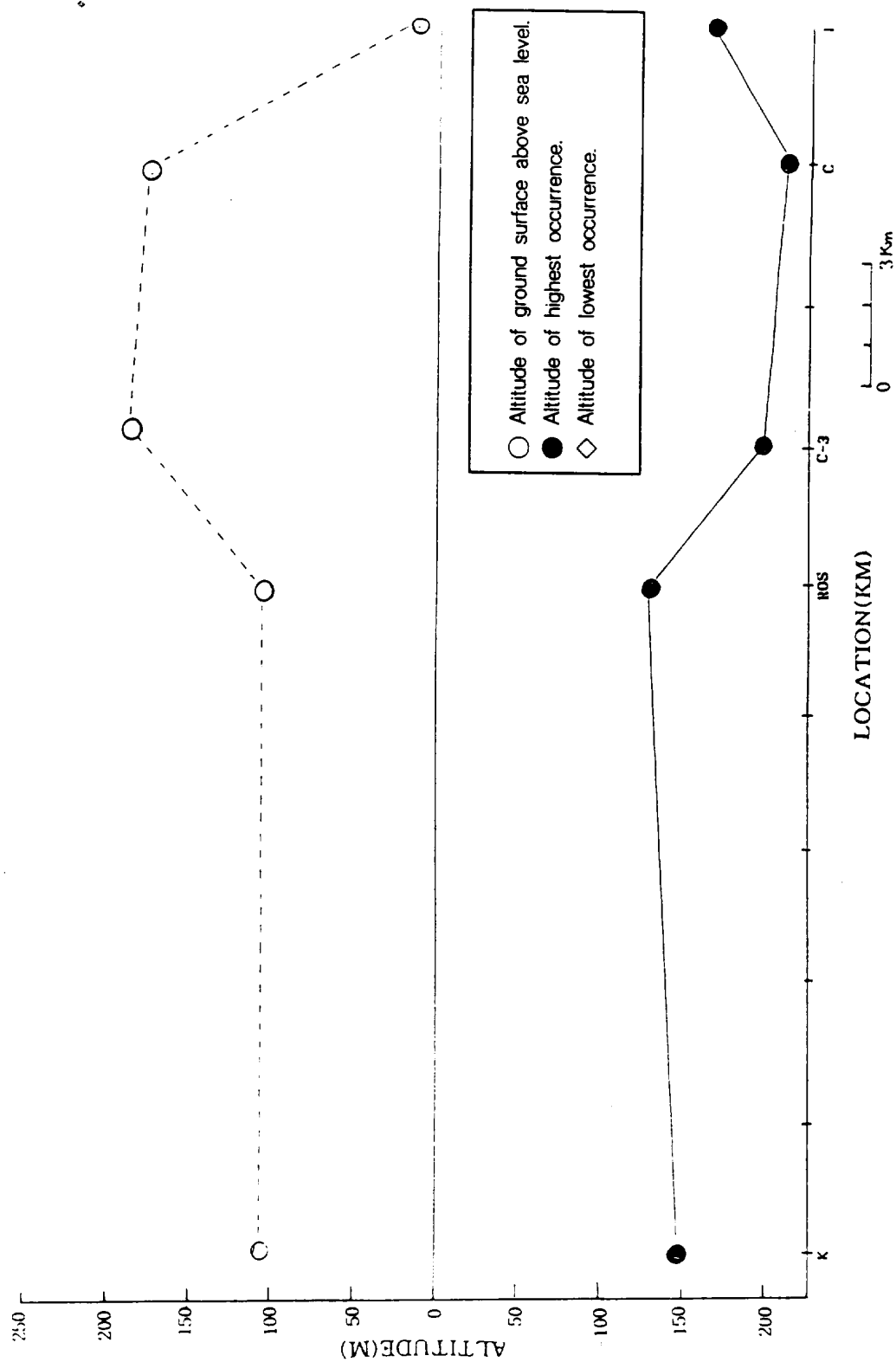


Fig. 24. Distribution and altitude of the highest and lowest occurrences of the Tuff in the northeastern area of Cheju Island.

## (2) 미고결층 (세화리층, SHF)

이 층은 지표에 분포하는 지역은 없으며 K, ROS, C-6, C-4, C-3, C-5, C-1, C, D, E 등의 하부에서 확인되며, 이들의 평균심부는 (-) 93.5m이다(Table 12, Fig 25) . 한편 각 지점에서 이 층의 하부암층은 응회암층이며, 상부 암층은 지역에 따라 PC, APB이다. 한편 제주도 이도동(표고 80m, 심도 140m)에서 해수준면(-) 40m 부근에서 세화리층(미고결층)이 분포한다(주 진산제공, 1995).

Table 12. Altitude of occurrence and thickness of SHF and the types of over- and underlying strata in the northeastern area.

| Boring site | Bore hole No. | Altitude (m) | Boring depth (m) | Occurrence altitude(m) |     | Thickness (m) |     | Number of occurrence | Overlying strata | Underlying strata |
|-------------|---------------|--------------|------------------|------------------------|-----|---------------|-----|----------------------|------------------|-------------------|
|             |               |              |                  | Max                    | Min | Max           | Min |                      |                  |                   |
| Yeondong    | K             | 130          | 700              | -124                   |     | 64            |     | 1                    | PC               | TUFF              |
| Teokcheon   | ROS-1         | 120          | 1500             | -78                    |     | 100           |     | 1                    | PC               | TUFF              |
| Songdang    | C-6           | 210          | 903              | -142                   |     | 122           |     | 1                    | APB              | TUFF              |
| Songdang    | C-4           | 203          | 963              | -117                   |     | 119           |     | 1                    | APB              | TUFF              |
| Songdang    | C-3           | 211          | 904              | -128                   |     | 124           |     | 1                    | APB              | TUFF              |
| Songdang    | C-5           | 214          | 850              | -133                   |     | 111           |     | 1                    | APB              | TUFF              |
| Songdang    | C-1           | 178          | 680              | -82                    |     | 180           |     | 1                    | APB              | TUFF              |
| Sehwa       | C             | 180          | 680              | -80                    |     | 180           |     | 1                    | APB              | TUFF              |
| Chongdal    | D             | 21           | 700              | -102                   |     | 125           |     | 1                    | APB              | TUFF              |
| Chongdal    | E             | 15           | 603              | -105                   |     | 89            |     | 1                    | APB              | TUFF              |

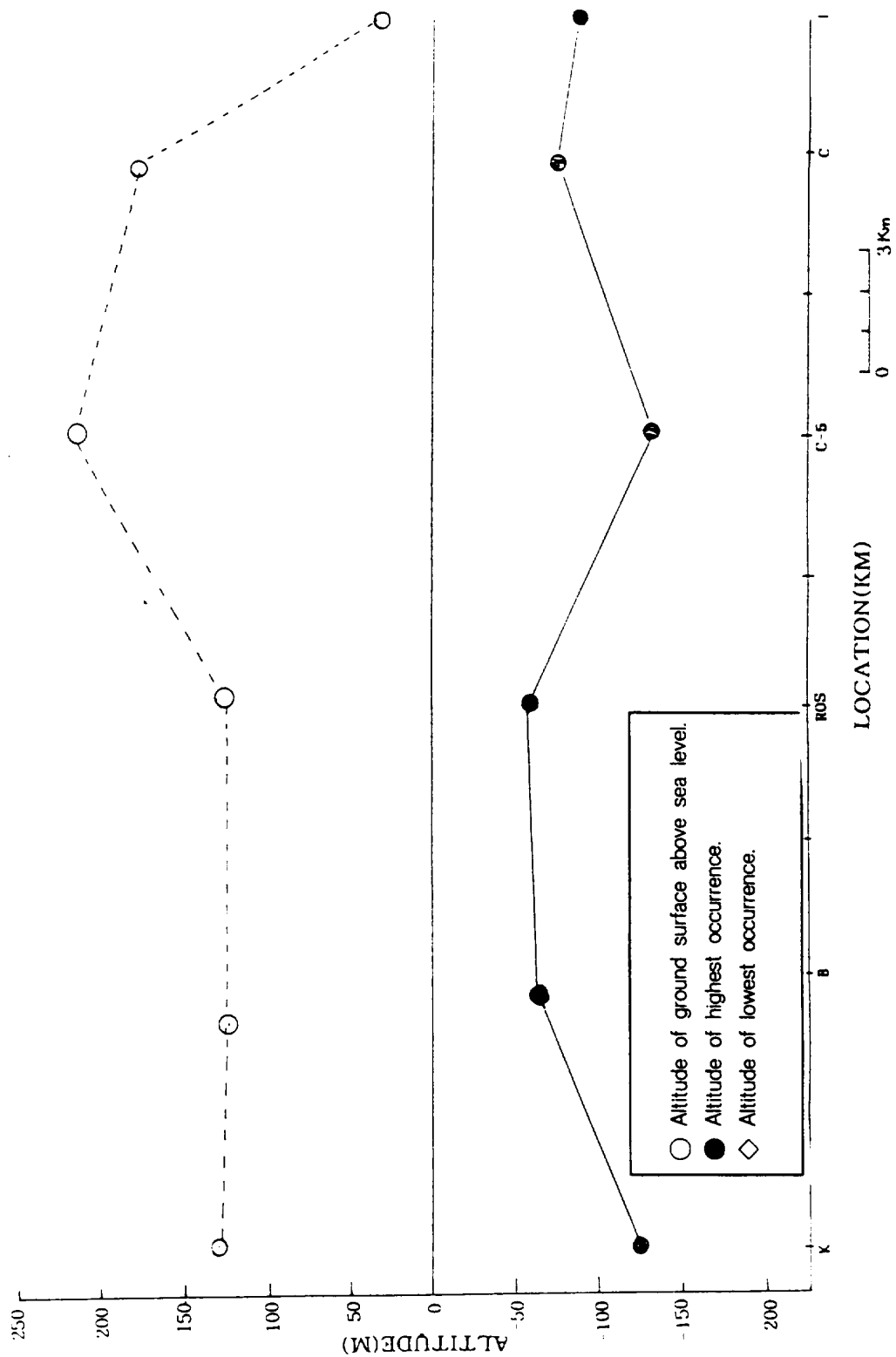


Fig. 25. Distribution and altitude of the highest and lowest occurrences of the SHF in the northeastern area of Cheju Island.

### (3) 서귀포층 (SGF)

이 지역에서는 D-204(영평) D-127(봉개) D-78(신촌) D-272(오동동) B-98(중동) B-96(덕천)에서 분포하며 D-127에서는 조면암이 상위층으로 피복하고 있으며 그 외 지역에서는 FOB가 피복하고 있다(Table 13, Fig 26). 평균분포 심도는 (-)17m이며, 시추가 층내에서 종료되어 두께는 알수 없다. 한편 B-96 에서는 이층의 하부에 OAB가 분포한다.

Table 13. Altitude of occurrence and thickness of SGF and the types of over- and underlying strata in the northeastern area.

| Boring site | Bore hole No. | Altitude (m) | Boring depth (m) | Occurrence altitude(m) |     | Thickness (m) |     | Number of occurrence | Overlying strata | Underlying strata |
|-------------|---------------|--------------|------------------|------------------------|-----|---------------|-----|----------------------|------------------|-------------------|
|             |               |              |                  | Max                    | Min | Max           | Min |                      |                  |                   |
| Yeongpyeong | D-204         | 230          | 230              | 20                     |     |               |     | 1                    | FOB              |                   |
| Bonggea     | D-127         | 140          | 180              | -22.5                  |     |               |     | 1                    | T                |                   |
| Sinchon     | D-78          | 35           | 62               | -24                    |     |               |     | 1                    | FOB              |                   |
| Odungdong   | D-272         | 260          | 265              | -2                     |     |               |     | 1                    | FOB              |                   |
| Jungdong    | B-98          | 200          | 231              | -20                    |     |               |     | 1                    | FOB              |                   |
| Deokcheon   | B-96          | 130          | 158              | -20                    |     |               |     | 1                    | FOB              | OAB               |

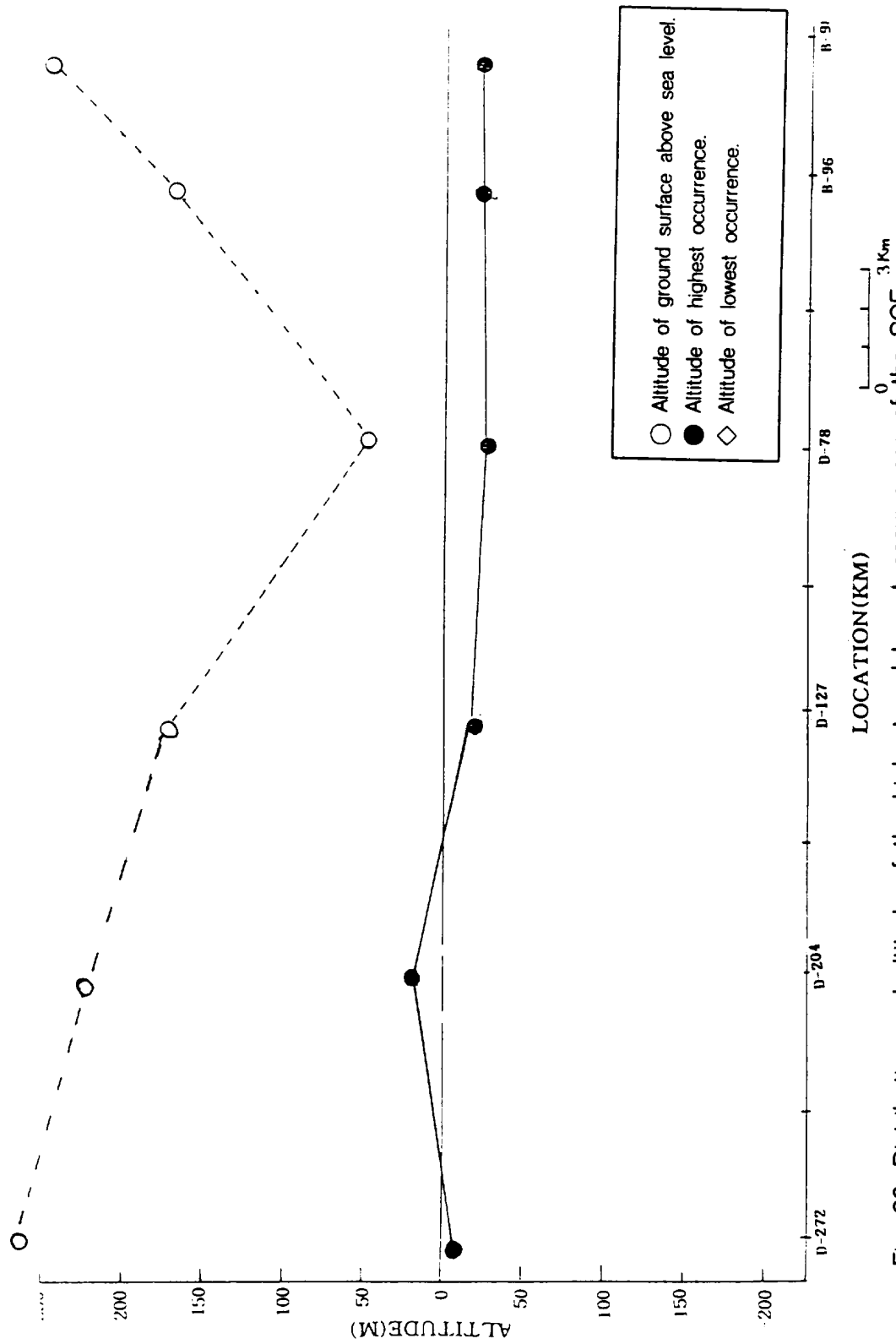


Fig. 26. Distribution and altitude of the highest and lowest occurrences of the SGF in the northeastern area of Cheju Island.

#### (4) 고토양층 (PS)

이 층의 분포는 이 지역의 전체에 분포하고 있으며 이 층의 상위와 하위층은 FOB가 대부분이며 D-133(오등동), D-127(봉개), 4(명도암), F-71(와홀)에서는 이 층의 상위와 하위에 조면암이 분포하며, 이들은 모두 동일 지역내에 있다(Table 14, Fig 27). 이 층의 해수준면하 평균 분포고도는 (-)20m이며 해수면상 평균 분포고도는 63m이다. 이 층의 수는 지역에 따라 다르지만 1~5회 정도이다. 이 층의 분포고도 변화는 지표지형변화와 거의 일치한다.

Table 14. Altitude of occurrence and thickness of PS and the types of over- and underlying strata in the northeastern area.

| Boring site | Bore hole No. | Altitude (m) | Boring depth (m) | Occurrence altitude(m) |      | Thickness (m) |     | Number of occurrence | Overlying strata | Underlying strata |
|-------------|---------------|--------------|------------------|------------------------|------|---------------|-----|----------------------|------------------|-------------------|
|             |               |              |                  | Max                    | Min  | Max           | Min |                      |                  |                   |
| Yeondong    | D-150         | 150          | 144              | -23                    | -33  | 7             | 6   | 2                    | PC               |                   |
| Yeondong    | D-238         | 192          | 220              | 175                    | 18   | 3             | 1   | 8                    | FB               | FB                |
| Ora         | D-91          | 80           | 112              | 31                     | 13   | 7             | 1.5 | 2                    | FOB              | FOB               |
| Odungdong   | D-133         | 140          | 150              | 30                     |      | 3             |     | 1                    | T                | T                 |
| Ara         | D-216         | 205          | 230              | -8                     | -24  | 3             | 1   | 2                    | PC               |                   |
| Yeongpyeong | D-204         | 230          | 230              | 20                     | 4    | 3.5           | 2   | 2                    | PC               | PC                |
| Ponggea     | D-127         | 140          | 180              | -20                    |      | 2.5           |     | 1                    | T                | SGF               |
| Myeongdoam  | 4             | 250          | 226              | 120                    | 110  | 9             | 6   | 2                    | T                | T                 |
| Hwecheon    | 5             | 225          | 230              | 119                    | 23   | 9             | 2   | 3                    | FOB              | FOB               |
| Waheul      | F-71          | 215          | 250              | 121                    | 14   | 3             | 2   | 4                    | T                | SSF               |
| Wasan       | D-232         | 195          | 220              | 180                    | -32  | 8             | 2   | 7                    | FOB              | PC                |
| Seonheul    | 8             | 90           | 117              | 20                     |      | 2             |     | 1                    | FOB              | FOB               |
| Teokcheon   | Ros-1         | 120          | 1500             | -32                    |      | 5             |     | 1                    | FOB              | FOB               |
| Teokcheon   | B-77          | 230          | 243.2            | 106.4                  |      | 2.7           |     | 1                    | FOB              | FOB               |
| Songdang    | D-50          | 200          | 180              | 163.1                  | 36.3 | 3.5           | 1.6 | 3                    | FOB              | PC                |
| Pyeongdega  | 10            | 132          | 150              | 95                     | 8    | 2             | 1   | 3                    | FOB              | FOB               |
| Chungdong   | B-98          | 200          | 231              | 126.3                  | -5.7 | 5.4           | 3.5 | 3                    | FOB              | FOB               |
| Sangdo      | A             | 80           | 128              | 10                     | -10  | 2             | 1   | 3                    | FOB              | FOB               |
| Chongdal    | D-200         | 52           | 75               | -21                    |      | 1             |     | 1                    | PC               | FOB               |

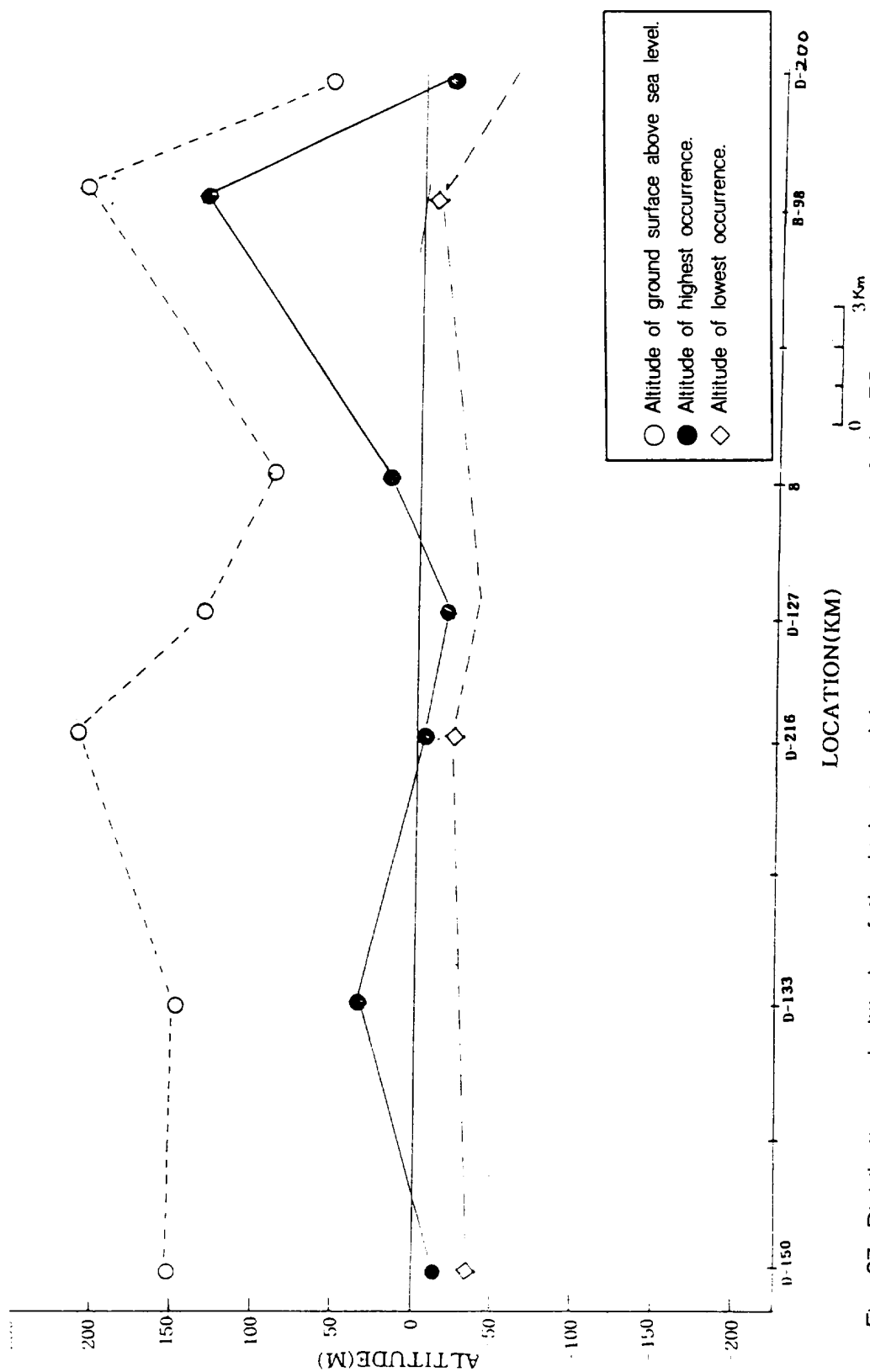


Fig. 27. Distribution and altitude of the highest and lowest occurrences of the PS in the northeastern area of Cheju Island.

### (5)성산층 (SSF)

이 층의 지표상의 분포는 사라봉, 입산봉, 식산봉, 소머리오름 등이 있으며 하부의 분포는 D-166(-15m), D-261(67m), D-272(142m), F-71(11m), B-130(34.2m), B-129(64.4m)에 분포한다(Table 15, Fig 28. 그 두께는 각각 4.7m, 12.5m, 11.4m, 46m, 18m, 59.4m이다. 해수면상 평균심부는 51.7m이며 그 두께는 4.7~59.4m 로 다양하다. 이 층의 분포고도와 지형변화고도와는 거의 일치한다(Table 15, Fig 28).

Table 15. Altitude of occurrence and thickness of SSF and the types of over- and underlying strata in the northeastern area.

| Boring site | Bore hole No. | Altitude (m) | Boring depth (m) | Occurrence altitude(m) |      | Thickness (m) |     | Number of occurrence | Overlying strata | Underlying strata |
|-------------|---------------|--------------|------------------|------------------------|------|---------------|-----|----------------------|------------------|-------------------|
|             |               |              |                  | Max                    | Min  | Max           | Min |                      |                  |                   |
| Yeondong    | D-166         | 120          | 156              | -31                    |      | 4.7           |     | 1                    | T                |                   |
| Ora         | D-261         | 202          | 240              | 67                     |      | 12.5          |     | 1                    | PC               | T                 |
| Odeung      | D-272         | 260          | 265              | 142                    |      | 11.4          |     | 1                    | PC               | PC                |
| Waheul      | F-71          | 215          | 250              | 11                     |      | 46            |     | 1                    | PS               |                   |
| Udo         | B-130         | 37           | 38.5             | 34.2                   | 16.2 | 18            | 5.4 | 2                    | FOB              |                   |
| Udo         | B-129         | 10           | 65               | 4.4                    |      | 59.4          |     | 1                    | SOL              |                   |

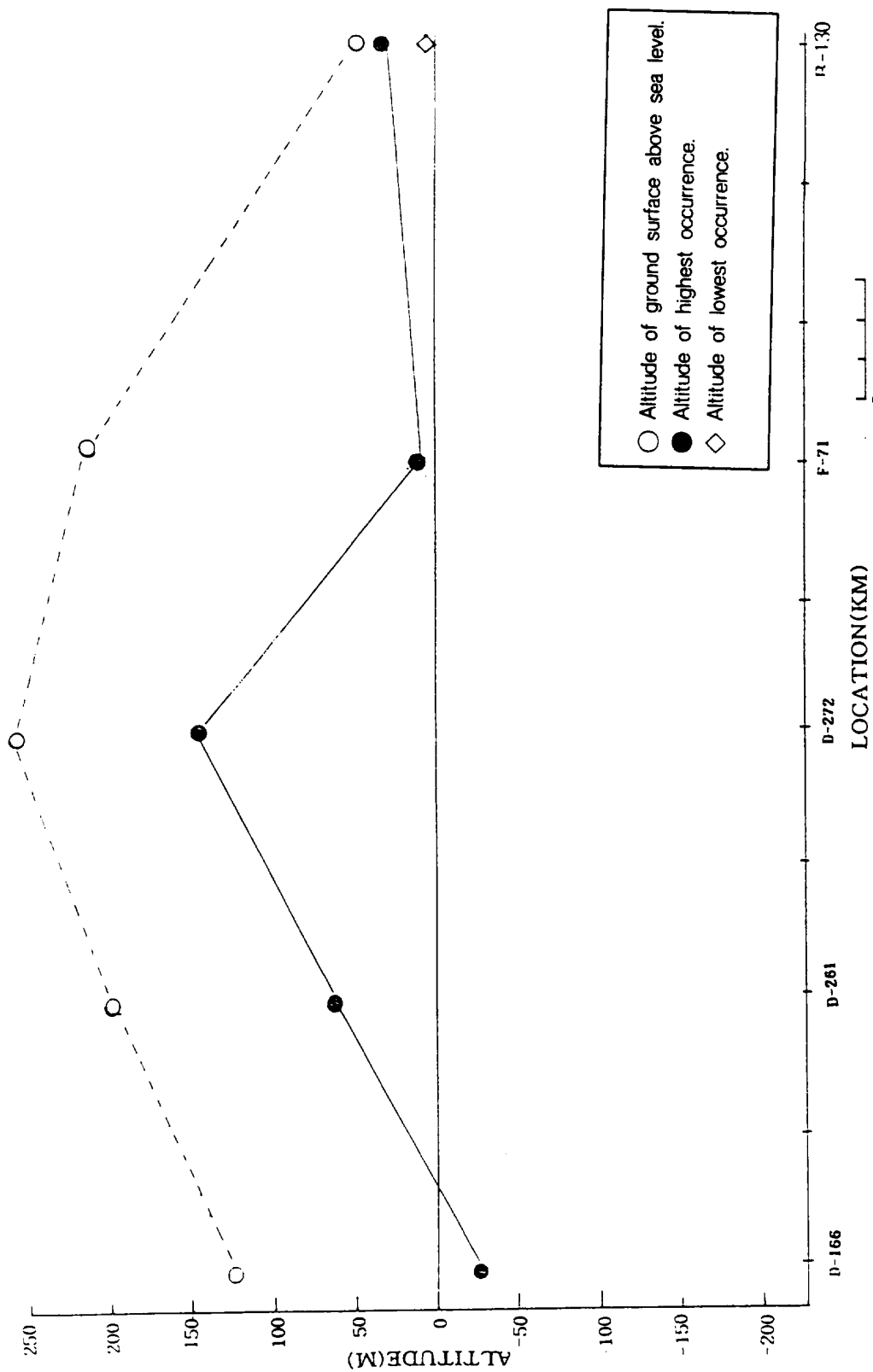


Fig. 28. Distribution and altitude of the highest and lowest occurrences of the SSF in the northeastern area of Cheju Island.

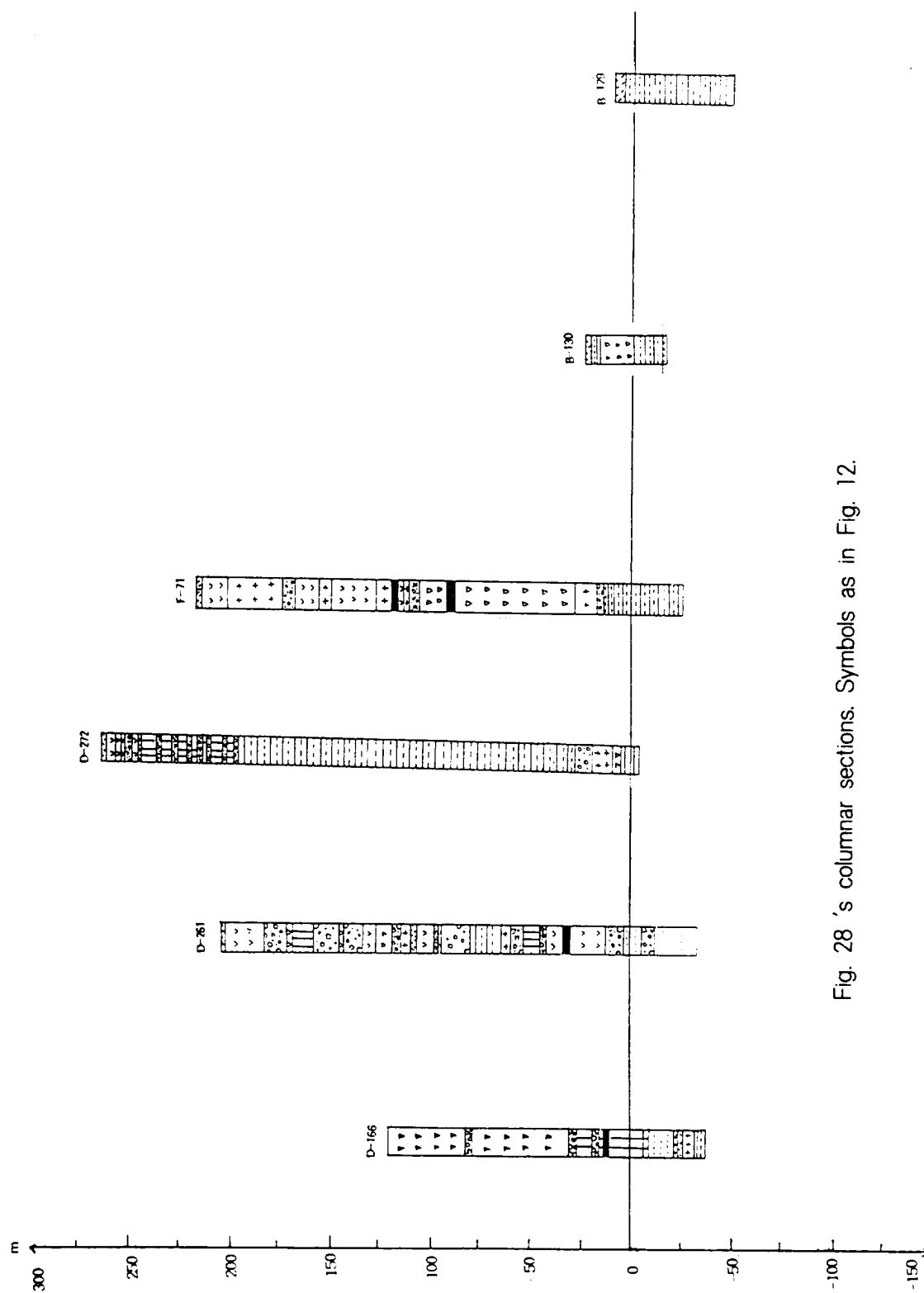


Fig. 28 's columnar sections. Symbols as in Fig. 12.

### 3) 화산암류

#### (1) 감람석휘석현무암 (OAB)

이 지역에서 본 암석은 지표에는 나타나지 않고 시추공 B-96(덕천)에서 해수준면하 (-)26.5m에 암석상위층이 분포한다. 이 암석의 상위지층은 서귀포층이며, 서귀포층 위에는 침상장석감람석현무암(FOB)이 피복되어 있다.

#### (2) 침상장석감람석현무암 (FOB)

이 지역에서는 최고 분포고도는 표고 300m(C)이며 최저 분포고는 -50m(ROS)이다 (Fig 29, Table 16). 이 암석은 1회에서부터 분출회수가 최고 34회(D-265)까지 다양하며 두께는 123.6m(B-77)에서 2m까지이다. 상하암석은 D-272, D-78, B-96, B-70에서는 하위에 서귀포층이 분포하고, 그 외지역에서는 상층과 하위층에 화산쇄설층(PC)이 분포한다. 분출시기에 따라 분출고와 용암의 두께가 다른 것은 분출당시의 지형의 굴곡이 심한 구릉지대이거나 균열분출(Fissure eruption)에 기인한 것으로 해석된다. 이 용암류의 최고분출고도와 최저분출고와의 관계곡선은 Fig 29와 같다. 이 그림에서 이 지역의 화산활동이 34회 이상인 것으로 확인된다. 특히 이 암석 중에서 해수준면하 평균 분출고도는 (-)21.6m이며, 두께는 2.9m이다. 해수준면 상에서 평균 분출고도는 37.6m이며, 두께는 26.5m이다. 해수준면 하의 FOB는 분출(분포)고도가 비교적 동일하다. 이는 이 용암류가 점성이 작은 일출성 분출이었음을 암시한다. 이 암층의 분포고도변화와 지표상의 고도 지형변화는 거의 일치한다.

Table 16. Altitude of occurrence and thickness of FOB and the types of over- and underlying strata in the northeastern area.

| Boring site | Bore hole No. | Altitude (m) | Boring depth (m) | Occurrence altitude(m) |       | Thickness (m) |     | Number of occurrence | Overlying strata | Underlying strata |
|-------------|---------------|--------------|------------------|------------------------|-------|---------------|-----|----------------------|------------------|-------------------|
|             |               |              |                  | Max                    | Min   | Max           | Min |                      |                  |                   |
| Ara         | D-91          | 80           | 112              | 54                     | -30   | 26            | 2   | 6                    | PC               |                   |
| Yeonmi      | B-79          | 90           | 98.6             | 57                     | 8     | 22            | 0.9 | 6                    | PC               |                   |
| Odungdong   | D-272         | 260          | 265              | 4                      |       | 2             |     | 1                    | T                | SGF               |
| Ildo        | D-109         | 86           | 122              | 64                     | -15   | 30            | 2   | 5                    | PC               | PC                |
| Yeongpyeong | D-204         | 230          | 230              | 230                    | 25    | 10            | 2   | 18                   | FBI              | PS                |
| Ponggea     | C             | 300          | 170              | 300                    | 227   | 33            | 12  | 4                    | PAB              | T                 |
| Myeongdoam  | 4             | 259          | 226              | 235                    |       | 4             |     | 1                    | FBI              | FBI               |
| Samyang     | D             | 30           | 70               | 30                     | -32   | 27            | 15  | 2                    | PTB              |                   |
| Hwecheon    | 5             | 225          | 230              | 215                    | 15    | 20            | 1   | 15                   |                  | PS                |
| Waheul      | D-7           | 119          | 125              | 118                    | 3     | 23            | 1   | 8                    | PC               |                   |
| Shincheon   | B             | 39           | 125              | 39                     | 12    | 2             | 1   | 2                    | SHW              |                   |
| Shincheon   | D-78          | 35           | 62               | 35                     | -4    | 20            | 2   | 6                    | PC               | SGF               |
| Shincheon   | 6             | 50           | 80               | 50                     | -10   | 20            | 8   | 9                    | PC               | FBI               |
| Teaheul     | D-72          | 160          | 200              | 150                    | 62    | 74            | 1   | 10                   | PC               | PC                |
| Wasan       | D-232         | 195          | 220              | 177                    | -40   | 8             | 1   | 7                    | PC               |                   |
| Teaheul     | D-243         | 138          | 170              | 53                     | -23   | 8             | 2   | 13                   | PC               | PC                |
| Chochcon    | D-278         | 71           | 100              | 58.5                   | -19   | 11            | 1   | 16                   | PC               |                   |
| Seonheul    | 7             | 70           | 110              | 70                     | -15   | 25            | 2   | 9                    | PC               |                   |
| Seonheul    | D-254         | 230          | 285              | 185.5                  | -38   | 17            | 2   | 25                   | PC               |                   |
| Teokcheon   | D-42          | 140          | 171              | 137.5                  | 58.5  | 13            | 1   | 10                   | PC               | PC                |
| Kimnyeong   | B-55          | 50           | 55.4             | 50                     | 36    | 41.4          | 1.3 | 3                    | PS               |                   |
| Teokcheon   | B-96          | 130          | 158.5            | 130                    | 2.5   | 39.8          | 2.5 | 11                   | PC               | SGF               |
| Teokcheon   | 9             | 105          | 109              | 105                    | 20    | 27            | 1   | 12                   | PC               |                   |
| Teokcheon   | Ros-1         | 120          | 1500             | 120                    | -50   | 50            | 2   | 11                   | PC               | PC                |
| Teokcheon   | D-265         | 240          | 270              | 239.8                  | -21   | 45            | 1   | 34                   | PC               | PC                |
| Teokcheon   | B-77          | 230          | 243.2            | 230                    | -12.7 | 123.6         | 0.5 | 10                   | PC               |                   |
| Songdang    | D-50          | 200          | 180              | 140.5                  | 24.2  | 15            | 2   | 17                   | PC               |                   |
| Woljeong    | D-19          | 57.31        | 80               | 57                     |       | 79.63         |     | 1                    |                  |                   |
| Heangwon    | B             | 80           | 110              | 80                     | -15   | 23            | 8   | 7                    | PC               |                   |
| Pyeongdea   | 10            | 132          | 150              | 132                    | -8    | 12            | 1   | 18                   | PC               |                   |
| Chungdong   | B-98          | 200          | 231              | 184.7                  | -10.3 | 42.2          | 9.7 | 7                    | PS               | SGF               |
| Pyeongdea   | D-203         | 70           | 90               | 22                     | -15.3 | 7             | 1.5 | 10                   | PC               | PS                |
| Chungdong   | B-70          | 200          | 135              | 184.8                  | 132   | 40.3          | 3.5 | 4                    | PC               | SGF               |
| Sangdo      | D-152         | 35           | 60               | 9.8                    | -8.9  | 18            | 17  | 2                    | PC               |                   |
| Sangdo      | 11            | 55           | 101              | 55                     | -40   | 15            | 20  | 14                   | PC               |                   |
| Sangdo      | A             | 80           | 128              | 80                     | -38   | 32            | 1   | 10                   | PC               |                   |
| Chongdal    | D-16          | 14           | 35               | 14                     | -5    | 15            | 13  | 2                    | PC               | PC                |
| Chongdal    | D-200         | 52           | 75               | 38                     | -17.5 | 9             | 1.5 | 3                    | APB              | PC                |
| Udo         | B-130         | 37           | 38.5             | 28.8                   |       | 12.6          |     | 1                    | SSF              | SSF               |
| Udo         | B-131         | 38           | 40               | 38                     | -9.3  | 22.3          | 1   | 4                    | PC               | PC                |

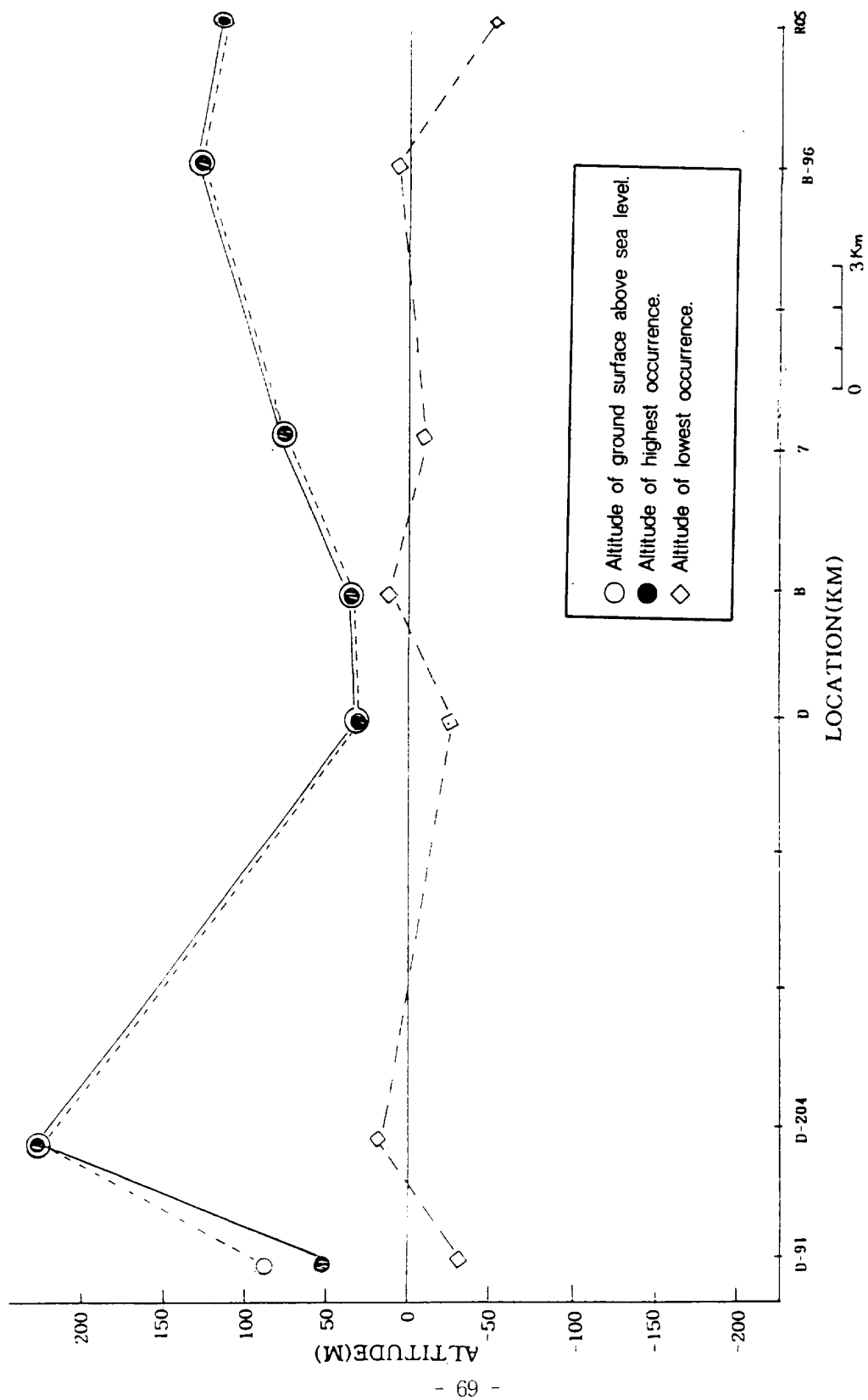


Fig. 29. Distribution and altitude of the highest and lowest occurrences of the FOB in the northeastern area of Cheju Island.

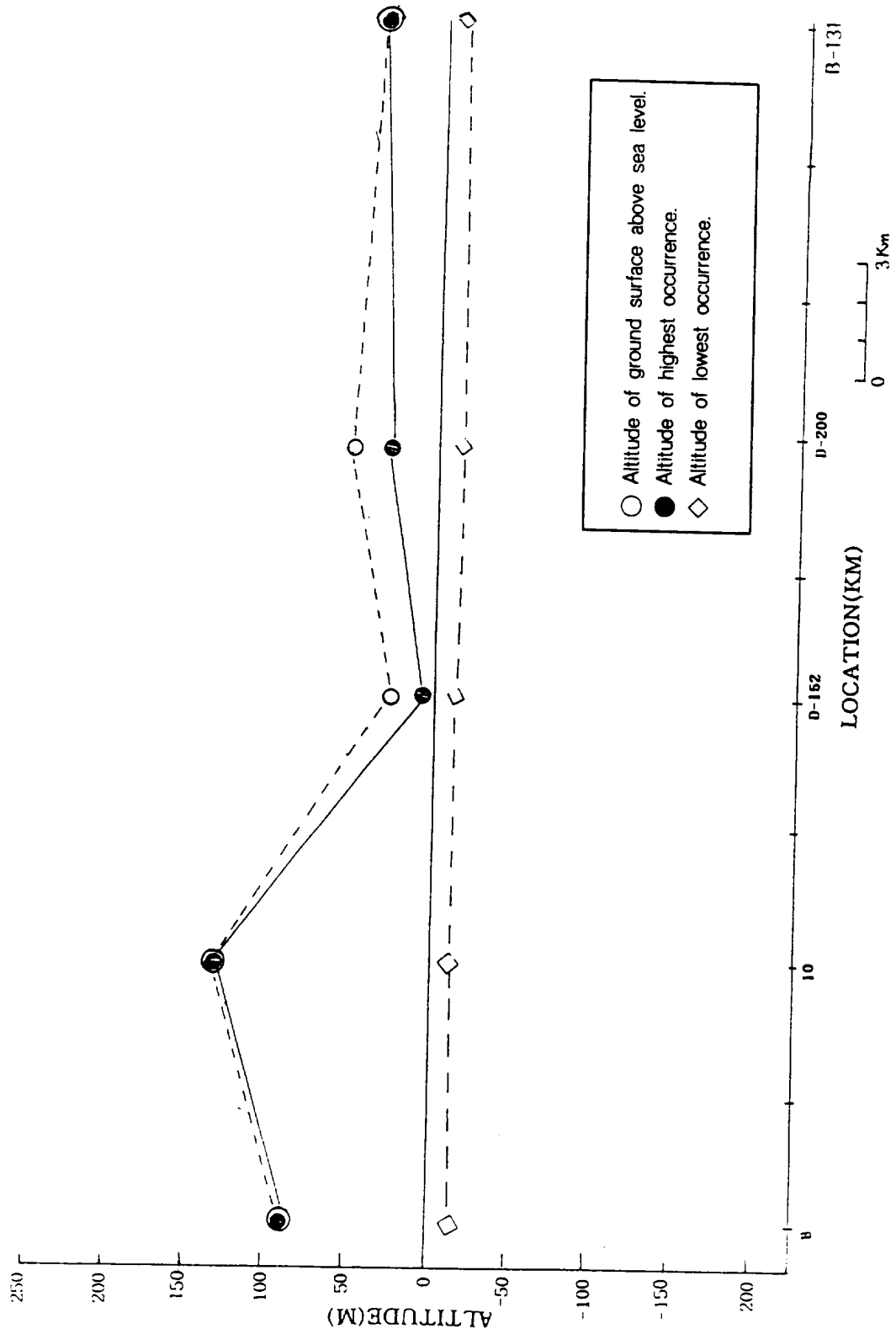


Fig. 29. Continued.

### (3) 장석현무암 (FB)

이 지역에서 이 암석은 봉개동(C)을 중심으로 서쪽으로는 연동까지, 동쪽으로는 종달리까지 부분적으로 분포하고 있다. 이 암석의 분출회수는 최고 12회(연동D-166)에서 최저 1회까지 다양하다. 분포고도는 최고275m(오동 I ), 최저(-)17m(봉개F-66)이며, 최고 분출고도와 최저 분출고도와의 관계는 Fig 30과 같다.

이 암석의 상하위 층서관계는 C, D, E에서는 상위에 APB가 분포하며, 그 외지역에서는 FOB, PC 가 분포한다. 이 암석의 하위층서는 C-4, C-3, C-5, C-2, C-1 에서 APB가 분포하며, 그 외지역에서는 FOB, PC가 분포한다. F-71에서는 상위에 조면암(T)이 분포한다(Table 17, Fig 30).

이 암석의 해수준면상 평균분출고도는 최고 165m이고 최저는 103m 이다. 두께는 Table 17과 같다. 분포고도 변화와 지표지형변화 고도와 거의 일치한다(Fig 30).

Table 17. Altitude of occurrence and thickness of FB and the types of over-  
and underlying strata in the northeastern area.

| Boring site | Bore hole No. | Altitude (m) | Boring depth (m) | Occurrence altitude(m) |     | Thickness (m) |     | Number of occurrence | Overlying strata | Underlying strata |
|-------------|---------------|--------------|------------------|------------------------|-----|---------------|-----|----------------------|------------------|-------------------|
|             |               |              |                  | Max                    | Min | Max           | Min |                      |                  |                   |
| Yeondong    | D-166         | 120          | 156              | 120                    | 48  | 20            | 2   | 12                   | FBII             | PC                |
| Ora         | D-216         | 202          | 240              | 200                    | 92  | 11            | 2   | 6                    | PC               | PC                |
| Odungdong   | I             | 275          | 200              | 275                    | 155 | 25            | 18  | 2                    | PC               | PC                |
| Ildo        | D-109         | 86           | 122              | 85                     |     | 21            |     | 1                    |                  | PC                |
| Ponggea     | 3             | 120          | 180              | 80                     | 40  | 15            | 8   | 3                    | FOB              | PS                |
| Ponggea     | D-127         | 140          | 180              | 138.5                  | 103 | 22.4          | 16  | 3                    | PC               | PC                |
| Ponggea     | F-66          | 237          | 265              | 213                    | -17 | 41            | 4   | 12                   | PS               |                   |
| Ponggea     | C             | 300          | 170              | 274                    | 151 | 30            | 22  | 2                    | PC               |                   |
| Myeongdaam  | 4             | 250          | 226              | 250                    | 230 | 58            | 10  | 2                    | FOB              | PFB               |
| Hwecheon    | 5             | 225          | 230              | 135                    |     | 5             |     | 1                    | PFB              | FOB               |
| Shinchon    | 6             | 50           | 80               | -22                    |     | 8             |     | 1                    | FOB              |                   |
| Waheul      | F-71          | 215          | 250              | 214                    | 119 | 24            | 5   | 4                    | T                | T                 |
| Seonheul    | D-254         | 230          | 285              | 202                    | 195 | 3             | 2   | 2                    | PC               | PS                |
| Tongbok     | D-211         | 80           | 83               | 80                     | 0   | 9             | 1   | 11                   | PC               |                   |
| Songdang    | C-4           | 203          | 960              | 203                    | 0   | 203           |     | 1                    |                  | APB               |
| Songdang    | C-3           | 211          | 904              | 211                    |     | 211           |     | 1                    |                  | APB               |
| Songdang    | C-5           | 214          | 850              | 214                    |     | 214           |     | 1                    |                  | APB               |
| Songdang    | C-2           | 186          | 714              | 186                    |     | 186           |     | 1                    |                  | APB               |
| Songdang    | C-1           | 178          | 680              | 178                    |     | 178           |     | 1                    |                  | APB               |
| Sehwa       | C             | 180          | 680              | 180                    |     | 180           |     | 1                    | APB              |                   |
| Chongdal    | D             | 21           | 700              | 21                     |     | 21            |     | 1                    | APB              |                   |
| Chongdal    | E             | 15           | 603              | 15                     |     | 15            |     | 1                    | APB              |                   |

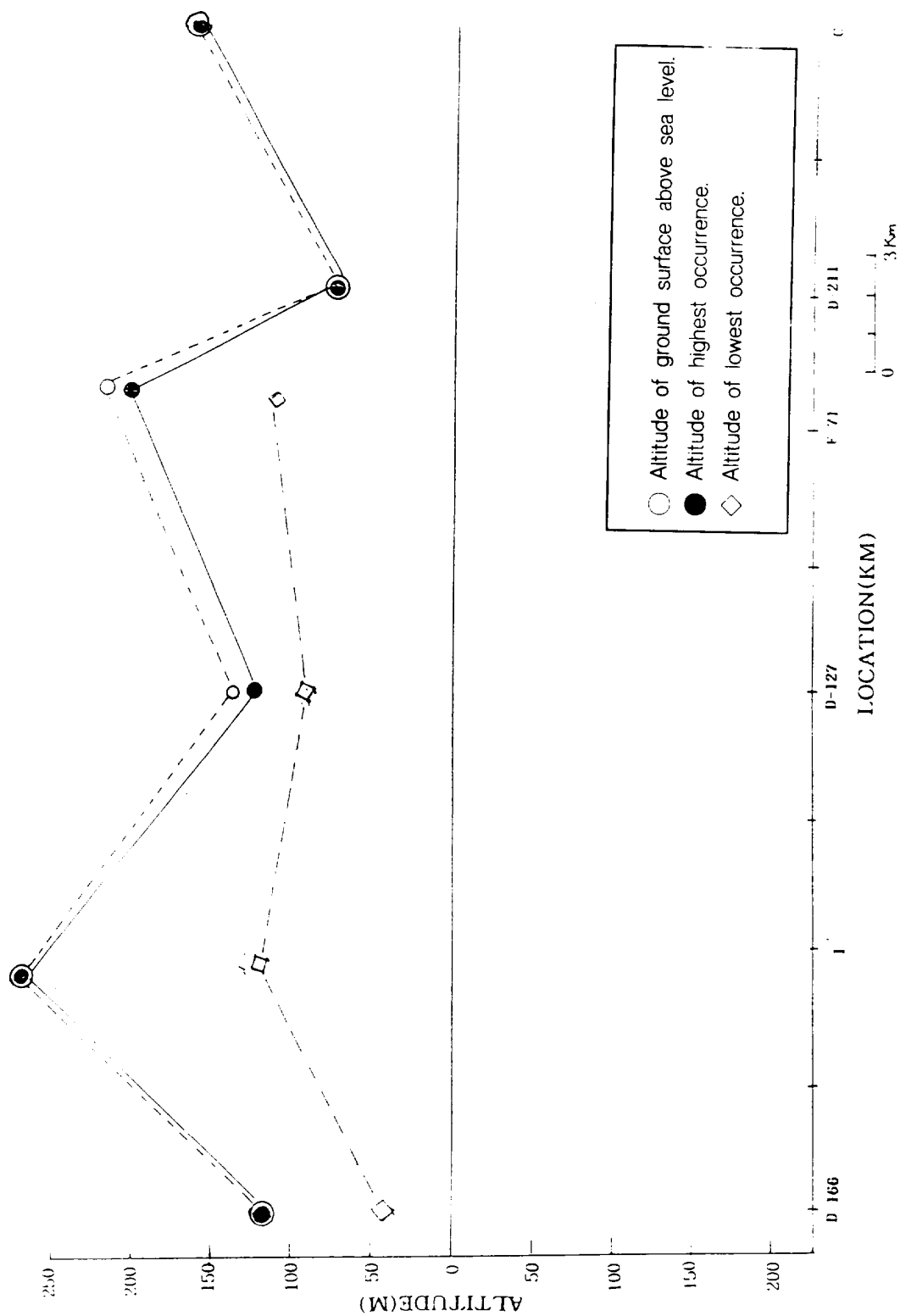


Fig. 30. Distribution and altitude of the highest and lowest occurrences of the FB in the northeastern area of Cheju Island.

#### (4) 반상회석현무암 (PAB)

이 지역에서 이 암석은 연동, 오라 등 제주시 지역에서 분포한다. 최고의 분포고는 오등동(K-1)에서 255m이며, 최저의 분출고는 이도대림(표고30m) (-)78m이어서 심부까지 분포가능성이 있다. 이 암석의 최고두께는 연동(D-150) 33m이며, 최저는 2m이다. 이 암석의 상하위층 관계는 I, D-166, 2, F-78에서는 이 암석 상위에 PS, PC가 분포하며, 그 외 지역에서는 PC, PS 가 분포한다. 이 암석의 하위에는 D-166에서는 TUFF층이, D-216에서는 APB가, C에서는 FOB가, 그 외 지역에서는 PC가 분포한다(Table 18, Fig 31).

이 암석의 분포고도 변화와 지표지형 변화고도는 거의 일치한다(Fig 31).

Table 18. Altitude of occurrence and thickness of PAB and the types of over- and underlying strata in the northeastern area.

| Boring site | Bore hole No. | Altitude (m) | Boring depth (m) | Occurrence altitude(m) |       | Thickness (m) |     | Number of occurrence | Overlying strata | Underlying strata |
|-------------|---------------|--------------|------------------|------------------------|-------|---------------|-----|----------------------|------------------|-------------------|
|             |               |              |                  | Max                    | Min   | Max           | Min |                      |                  |                   |
| Yeondong    | D-150         | 150          | 144              | 114                    | 71    | 33            | 12  | 3                    | PC               | PC                |
| Yeondong    | D-166         | 120          | 156              | 23                     | -14   | 24            | 1.5 | 4                    | PC               | TUFF              |
| Ora         | D-91          | 80           | 112              | 78                     | 65    | 6             | 2   | 3                    | PC               | PC                |
| Ora         | D-261         | 202          | 240              | 169                    | 27.5  | 12            | 11  | 3                    | PS               | PC                |
| Yeonmi      | B-79          | 90           | 98.6             | 87.5                   | 77.5  | 14.7          | 6   | 2                    | PC               | PC                |
| Odungdong   | 1             | 275          | 200              | 255                    |       | 20            |     | 3                    | PS               | PC                |
| Odungdong   | D-272         | 260          | 265              | 212                    | 147   | 11            | 2   | 7                    | PC               | PC                |
| Ara         | D-261         | 205          | 230              | 158                    |       | 27            |     | 1                    | FB               | APB               |
| Idodearim   | 2             | 30           | 130              | -35                    | -78   | 20            | 10  | 3                    | PC               | PC                |
| Toryeon     | F-78          | 68           | 91               | 62                     | -12.5 | 8             | 1.5 | 12                   | PS               | PC                |
| Ponggea     | C             | 300          | 170              | 233                    |       | 7             |     | 1                    | FOB              | FOB               |

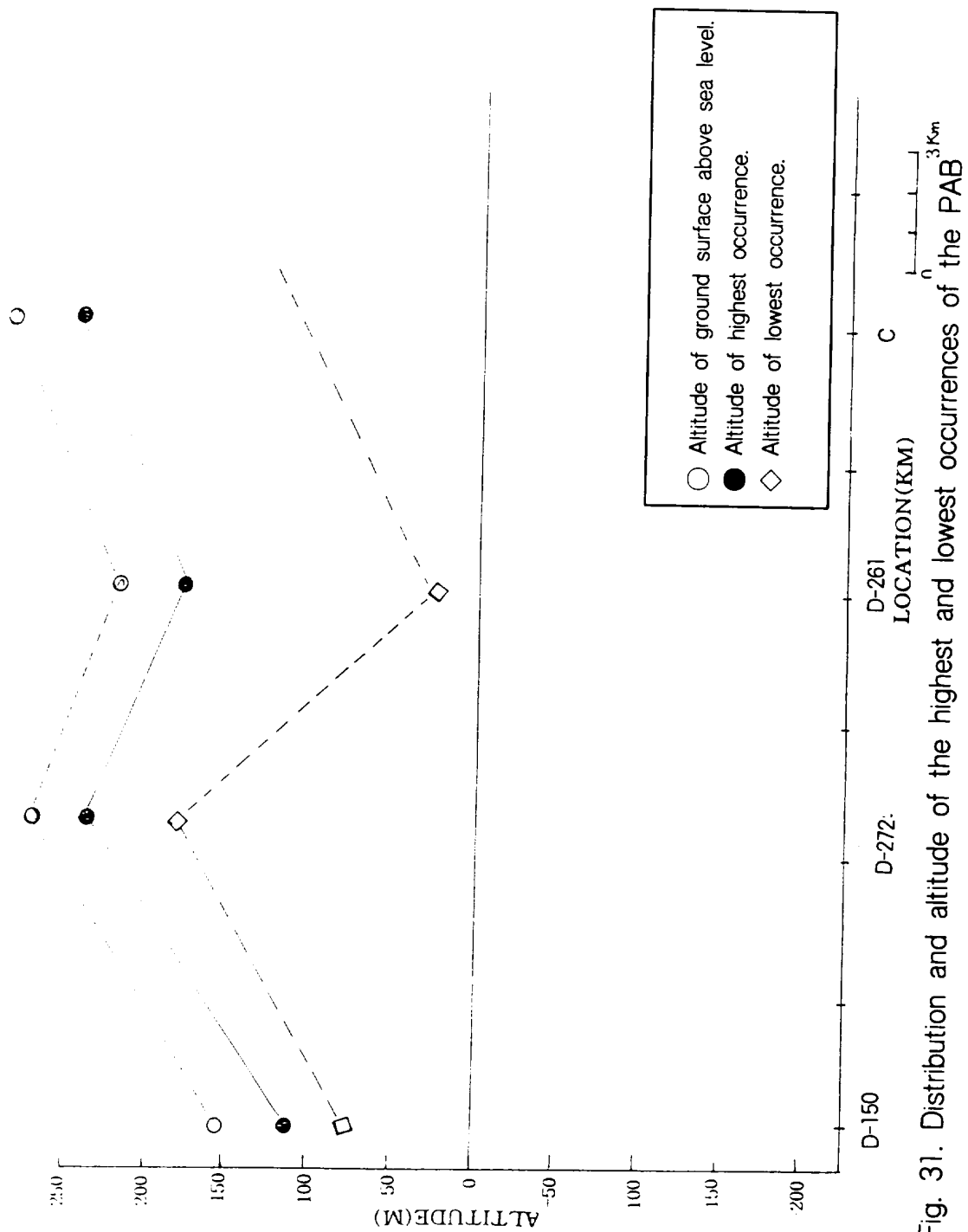


Fig. 31. Distribution and altitude of the highest and lowest occurrences of the PAB<sup>3</sup> in the northeastern area of Cheju Island.

##### (5) 반상장석현무암 (PFB)

이 연구지역에서는 오등동을 비롯하여 제주 일부분에서 분포하고 있다(Fig 32, Table 19). 최고의 분출고는 250m(명도암)에서 최저(-)7m(오등동)이며 두께는 명도암 58m이고, 최저는 3m이다. 분출회수는 4~2회이다. 이 암석의 상위에는 2, 5, 10지점과 D-113, D-232에서는 PC가, 4에서는 FOB가 분포한다. 하위층은 D-113에서 T가 분포하며, 2에서는 PAB가, 4에서는 FB가, 5에서는 FB가, D-232에서는 PS가, 10에서는 FOB가 분포한다(Table 19, Fig 32).

Table 19. Attitude of occurrence and thickness of PFB and the types of over- and underlying strata in the northeastern area.

| Boring site | Bore hole No. | Altitude (m) | Boring depth (m) | Occurrence altitude(m) |     | Thickness (m) |     | Number of Occurrence | Overlying strata | Underlying strata |
|-------------|---------------|--------------|------------------|------------------------|-----|---------------|-----|----------------------|------------------|-------------------|
|             |               |              |                  | Max                    | min | Max           | min |                      |                  |                   |
| Odungdong   | D-113         | 140          | 150              | 140                    | -7  | 32            | 3   | 4                    | PC               | T                 |
| Idodearim   | 2             | 30           | 130              | 30                     | -22 | 22            | 8   | 5                    | PC               | PAB               |
| Myeongdoam  | 4             | 250          | 226              | 250                    | 230 | 58            | 10  | 2                    | FOB              | PC                |
| Hwecheon    | 5             | 225          | 230              | 182                    | 155 | 10            | 3   | 6                    | PC               | FB                |
| Wasan       | D-232         | 195          | 220              | 183                    | 105 | 8             | 3   | 2                    | PC               | PS                |
| Pyeongdea   | 10            | 132          | 150              | 6                      | -2  | 8             | 6   | 2                    | PC               | FOB               |

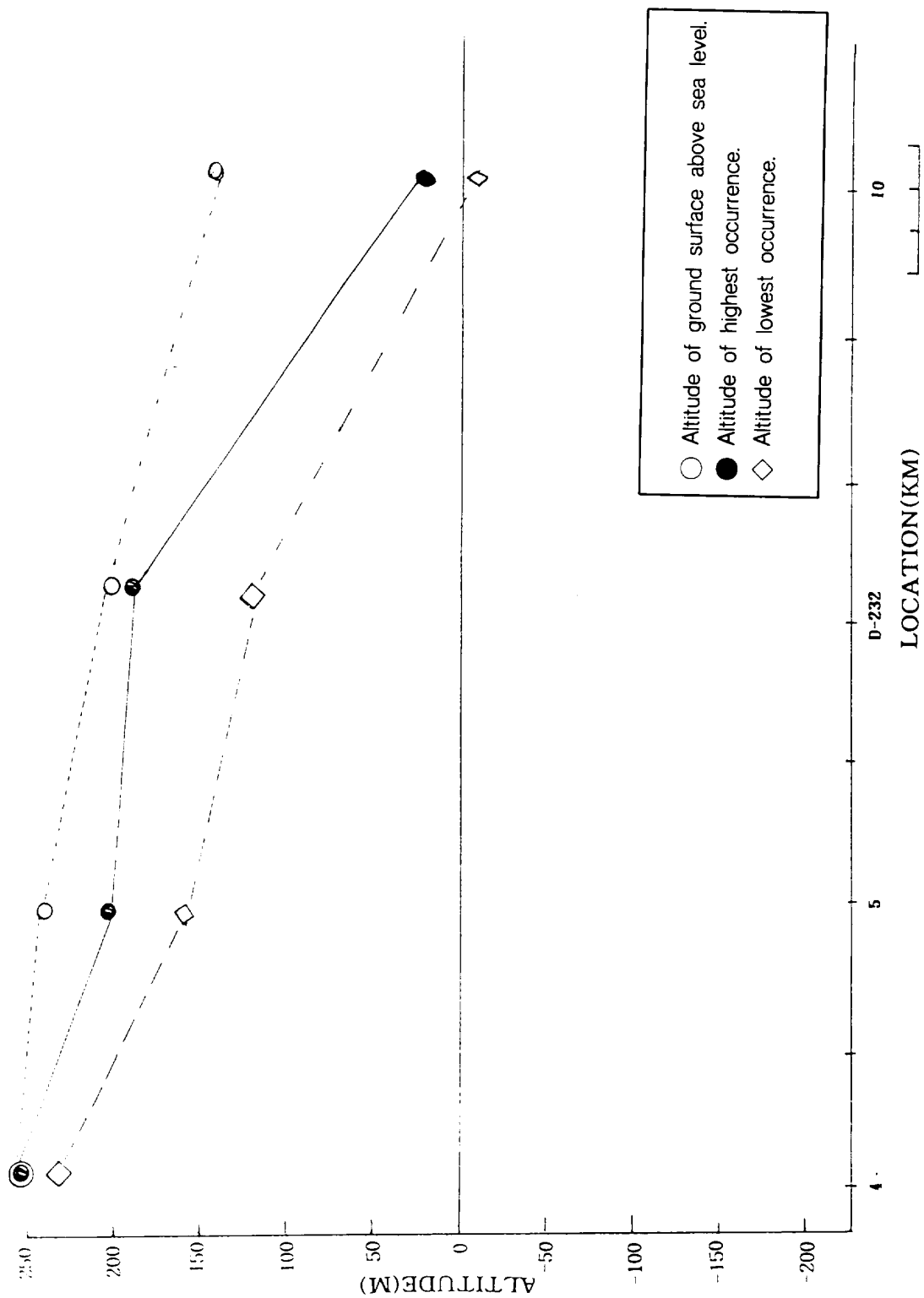


Fig. 32. Distribution and altitude of the highest and lowest occurrences of the PFB 3km in the northeastern area of Cheju Island.

## (6) 비현정질 현무암 (APB)

이 암석의 최고의 분출고도는 225m(선홀 D-254) 에서 최저 0m(C-6)이다(Fig 33, Table 20). 이 암석은 해수준면하에는 분포하지 않는 것으로 해석되며, 두께는 최고 142m(송당C-6)에서 최저 0.5m(평대 D-203)이다. 분출회수는 12회(D-216)~1회 이다. 이 암석의 상위에는 D-216, D-243에는 PC가, D-254, D-203, D-152에서는 PC가, 하 위에는 F-66에서는 FB가, D-232, D-152에서는 PS가, B-70, D-200에서는 FOB가, 그 외의 지역에서는 SHF층이 분포한다(Table 20, Fig 33).

Table 20. Altitude of occurrence and thickness of APB and the types of over- and underlying strata in the northeastern are

| Boring site | Bore hole No. | Altitude (m) | Boring depth (m) | Occurrence altitude(m) |       | Thickness (m) |     | Number of occurrence | Overlying strata | Underlying strata |
|-------------|---------------|--------------|------------------|------------------------|-------|---------------|-----|----------------------|------------------|-------------------|
|             |               |              |                  | Max                    | Min   | Max           | Min |                      |                  |                   |
| Ara         | D-216         | 205          | 230              | 204                    | 71    | 2.5           | 1   | 12                   | PAB              | PC                |
| Ponggea     | F-66          | 237          | 265              | 237                    | 214   | 23            | 1.5 | 2                    |                  | FBI               |
| Teaheul     | D-72          | 160          | 200              | 159                    |       | 3             |     | 1                    |                  | PC                |
| Wasan       | D-232         | 195          | 220              | 194                    | 6     | 17            | 2.5 | 4                    | FB               | PS                |
| Teaheul     | D-243         | 138          | 170              | 134                    | 77    | 12            | 2   | 7                    | PC               | PC                |
| Seonheul    | D-254         | 230          | 285              | 225                    | 211.5 | 11            | 5   | 2                    | PC               | PC                |
| Songdang    | C-6           | 210          | 903              | 0                      |       | 142           |     | 1                    | FB               | SHF               |
| Songdang    | C-4           | 203          | 960              | 0                      |       | 117           |     | 1                    | FB               | SHF               |
| Songdang    | C-3           | 211          | 904              | 0                      |       | 128           |     | 1                    | FB               | SHF               |
| Songdang    | C-5           | 214          | 850              | 0                      |       | 133           |     | 1                    | FB               | SHF               |
| Songdang    | C-2           | 186          | 714              | 0                      |       | 97            |     | 1                    | FB               | SHF               |
| Songdang    | C-1           | 178          | 680              | 0                      |       | 82            |     | 1                    | FB               | SHF               |
| Sehwa       | C             | 180          | 680              | 0                      |       | 80            |     | 1                    | FB               | SHF               |
| Pyeongdeca  | D-203         | 70           | 90               | 69.5                   | 37    | 12            | 0.5 | 7                    | PC               | PC                |
| Chungdong   | B-70          | 200          | 135              | 166                    |       | 11.2          |     | 1                    |                  | FOB               |
| Sangdo      | D-152         | 35           | 60               | 34.4                   | 15.4  | 16.5          | 4.5 | 2                    | PC               | PS                |
| Chongdal    | D             | 21           | 700              | 0                      |       | 102           |     | 1                    | FB               | SHF               |
| Chongdal    | E             | 15           | 603              | 0                      |       | 105           |     | 1                    | FB               | SHF               |
| Chongdal    | D-200         | 52           | 75               | 51.7                   | 20    | 12.7          | 6   | 4                    |                  | FOB               |

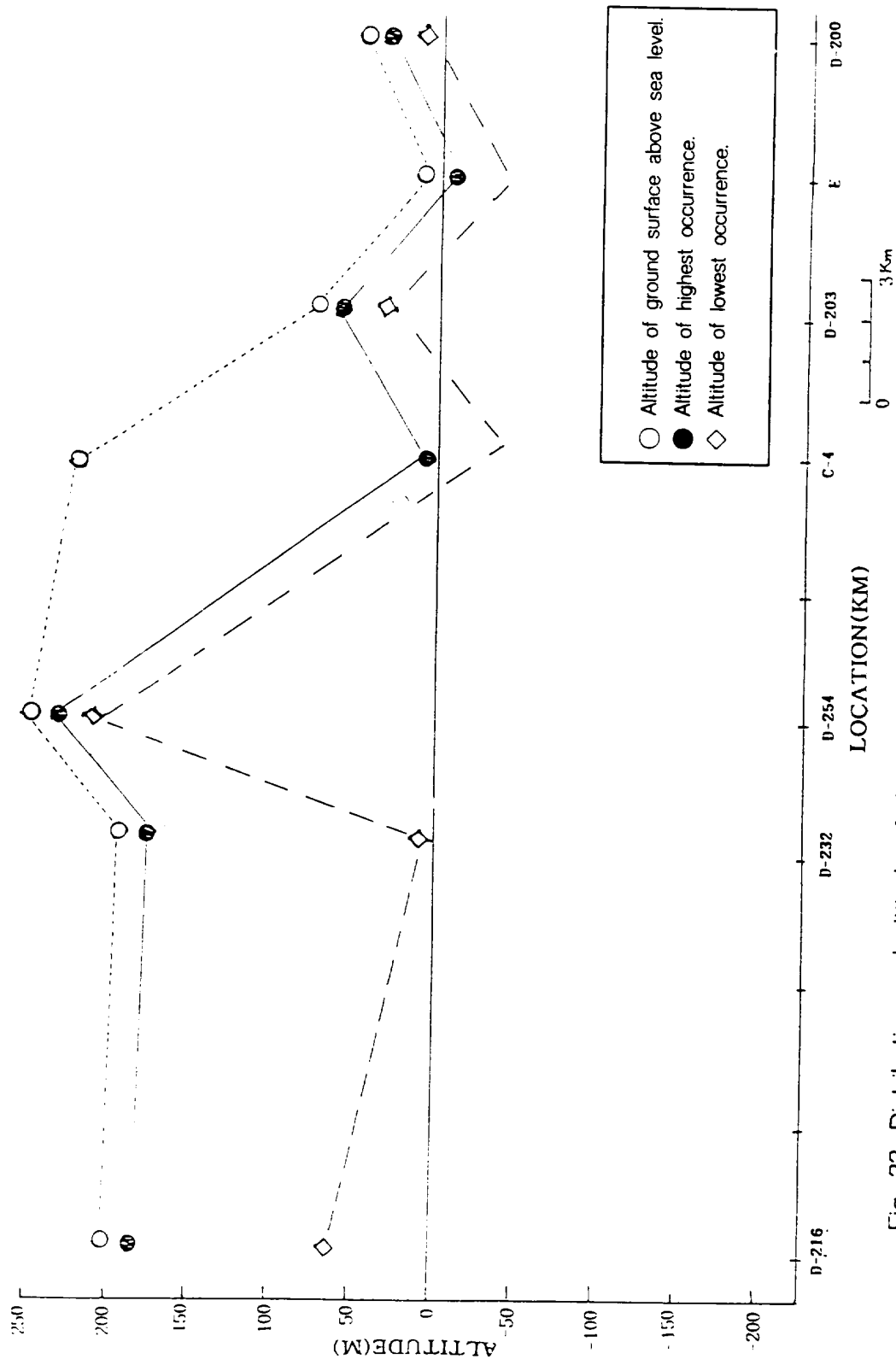


Fig. 33. Distribution and altitude of the highest and lowest occurrences of the APB in the northeastern area of Cheju Island.

### (7) 조면암류 (T)

이 지역에서 현재까지 지표상이나 해수준면하에서 이 암석의 분포에 대한 보고는 없었다. 이 연구에서는 야외조사와 시추공 주상도를 분석한 결과 연동(D-166), 오라(정실 D-261), 오등동(D-133), 아라(D-216), 봉개(C), 명도암(4), 와흘(F-72)에서 분포고가 최고 200m이며, 최저(-)30m이다. 두께는 최고 42m에서 1m내외이며, 분출회수는 1~5회이다(Fig 34, Table 21). 특히 이 암석은 북동지역에서 표고 120~300m까지 분포하고, 각 지역이 모두 인접지역이라는 특징이 있다. 이들은 남사면에 분포하는 조면암류와 대비가 된다. 이 암석의 상하위층 관계에서 이 암석의 상위에는 D-166에서 TUFF가, D-261에서는 SSF가, D-133 및 4에서는 PS가, D-216에서는 PC가, D-127, C 및 F-71에서는 FOB가 분포하며, 이 암석의 하위에는 D-166 지점에서 SSF가, 그 외 지역에서는 PC가 분포한다(Table 21, Fig 34). 이 암석의 해수준면하 분출고도는 (-)30m와 -11m 두 곳이며 해수준면상 평균 분출고도는 121m이다.

Table 21. Altitude of occurrence and thickness of T and the types of over- and underlying strata in the northeastern area.

| Boring<br>site | Bore<br>hole<br>No. | Altitude<br>(m) | Boring<br>depth<br>(m) | Occurrence  |      | Thickness<br>(m) |     | Number<br>of<br>occurrence | Overlying<br>strata | Underlying<br>strata |
|----------------|---------------------|-----------------|------------------------|-------------|------|------------------|-----|----------------------------|---------------------|----------------------|
|                |                     |                 |                        | altitude(m) |      |                  |     |                            |                     |                      |
|                |                     |                 |                        | Max         | min  | Max              | min |                            |                     |                      |
| Yeondong       | D-166               | 120             | 159                    | -24         | -30  | 3                | 1   | 3                          | Tuff                | SSF                  |
| Ora(Jeongsil)  | D-261               | 202             | 240                    | 115         | 64.5 | 4.5              | 4   | 2                          | SSF                 | PC                   |
| Odungdong      | D-133               | 140             | 150                    | 118         | 40   | 21               | 2   | 5                          | PS                  | PC                   |
| Ara            | D-216               | 205             | 230                    | 49          |      | 34               |     | 1                          | PC                  | PC                   |
| Ponggea        | D-127               | 140             | 180                    | -11         |      | 9                |     | 1                          | FOB                 | PS                   |
| Ponggea        | C                   | 300             | 170                    | 114         |      | 42               |     | 1                          | FOB                 | PC                   |
| Myeongdoam     | 4                   | 250             | 226                    | 135         | 55   | 20               | 10  | 4                          | PS                  | PC                   |
| Waheul         | F-71                | 215             | 250                    | 200         | 28   | 19               | 2   | 5                          | FOB                 | PS                   |

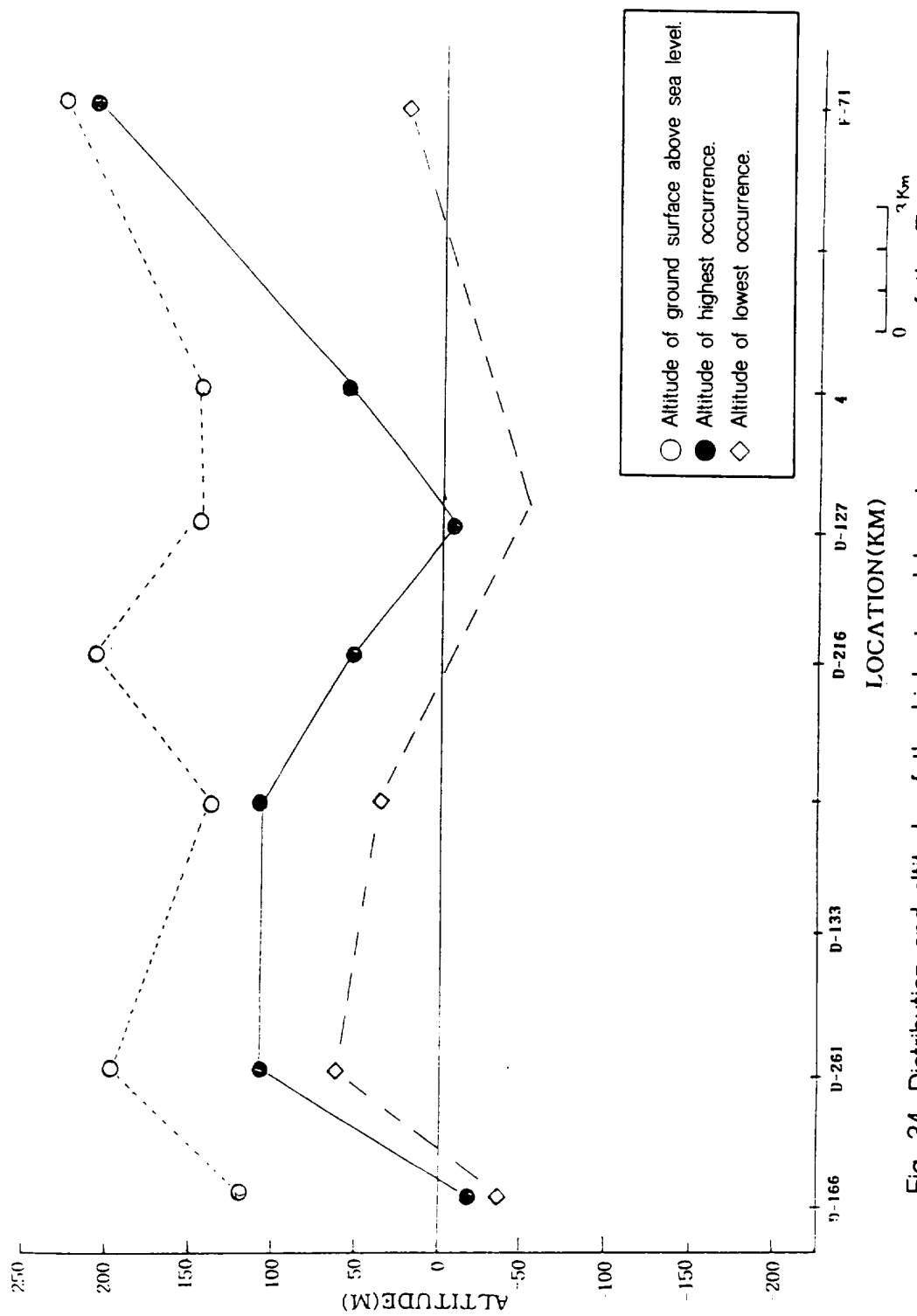


Fig. 34. Distribution and altitude of the highest and lowest occurrences of the T in the northeastern area of Cheju Island.

### 3-3. 남서부 지역

#### 3-3-1. 일반지질

이 지역의 지질도와 항공사진 판독도는 Fig 35, 36과 같다. 퇴적암류는 성산층인 수월봉, 농남봉(60m), 송악산(140m), 단산(110m), 월랑봉(106m), 군산(85m)과 용머리(화순층)옹회층, 서귀포층, 미고결층, 고토양층이 지표상 혹은 하부층서에 분포하며 화산암류는 참상장석 감람석현무암(FOB), 장석현무암(FB), 조면암(T)이 분포한다. 분석구는 가시악(8m), 모슬봉(140m), 송악산(75m), 산방산(310m), 병악(86m), 녹하지악(110m), 거린사슴(100m), 영실오름(120m), 고근산(104m) 등 50여좌가 분포하며 이들은 화산사, 화산회, 화산탄 등의 화산쇄설물과 용암으로 혼재하며 이루어져 있다.

FOB는 모슬봉을 중심으로 대정, 신도, 무릉, 일과리, 산방산 서쪽 덕수, 단산지역에 분포한다. 장석현무암은 서귀포와 하원지역, 고근산지역에 분포하며 장석 현무암Ⅲ-Ⅳ은 거린사슴, 어점이악 지역에 분포한다. 비현정질 현무암은 병악지역에, 조면암은 산방산, 월랑봉, 군산, 강정, 법정리, 서귀포남성동, 영실일대에 분포한다.

사구(Sand Dune) 층은 중문, 사계, 화순 해안에 분포하며, 중문사구층은 패사와 미량의 석영과 장석으로 이루어진 백사구층이다. 사계, 화순사구층은 화산쇄설물로 이루어진 황갈색 내지 흑사구층이다.

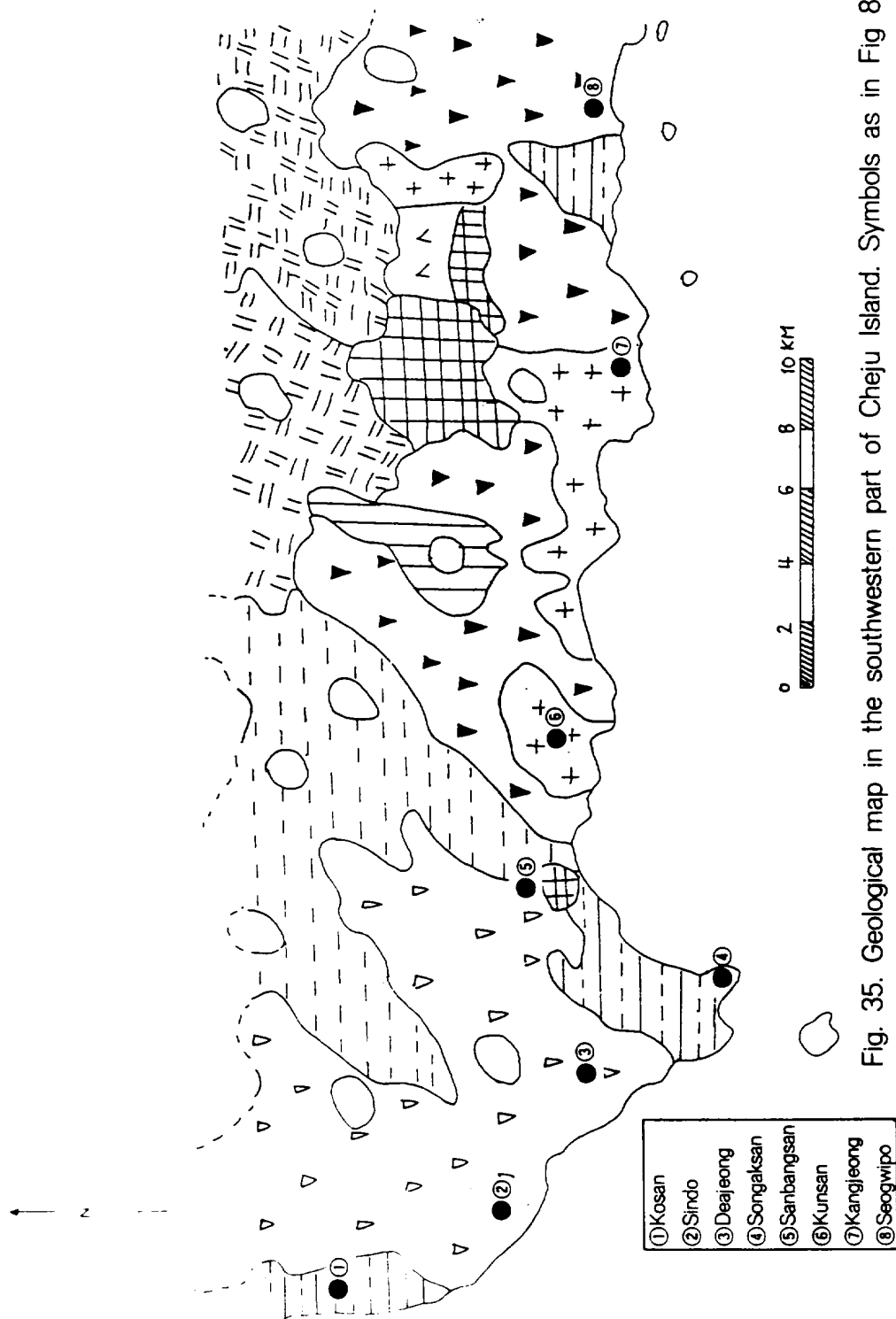


Fig. 35. Geological map in the southwestern part of Cheju Island. Symbols as in Fig 8.

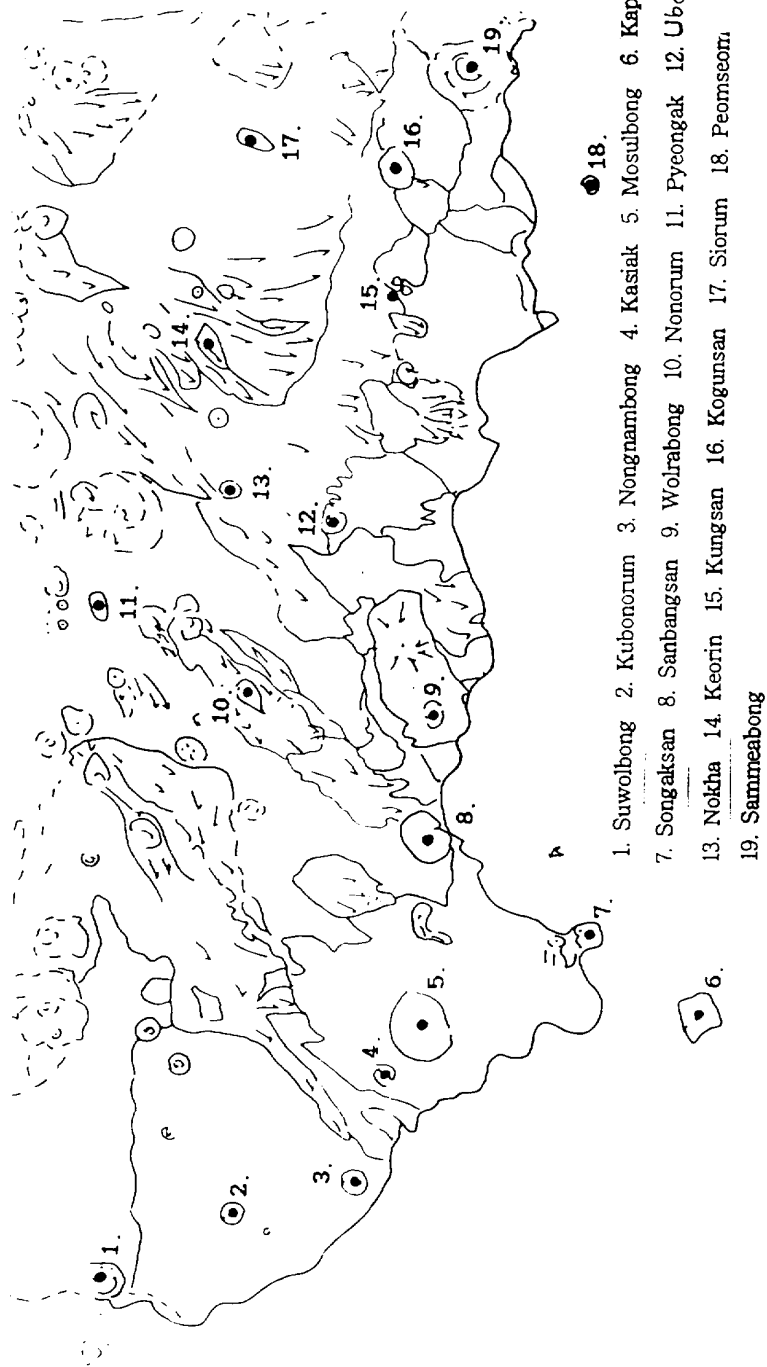


Fig. 36. Lava flow directions in the southwestern part of Cheju Island (Lee, 1987).

### 3-3-2. 암석층서

이 지역에서 선별된 시추공위치는 Fig 37과 같다.

각 지점의 시추공지질주상도와 자료는 각각 Fig38과 Table 22와 같다.

Table 22. Bore hole data in the southwestern area.

| A<br>r<br>c<br>a | Boring site | Bore<br>hole<br>No. | Altitude<br>(m) | Boring<br>depth | A<br>r<br>c<br>a | Boring site | Bore<br>hole<br>No. | Altitude<br>(m) | Boring<br>depth |
|------------------|-------------|---------------------|-----------------|-----------------|------------------|-------------|---------------------|-----------------|-----------------|
| S                | Kosan       | D-93                | 18              | 87              | S                | Sangchang   | D-39                | 140             | 150             |
|                  | Kosan       | D-120               | 10              | 80              |                  | Sangchang   | D-49                | 140             | 135             |
|                  | Shindo      | D-56                | 300             | 100             |                  | Sangchang   | D-165               | 190             | 207             |
|                  | Shindo      | D-103               | 35              | 122             |                  | Yerye       | D-169               | 80              | 170             |
|                  | Meureung    | D-17                | 34.76           | 114             |                  | Seakdal     | D-205               | 150             | 160             |
|                  | Meureung    | D-209               | 39              | 103             |                  | Chungmun    | D-111               | 100             | 220             |
|                  | Yeongrak    | D-55                | 15              | 63              |                  | Chungmun    | B-17                | 140             | 61              |
|                  | Sanyang     | F-55                | 98              | 196             |                  | Hwesu       | B-52                | 130             | 101             |
|                  | Cheongsu    | 24                  | 116             | 179             |                  | Chungmun    | J                   | 75              | 880             |
|                  | Poseong     | D-210               | 60              | 101             |                  | Chungmun    | D-168               | 110             | 130             |
|                  | Sagye       | 87-W                | 20              | 88              |                  | Hawon       | D-87                | 50              | 120             |
|                  | Teoksu      | F-76                | 145             | 200             |                  | Keorin      | H                   | 550             | 263             |
|                  | Seogwang    | F-77                | 150             | 180             |                  | Peobhwan    | B-12                | 75              | 56.5            |
|                  | Seogwang    | 22                  | 162             | 174             |                  | Kangjeong   | D-178               | 50              | 90              |
| W                | Kamsan      | B-63                | 130             | 203             |                  | Yongheung   | D-118               | 160             | 220             |
|                  | Kamsan      | F-64                | 132             | 137             |                  | Kimok       | B-102               | 290             | 173             |
|                  | Hwasun      | D-138               | 80              | 90              |                  | Hogeun      | D-116               | 50              | 82              |
|                  | Kamsan      | B-65                | 130             | 203             |                  | Hogeun      | D-101               | 155             | 191             |
|                  | Hwasun      | 19                  | 122             | 130             |                  | Seohong     | D-215               | 180             | 196             |
|                  | Changcheon  | D-25                | 173             | 90              |                  | Seohong     | D-85                | 275             | 108             |
|                  | Sangchang   | B-7                 | 200             | 65              |                  | Seohong     | D-108               | 90              | 100             |



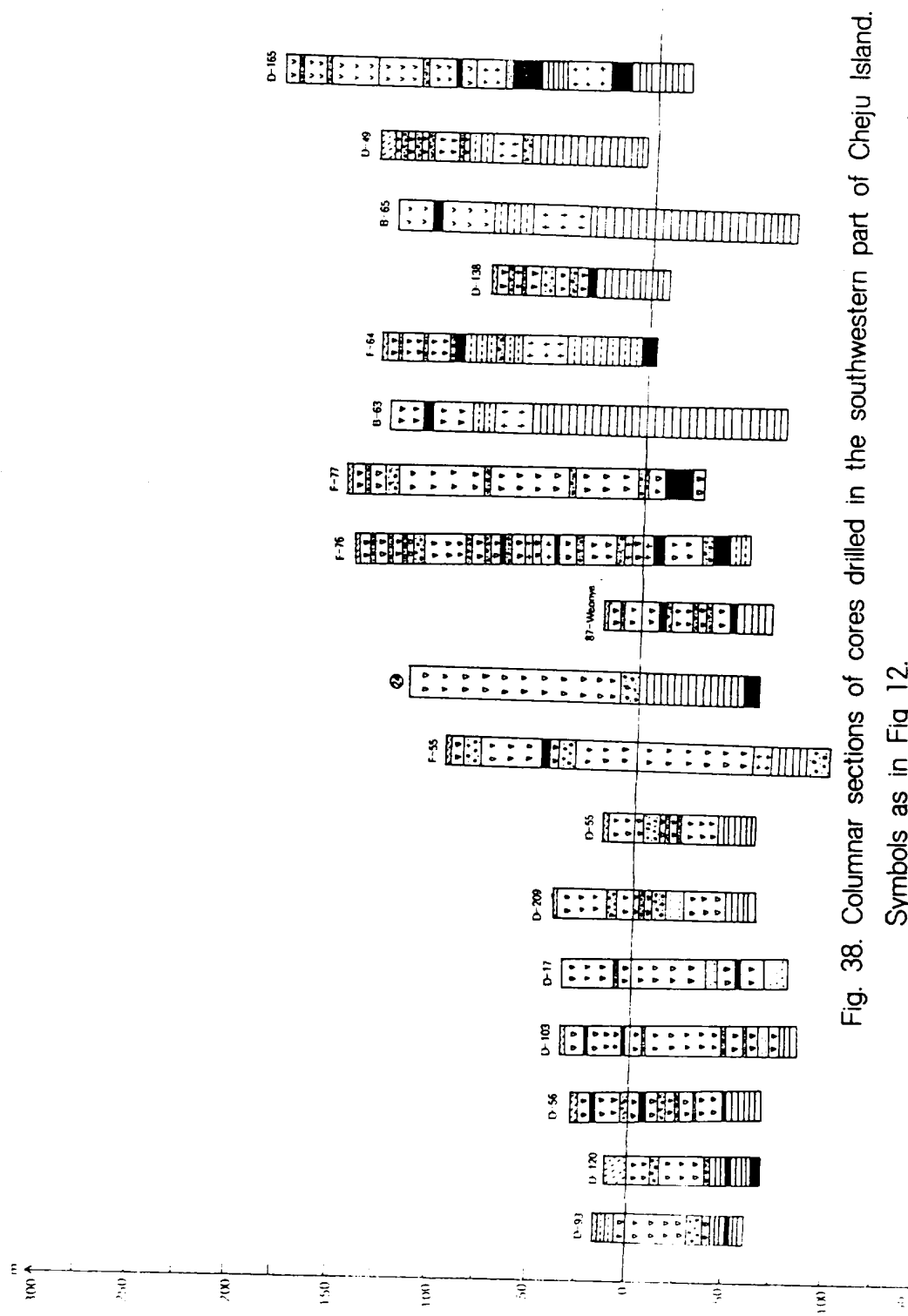


Fig. 38. Columnar sections of cores drilled in the southwestern part of Cheju Island.  
Symbols as in Fig 12.

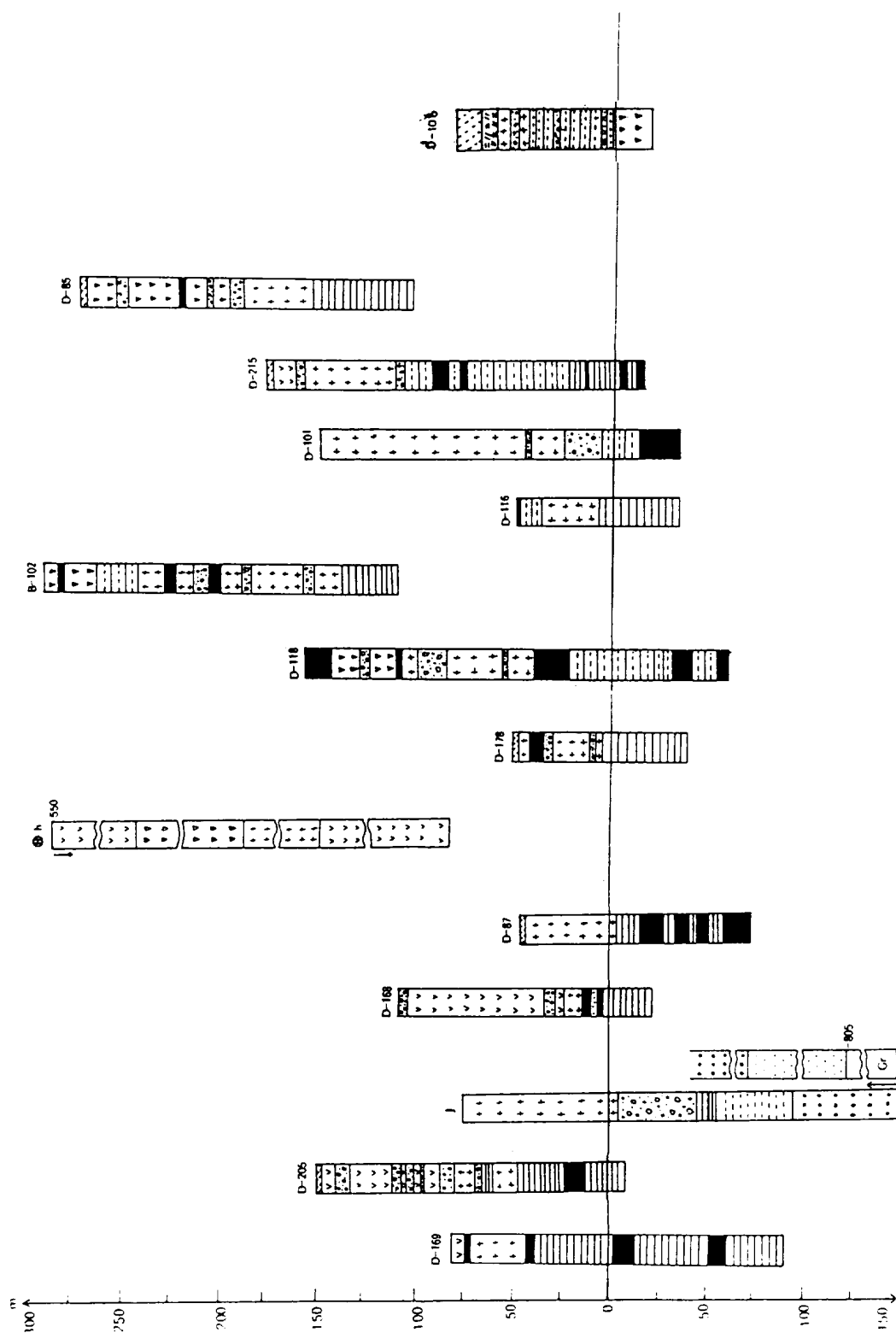


Fig. 38. Continued

### 1) 화강암 (Gr)

이 지역에서 화강암은 중문(J : 표고 75m, 심도 850m)에서 해발고도 (-)805m 선상에 상위층이 분포하며 두께는 약 560m이다(Fig 38).

이 지역에 위치한 송악산 응회구층과 수월봉응회층 내에서 화강암편 또는 화강편마암편이 관찰이 된다. 이는 이 지역 심부에는 화강암이 분포하고 있음을 암시한다.

### (1) 응회암층 (Tuff)

이 지역에서 본암은 D-103, D-17, 24, D-165, J, D-168 지점에서 확인된다(Table 23, Fig 39). 이 중 D-103, D-17, 24에서는 이 암석의 상위에 FOB가 분포하며, D-165 는 PS가, J 는 세화리층이, D-168 에서는 PS가 분포한다.

Table 23. Altitude of occurrence and thickness of Tuff and the types of over- and underlying strata in the southwestern area.

| Boring site | Bore hole No. | Altitude (m) | Boring depth (m) | Occurrence altitude(m) |        | Thickness (m) |     | Number of occurrence | Overlying strata | Underlying strata |
|-------------|---------------|--------------|------------------|------------------------|--------|---------------|-----|----------------------|------------------|-------------------|
|             |               |              |                  | Max                    | min    | Max           | min |                      |                  |                   |
| Shindo      | D-103         | 35           | 122              | -67.8                  |        | 65            |     | 1                    | FOB              | FOB               |
| Meureung    | D-17          | 34.76        | 114              | -39.24                 | -66.74 | 12.5          | 6.5 | 2                    | FOB              |                   |
| Cheongsu    | 24            | 116          | 179              | 46                     | 17     | 10            | 1   | 2                    | FOB              | FOB               |
| Sangchang   | D-165         | 190          | 207              | 76.4                   | 59     | 4             | 3.9 | 2                    | PS               | T                 |
| Chungmun    | J             | 75           | 880              | -245                   |        | 560           |     | 1                    | SHF              | Gr                |
| Chungmun    | D-168         | 110          | 130              | 9                      | 7      | 2             | 1.5 | 2                    | PS               | PS                |

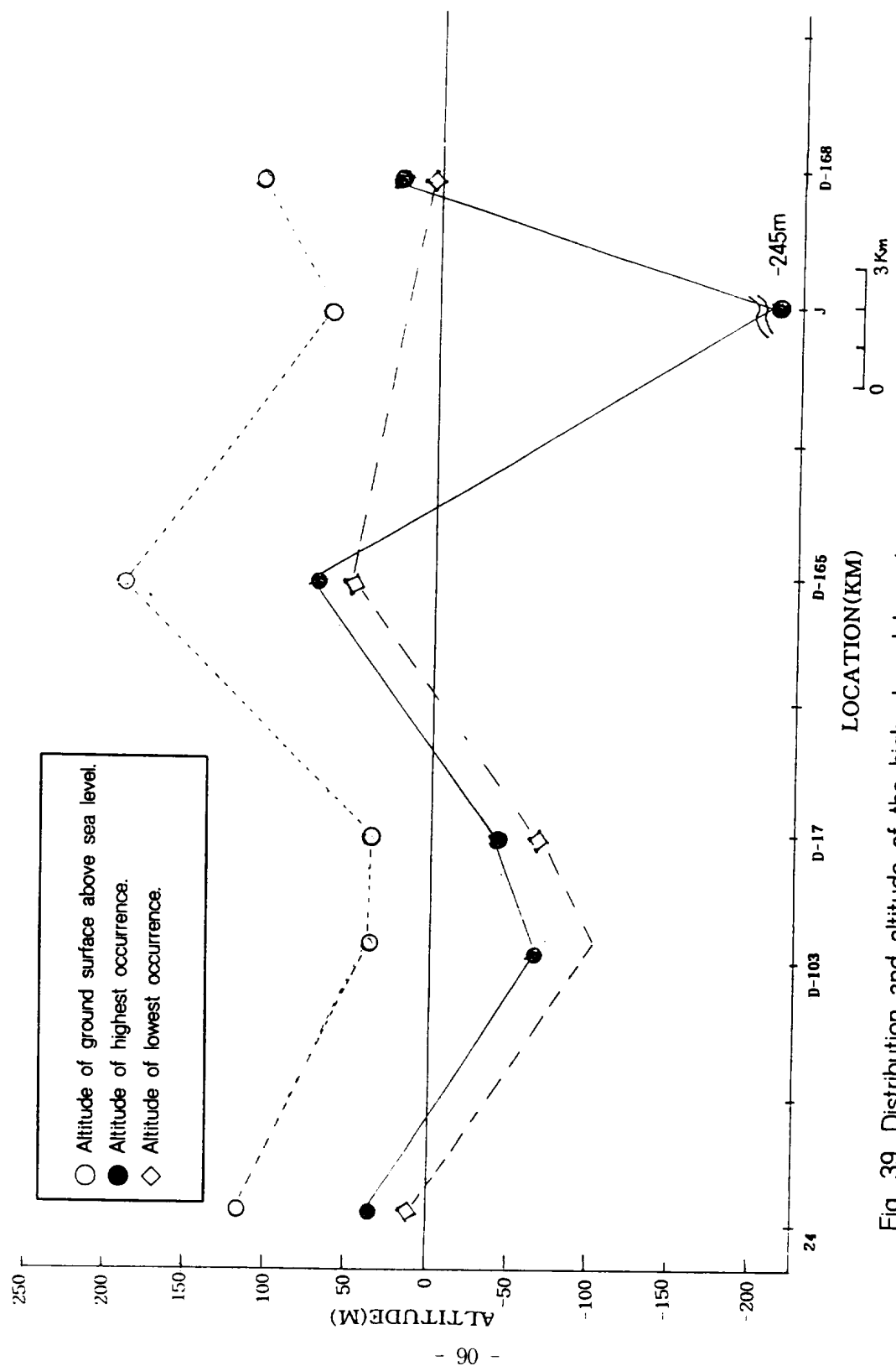


Fig. 39. Distribution and altitude of the highest and lowest occurrences of the Tuff in the southwestern area of Cheju Island.

## (2) 미고결층 (세화리층 : SHF)

이 층은 중문(J)에서 (-)95m에 분포하며 두께는 148m이다. 이 암층의 하위에는 용회암이, 상위에는 비현정질 현무암이 분포한다.

## (3) 서귀포층 (SGF)

이 지역에서 이 층은 고산에서부터 서귀포시 서흥동까지 광범위하게 분포하며, 분출고는 D-65, D-138, D-65, B-49, D-169, D-205, D-178, D-116, D-215, D-85인 동부 지역은 해수준면 상위에 분포하며, D-93, D-120, D-56, D-209, D-55, F-77지점인 서부지역에서는 해수준면하에 분포한다(Table 24, Fig 40). D-209, D-55 지점에서는 이 층의 상위에 FOB가, F-55, B-65, D-178, D-116지점에서는 상위에 조면암이, 그 외 지역에서는 상하위층에 고토양이 분포한다. 해수준하 평균 분출고도는 (-)48.5m이고, 두께는 1~3.5m이다. 해수준면상에 평균 분출고도는 50m이고, 두께는 30.8m이다.

Table 24. Altitude of occurrence and thickness of SGF and the types of over-  
and underlying strata in the southwestern area.

| Boring site | Bore hole No. | Altitude (m) | Boring depth (m) | Occurrence altitude(m) |       | Thickness (m) |     | Number of occurrence | Overlying strata | Underlying strata |
|-------------|---------------|--------------|------------------|------------------------|-------|---------------|-----|----------------------|------------------|-------------------|
|             |               |              |                  | Max                    | Min   | Max           | Min |                      |                  |                   |
| Kosan       | D-93          | 18           | 87               | -51.5                  | -65.6 | 13.1          | 3.4 | 2                    | PS               |                   |
| Kasan       | D-120         | 10           | 80               | -46                    | -60   | 11            | 5   | 2                    | PS               | PS                |
| Shindo      | D-56          | 30           | 100              | -57.8                  |       | 12.1          |     | 1                    |                  |                   |
| Meureung    | D-209         | 39           | 103              | -47.2                  |       | 16.8          |     | 1                    | FOB              |                   |
| Yeongrak    | D-55          | 15           | 63               | -42.5                  |       | 5.5           |     | 1                    | FOB              |                   |
| Sanyang     | F-55          | 98           | 196              | -77                    |       | 11            |     | 1                    | T                | PS                |
| Cheongsu    | 24            | 116          | 179              | 0                      |       | 61            |     | 1                    | PC               | PS                |
| Sangye      | 87-W          | 20           | 88               | -43.3                  |       | 24.7          |     | 1                    | PS               |                   |
| Hwasun      | D-138         | 80           | 90               | 35                     | 15.5  | 23.5          | 2   | 4                    | PS               |                   |
| Kamsan      | B-65          | 130          | 203              | 54.2                   |       | 127.2         |     | 1                    | T                |                   |
| Sangchang   | B-49          | 140          | 135              | 65.1                   |       | 60            |     | 1                    | PC               |                   |
| Yerye       | D-169         | 80           | 170              | 43.3                   | -63   | 43.8          | 3.5 | 4                    | PS               |                   |
| Seakdal     | D-205         | 150          | 160              | 62.7                   | 16    | 26            | 3.1 | 3                    | PS               |                   |
| Chungmun    | J             | 75           | 880              | -45                    |       | 10            |     | 1                    | PC               | APB               |
| Hawon       | D-87          | 50           | 120              | -3                     | -50   | 12.5          | 1   | 4                    | PS               | T                 |
| Kangjeong   | D-178         | 50           | 90               | 2.1                    |       | 42            |     | 1                    | T                |                   |
| Kimok       | B-102         | 290          | 173              | -22                    |       | 21.8          |     | 1                    | T                |                   |
| Hogun       | D-116         | 50           | 82               | 10                     |       | 42            |     | 1                    | T                |                   |
| Seohong     | D-215         | 180          | 196              | 23.8                   | -9    | 8.2           | 3   | 5                    | PS               | PS                |
| Seohong     | D-85          | 275          | 108              | 161                    |       | 48            |     | 1                    |                  |                   |

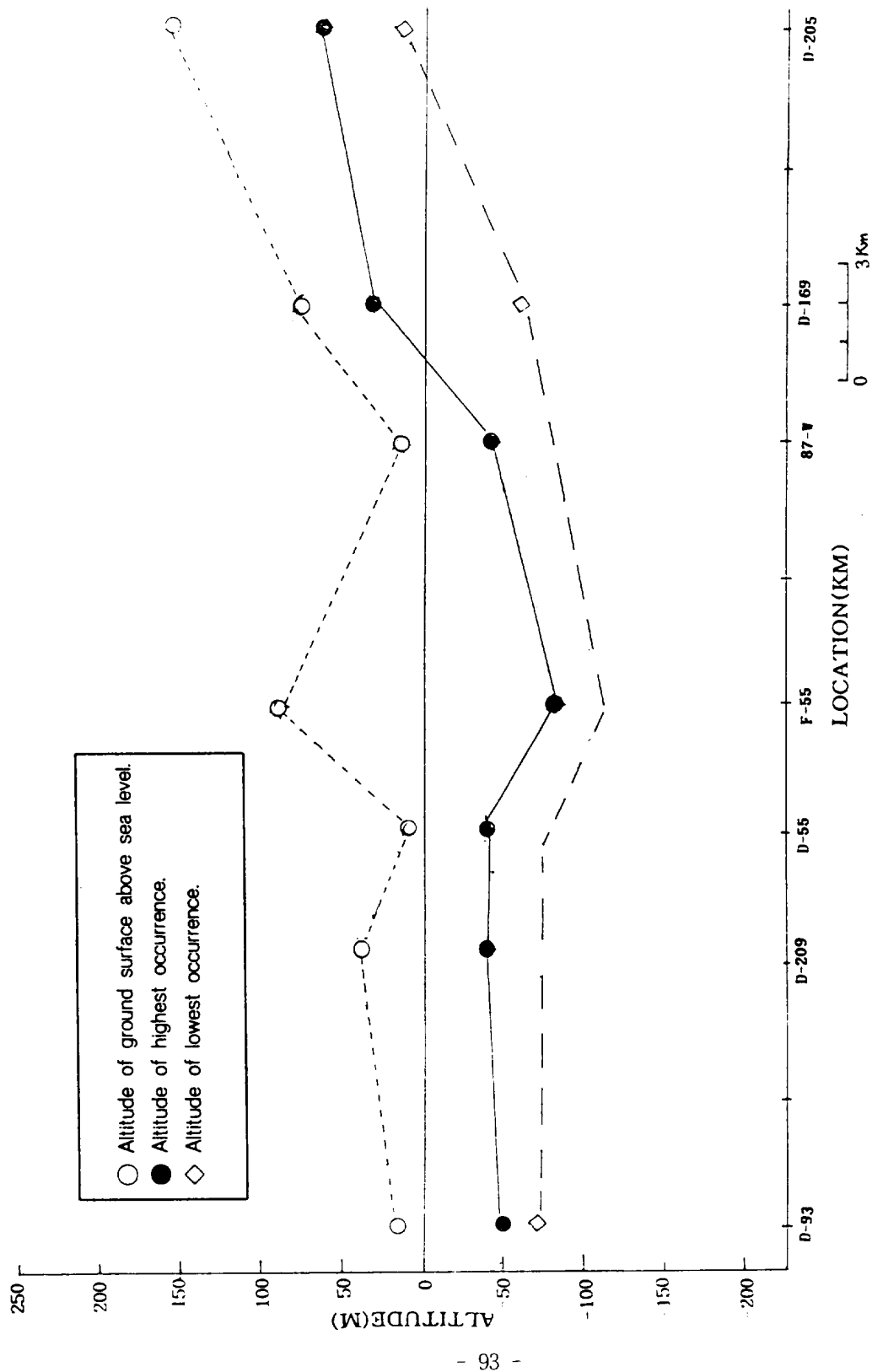


Fig. 40. Distribution and altitude of the highest and lowest occurrences of the SGF in the southwestern area of Cheju Island.

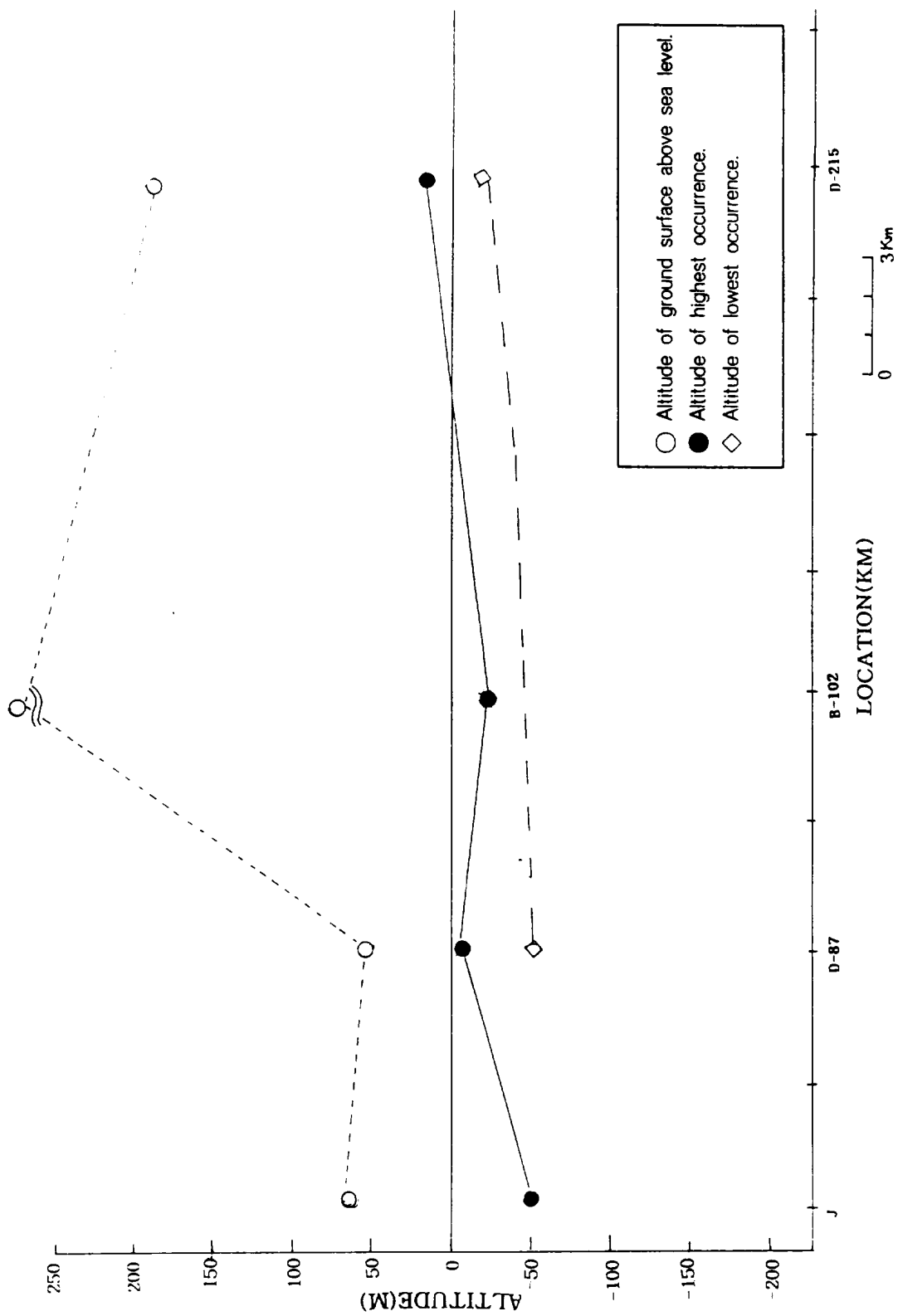


Fig. 40. Continued.

#### (4) 고토양층 (PS)

이 층은 본 연구 지역의 전 지역의 하부 층서에 분포하며 해수준면하에서 분포지역은 D-93, D-17, 24, 87-W, F-77, D-87, D-101이며, 해수면 상위에 분포지역은 D-56, F-55, F-76, B-63, D-138, D-165, D-169, D-205, D-168, D-178, D-118, B-102, D-215 이며 최저 분포지점은 D-118(-58)에서 D-215(-12m)사이에 분포한다(Table 25, Fig 41). 이 층의 상하위층은 FOB, SGF, FB, PC, SSF등으로 다양하다. 해수준면하 평균분포고도는 (-)43.6m이며, 해수준면상 평균분포고도는 96.4m이다.

Table 25. Altitude of occurrence and thickness of paleosols and the types of over- and underlying strata in the southwestern area

| Boring site | Bore hole No. | Altitude (m) | Boring depth (m) | Occurrence altitude(m) |       | Thickness (m) |     | Number of occurrence | Overlying strata | Underlying strata |
|-------------|---------------|--------------|------------------|------------------------|-------|---------------|-----|----------------------|------------------|-------------------|
|             |               |              |                  | Max                    | Min   | Max           | Min |                      |                  |                   |
| Kosan       | D-93          | 18           | 87               | -64.6                  |       | 1             |     | 1                    | SGF              | SGF               |
| Shindo      | D-56          | 30           | 100              | 23.8                   | -57.3 | 3.3           | 0.5 | 3                    | FOB              | SGF               |
| Meurcung    | D-17          | 34.76        | 114              | -53.24                 |       | 2             |     | 1                    | FOB              | FOB               |
| Sanyang     | F-55          | 98           | 196              | 41                     |       | 5             |     | 1                    | FOB              | FOB               |
| Chongsu     | 24            | 116          | 179              | -61                    |       | 2             |     | 1                    | SGF              |                   |
| Sangye      | 87-W          | 20           | 88               | -14                    | -42.7 | 0.6           | 0.5 | 2                    | FOB              | SGF               |
| Teoksu      | F-76          | 145          | 200              | 70                     | -45   | 5.5           | 1.5 | 3                    | PC               | SSF               |
| Seogwang    | F-77          | 150          | 180              | -13                    |       | 11            |     | 1                    | FOB              | FOB               |
| Kamsan      | B-63          | 130          | 203              | 114.4                  |       | 4.9           |     | 1                    | FBII             | FBII              |
| Hwasun      | D-138         | 80           | 90               | 37                     |       | 2             |     | 1                    | FBII             | SGF               |
| Sangchang   | D-165         | 190          | 207              | 108.7                  | 15    | 13.5          | 1.5 | 4                    | SGF              | SGF               |
| Yerye       | D-169         | 80           | 170              | 72                     | -50   | 9.5           | 2   | 4                    | SGF              | SGF               |
| Seakdal     | D-205         | 150          | 160              | 18                     |       | 2             |     | 1                    | SGF              | SGF               |
| Chungmun    | D-168         | 110          | 130              | 11                     | 5.5   | 3.5           | 2   | 2                    | TUFF             | SGF               |
| Hawon       | D-87          | 50           | 120              | -22.7                  | -52   | 18            | 6   | 3                    | SGF              | PC                |
| Kangjeong   | D-178         | 50           | 90               | 42.2                   |       | 5.9           |     | 1                    | T                | PC                |
| Yongheung   | D-118         | 160          | 220              | 115                    | -58   | 17            | 2   | 4                    | SSF              |                   |
| Kimok       | B-102         | 290          | 173              | 282                    | 208   | 5.5           | 2   | 3                    | PC               | T                 |
| Hogeun      | D-101         | 155          | 190.5            | -15                    |       | 20.5          |     | 1                    | SSF              |                   |
| Seohong     | D-215         | 180          | 196              | 90                     | -12   | 11.8          | 1.3 | 5                    | SGF              |                   |

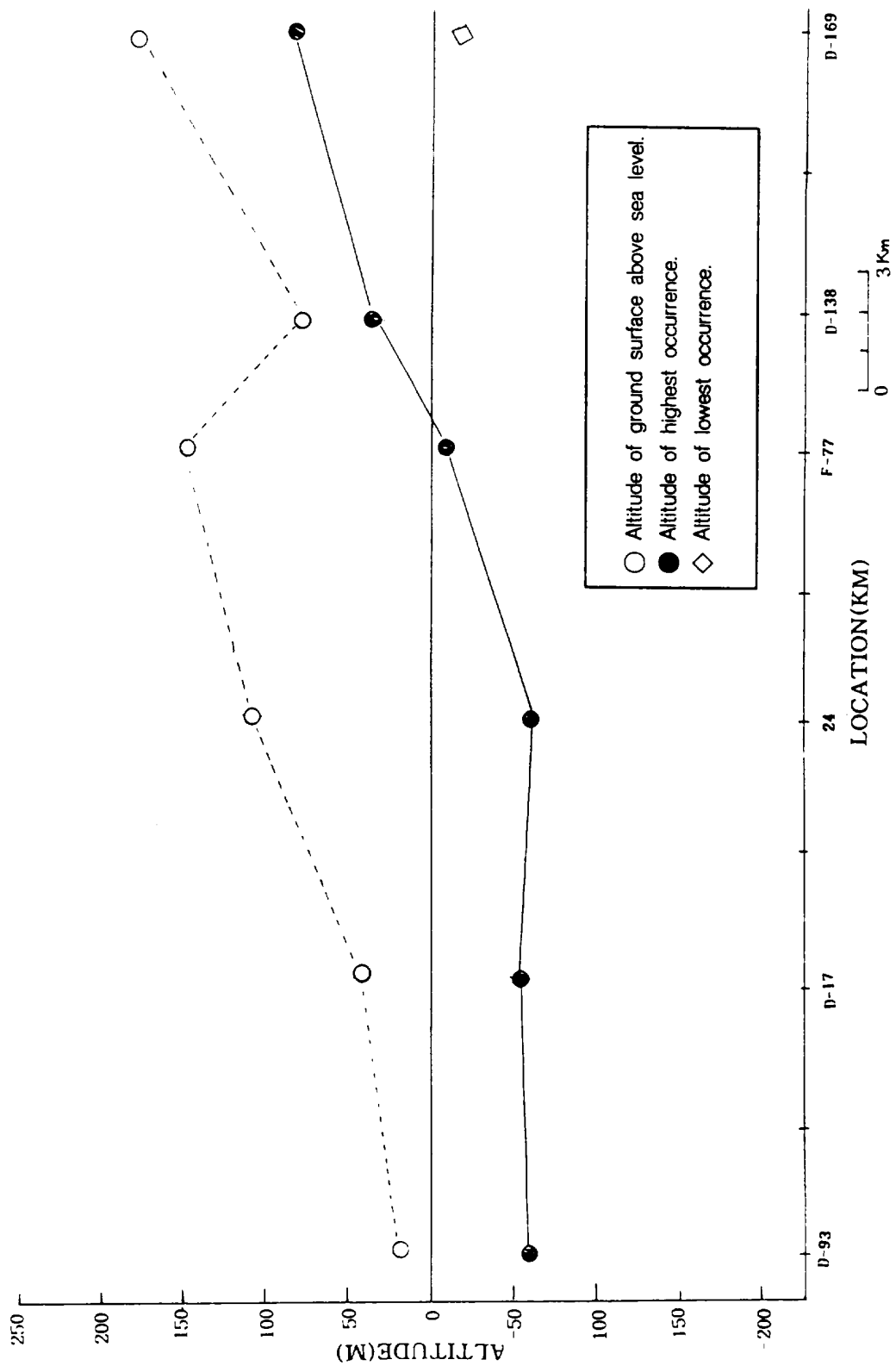


Fig. 41. Distribution and altitude of the highest and lowest occurrences of the paleosols in the southwestern area of Cheju Island.

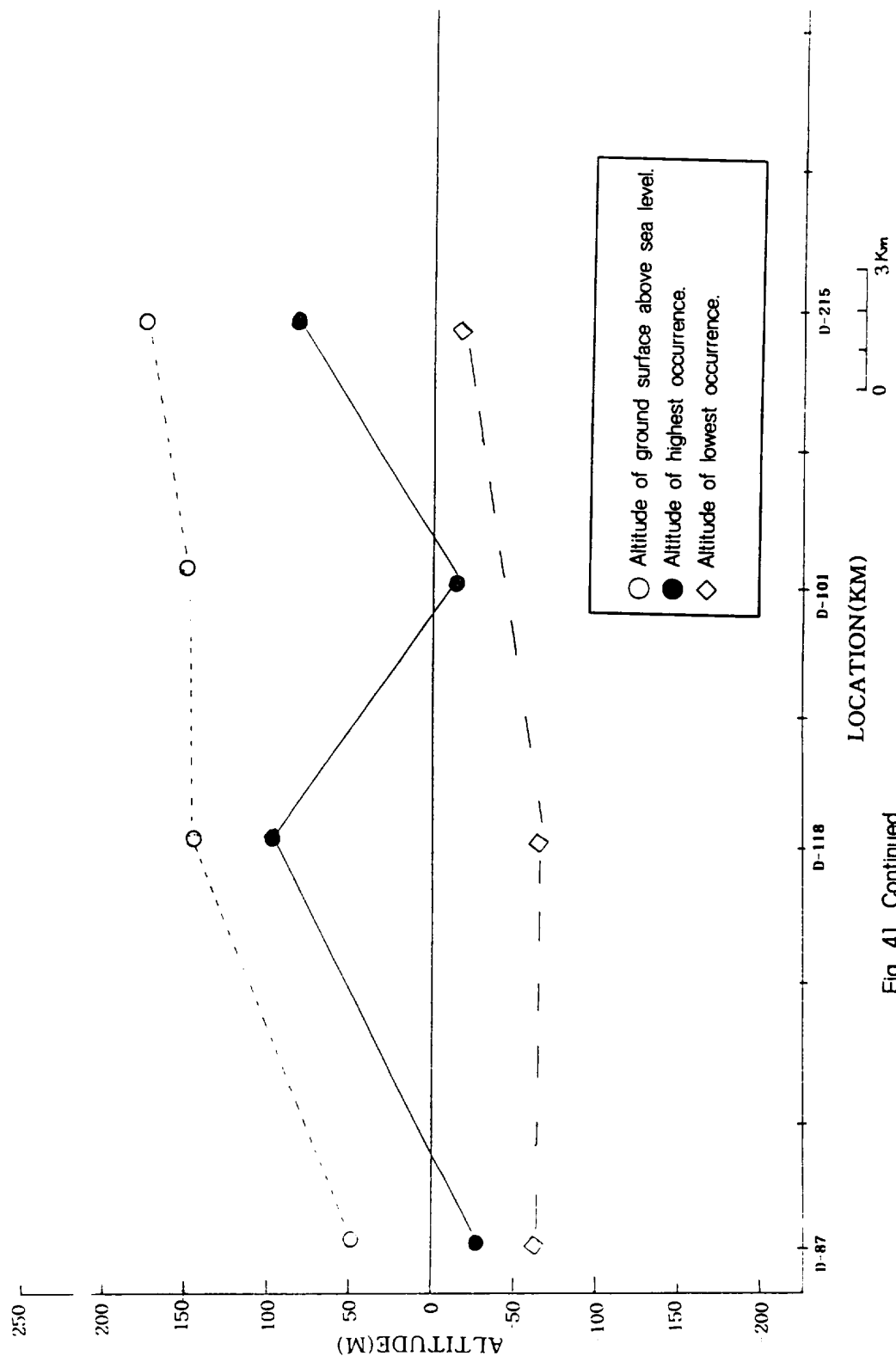


Fig. 41. Continued.

### (5) 성산층 (SSF)

이 층의 지표상에 분포는 군산, 월랑봉, 용머리, 송악산 제1분화구, 단산, 농남봉, 수월봉 등이다( Table 26, Fig 42). D-210, D-108, F-76, 22, B-65, D-25, B-7, D-39, D-111, B-17, B-52, F-15, B-12, B-102, D-116, D-101에서 해수준면 상에서 확인이 되며, 두께는 최고 126.5m이다. D-25, B-7, B-17, B-52, F-15, B-12에서는 조면암에 의해 피복되어 있다. 해수준면하에 분포하는 지점은 D-210, F-76이다.

Table 26. Altitude of occurrence and thickness of SSF and the types of over- and underlying strata in the southwestern area.

| Boring site | Bore hole No. | Altitude (m) | Boring depth (m) | Occurrence altitude(m) |       | Thickness (m) |     | Number of occurrence | Overlying strata | Underlying strata |
|-------------|---------------|--------------|------------------|------------------------|-------|---------------|-----|----------------------|------------------|-------------------|
|             |               |              |                  | Max                    | Min   | Max           | Min |                      |                  |                   |
| Poscong     | D-210         | 60           | 101              | -20                    | -36.8 | 9.7           | 4.2 | 2                    | PC               |                   |
| Seohong     | D-108         | 90           | 100              | 58.5                   | 4.9   | 45.4          | 1.3 | 3                    | T                | FOB               |
| Teoksu      | F-76          | 145          | 200              | -50                    |       | 4.5           |     | 1                    | PS               |                   |
| Seogwang    | 22            | 162          | 174              | 22                     |       | 10            |     | 1                    | FOB              | FOB               |
| Hwasun      | 19            | 122          | 130              | 12                     |       | 20            |     | 1                    | PS               |                   |
| Kamsan      | B-65          | 130          | 203              | 87                     |       | 11            |     | 1                    | FBII             | T                 |
| Changcheon  | D-25          | 173          | 90               | 82.4                   |       | 0.2           |     | 1                    | T                |                   |
| Sangchang   | B-7           | 200          | 65               | 143.5                  |       | 8.5           |     | 1                    | T                |                   |
| Seakdal     | D-39          | 140          | 150              | 53                     |       | 3             |     | 1                    | PC               | T                 |
| Chungmun    | D-111         | 100          | 220              | 4.5                    |       | 126.5         |     | 1                    | PC               |                   |
| Chungmun    | B-17          | 140          | 61               | 83                     |       | 4             |     | 1                    | T                |                   |
| Hwesu       | B-52          | 130          | 101              | 71                     |       | 17            |     | 1                    | T                |                   |
| Pweobhwan   | B-12          | 75           | 56.6             | 52                     |       | 31            |     | 1                    | T                | T                 |
| Kimok       | B-102         | 290          | 173              | 237.5                  |       | 20.6          |     | 1                    | FBII             | T                 |
| Hogun       | D-116         | 50           | 82               | 48.5                   |       | 33            |     | 1                    | SOL              | T                 |
| Hogun       | D-101         | 155          | 190              | 5                      |       | 20            |     | 1                    | PC               | PS                |

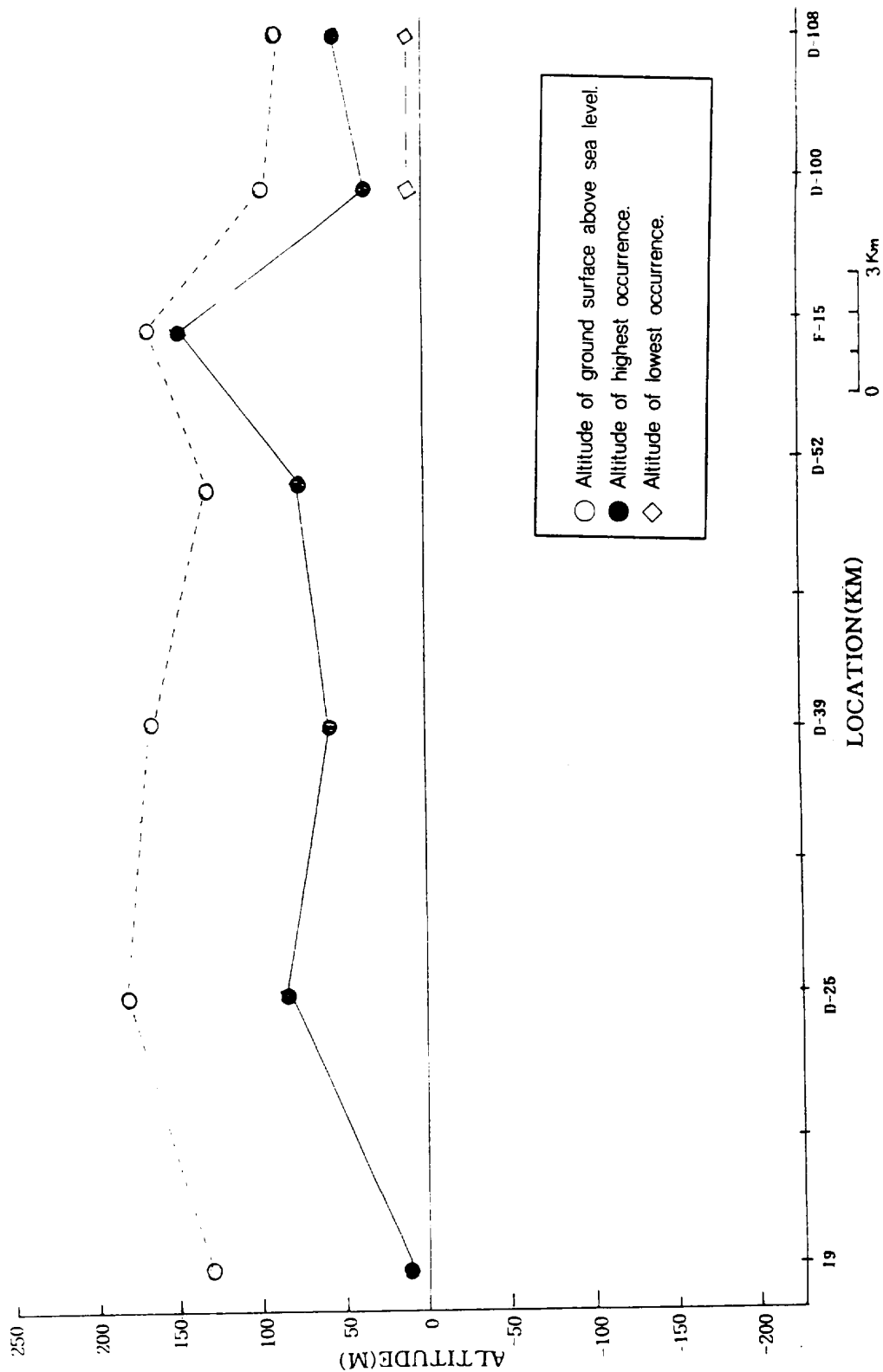


Fig. 42. Distribution and altitude of the highest and lowest occurrences of the SSF in the southwestern area of Cheju Island.

### 3) 화산암류

#### (1) 침상장석감람석현무암 (FOB)

이 지역에서의 분암은 서부지역인 고산에서부터 덕수까지 분포하며, 동부인 사계에 서 서흥까지는 지표나 지하에 분포하지 않는(Table 27, Fig 43). 해수준면하의 분포는 D-93(-46.2m), D-56(-53.5m), D-17(-55.24m), D-55(36.8m), 87-W(-36.5m), F-76(-15m), F-77(-30m)지점이며, 최저 -55.24m에서 -15m이다. 분출회수는 25회 (F-76)가 최고이다. 상하위층으로 PS나 PC, SGF, TUFF층이 분포한다. 해수준면하 평균분포고도 (-)39m이며, 두께 1~85m이다. 해수준면상 평균분포고도는 74.5m이며, 두께는 26.4m이다. 이 지역에서 B-2(강정), B-102(기목), B-1(서흥), D-262(서흥), D-187(동흥), D-263(토평), F-83(한남)에서 조면암의 하위층으로 서귀포층이 분포하는 것을 고려하면 D-108(서흥)조면암의 하위층에 분포하는 성산층은 서귀포층으로 판단이 되며, 그 하위층으로 FOB가 분포하는 것으로 해석이 된다. 특히 D-262(서흥)에서는 조면암 하부에 형성시기가 다른 서귀포층이 5매 확인된다. F-76(덕수)의 FOB 하부 성산층은 단산층이며 그 상위에 고토양과 조면암이 분포하며 조면암이 산방산 조면암으로 대비하면 하부 FOB와 단산층은 그 이전에 형성된 것이다.

Table 27. Altitude of occurrence and thickness of FOB and the types of over-  
and underlying strata in the southwestern area.

| Boring site | Bore hole No. | Altitude (m) | Boring depth (m) | Occurrence altitude(m) |        | Thickness (m) |     | Number of occurrence | Overlying strata | Underlying strata |
|-------------|---------------|--------------|------------------|------------------------|--------|---------------|-----|----------------------|------------------|-------------------|
|             |               |              |                  | Max                    | Min    | Max           | Min |                      |                  |                   |
| Kosan       | D-93          | 18           | 87               | 13                     | -46.2  | 60            | 5.3 | 2                    |                  | SGF               |
| Shindo      | D-56          | 30           | 100              | 29.4                   | -53.5  | 19.6          | 3   | 9                    | SOL              | PS                |
| Meureung    | D-17          | 34.76        | 114              | 34.76                  | -55.24 | 48            | 8.5 | 4                    | PS               | TUFF              |
| Yeongrak    | D-55          | 15           | 63               | 14.5                   | -36.8  | 22            | 3.3 | 6                    | SOL              | SGF               |
| Sanyang     | F-55          | 98           | 196              | 96                     | 50     | 22            | 6   | 8                    | SOL              | SGF               |
| Cheongsu    | 24            | 116          | 179              | 116                    | 16     | 25            | 1   | 14                   | TUFF             | PC                |
| Sangye      | 87-W          | 20           | 88               | 18.8                   | -36.5  | 16.5          | 0.5 | 9                    | SOL              | PS                |
| Teoksu      | F-76          | 145          | 200              | 144.5                  | -15    | 16            | 1   | 25                   | SOL              | PC                |
| Seogwang    | F-77          | 150          | 180              | 149.5                  | -30    | 26.5          | 2.5 | 15                   | SOL              |                   |
| Kamsam      | F-64          | 132          | 137              | 129.5                  | 92     | 9             | 2   | 9                    | SOL              | PC                |
| Seohong     | D-108         | 90           | 100              | 13                     |        | 13            |     | 1                    | SSF<br>(SGF)     |                   |

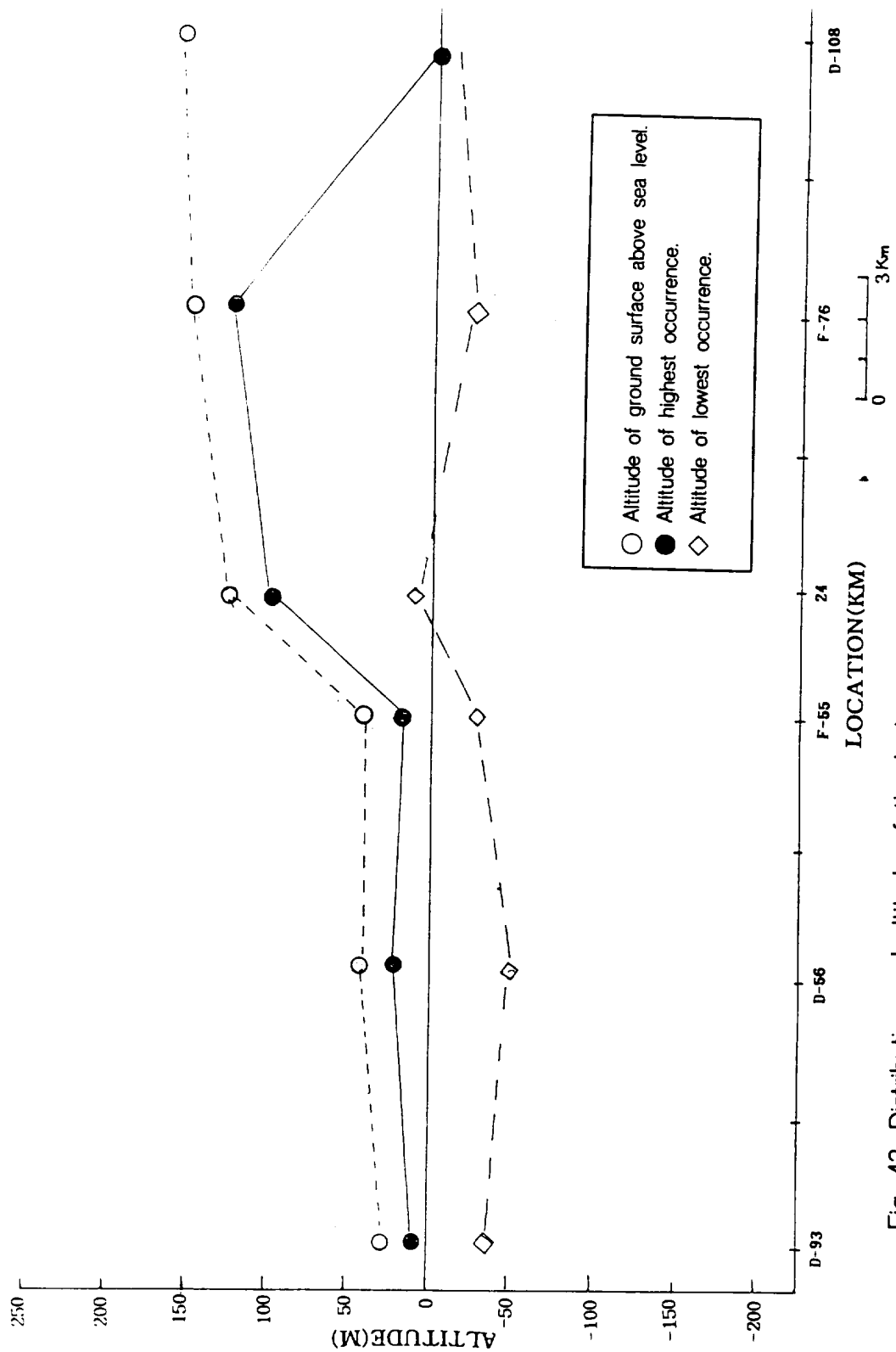


Fig. 43. Distribution and altitude of the highest and lowest occurrences of the FOB in the southwestern area of Cheju Island.

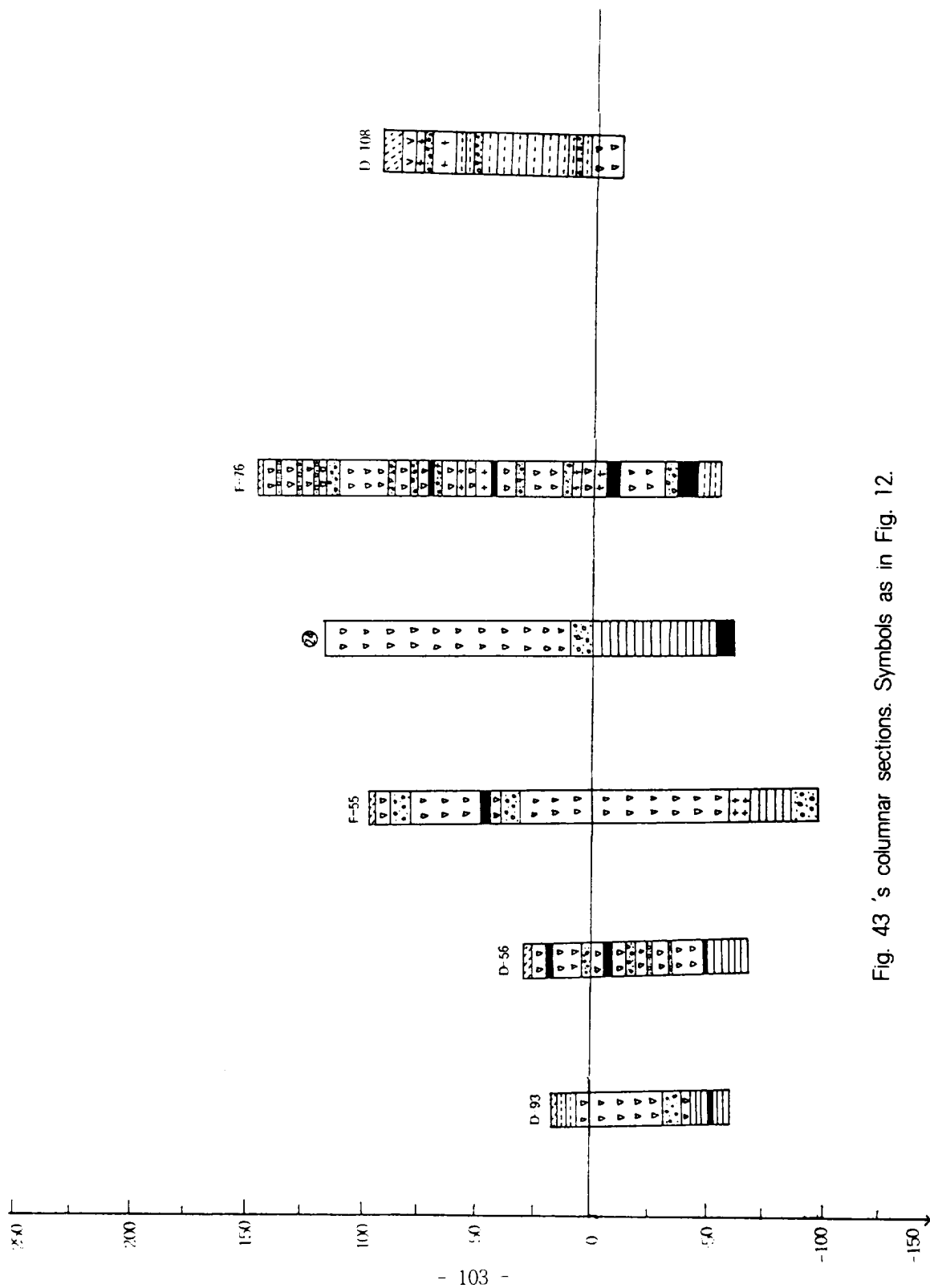


Fig. 43 's columnar sections. Symbols as in Fig. 12.

## (2) 장석 현무암 (FB)

이 암은 D-169지점만 제외하고 고도 100m 이상에 분포한다(Table 28, Fig 44). 두께는 최고 22.5m(B-63)이며 분출회수는 최고 9회(D-168)이다. 이 암석의 상위층은 화산쇄설물(PC)이며, B-63, D-138, B-65, D-69, B-102에서는 이 암석이 서귀포층을 피복하고 있다. 최고 분출고도는 290m, 그 두께는 48m이며, 최저는 39m 두께는 1m이다. 이 암석의 하부층서의 분포고도는 지표면상의 지형변화와 거의 일치한다.

Table 28. Altitude of occurrence and thickness of FB and the types of over- and underlying strata in the southwestern area.

| Boring site | Bore hole No. | Altitude (m) | Boring depth (m) | Occurrence altitude(m) |       | Thickness (m) |      | Number of occurrence | Overlying strata | Underlying strata |
|-------------|---------------|--------------|------------------|------------------------|-------|---------------|------|----------------------|------------------|-------------------|
|             |               |              |                  | Max                    | Min   | Max           | Min  |                      |                  |                   |
| Kamsan      | B-63          | 135          | 203              | 135                    | 109.5 | 22.5          | 15.6 | 2                    | PS               | SSF               |
| Hwasun      | D-138         | 80           | 90               | 78.5                   | 39    | 9             | 2    | 5                    | PC               | SGF               |
| Kamsan      | B-65          | 130          | 203              | 130                    | 109.5 | 22.5          | 15.6 | 2                    | PS               | SSF               |
| Sangchang   | D-49          | 140          | 135              | 132.5                  | 100   | 16            | 1    | 6                    | PC               | SSF               |
| Yerye       | D-169         | 80           | 170              | 80                     |       | 7             |      | 1                    |                  | T                 |
| Seakdal     | D-205         | 150          | 160              | 149.5                  | 104   | 22.4          | 2    | 7                    | PC               | PC                |
| Chungmun    | D-168         | 110          | 130              | 103                    | 29.5  | 19            | 2.5  | 9                    | PC               | T                 |
| Keorin      | H             | 550          | 263              | 550                    | 335   | 48            | 20   | 3                    |                  |                   |
| Yongheung   | D-118         | 160          | 220              | 149                    | 133   | 18            | 11   | 2                    | PC               | PS                |
| Kimok       | B-102         | 290          | 173              | 290                    | 282.3 | 12.8          | 7.7  | 2                    | PS               | SSF               |
| Seohong     | D-215         | 180          | 196              | 180                    | 170.5 | 8.5           | 8.3  | 2                    | PC               |                   |

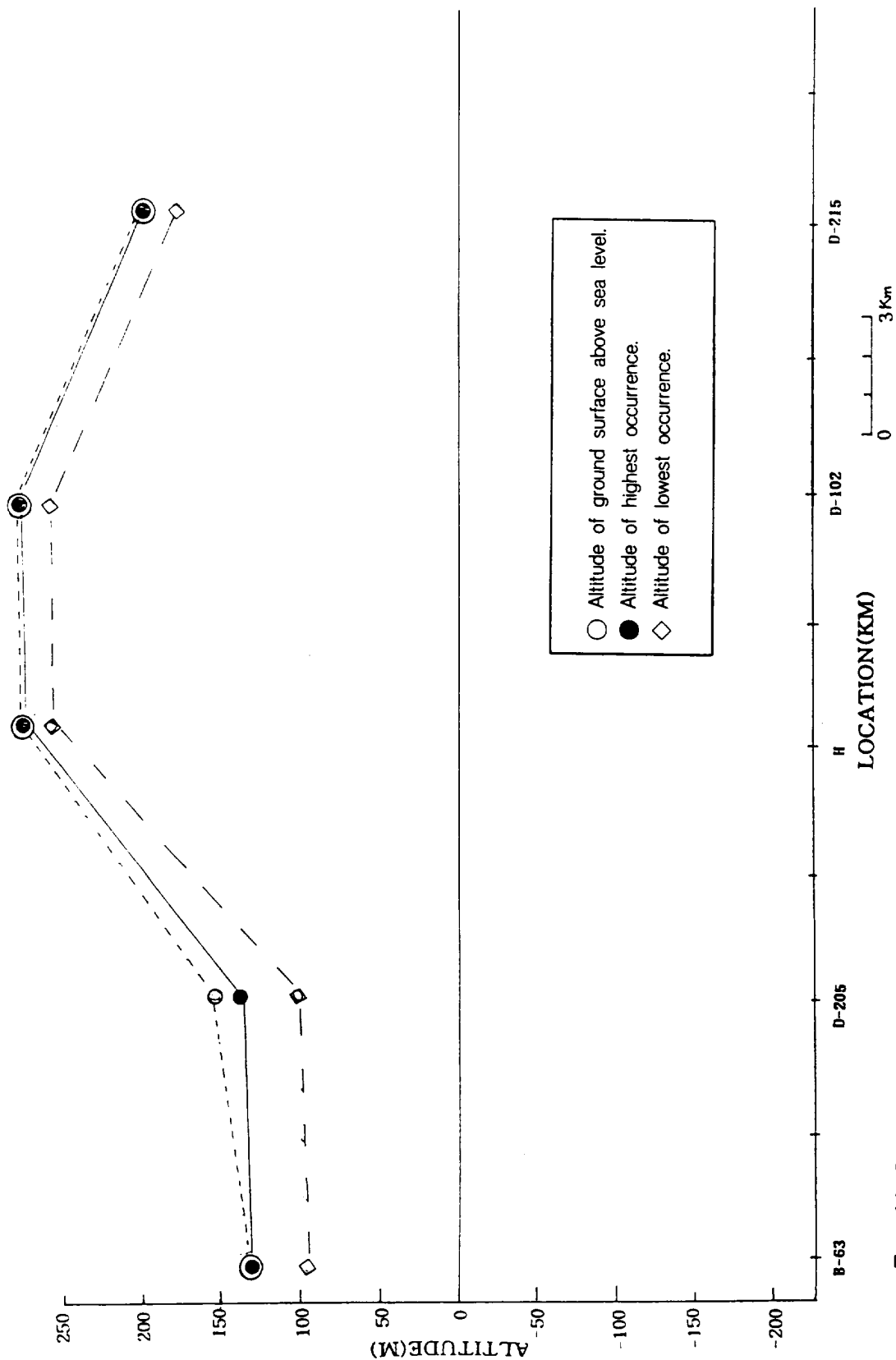


Fig. 44. Distribution and altitude of the highest and lowest occurrences of the FB in the southwestern area of Cheju Island.

### (3) 조면암 (T)

이 지역의 조면암류는 조면암(T-I, II, III)과 조면안산암(TA-II)으로 분류되지만, 모두 조면암으로 표기한다. 서부지역인 산양(F-55)에서 동부인 서귀포 서홍(D-215)까지 F-55지점을 제외하고 모두 해수면 상위에 분포한다(Table 29, Fig 45). 두께는 최고 80m(J)이며, 분출회수는 1~5회(B-102)이다. B-63, D-49, D-205, D-178, D-102, D-116에서는 상하위로 서귀포층이 분포한다. 평균분출고도는 109m이며, 두께는 29m이다.

Table 29. Altitude of occurrence and thickness of T and the types of over- and underlying strata in the southwestern area.

| Boring site | Bore hole No. | Altitude (m) | Boring depth (m) | Occurrence altitude(m) |       | Thickness (m) |      | Number of occurrence | Overlying strata | Underlying strata |
|-------------|---------------|--------------|------------------|------------------------|-------|---------------|------|----------------------|------------------|-------------------|
|             |               |              |                  | Max                    | Min   | Max           | Min  |                      |                  |                   |
| Sanyang     | F-55          | 98           | 196              | -62                    |       | 15            |      | 1                    | FOB              | PC                |
| Teoksu      | F-76          | 145          | 200              | 58                     | 9     | 13            | 2    | 3                    | FOB              | PS                |
| Kamsan      | B-63          | 130          | 203              | 76                     |       | 21.8          |      | 1                    | SSF              | SGF               |
| Sangchang   | D-49          | 140          | 135              | 81.9                   |       | 13.3          |      | 1                    | SSF              | PC                |
| Yerye       | D-169         | 80           | 170              | 71                     | 48    | 23            | 1.5  | 2                    | PS               | PS                |
| Seakdal     | D-205         | 150          | 160              | 78.6                   | 59.6  | 25.6          | 13.7 | 2                    | SGF              | SGF               |
| Chungmun    | J             | 75           | 880              | 75                     |       | 80            |      | 1                    | PC               |                   |
| Hawon       | D-87          | 50           | 120              | 48.2                   |       | 51.2          |      | 1                    |                  | SGF               |
| Keorin      | H             | 550          | 263              | 350                    |       | 15            |      | 1                    | FBIII            |                   |
| Kangjeong   | D-178         | 50           | 90               | 48.2                   | 6.8   | 22.8          | 4.7  | 4                    | PC               | SGF               |
| Yongheung   | D-118         | 160          | 220              | 112                    | 53.2  | 31            | 10   | 3                    | PC               | PS                |
| Kimok       | B-102         | 290          | 173              | 247                    | 154.3 | 30.2          | 8    | 5                    | PC               | SGF               |
| Hogeun      | D-116         | 50           | 82               | 33                     |       | 23            |      | 1                    | SSF              | SGF               |
| Seohong     | D-215         | 180          | 196              | 147.8                  |       | 47.9          |      | 1                    | PC               | PC                |

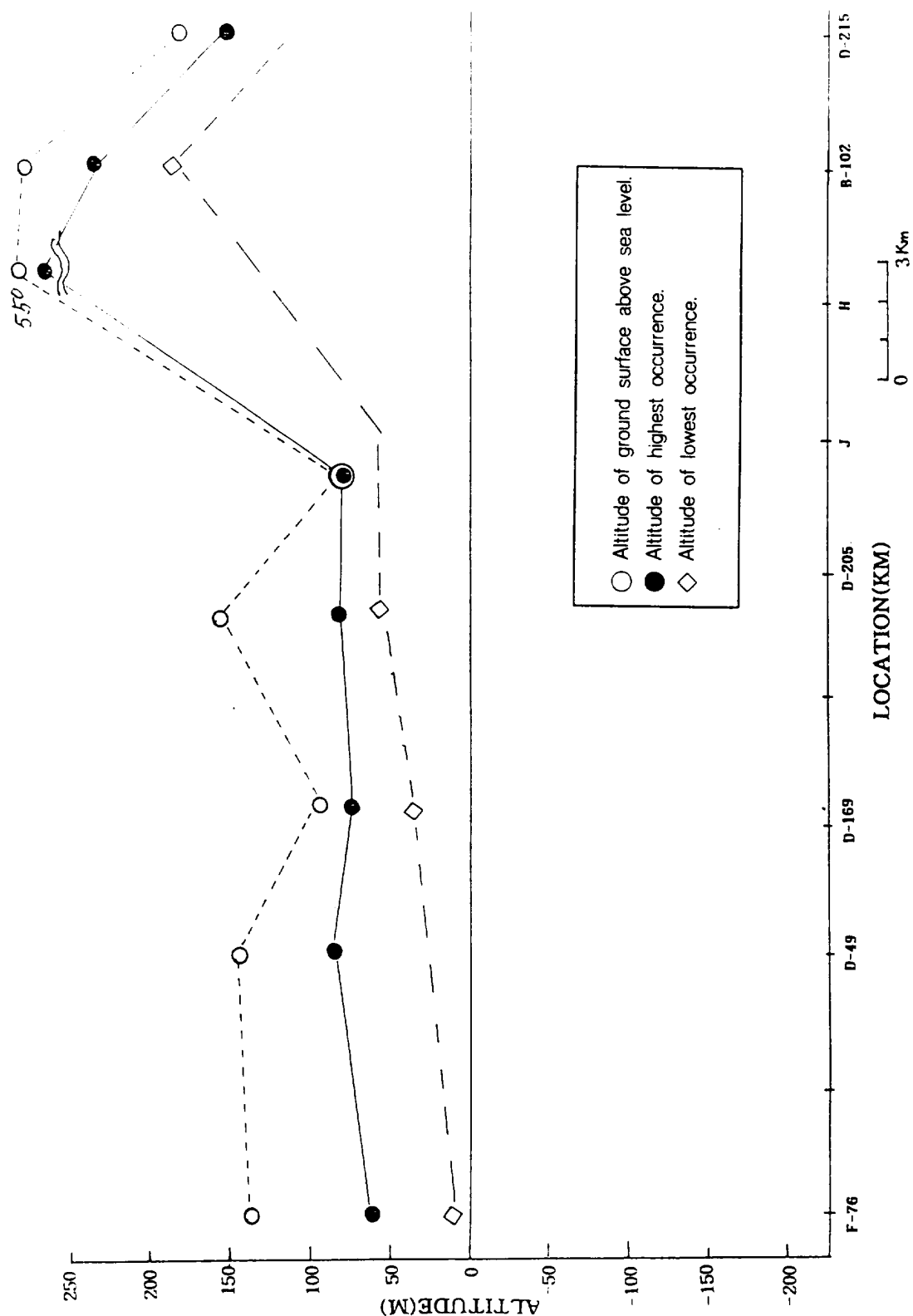


Fig. 45. Distribution and altitude of the highest and lowest occurrences of the T in the southwestern area of Cheju Island.

### 3-4. 남동부 지역

#### 3-4-1. 일반지질

이 지역의 지질도와 항공사진 판독도는 Fig 46, 47와 같다. 퇴적층(암)류는 성산층(SSF)인 성산일출봉(98m) 및 매오름(85m)과 신양리층, 웅회암, 미고결층, 서귀포층 고토양층이 지표상 혹은 하부층서에 고도별 또는 층서별로 분포한다. 화산암류는 침상장석감람석현무암(FOB), 장석현무암(FB), 반상휘석현무암(PAB), 반상장석 현무암(PFB), 비현정질 현무암(APB), 조면암(T) 등이 지표상 혹은 하부층서에 분포한다. 분 석구는 영주산(150m), 본지오름(20m), 독자봉(70m), 달산봉(60m), 자배봉(104m), 논고 약(80m) 등 40여좌가 분포한다. 침상장석감람석현무암은 남원, 태흥, 표선, 신양리 지 역일대에 분포하며, 비현정질현무암은 상호와 남원읍 신흥리 일대에 분포한다. 그 외 지역에서는 하부층(Fig 49)에 조면암이 분포한다. 사구층은 신양리, 표선리 해안에 분 포하며, 신양리 사구층은 황갈색 사구층이며 표선리 사구층은 패각사로 이루어진 백 사구층이다.

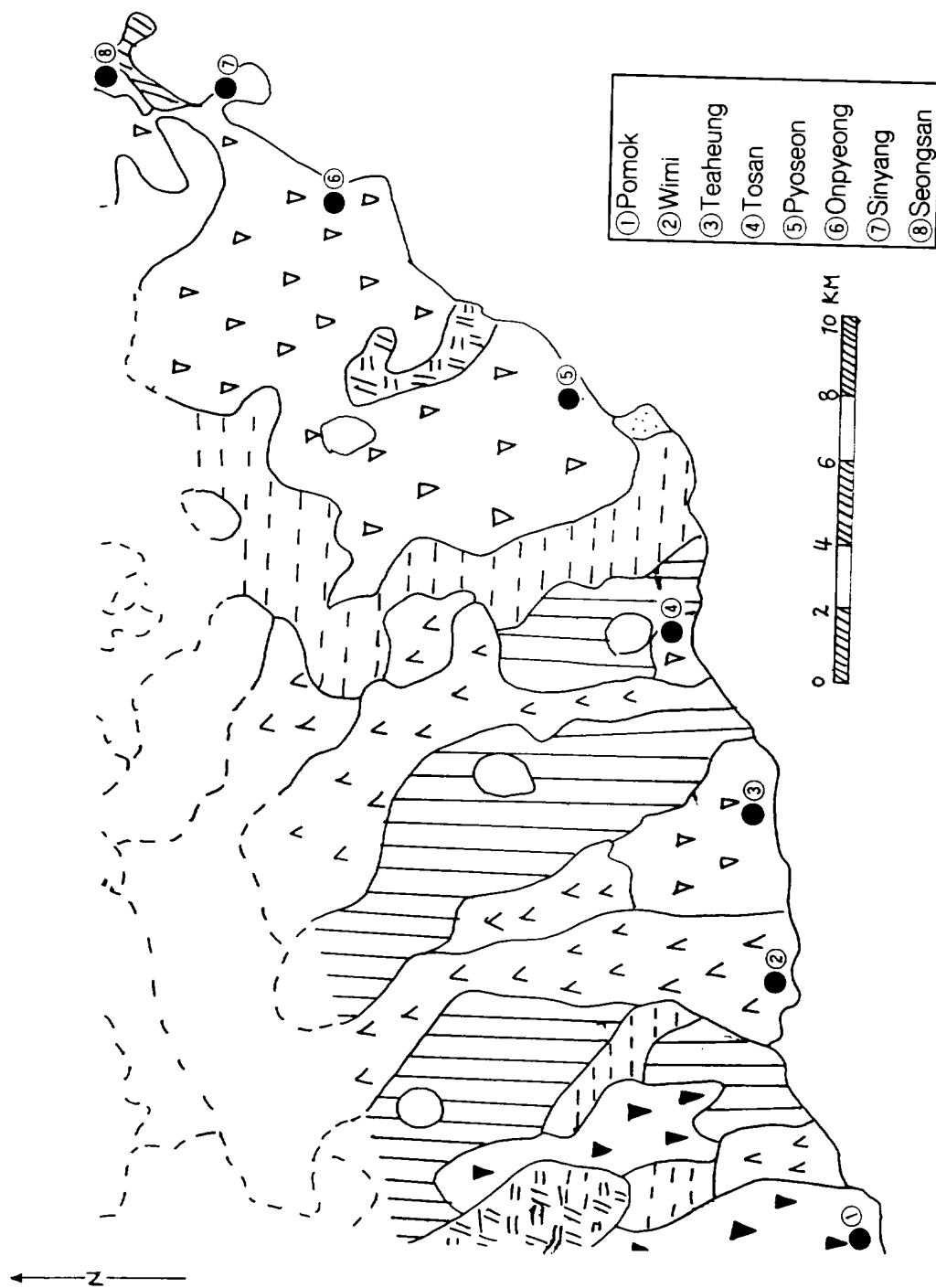


Fig. 46. Geological map in the southeastern part of Cheju Island. Symbols as in Fig 8.

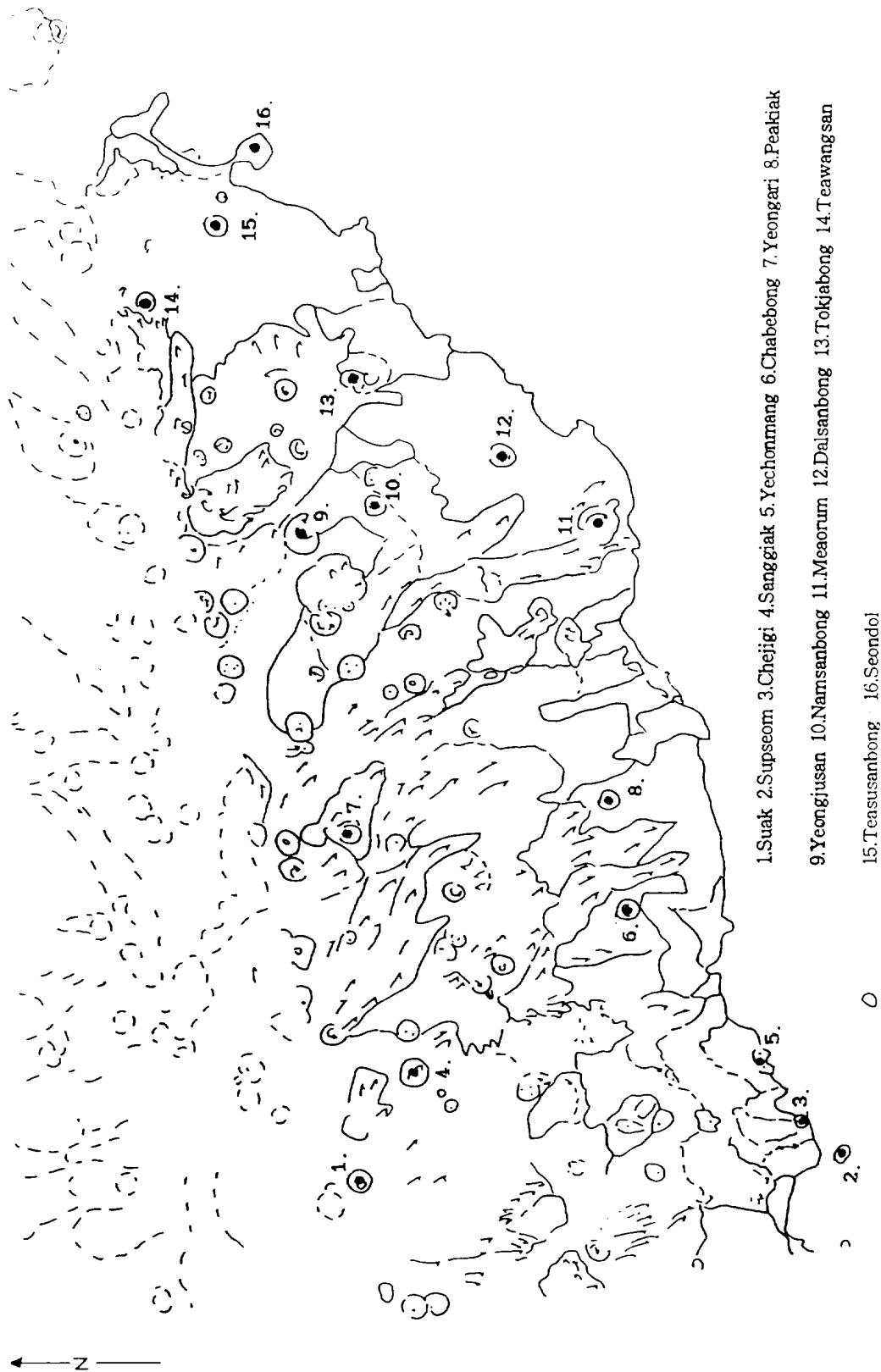


Fig. 47. Lava flow directions in the southeastern part of Cheju Island.

### 3-4-2. 암석층서

이 지역에서 선별된 시추공 위치로 Fig 48과 같다.

각 지점의 시추공지질주상도 자료는 각각 Fig 48, 49, Table 30과 같다.

Table 30. Bore hole data in the southeastern area.

| A<br>r<br>e<br>a | Boring site | Bore<br>hole<br>No. | Altitude<br>(m) | Boring<br>depth | A<br>r<br>e<br>a | Boring site | Bore<br>hole<br>No. | Altitude<br>(m) | Boring<br>depth |
|------------------|-------------|---------------------|-----------------|-----------------|------------------|-------------|---------------------|-----------------|-----------------|
|                  |             |                     |                 |                 |                  |             |                     |                 |                 |
| S                | Seohong     | D-262               | 200             | 213             | S                | Sumang      | B-69                | 160             | 172.7           |
|                  | Seohong     | D-215               | 180             | 196             |                  | Sumang      | L                   | 180             | 230             |
|                  | Tonghong    | D-187               | 170             | 172             |                  | Sinhung     | G                   | 115             | 600             |
|                  | Namseong    | I                   | 35              | 350             |                  | Kasi        | f                   | 140             | 170             |
|                  | Namseong    | N                   | 25              | 275             |                  | Kama        | B-56                | 25              | 43.5            |
|                  | Pcobhocheon | B-97                | 220             | 147             |                  | Tosan       | F-15                | 170             | 177             |
|                  | Topyeong    | D-263               | 220             | 192             |                  | Seongeup    | D-20                | 129             | 143             |
|                  | Pomok       | D-125               | 110             | 165             |                  | Hacheon     | D-31                | 50              | 80              |
|                  | Sanghyo     | D-274               | 118             | 146             |                  | Seongeup    | B-92                | 200             | 207             |
|                  | Tonneko     | M                   | 290             | 550             |                  | Seongeup    | M                   | 200             | 280             |
| E                | Sanghyo     | 17                  | 120             | 157             | E                | Seongeup    | F                   | 150             | 690             |
|                  | Sangye      | B-72                | 160             | 202             |                  | Hacheon     | D-259               | 68              | 100.5           |
|                  | Wimi        | D-97                | 160             | 170             |                  | Sinpung     | D-271               | 93              | 125             |
|                  | Wimi        | F-39                | 140             | 170             |                  | Samdal      | W-9                 | 70.57           | 80              |
|                  | Hannam      | F-83                | 150             | 170             |                  | Nansan      | B-33                | 43.17           | 60              |
|                  | Fuigwi      | g                   | 82              | 102             |                  | Susan       | D-282               | 145             | 170             |
|                  |             |                     |                 |                 |                  |             |                     |                 |                 |

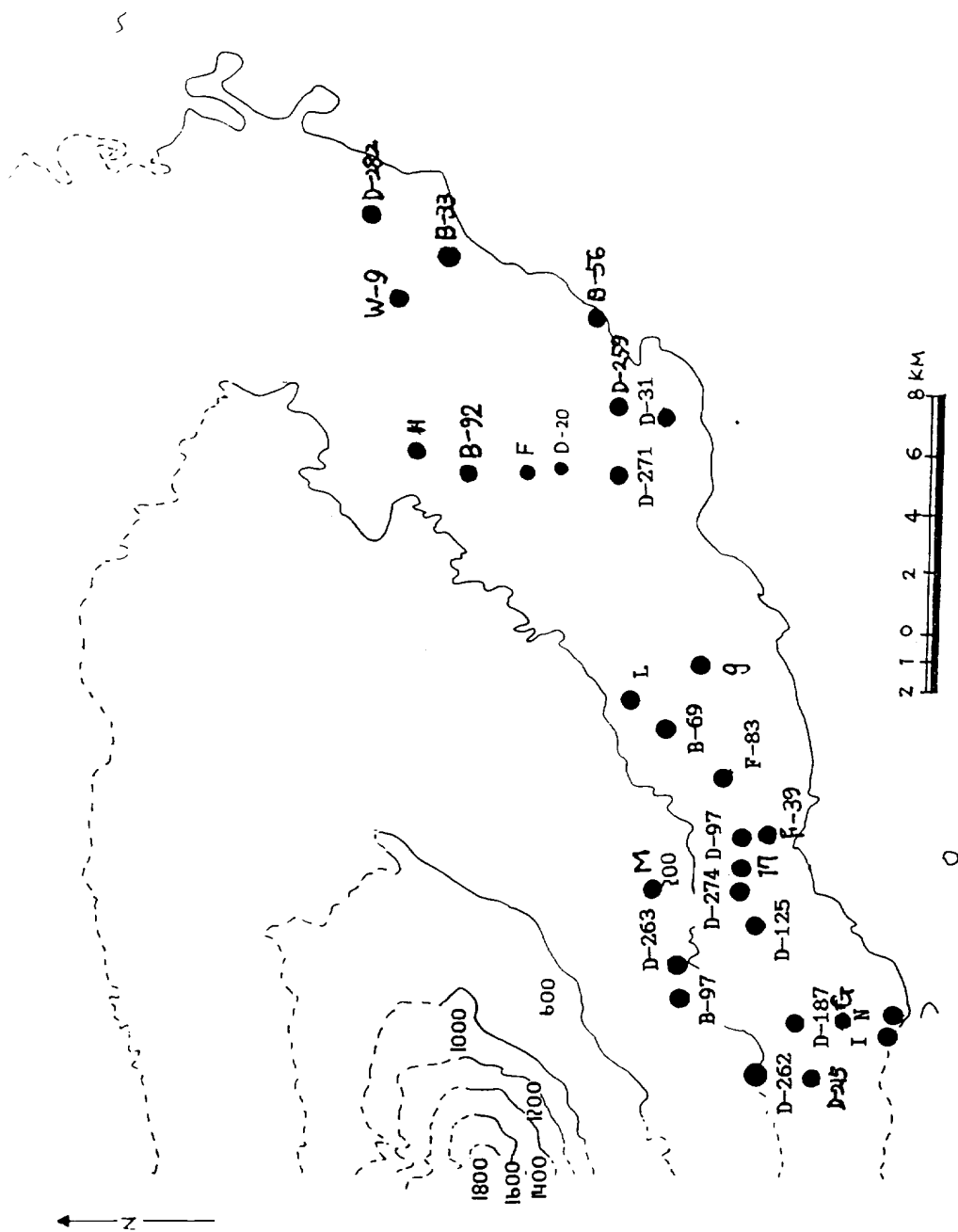


Fig. 48. Location map of boring sites in the southeastern part of Cheju Island.

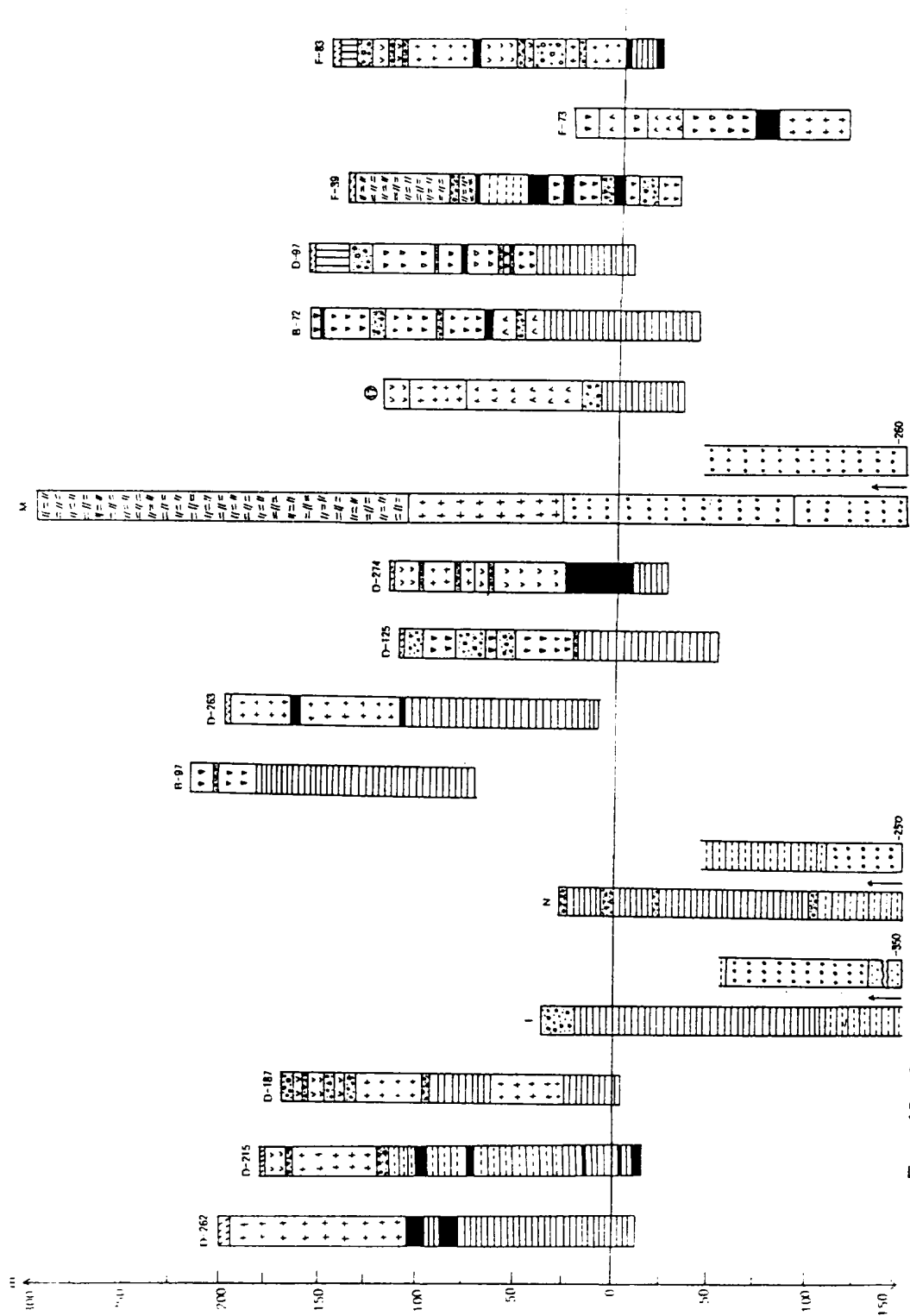


Fig. 49. Columnar sections of cores drilled in the southeastern part of Cheju Island.  
Symbols as in Fig 12.

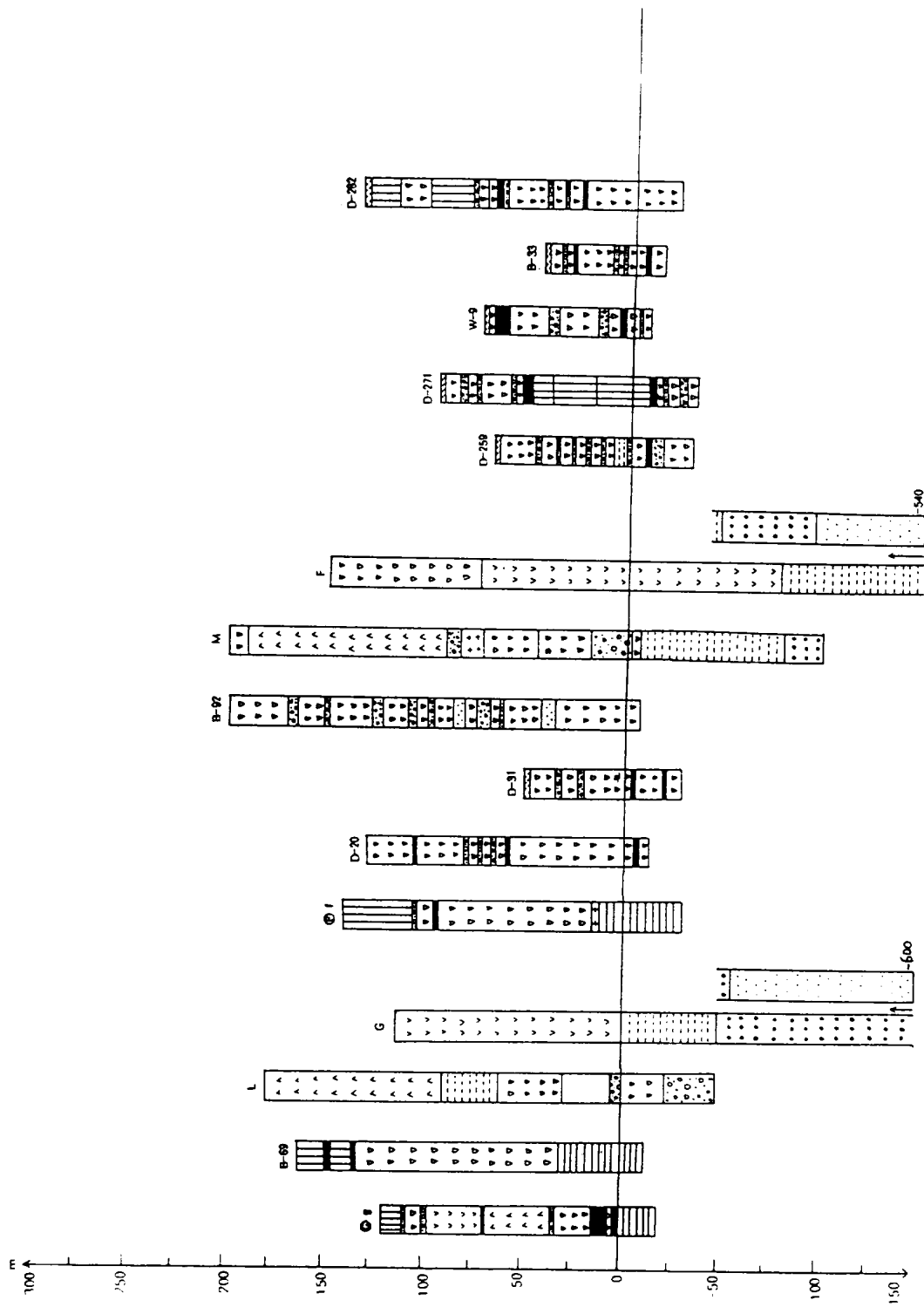


Fig. 49. Continued

## 1) 퇴적(층)암류

### (1) 용회암 (Tuff)

이 지역에서 이 암층은 동부지역의 하효(D-36), 위미(D-22), 신흥(G) 성읍(F)에서 해수준면하 해수면상 0.5m(하효)선상에 분포한다. 특히 서귀포시 남성동(I)에서는 해수준면하 -315m 성읍(-)317m에서 분포한다. 이 암석의 상위층으로는 I, G, F에서는 SHF가 분포하며, 하위층은 시추종료 관계로 확인할 수 없다. 해수준면하 평균 분출 고도는 -186m이고, 두께는 145m이다(Table 31, Fig 50).

Table 31. Altitude of occurrence and thickness of Tuff and the types of over- and underlying strata in the southeastern area.

| Boring<br>site | Bore<br>hole<br>No. | Altitude<br>(m) | Boring<br>depth<br>(m) | Occurrence  |     | Thickness<br>(m) |     | Number<br>of<br>occurrence | Overlying<br>strata | Underlying<br>strata |
|----------------|---------------------|-----------------|------------------------|-------------|-----|------------------|-----|----------------------------|---------------------|----------------------|
|                |                     |                 |                        | altitude(m) |     |                  |     |                            |                     |                      |
|                |                     |                 |                        | Max         | Min | Max              | Min |                            |                     |                      |
| Hahyo          | D-36                | 80              | 92                     | 0.5         |     | 12.5             |     | 1                          | FBII                |                      |
| Wimi           | D-22                | 62.62           | 90                     | -8.88       |     | 11               |     | 1                          | FOB                 |                      |
| Shinheung      | G                   | 115             | 600                    | -290        |     | 195              |     | 1                          | SHF                 |                      |
| Seongeup       | F                   | 150             | 690                    | -317        |     | 223              |     | 1                          | SHF                 |                      |

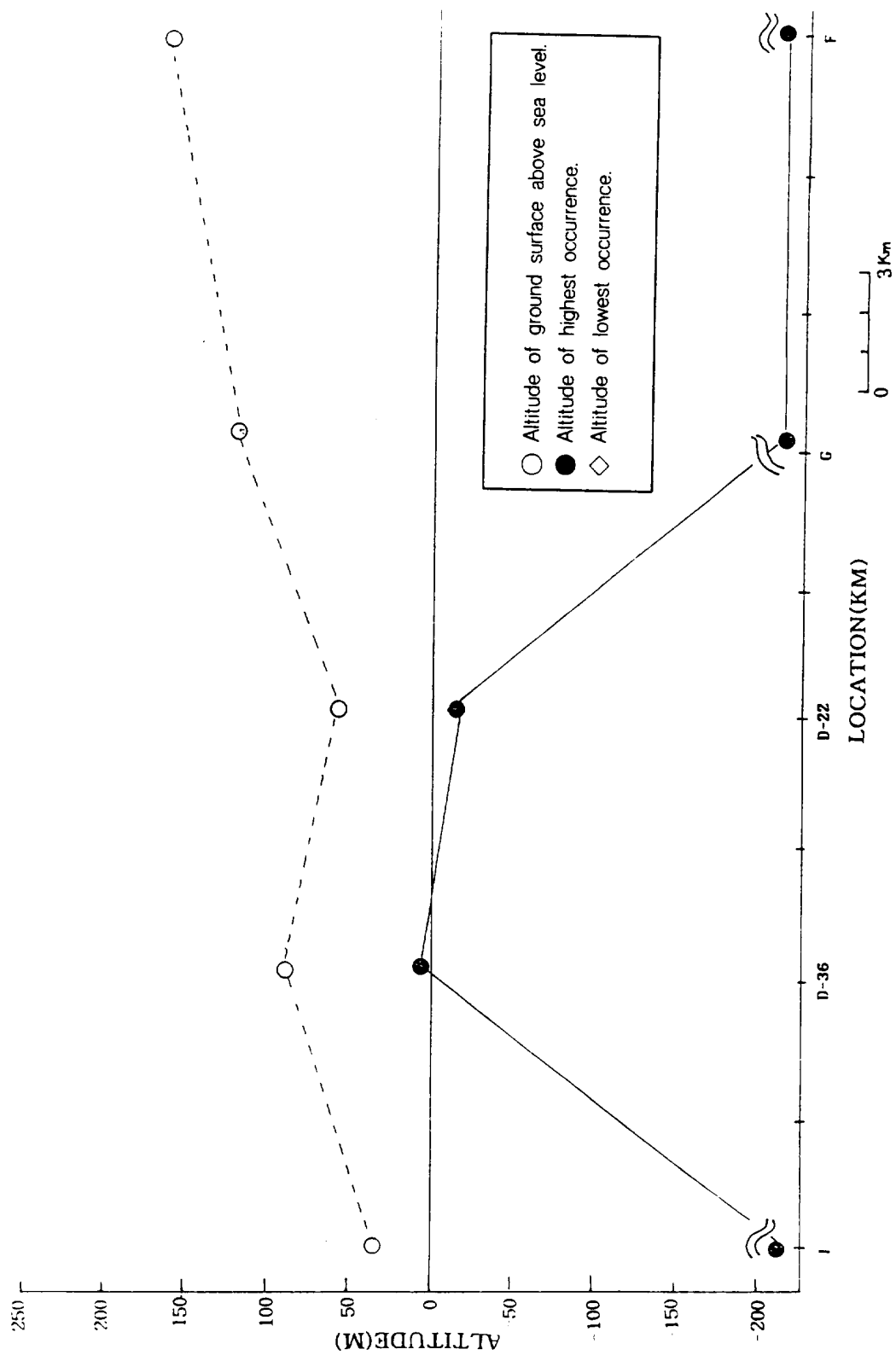


Fig. 50. Distribution and altitude of the highest and lowest occurrences of the Tuff in the southeastern area of Cheju Island.

(2) 미고결층 (쇄화리층 : SHF)

이 층은 서귀포 남성동(N : 표고 25m, 심도 275m), 돈네코(M : 표고 290m, 심도 550m), 성읍(F : 표고 150m, 심도 690m)에서 각 (-)230m, (-)245m, (+)30m, (-)121m 표고 선상에 상위층이 분포가 시작한다(Table 32, Fig 51). 그 상위층으로 T, APB가 본층을 피복하고 있으며, 하위에는 F, I 에서 TUFF층이 분포한다. 평균 분포고도는 해수준면 하(-)141m 이다.

Table 32. Altitude of occurrence and thickness of SHF and the types of over- and underlying strata in the southeastern area.

| Boring site | Bore hole No. | Altitude (m) | Boring depth (m) | Occurrence altitude(m) |     | Thickness (m) |     | Number of occurrence | Overlying strata | Underlying strata |
|-------------|---------------|--------------|------------------|------------------------|-----|---------------|-----|----------------------|------------------|-------------------|
|             |               |              |                  | Max                    | Min | Max           | Min |                      |                  |                   |
| Namseong    | N             | 25           | 275              | -230                   |     | 20            |     | 1                    | APB              |                   |
| Tonneko     | M             | 290          | 550              | 30                     |     | 290           |     | 1                    | T                |                   |
| Seongeup    | F             | 150          | 690              | -121                   |     | 196           |     | 1                    | APB              | TUFF              |
| Namseong    | I             | 35           | 350              | -245                   |     | 70            |     | 1                    | APB              | TUFF              |
| Sinhung     | G             | 100          | 600              | -500                   |     | 130           |     | 1                    | APB              | TUFF              |

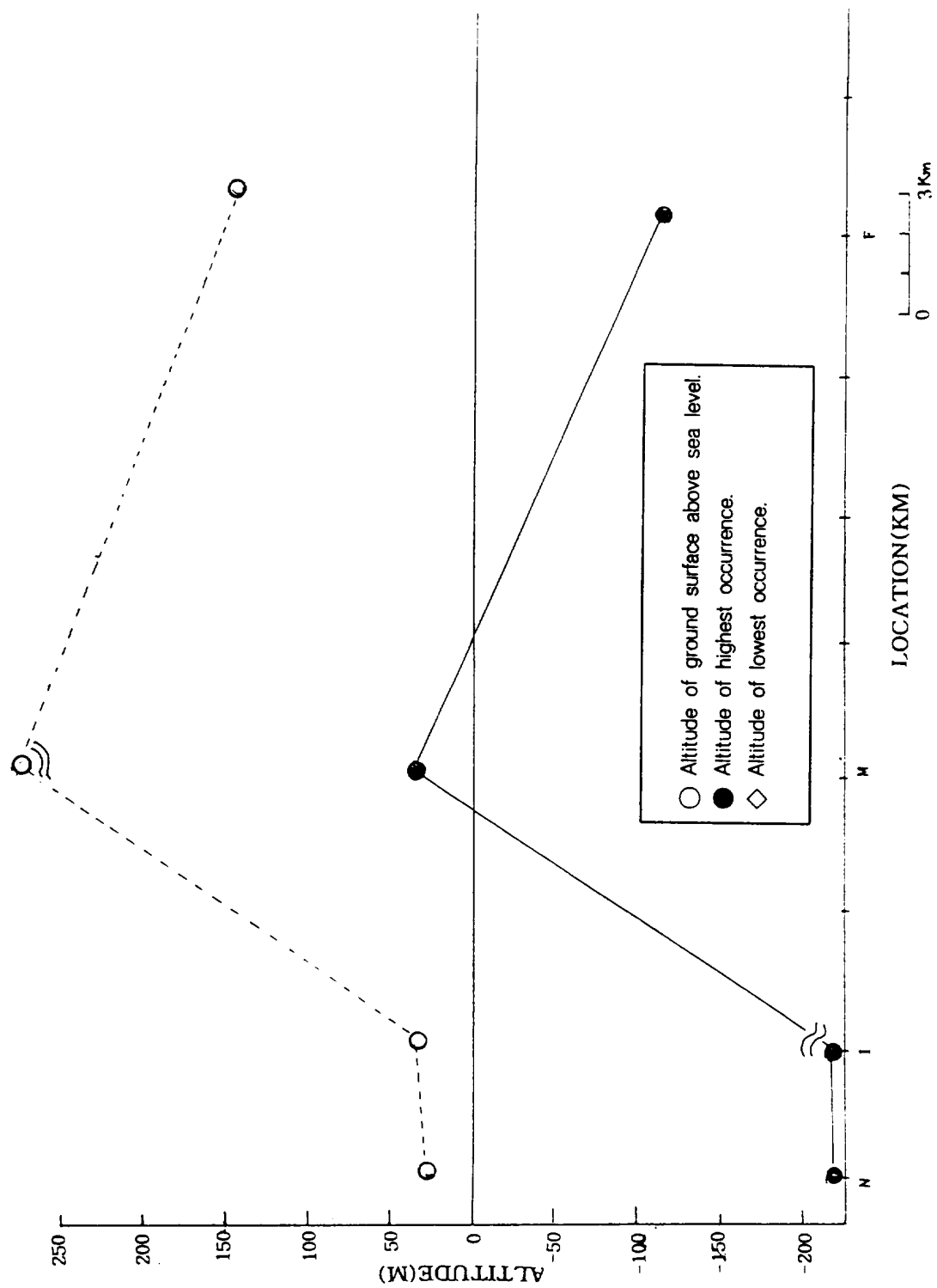


Fig. 51. Distribution and altitude of the highest and lowest occurrences of the SHF in the southeastern area of Cheju Island.

### (3) 서귀포층 (SGF)

이 층은 이 지역의 서부지역에 해당하는 서홍(D-262)에서부터 동부쪽의 남원읍, 표선면 일부인 가시지역까지 넓게 분포한다(Table 33, Fig 52). 최고 분출고는 법호촌(B-97 : 표고 220m, 심도 147m)에서 해수준고 (+)191.7m이며, 최저 분출고는 상효(D-274)에서 해수준고 (-)12m이다. 상효(D-274)지역을 제외한 전 지역에서 해수면상에 분포하며 분출고는 일정하지는 않다. 이 층의 상위층은 D-262, D-274 에서는 PS가, B-108, B-97, B-63에서는 FBⅡ가, D-187에서 조면암(T)이, N, 17에서는 PC가, B-97, D-129, B-69, F 에서는 FOB 가 분포한다. 분포심부지형의 변화는 지표지형 변화고도와 거의 일치한다(Fig 52).

Table 33. Altitude of occurrence and thickness of SGF and the types of over- and underlying strata in the southeastern area

| Boring site | Bore hole No. | Altitude (m) | Boring depth (m) | Occurrence altitude(m) |     | Thickness (m) |     | Number of occurrence | Overlying strata | Underlying strata |
|-------------|---------------|--------------|------------------|------------------------|-----|---------------|-----|----------------------|------------------|-------------------|
|             |               |              |                  | Max                    | Min | Max           | Min |                      |                  |                   |
| Seohong     | D-262         | 200          | 213              | 74                     | -13 | 43            | 3   | 5                    | PS               |                   |
| Miak        | B-108         | 240          | 94.7             | 151.3                  |     | 6             |     | 1                    | FBⅡ              |                   |
| Tonghong    | D-187         | 170          | 172              | 88                     | 24  | 37            | 26  | 2                    | T                |                   |
| Namseong    | I             | 35           | 350              | 17                     |     | 98            |     | 1                    | PC               |                   |
| Namseong    | N             | 25           | 275              | 25                     | -25 | 75            | 20  | 3                    | PC               | PC                |
| Peobhochon  | B-97          | 220          | 147              | 191.7                  |     | 118.7         |     | 1                    | FBⅡ              |                   |
| Topyeong    | D-263         | 200          | 192              | 108                    | 47  | 39            | 9   | 4                    | FBⅡ              |                   |
| Pomok       | D-63          | 60           | 70               | 7.5                    |     | 17.5          |     | 1                    | FBⅡ              |                   |
| Sanghyo     | D-274         | 118          | 146              | -12                    | -24 | 4             | 2   | 5                    | PS               |                   |
| Sanghyo     | 17            | 120          | 157              | 10                     |     | 47            |     | 1                    | PC               |                   |
| Sangwimi    | D-97          | 160          | 170              | 43                     |     | 53            |     | 1                    | FOB              |                   |
| Chabebong   | D-129         | 150          | 170              | 2.9                    |     | 22.9          |     | 1                    | FOB              |                   |
| Hannam      | F-83          | 150          | 170              | -3                     |     | 15            |     | 1                    | PS               |                   |
| Sumang      | B-69          | 160          | 172.7            | 26                     |     | 38.5          |     | 1                    | FOB              |                   |
| Kasi        | F             | 140          | 170              | 10                     |     | 40            |     | 1                    | FOB              |                   |

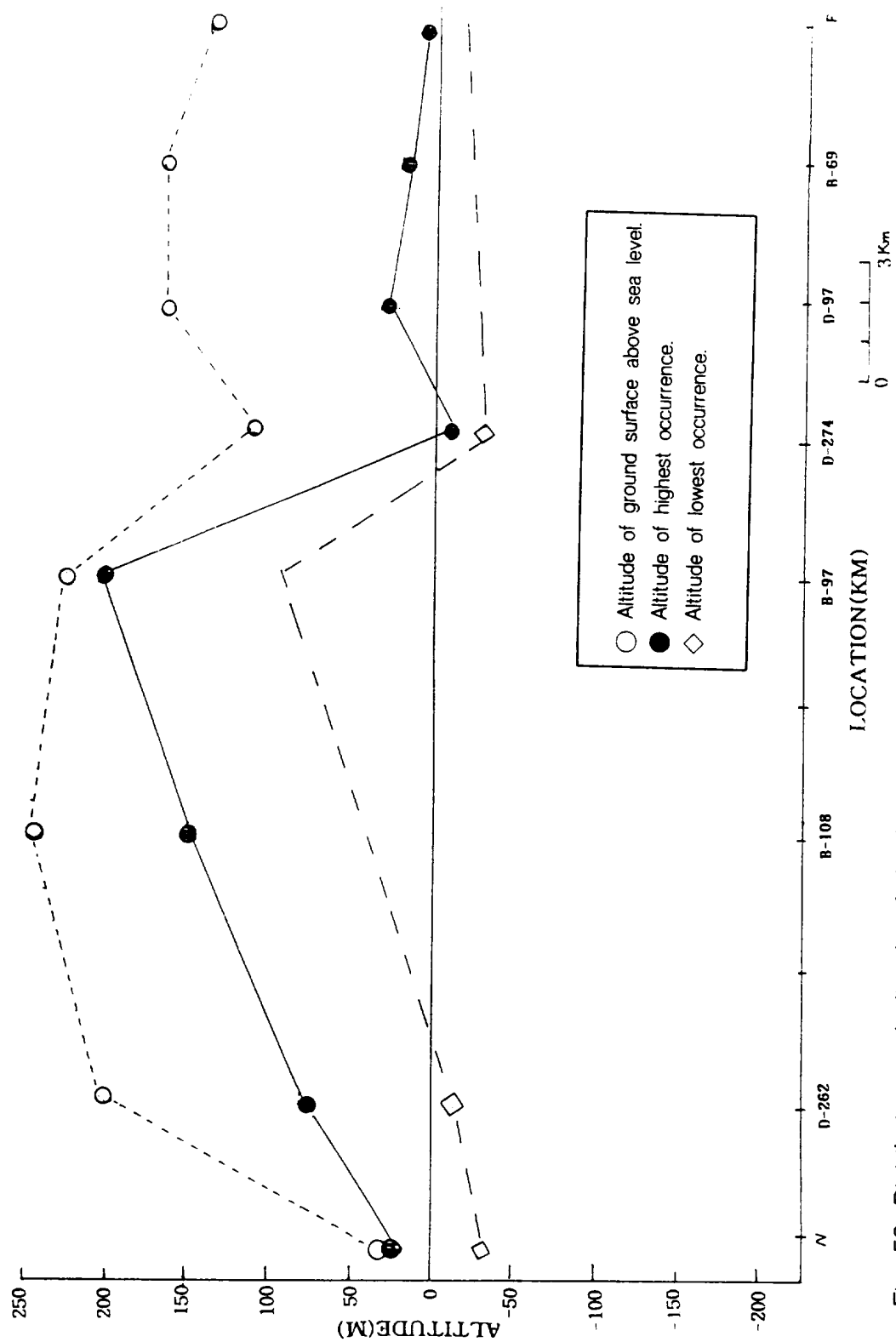


Fig. 52. Distribution and altitude of the highest and lowest occurrences of the SGF in the southeastern area of Cheju Island.

#### (4) 고토양층 (PS)

이 지역의 고토양은 이 지역에서 광범위하게 분포한다(Table 34, Fig 53). 분포위치에 따라 퇴적시기를 달리하여 분포고도가 다양하며 두께도 다양하다. 이는 화산활동이 장기간 휴지기였으며 당시 지형의 고저가 심하거나, 구릉지형일 것으로 추정된다. 이 층의 분포고도는 193.3m(B-108)가 최고이며, 해수준면하 분포고도는 -69m(F-73), -18m(F-83), -3.76m(D-20), -21m(D-31), -15m(D-271), -3.5m(B-33)이며, 두께는 11.8m(D-215)~1m이다. 분포회수도 1~5회이다. 이 층의 상하위층 관계는 상위층으로 D-262에서는 PS가, D-215에서는 SGF가, B-108에서는 FB에, 그 외 지역에서는 FOB가 분포하며, 하위층으로 D-263에는 SGF가, F-73에서는 T가, 그 외 지역에서는 FOB가 분포한다. 분포심도고도 변화는 지표지형변화와 거의 일치한다.

Table 34. Altitude of occurrence and thickness of paleosols and the types of over-  
and underlying strata in the southeastern area.

| Boring site | Bore hole No. | Altitude (m) | Boring depth (m) | Occurrence altitude(m) |       | Thickness (m) |     | Number of occurrence | Overlying strata | Underlying strata |
|-------------|---------------|--------------|------------------|------------------------|-------|---------------|-----|----------------------|------------------|-------------------|
|             |               |              |                  | Max                    | Min   | Max           | Min |                      |                  |                   |
| Seohong     | D-262         | 200          | 213              | 104                    | 79    | 11            | 5   | 2                    | PS               | SGF               |
| Seohong     | D-215         | 180          | 196              | 78                     | 16    | 11.8          | 1.3 | 5                    | SGF              | SGF               |
| Miak        | B-108         | 240          | 94.7             | 193.3                  |       | 10.2          |     | 1                    | FBII             |                   |
| Topyeong    | D-263         | 200          | 192              | 171                    | 110.5 | 6             | 2.5 | 2                    | T                | SGF               |
| Pomok       | D-63          | 60           | 70               | 26.1                   |       | 2.4           |     | 1                    | PC               | FBII              |
| Sanghyo     | D-274         | 118          | 146              | 30                     |       | 42            |     | 1                    | FBI              | SGF               |
| Shinhyo     | B-72          | 160          | 202              | 151                    | 68.5  | 7.5           | 2   | 2                    | PFB              | PFB               |
| Sangwimi    | D-97          | 160          | 170              | 81.8                   |       | 0.8           |     | 1                    | FOB              | FOB               |
| Wimi        | D-22          | 62.62        | 90               | 40.62                  | 12.62 | 4             | 1.3 | 3                    | FOB              | PC                |
| Hannam      | B-80          | 140          | 149.6            | 126                    | 11.5  | 8             | 2.5 | 3                    | PFB              | PAB               |
| Wimi        | F-39          | 140          | 170              | 75.3                   | 0     | 11.3          | 0.5 | 4                    | PC               | FBII              |
| Chabebong   | D-129         | 150          | 170              | 77.6                   |       | 1.2           |     | 1                    | FOB              | FOB               |
| Namwon      | F-73          | 25           | 145              | -30                    | -69   | 10            | 3.5 | 2                    | FOB              | T                 |
| Hannam      | F-83          | 150          | 170              | 81.5                   | -18   | 2.5           | 2   | 3                    | SGF              |                   |
| Euigwi      | 16            | 82           | 102              | 13                     |       | 2             |     | 1                    | FOB              | FOB               |
| Sumang      | B-69          | 160          | 172.7            | 137.5                  | 123.8 | 1.7           | 1.4 | 2                    | PAB              | FOB               |
| Kasi        | F             | 140          | 170              | 98                     |       | 1             |     | 1                    | FOB              | FOB               |
| Seongeup    | D-20          | 129          | 143              | 108.54                 | -3.76 | 2             | 1.4 | 3                    | FOB              | FOB               |
| Hacheon     | D-31          | 50           | 80               | -3.7                   | -21   | 1.5           | 1.3 | 2                    | FOB              | FOB               |
| Hacheon     | D-259         | 68           | 100.5            | -21                    |       | 1             |     | 1                    | FOB              | PC                |
| Shinheung   | D-271         | 93           | 125              | 49                     | -15   | 4             | 2   | 2                    | PAB              | FOB               |
| Samdal      | W-9           | 80           | 90               | 65.5                   | 5     | 4.5           |     | 2                    | SOL              | FOB               |
| Nansan      | B-33          | 43.17        | 60               | 33                     | -3.5  | 2.2           | 2   | 2                    | FOB              | FOB               |
| Susan       | D-282         | 145          | 170              | 53                     | 6.5   | 2.5           | 2.5 | 2                    | FOB              | FOB               |

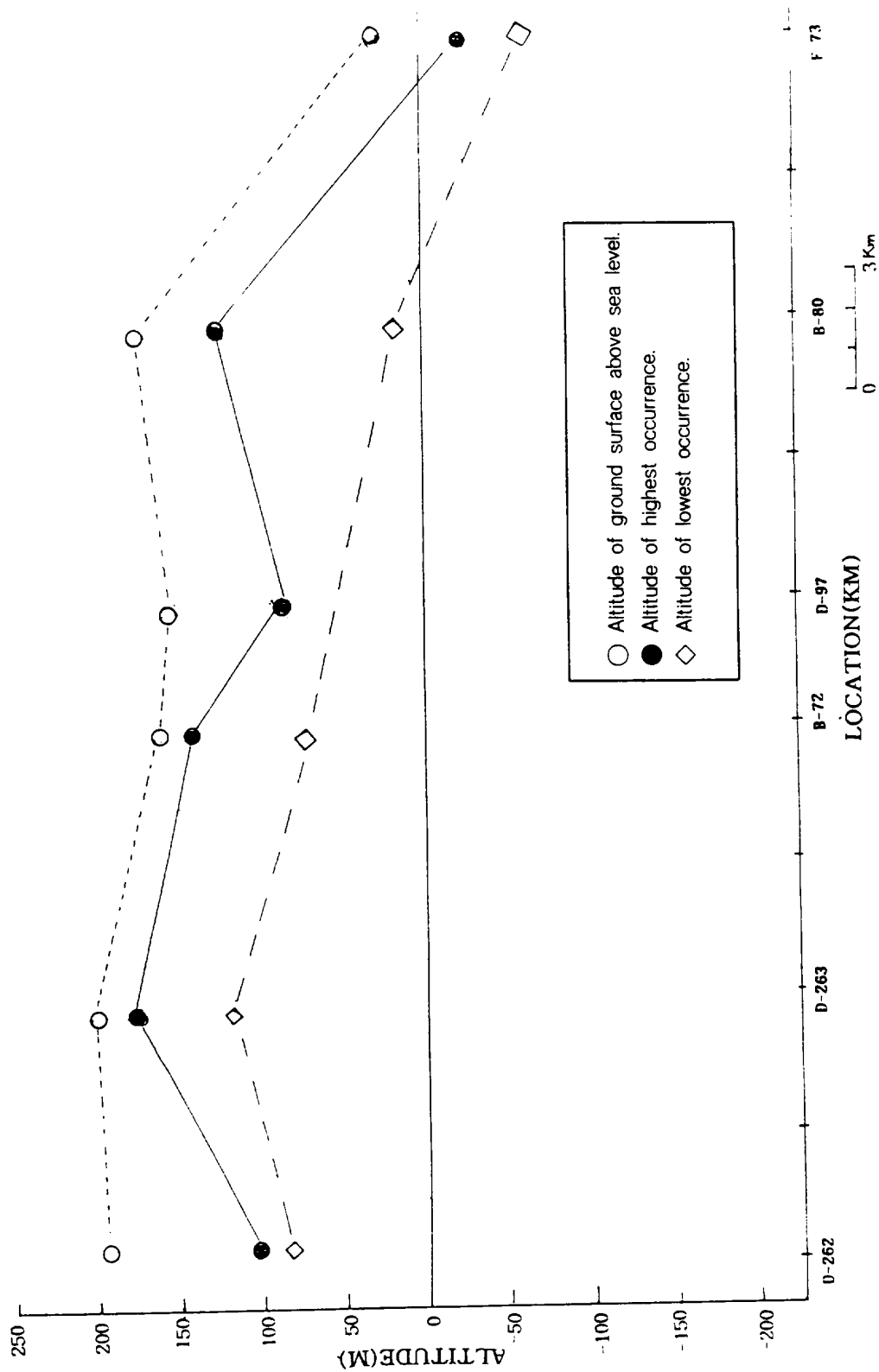


Fig. 53. Distribution and altitude of the highest and lowest occurrences of the paleosols in the southeastern area of Cheju Island.

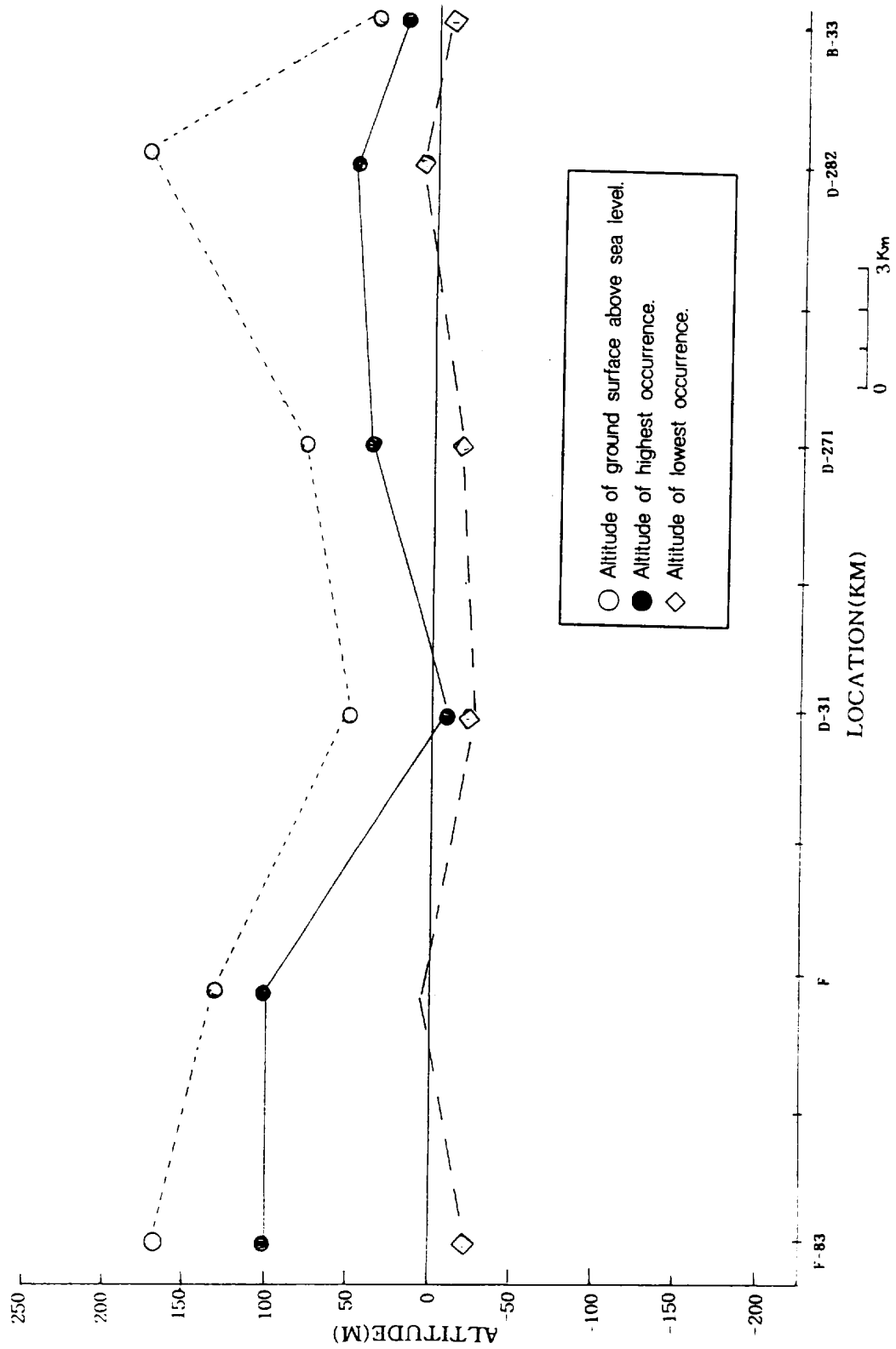


Fig. 53. Continued.

### (5) 성산층 (SSF)

이 층은 지표에는 성산일출봉, 소수산봉, 매오름층이며 D-215(102.4m), D-125(24m), D-274(0m), B-56(7.2m)에 분포하며 그 두께는 각각 39m, 79m, 1.2m, 11m이다(Table 35, Fig 54).

Table 35. Altitude of occurrence and thickness of SSF and the types of over- and underlying strata in the southeastern area.

| Boring site | Bore hole No. | Altitude (m) | Boring depth (m) | Occurrence altitude(m) |      | Thickness (m) |     | Number of occurrence | Overlying strata | Underlying strata |
|-------------|---------------|--------------|------------------|------------------------|------|---------------|-----|----------------------|------------------|-------------------|
|             |               |              |                  | Max                    | Min  | Max           | Min |                      |                  |                   |
| Seohong     | D-215         | 180          | 196              | 102.4                  | 67.7 | 39            | 5.1 | 3                    | PS               | SGF               |
| Topyeong    | D-125         | 110          | 165              | 24                     |      | 79            |     | 1                    | PC               |                   |
| Sanghyo     | D-274         | 118          | 146              | 0                      |      | 1.2           |     | 1                    | PS               | SGF               |
| Kama        | B-56          | 25           | 43.5             | 7.2                    |      | 11            |     | 1                    | PAB              | FOB               |
| Tosan       | F-15          | 170          | 177              | 71                     |      | 17            |     | 1                    | T                |                   |

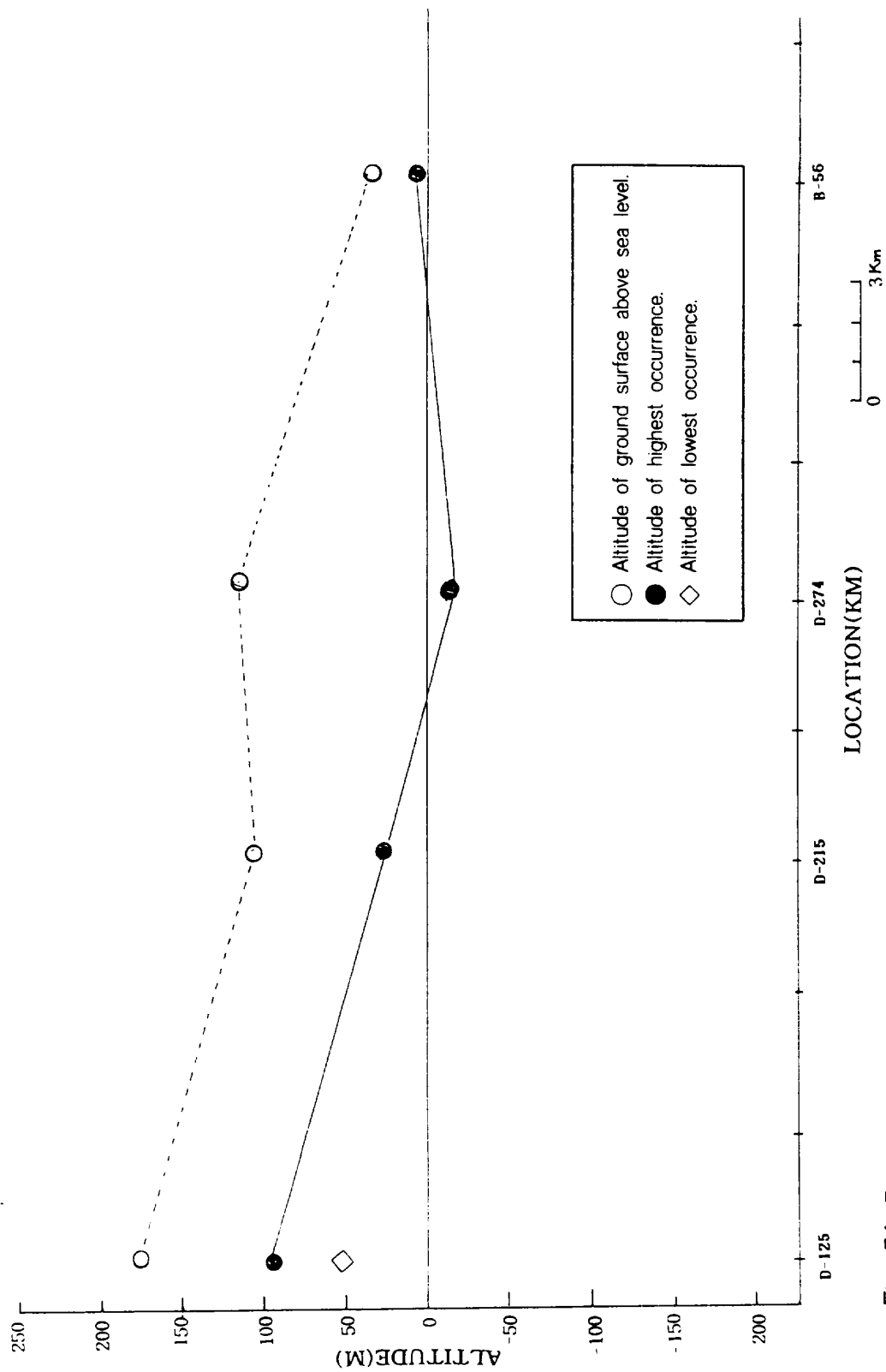


Fig. 54. Distribution and altitude of the highest and lowest occurrences of the SSF in the southeastern area of Cheju Island.

## 2) 화산암류

### (1) 침상장석감람석현무암 (FOB)

이 암석은 동부지역의 위미에서 부터 성산읍, 난산, 수산까지 넓게 분포한다(Table 36, Fig 55, 48). 이 암석의 분출회수는 다양하지만 6회 이상이 대부분이며 두께는 최고 96.6m에서 최저 1m 이상이다. 최고 분출고는 129.4m(D-97)이며 해수준면하에서 분출고도는 -66m(F-73), -10m(16), -5.46m(DD-20), -22.5m(D-31), -3.5(W-9), -4.83m(B-33), -10m(D-283)이다. 해수준면 상위까지 분출시기를 달리 하는 분출회수가 다양하다. 이 암석의 상하위층 관계에서 상위층으로는 F-73은 PFB가, B-69, D-31, B-33에서는 PS가, 그 외 지역에서는 PC가 분포한다. 하위층으로는 D-97, D-129, B-69에서는 SGF가, F-63, F-73, D-20에서는 PS가 분포한다. 해수준면하 평균 분출고도는 -18m이며, 두께는 4.5m이다. 해수준면상 평균 분출고도는 88.5m이고, 두께는 29.5m이다. 한편 분포심도 변화는 지표지형 변화고도와 거의 일치한다(Fig 55).

Table 36. Altitude of occurrence and thickness of FOB and the types of over- and underlying strata in the southeastern area.

| Boring site | Bore hole No. | Altitude (m) | Boring depth (m) | Occurrence altitude(m) |       | Thickness (m) |     | Number of occurrence | Overlying strata | Underlying strata |
|-------------|---------------|--------------|------------------|------------------------|-------|---------------|-----|----------------------|------------------|-------------------|
|             |               |              |                  | Max                    | Min   | Max           | Min |                      |                  |                   |
| Wimi        | F-63          | 65           | 93               | 62                     | 56    | 19.5          | 2   | 2                    | PC               | PS                |
| Sangwimi    | D-97          | 160          | 170              | 129.4                  | 55    | 35.4          | 12  | 5                    | PC               | SGF               |
| Chabebong   | D-129         | 150          | 170              | 132                    | 8.5   | 31            | 5.3 | 10                   | PC               | SGF               |
| Namwon      | F-73          | 25           | 145              | 25                     | -66   | 9.5           | 1   | 18                   | PFB              | PS                |
| Fuigwi      | 16            | 82           | 102              | 82                     | -10   | 15            | 8   | 6                    |                  |                   |
| Sumang      | B-69          | 160          | 172.7            | 122.4                  |       | 96.6          |     | 1                    | PS               | SGF               |
| Seongeup    | D-20          | 129          | 143              | 129                    | -5.46 | 44.5          | 5.8 | 6                    |                  | PS                |
| Hacheon     | D-31          | 50           | 80               | 49.5                   | -22.5 | 26.7          | 6   | 6                    | PS               |                   |
| Samdal      | W-9           | 70.5         | 80               | 68.5                   | -3.5  | 15            | 3   | 6                    | PC               |                   |
| Nansan      | B-33          | 43.17        | 60               | 42.67                  | -4.83 | 19.5          | 1.3 | 6                    | PS               |                   |
| Susan       | D-283         | 145          | 170              | 133                    | -10   | 15            | 2   | 15                   | PC               |                   |

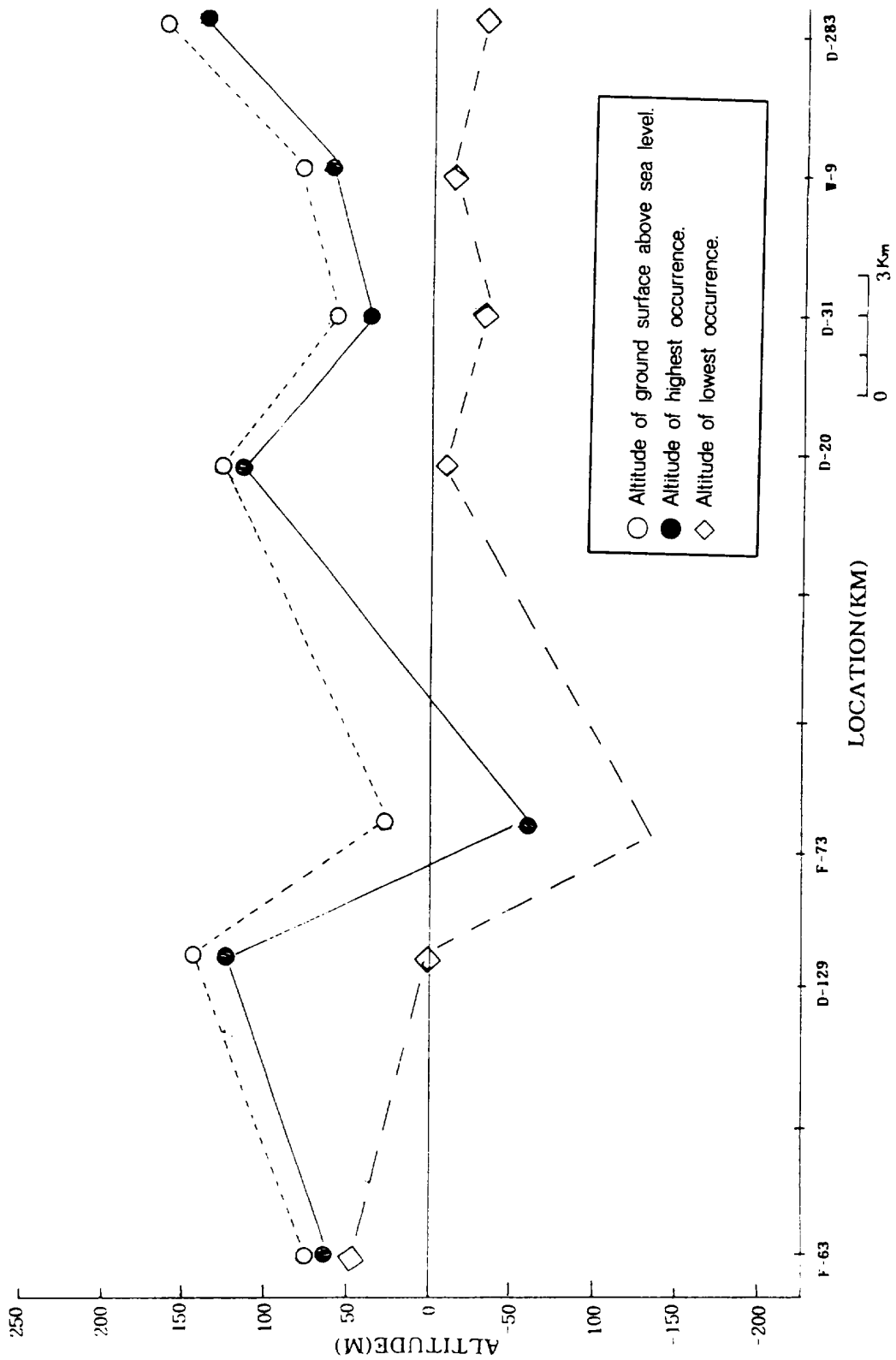


Fig. 55. Distribution and altitude of the highest and lowest occurrences of the FOB in the southeastern area of Cheju Island.

## (2) 장석 현무암 (FB)

이 암석은 서귀포시 동부지역과 남원읍 지역, 성읍의 일부 지역을 제외하고는 표고 100m이상에서 분포한다(Table 37, Fig 56). 이 암석은 표고가 비교적 높은 한정된 지역에 분포한다. 이 암석의 분출회수는 2회~8회까지이며 고도가 높아질 수록 분출회수는 증가한다. 해수면하에서 분포고도는 -22m(F-63)이며, 전체적인 두께는 최고 140m(F)에서 최저 1m내외이다. 이 암석의 상위에는 F에서 FOB가, 하위에는 B-108, D-63에서는 SGF가, M에서는 T가, B-36은 TUFF가, 16은 FOB가, F에서는 APB가 분포한다. 분포심도 변화고도는 지표지형 변화고도와 거의 일치한다.

Table 37. Altitude of occurrence and thickness of FB and the types of over- and underlying strata in the southeastern area.

| Boring site | Bore hole No. | Altitude (m) | Boring depth (m) | Occurrence altitude(m) |       | Thickness (m) |     | Number of occurrence | Overlying strata | Underlying strata |
|-------------|---------------|--------------|------------------|------------------------|-------|---------------|-----|----------------------|------------------|-------------------|
|             |               |              |                  | Max                    | Min   | Max           | Min |                      |                  |                   |
| Seohong     | D-215         | 180          | 196              | 179                    | 170.5 | 8.5           | 8.3 | 2                    | SOL              | PC                |
| Miak        | B-108         | 240          | 94.7             | 239                    | 154.3 | 18            | 2   | 8                    | PC               | SGF               |
| Tonghong    | D-187         | 170          | 172              | 162                    | 132   | 7.5           | 1.5 | 3                    | PC               | PC                |
| Peobhochcon | B-97          | 220          | 147              | 220                    | 208   | 16.4          | 9.5 | 2                    |                  | PC                |
| Tonghong    | D-125         | 110          | 165              | 100                    | 53    | 28            | 7   | 3                    | PC               | PC                |
| Pomok       | D-63          | 60           | 70               | 58                     | 7.9   | 15.3          | 0.4 | 6                    | PC               | SGF               |
| Sanghyo     | D-274         | 118          | 146              | 117                    | 35    | 11            | 4   | 8                    |                  | PC                |
| Tonneko     | M             | 290          | 550              | 290                    |       | 190           |     | 1                    |                  | T                 |
| Hahyo       | D-36          | 80           | 92               | 79.9                   | 18    | 17.5          | 1   | 5                    |                  | TUFF              |
| Shinrye     | B-72          | 160          | 202              | 160                    | 120   | 26            | 9   | 3                    |                  | PC                |
| Wimi        | F-63          | 65           | 93               | 30                     | -22   | 16            | 4   | 4                    | PS               | PS                |
| Hannam      | F-83          | 150          | 170              | 131.5                  | 53    | 22.5          | 3   | 4                    | PC               | PC                |
| Euigwi      | 16            | 82           | 102              | 72                     | 53    | 19            | 10  | 2                    | PC               | FOB               |
| Seongeup    | F             | 150          | 690              | 70                     |       | 140           |     |                      | FOB              | APB               |

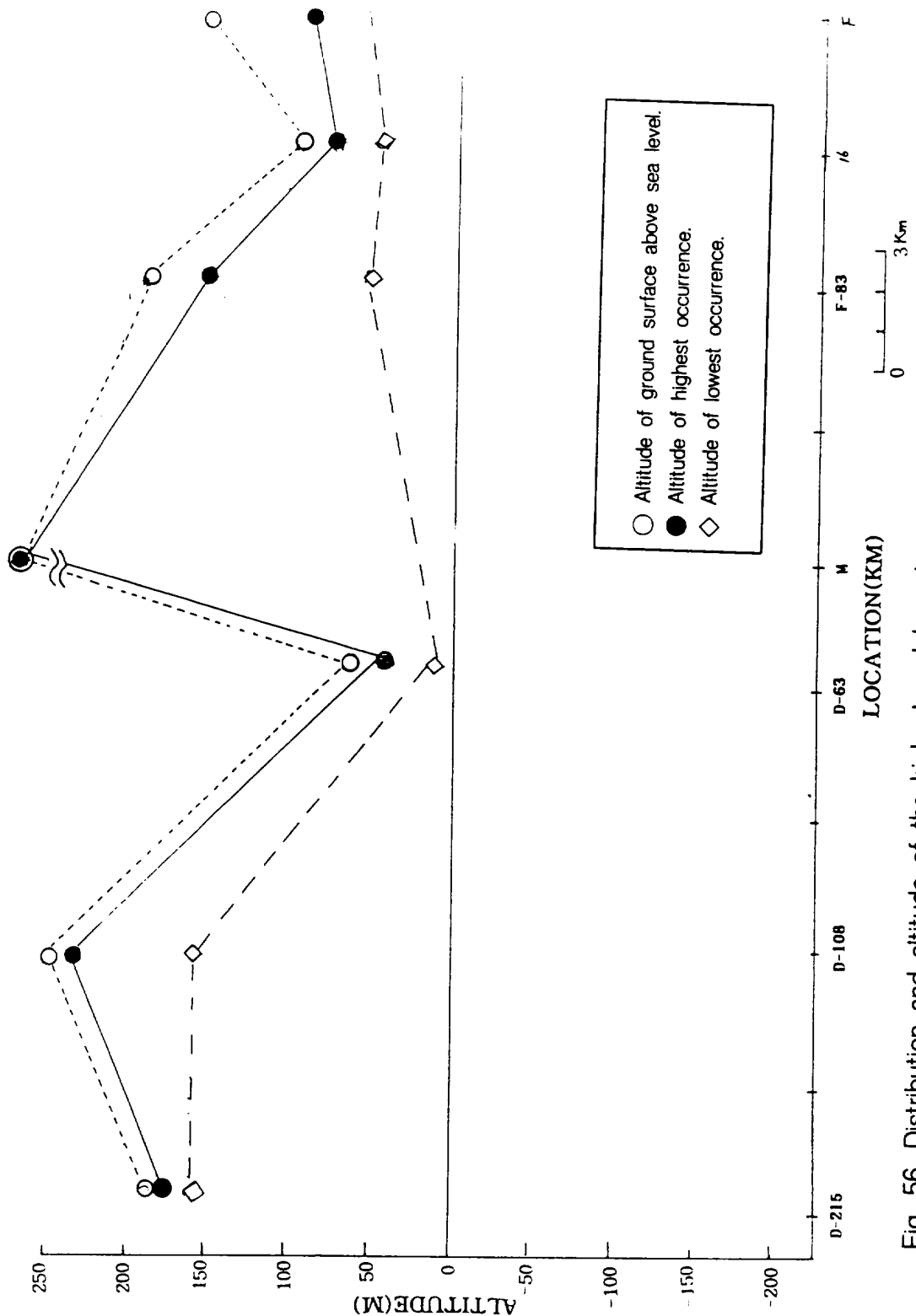


Fig. 56. Distribution and altitude of the highest and lowest occurrences of the FB in the southeastern area of Cheju Island.

### (3) 반상회석현무암 (PAB)

이 암석은 이 지역의 상위미(D-97), 한남(B-80), 수산(B-69), 가시(F), 신평(D-271)의 표고 100m 이상에서 부분적으로 분포한다. 분출회수는 1~3회 정도 확인이 되지  
 먼 지역에 따라 차이를 보이고 있다.

### (4) 반상 장석 현무암 (PFB)

이 암석은 대부분 표고 100m 이상에 분포하며, 분출회수, 두께, 분출고도는 분포위치에 따라 다양하다(Table 38, Fig 57).

Table 38. Altitude of occurrence and thickness of PFB and the types of over-  
 and underlying strata in the southeastern area.

| Boring site | Bore hole No. | Altitude (m) | Boring depth (m) | Occurrence altitude(m) |      | Thickness (m) |      | Number of occurrence | Overlying strata | Underlying strata |
|-------------|---------------|--------------|------------------|------------------------|------|---------------|------|----------------------|------------------|-------------------|
|             |               |              |                  | Max                    | min  | Max           | min  |                      |                  |                   |
| Sanghyo     | 17            | 120          | 157              | 60                     | 30   | 12            | 6    | 5                    | SOL              | PC                |
| Shinrye     | B-72          | 160          | 202              | 91                     | 41.5 | 22.5          | 10.5 | 3                    | PC               | SGF               |
| Wimi        | D-245         | 164          | 200              | 141                    | -33  | 10.4          | 2    | 2                    | PC               | PFB               |
| Hannam      | B-80          | 140          | 149.6            | 136.8                  |      | 108           |      | 1                    | PS               |                   |
| Chabebong   | D-129         | 150          | 170              | 149.2                  |      | 15.7          |      | 1                    | PC               |                   |
| Namwon      | F-73          | 25           | 145              | 10                     | -34  | 8             | 1    | 10                   | SOL              | PS                |
| Sumang      | L             | 180          | 230              | 180                    | 92   | 20            | 3    | 14                   | SOL              | APB               |
| Seongeup    | F             | 200          | 280              | 192                    | 100  | 25            | 2    | 10                   | SOL              | PC                |

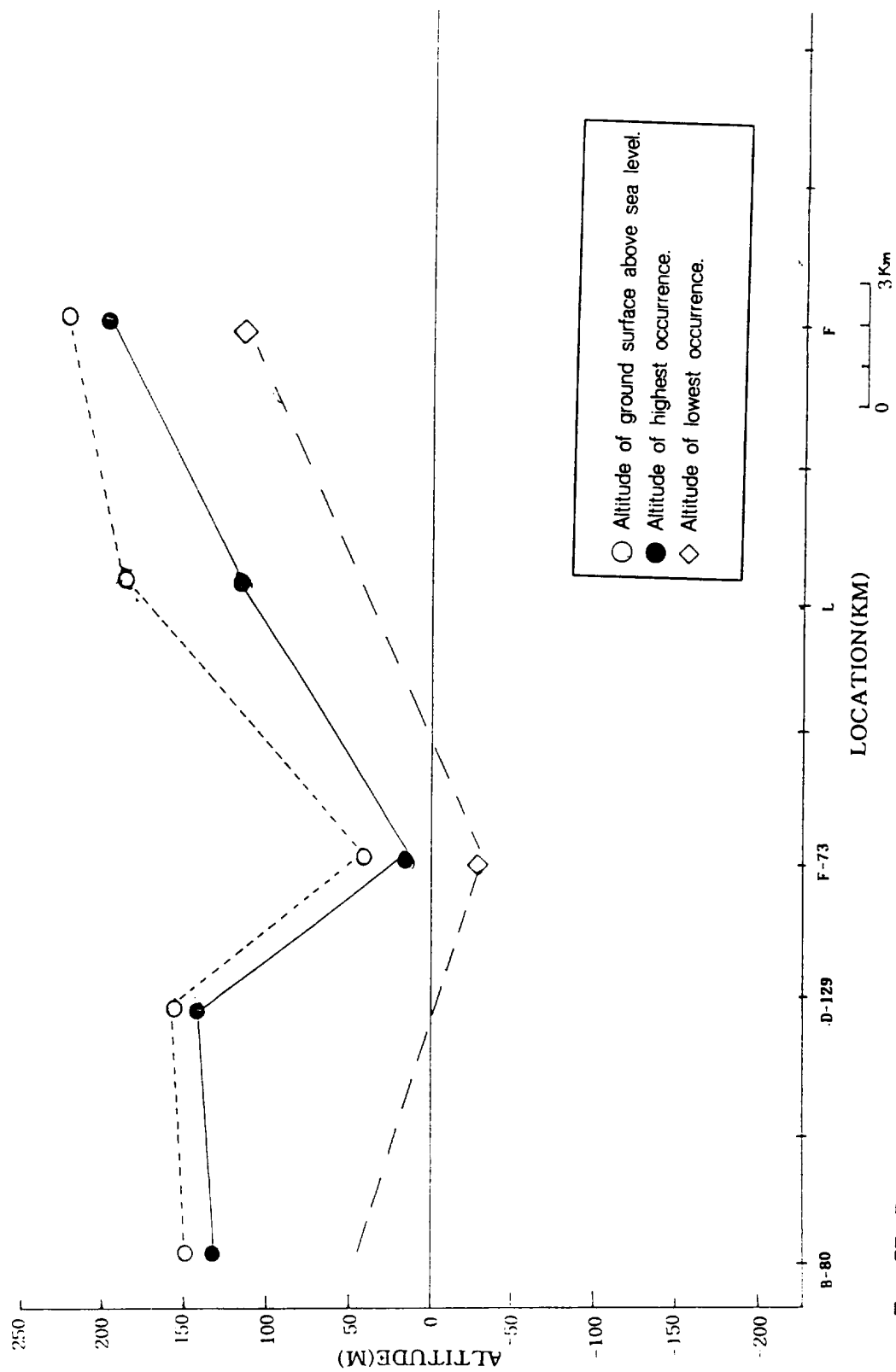


Fig. 57. Distribution and altitude of the highest and lowest occurrences of the PFB in the southeastern area of Cheju Island.

### (5) 비현정결현무암 (APB)

이 암석은 동부지역인 위미, 수망리를 중심으로 분포한다(Table 39, Fig 58). 이 암석은 심도에 따라 분출회수와 두께가 다르게 나타나며 N, G, F에서는 세화리층을 피복하고 있다.

Table 39. Altitude of occurrence and thickness of APB and the types of over- and underlying strata in the southeastern area.

| Boring site | Bore hole No. | Altitude (m) | Boring depth (m) | Occurrence altitude(m) |      | Thickness (m) |     | Number of occurrence | Overlying strata | Underlying strata |
|-------------|---------------|--------------|------------------|------------------------|------|---------------|-----|----------------------|------------------|-------------------|
|             |               |              |                  | Max                    | Min  | Max           | Min |                      |                  |                   |
| Namseong    | N             | 25           | 275              | -108                   |      | 122           |     | 1                    | PC               | SHF               |
| Wimi        | D-245         | 164          | 200              | 148.4                  | 145  | 4             | 3.4 | 2                    | PC               | PFB               |
| Wimi        | F-39          | 140          | 170              | 74.8                   | 62.8 | 13            | 3.8 | 3                    | SOL              | PS                |
| Sumang      | L             | 180          | 230              | 75                     | 55   | 10            | 2   | 4                    | SOL              | FOB               |
| Shinheung   | G             | 115          | 600              | 0                      |      | 55            |     | 1                    | FB               | SHF               |
| Seongeup    | F             | 150          | 690              | -70                    |      | 51            |     | 1                    | FB               | SHF               |
| Hacheon     | D-259         | 68           | 100.5            | 18                     | -7   | 7             | 1.5 | 2                    | FOB              | PC                |
| Susan       | D-285         | 145          | 170              | 144                    | 69   | 7             | 3   | 7                    | PC               | PC                |

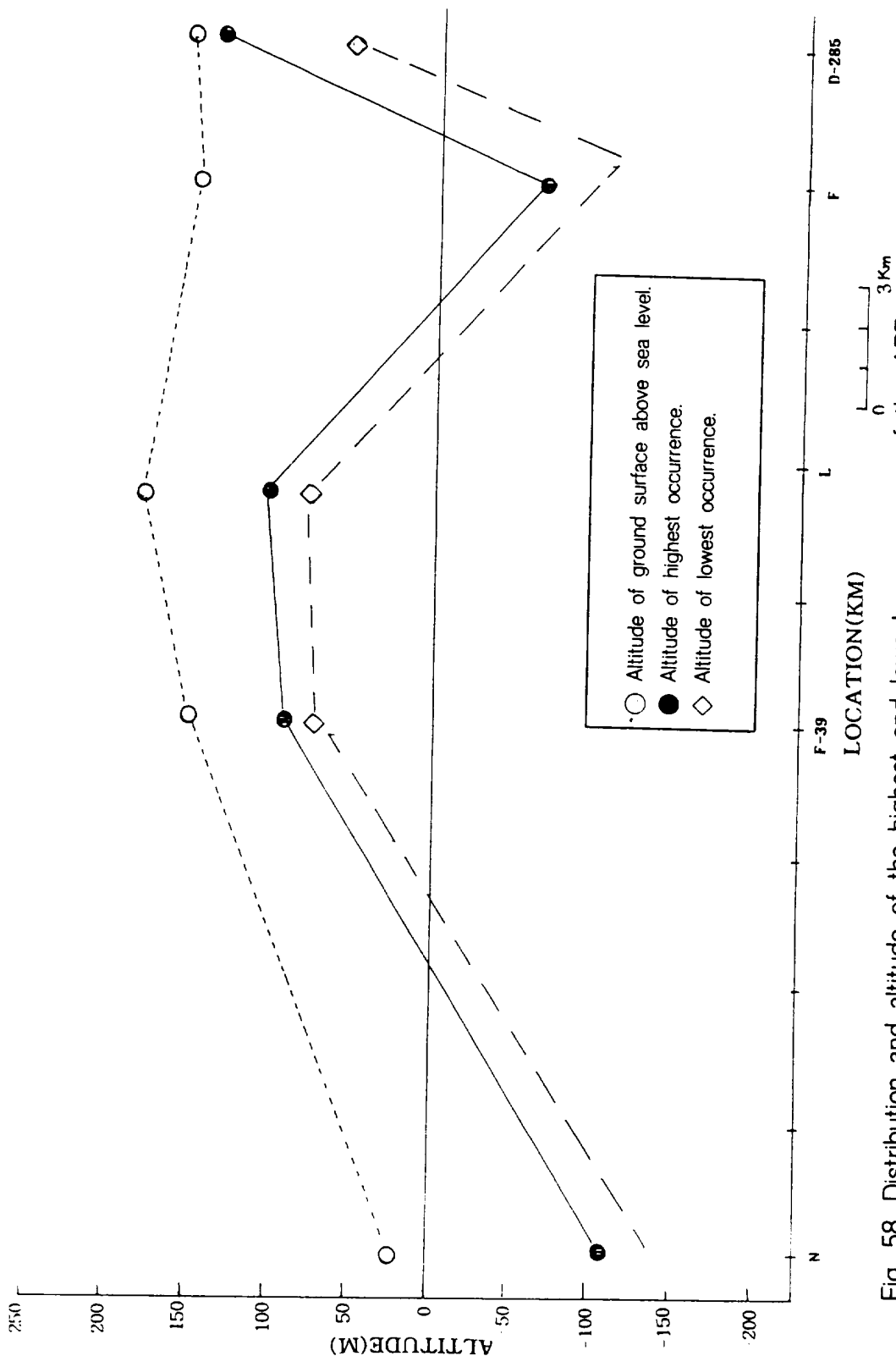


Fig. 58. Distribution and altitude of the highest and lowest occurrences of the APB in the southeastern area of Cheju Island.

## (6) 조면암 (T)

이 암석은 서귀포시를 중심으로 분포하며 동홍(+93.9M, 토평 99m이고, 남원에서는 (-)95m, 가시와 성읍에서는 각각 (+)12m, (+)88m에서 분포한다. 특히 D-187에서는 상하위 층으로 SGF 가 분포한다. M과 G지역에서는 각각 SHF와 SGF를 피복하고 있다(Table 40, Fig 59).

Table 40. Altitude of occurrence and thickness of T and the types of over- and underlying strata in the southeastern area.

| Boring site | Bore hole No. | Altitude (m) | Boring depth (m) | Occurrence altitude(m) |       | Thickness (m) |     | Number of occurrence | Overlying strata | Underlying strata |
|-------------|---------------|--------------|------------------|------------------------|-------|---------------|-----|----------------------|------------------|-------------------|
|             |               |              |                  | Max                    | Min   | Max           | Min |                      |                  |                   |
| Seohong     | D-262         | 200          | 213              | 193                    | 168.5 | 64.5          | 3.5 | 4                    | T                | PS                |
| Seohong     | D-215         | 180          | 196              | 147.8                  |       | 47.9          |     | 1                    | PC               | PC                |
| Tonghong    | D-187         | 170          | 172              | 93.9                   | 51    | 27.4          | 27  | 2                    | SGF              | SGF               |
| Iopyeong    | D-263         | 200          | 192              | 199                    | 165   | 54.5          | 3   | 5                    | PS               | PS                |
| Sanghyo     | D-274         | 118          | 146              | 102                    | 81    | 16            | 14  | 2                    | PC               | FBI               |
| Tonneko     | M             | 290          | 550              | 100                    |       | 70            |     | 1                    | FB               | SHW               |
| Namwon      | F-73          | 25           | 145              | -79                    | -95   | 25            | 16  | 2                    | FOB              |                   |
| Hannam      | F-83          | 150          | 170              | 114                    | 21    | 22            | 6   | 4                    | PC               | PS                |
| Kasi        | G             | 140          | 170              | 12                     |       | 2             |     | 1                    | FOB              | SGF               |
| Seongeup    | F             | 200          | 280              | 88                     |       | 14            |     | 1                    | PC               | FOB               |

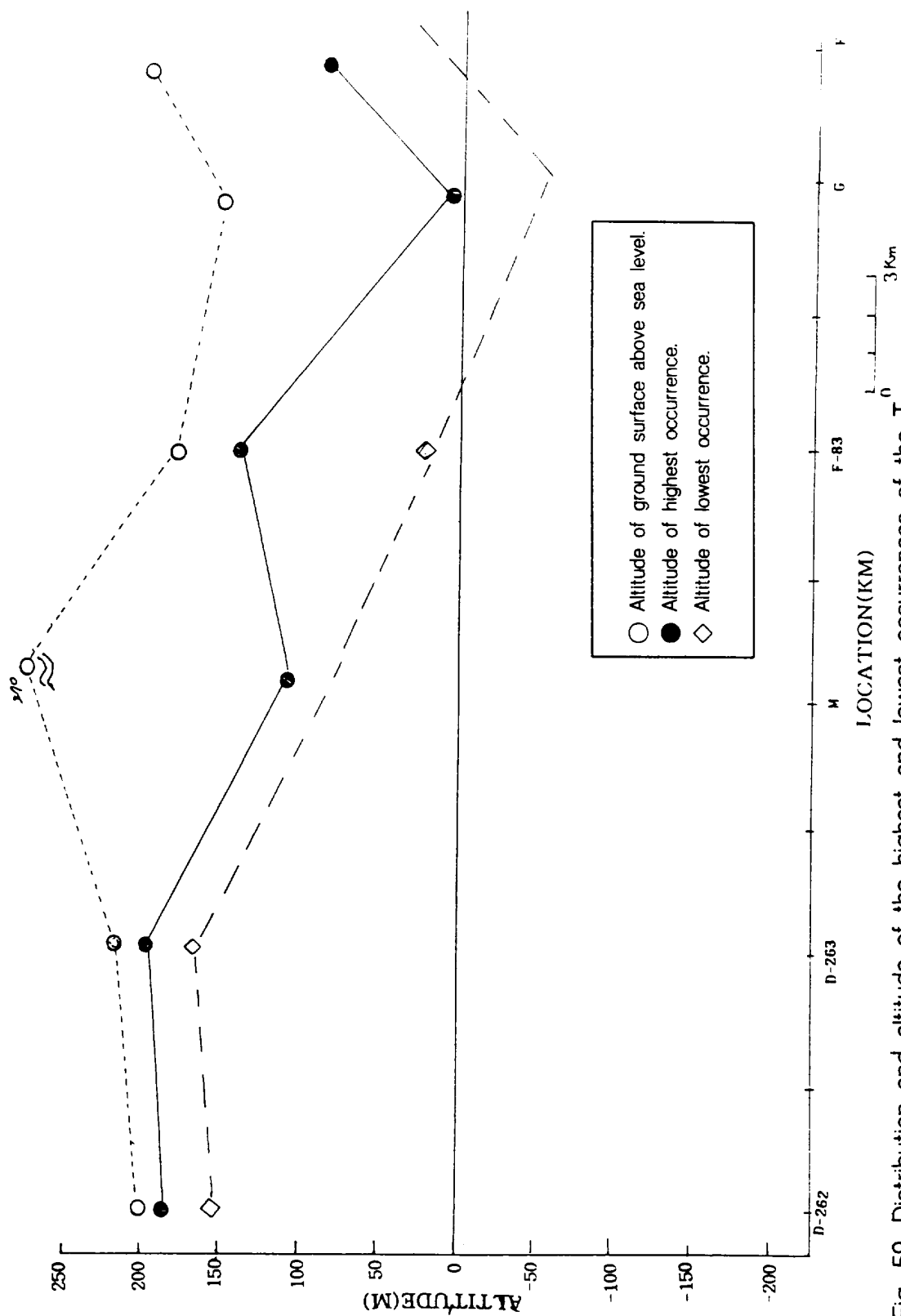


Fig. 59. Distribution and altitude of the highest and lowest occurrences of the T in the southeastern area of Cheju Island.

#### 4. 화산활동과 절대연대

제주도에 분포하는 화산암류와 응회질 퇴적층에 포획된 화산암편에 대한 절대 연령 측정은 산방산 조면암(Taneda, 1970)을 시작으로, 한국자원 연구소(이동영, 1982~1992), 김광호(1989), 원종관, 이문원, 김광호(1991) 등에 의해 화산암 표품에 대해 절대연령을 측정한 자료 등 많은 자료가 있다. 이 연구에서는 화산활동단계를 용암류의 절대연령값 등을 토대로 구분하기 위해서 화산 암류절대 연령 측정자료 52점을 종합하였다. 종합된 측정자료를 야외에서 측정된 암상의 특성 및 위치를 확인한 후 연대 측정값의 신뢰성을 확인하였다. 연대 측정된 자료와 그 위치는 각각 Table 41과 Fig 60의 내용과 같다.

Table 41. Absolute age of volcanic rocks in Cheju Island determined by K-Ar method.

| Area | Alt<br>(m) | Sample<br>No. | Serial<br>No. | Sampling<br>area  | Major rock type         |                       | Age (Ma)<br>: K-Ar | Reference              |
|------|------------|---------------|---------------|-------------------|-------------------------|-----------------------|--------------------|------------------------|
|      |            |               |               |                   | Mineral<br>constitution | Chemical<br>component |                    |                        |
| SE   | 1940       | C10-1         | 49            | Peakrokdam        | TA-III                  | T                     | 0.025±0.008        | Won C. K. et al (1986) |
| SW   | 3          | C10-23        | 48            | Kangyeong         |                         | AB                    | <0.03              | Lee M. W. et al (1994) |
| SW   | 3          | C10-7         | 47            | Byeongak          | OB                      | AB                    | 0.035±0.014        | Yun S. G. et al (1987) |
| SE   | 2          | C10-31        | 46            | Tosan             | FOB                     | AB                    | <0.04              | Won C. K. (1996)       |
| SE   | 400        | C10-37        | 45            | Suak              | FB-VI                   |                       | 0.045±0.07         | Lee D. Y. (1996)       |
| SE   | 150        | C10-30        | 44            | Wolrang           | APB                     |                       | 0.049±0.01         | Won C. K. (1996)       |
| NW   | 250        | C10-40        | 43            | Kwangryeong       | PAB-I                   |                       | <0.06              | Lee D. Y. (1996)       |
| SW   | 30         | C10-8         | 42            | Sanbangsan (west) | FOB                     | B                     | 0.07±0.04          | Yun S. G. et al (1987) |
| SW   | 1900       | C10-13        | 41            | Peakrokdam        | TA-III                  | T                     | 0.07±0.01          | Tamanyu. S (1990)      |
| SW   | 650        | C10-22b       | 40            | Keorinsasum(b)    | FB-V                    |                       | 0.093±0.025        | Lee M. W. et al (1994) |
| SW   | 300        | C10-24        | 39            | Kogunsan          | FB-II                   |                       | 0.097              | Lee M. W. et al (1994) |
| SE   | 3          | C10-33        | 38            | Bomaldong         | PFB-I                   |                       | 0.109              | Won C. K. (1996)       |
| SW   | 650        | C10-22a       | 37            | Keorinsasum(a)    | FB-V                    |                       | 0.121±0.018        | Lee M. W. et al (1994) |
| SE   | 80         | C10-28        | 36            | Susan             | FOB                     | AB                    | 0.150±0.015        | Won C. K. (1996)       |
| SE   | 15         | C10-32        | 35            | Tosan             | FOB                     | AB                    | 0.154              | Won C. K. (1996)       |
| NE   | 20         | C10-39        | 34            | Dongjuwon         | FOB                     | AB                    | 0.16±0.04          | Lee D. Y. (1996)       |
| NW   | 1700       | C10-41        | 33            | Hallasan          | T                       |                       | 0.160±0.017        | Lee D. Y. (1996)       |
| NW   | 1100       | C10-36        | 32            | Pulgunorum        | FB-V                    |                       | 0.161±0.031        | Lee D. Y. (1996)       |
| SW   | 450        | C10-42        | 31            | Peopjeongak       | T-III                   |                       | 0.167±0.042        | Lee D. Y. (1996)       |
| SW   | 180        | C10-20a       | 30            | Uboak             | T-III                   | MU                    | 0.168±0.017        | Lee M. W. et al (1994) |
| NW   | 78         | C10-27        | 29            | Sangdo            | FOB                     | AB                    | 0.169±0.017        | Won C. K. (1996)       |
| SW   | 180        | C10-20b       | 28            | Kungsan           | T-III                   | MU                    | 0.190±0.019        | Lee M. W. et al (1994) |
| SE   | 180        | C10-26        | 27            | Sumang            | PAB-I                   |                       | 0.27               | Lee S. G. (1995)       |
| SE   | 2~3        | C10-17        | 26            | Teahungri         | FOB                     | AB                    | 0.31±0.04          | Tamanyu. S (1990)      |
| SE   | 10         | C10-34        | 25            | Namwon            | FOB                     | AB                    | 0.3405             | Won C. K. (1996)       |
| SE   | 65         | WC-6          | 24            | Wimi              | FOB                     |                       | 0.377~0.3782       | Won C. K. (1996)       |
| SW   | 50         | C10-6         | 23            | Namseongdong      | T-I                     | H                     | 0.41±0.01          | Yun S. G. et al (1987) |
| NE   | 20         | MAN           | 22            | Manjanggul        | FOB                     | AB                    | 0.42               | Kim K. H. (1985)       |
| SE   | 10         | WC-4          | 21            | Teahungri         | FOB                     | AB                    | 0.44               | Won C. K. et al (1993) |
| SE   | 1900       | C10-14        | 20            | Peakrokdam        | T                       | H                     | 0.47±0.07          | Tamanyu. S (1990)      |
| SE   | 200        | C10-18        | 19            | Seongeup          | T                       | T                     | 0.4972±0.0086      | Yoon S. et al (1992)   |
| NE   | 10         | C10-29        | 18            | Chongdal          | APB                     | AB                    | 0.510±0.050        | Won C. K. (1996)       |
| SW   | 1200       | C10-15        | 17            | Yeongsil          | TA-III                  | H                     | 0.52±0.03          | Tamanyu. S (1990)      |
| SE   | 15         | C10-16        | 16            | Jeongbang         | T                       | H                     | 0.55±0.04          | Tamanyu. S (1990)      |
| SW   | 1~2        | C10-9         | 15            | Kosan             | FOB                     | AB                    | 0.60±0.13          | Yun S. K. et al (1987) |
| SE   | 3          | C10-38        | 14            | Teahungri         | FOB                     | AB                    | 0.60±0.03          | Lee D. Y. (1996)       |
| SE   | 3          | C10-12        | 13            | Teahungri         | FOB                     | AB                    | 0.63±0.03          | Yun S. G. et al (1987) |
| SE   | 5          | O-9           | 12            | Onpyeong          | FOB                     |                       | 0.67±0.03          | Won C. K. et al (1993) |
| SW   | 650        | C10-21        | 11            | Sorum(b)          | PFB-II~V                | BEN                   | 0.689±0.021        | Lee M. W. et al (1994) |
| SE   | 100        | C10-35        | 10            | Sinhung           | PAB-I                   |                       | 0.7035             | Won C. K. (1996)       |
| SW   | 650        | C10-21        | 9             | Sorum(a)          | PFB-II~V                | BEN                   | 0.711±0.021        | Lee M. W. et al (1994) |
| SE   | 10         | C10-4         | 8             | Supseom           | T                       | T                     | 0.725±0.038        | Won C. K. et al (1986) |
| SE   | 10         | C10-3         | 7             | Munseom           | T                       | T                     | 0.728±0.034        | Won C. K. et al (1986) |
| SW   | 30~40      | C10-2         | 6             | Sanbangsan        | TA-II                   | T                     | 0.747±0.023        | Won C. K. et al (1986) |
| SW   | 50         | C10-10        | 5             | Sanbangsan        | TA-II                   | T                     | 0.870              | Lee D. Y. et al (1988) |
| SW   | 300        | C10-19        | 4-2           | Kwaksabawi(a)     | T-III                   |                       | 0.893±0.027        | Lee M. W. et al (1994) |
| SW   | 300        | C10-19        | 4-1           | Kwaksabawi(b)     | T-III                   |                       | 0.917±0.028        | Lee M. W. et al (1994) |
| SW   | 0~20       | C10-44        | 3             | Sagea             | OAB                     | AB                    | 0.94±0.05          | Lee D. Y. (1996)       |
| SW   | 2~3        | C10-43        | 2             | Suwolbong         | OAB                     | AB                    | 1.20±0.04          | Lee D. Y. (1996)       |
| SW   | 0~3        | C10-25        | 1             | Yongmeon          | OAB                     | AB                    | 1.20±0.05          | Yun S. G. et al (1987) |
| NW   | -150       | P-1           | -1            | Parpo             | Basalt                  |                       | 2.22±0.16          | Sawata (1991)          |
| NE   | -970       | G-1           | -2            | Deokcheon         | Granite                 |                       | 66.4±1.7           | Lee D. Y. (1996)       |



#### 4-1. 1.20Ma 이전의 화산활동

이 시대의 화산활동은 현 해수준면하에 분포하는 기저응회암, 미고결층(세화리층), 하부고토양, 하부 서귀포층이 형성된 시대이다. 판포지역에서는 해수면하 약 (-)144m 지점인 서귀포층 하부에 분포하는 현무암의 K-Ar연령은 2백 20만년(1991, 澤田 : 제주도 특정지역 연구보고서 1996, 한국과학재단)이다. 따라서 제주도의 화산활동은 1.20Ma이전부터 있었다. 하덕천(Ros)에서 심부화강암 K-Ar연령은  $66.4\text{Ma} \pm 1.7\text{Ma}$ 이며(1996, 통상산업부), 화강암 상위에 응회암이 분포한다. 이러한 사실은 제주도의 화산활동은 백악기 말 한반도 화산활동과 관련이 있음을 시사한다.

#### 4-2. $1.20 \sim 0.94 \pm 0.05\text{Ma}$ 의 기저 현무암 분출단계

이 연대의 화산활동은 기저현무암인 감람석휘석현무암(OAB)이 활동한 시기이다. 용머리층의 응회층내에 포획된 OAB암편의 K-Ar연령은  $1.20 \pm 0.05\text{Ma}$ 이다. 수월봉층에서는 K-Ar연령은  $1.20 \pm 0.04\text{Ma}$ , 사계층에서는  $0.94 \pm 0.05\text{Ma}$ 이다. OAB보다 암석층서적으로 하부에 분포하는 FOB도 이 시대에 형성된 것으로 해석이 되며, 이 암석들이 제주도 기저현무암 일 것이라는 추정이 가능하다.

#### 4-3. $0.917 \sim 0.689\text{Ma}$ 의 조면암류 분출단계

이 연대에 분출한 암석들은 대부분 조면암류이며, 각수바위조면암(T-Ⅲ b, a, 표고 300m)이  $0.917 \pm 0.028\text{Ma}$ ,  $0.893 \pm 0.027\text{Ma}$ , 산방산 조면안산암(TA-a, b, 표고 50m, 30m)이  $0.87 \pm 0.02\text{Ma}$ 와  $0.747 \pm 0.023\text{Ma}$ , 문섬조면암(T-1, 표고10m)이  $0.728 \pm$

0.03Ma, 숲섬조면암(T-1 표고 0m)이  $0.725 \pm 0.038\text{Ma}$ , 시오름 벤모라이트(표고650m, a. b)가  $0.711 \pm 0.02\text{Ma}$   $0.689 \pm 0.021\text{Ma}$  등이다. 위의 암석들은 지표와 지하 하부층서에도 분포하고 있음이 주상도에서 확인이 된다. 이 조면암류는 주로 남부지역인 사계, 법정, 강정, 서귀포 일대에 분포하는 것으로 알려졌지만, 이 연구에서는 북부인 구업, 광령, 고성, 화북, 명도암, 오등동지역에서의 하부층서나 지표에도 분포하고 있음이 확인되었다. 이 연대에 분출한 조면암은 제 II 단계 화산활동의 최종 분화물로서 제주도를 형성하는 과정에서 골격 역할을 한 것으로 추정된다.

#### 4-4. $0.67 \sim 0.60 \pm 0.03\text{Ma}$ 의 현무암류[ I ] 분출단계

이 연대에 분출한 암석들의 K-Ar 연령은 온평리(표고5m)FOB가  $0.67 \pm 0.03\text{Ma}$ , 태흥리 FOB가  $0.60 \pm 0.03\text{Ma}$ , 고산 FOB가  $0.60 \pm 0.013\text{Ma}$ 이다. 본 연대는 침상장석감람석현무암(FOB2)이 현 해수면상에 분출하는 시대이다. 이 암석은 지질주상도에 따르면 현 해수준하에도 제주도 남북사면을 제외하고 동서사면에 넓게 분포하고 있음이 확인이 되며, 현 해수준면 상에서는 제 1 기 FOB 분출기라 할 수 있다.

#### 4-5. $0.55 \pm 0.04 \sim 0.47 \pm 0.07\text{Ma}$ 의 하와이아이트 분출단계

이 연대에 분출한 암석들의 K-Ar연령은 정방(표고15m)조면암(T-1, 하와이아이트)가  $0.55 \pm 0.04\text{Ma}$ , 영실조면안산암(표고1200m, 한라산하와이아이트)가  $0.52 \pm 0.03\text{Ma}$ , 종달(표고10m)비현정질현무암(APB)이  $0.510 \pm 0.050\text{Ma}$ , 성읍(표고200m)조면암이  $0.4972 \pm 0.086\text{Ma}$ , 백록담(표고 1900 m)조면암(하와이아이트)이  $0.47 \pm 0.07\text{Ma}$ 이다.

이 시대는 조면암류 제 2 기 활동기이며 이에 속하는 조면암류는 천왕사, 99계곡, 천아계곡, 조면암 등이다. 아울러 비현정질현무암(APB) 혹은 하와이아이트의 분출시기를 할 수 있다.

#### 4-6. $0.44 \sim 0.27 \pm 0.01\text{Ma}$ 의 현무암류[II] 분출단계

이 연대 암석들의 K-Ar연령은 태흥리(표고10m)FOB가  $0.44\text{Ma}$ , 만장굴(표고20~30m)FOB가  $0.42\text{Ma}$ , 남성동조면암(표고50m, 하와이아이트)이  $0.41 \pm 0.01\text{Ma}$ , 위미FOB가  $0.378\text{Ma}$ , 남원 FOB가  $0.34\text{Ma}$ , 태흥FOB가  $0.31 \pm 0.04\text{Ma}$ , 수망리PAB가  $0.27\text{Ma}$ 이다. 이들 암석들은 분출시기는 조금씩 다르나 용암단위사이 협재된 퇴적물을 기준으로 상하층서가 뚜렷함을 확인 할 수 있다. 이 연대에서도 FOB는 5회의 분출이 있었음이 확인된다. 또한 이 연대는 분출한 현무암질 용암의 양이 다량이어서 제주도 동부지역인 만장굴, 수산굴, 미천굴 등 대형동굴이 형성시대이기도 하다.

#### 4-7. $0.19 \pm 0.019 \sim 0.025\text{Ma}$ 의 기생화산활동단계

이 연대에 해당하는 암석의 K-Ar연령은 궁산조면암(표고180m)이  $0.19 \pm 0.019\text{Ma}$ , 상도(표고78m)FOB이  $0.169 \pm 0.17\text{Ma}$ , 우보악조면암이  $0.168 \pm 0.017\text{Ma}$ , 법정조면암(표고450m)이  $0.167 \pm 0.042\text{Ma}$ 등과 같이 조면암류로 이루어진 기생화산이다. 붉은오름(표고1900m)이  $0.16 \pm 0.017\text{Ma}$ , 동주원FOB(표고20m)가  $0.16 \pm 0.04\text{Ma}$ , 토산FOB(표고15m)가  $0.154\text{Ma}$ , 수산 FOB(표고80m)가  $0.15 \pm 0.015\text{Ma}$  등이 있다. 장석 현무암 용암이 고산지대(한라산체)에 분출하고, 한라산 정상부조면암이 분출하면서 한라산 돔이 형성된 시기이다. 한편 저지대에서는 FOB을 분출한 분석구가 형성된시기이다.

거린사슴장석현무암(표고650m)은  $0.121 \pm 0.018\text{Ma}$ 과  $0.093 \pm 0.025\text{Ma}$ , 남원 반상장석현무암이  $0.109\text{Ma}$ , 고근산장석현무암(표고300m)이  $0.097\text{Ma}$ 이며, 장석현무암용암이 분출로 인하여 분석구 기생화산이 형성되었다. 백록담조면암(1950m)이  $0.07 \pm 0.01\text{Ma}$ , 산방산 서쪽에 분포하는 현무암은 (FOB) $0.07 \pm 0.04\text{Ma}$ , 광령반상회석현무암이  $0.06\text{Ma}$ , 월랑 비현정질현무암이  $0.049 \pm 0.01\text{Ma}$ , 수악계곡(표고400m) 장석현무암이  $0.045 \pm 0.07\text{Ma}$  이다. 이때는 수악계곡부근과 월랑봉 기생화산지역에 많은 기생화산이 형성되었다. 이후 토산에서는 FOB가  $0.04\text{Ma}$ , 병악기생화산에서 흘러내린 용암(OB)은  $0.035\text{Ma}$ , 강정현무암(AB)이  $0.03\text{Ma}$ 보다 젊으며, 백록담 조면안산암(하와이아이트)이  $0.025 \pm 0.008\text{Ma}$ 이다. 즉, 이 연대기간에는 산방산, 문섬, 숲섬, 범섬, 제지기오름, 예존망 저지대에 분포하는 용회구(환)을 제외하고는 제주도에 분포하고있는 젊은 기생화산들이 형성된 시기로 해석된다. 중산간지대 이상에 분포하는 구린굴, 도너리, 부종굴, 고근산굴, 미악산굴 등은 주로 장석현무암류으로 형성된 용암동굴이다.

#### 4-8. Holocene의 화산활동(0.01Ma~BP)

이 연대의 화산활동은 화산 원지형의 보존의 정도로 보아 기생화산들 중 일부가 활동하여 그 부산물인 Spatter cone, Scoria mound가 형성된 것이다. 또한 동국여지승람(東國輿地勝覽)과 이조열성실록(李朝烈聖實錄)과 같은 역사 문헌 기록에서도 이 연대기간에 화산활동이 있었음을 제시한다. 동국여지승람에는 1차 폭발은 1002년, 2차 폭발은 1007년, 이조열성실록에는 1445년 1월 24일, 1670년 11월 15일에 지진이 일어나 인명과 가축에 피해를 주었다는 기록이 있다. 이러한 사실들은 제주 화산활동이 최근 세가지 지진과 화산 폭발이 계속되었던 것으로 생각이 된다.

## 5. 화산암류의 암석기재 및 지화학적 특성

### 5-1. 암석분석자료

이 연구에서의 화학분석을 위하여 채취된 암석시료의 위치는 Fig 61에 표시되어 있으며 광범위하게 분포되어 있는 화산암류에 대해 제한된 암석분석으로서 화학적 특성을 찾기위해 한 곳에서의 시추공에 의해서 집약적인 암석시료채취를 하게 되었으며 이들에 대한 주성분 및 CIPW norm 그리고 미량원소별 분석을 실시하였다. 그리고 선행연구자들(원. 1975, 이. 1984, 김. 1993, 박. 1994, 길. 1995, 건교부, 제주도, 수자원 공사. 1993, 1995)의 논문에 기재된 분석자료들을 인용 · 참고하였다. 이 연구에서는 Fig 61에서와 같이 북동지역 25점, 남동지역 14점, 남서지역 16점, 북서지역 13점을 지역별 수직층서별로 총 68점을 채취하여 56점을 캐나다의 "ACTLABS"실험 연구소의 Dr. E. L. HOFFMAN에 의해 전암분석을 실시하였으며 제주도 화산암류 시료 12점과 백두산 시료 7점은 한국자원연구소(1996. 이동영)의 분석결과를 함께 기재하였다(Table 42, 43).



Table. 42. Major element composition represented as oxides CIPW norms  
of volcanic rocks in Cheju Island and Mt. Peakdu.

| Area                           | Northeastern part |           |           |              |          |              |           |             |
|--------------------------------|-------------------|-----------|-----------|--------------|----------|--------------|-----------|-------------|
| Location                       | Ponggea (300)     |           |           | Samyang (30) |          | HangWon (80) |           | Sangdo (78) |
| Sample No                      | C-1 (300)         | C-2 (260) | C-4 (200) | D-1 (30)     | D-3 (36) | B-1 (80)     | B-4 (-20) | A-1 (78)    |
| SiO <sub>2</sub>               | 47.98             | 49.29     | 49.19     | 48.79        | 49.96    | 50.48        | 48.15     | 49.79       |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 14.69             | 15.92     | 16.92     | 14.77        | 14.71    | 14.22        | 14.85     | 15.73       |
| FeO*                           | 13.06             | 13.07     | 12.88     | 13.19        | 13.06    | 12.93        | 12.59     | 12.62       |
| MnO                            | 0.17              | 0.16      | 0.18      | 0.17         | 0.17     | 0.16         | 0.16      | 0.17        |
| MgO                            | 7.92              | 5.6       | 3.94      | 7.41         | 7        | 7.89         | 7.73      | 5.97        |
| CaO                            | 8.3               | 8.71      | 6.85      | 8.04         | 8.21     | 8.2          | 8.34      | 7.7         |
| Na <sub>2</sub> O              | 3.36              | 3.38      | 4.43      | 3.59         | 3.05     | 3.1          | 3.31      | 3.8         |
| K <sub>2</sub> O               | 1.51              | 1.14      | 2.22      | 1.74         | 1.01     | 0.93         | 1.61      | 1.91        |
| TiO <sub>2</sub>               | 2.36              | 2.59      | 2.56      | 2.47         | 2.41     | 1.97         | 2.39      | 2.31        |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0.49              | 0.46      | 1.08      | 0.5          | 0.43     | 0.31         | 0.48      | 0.56        |
| LOI                            | -0.71             | -0.46     | -0.87     | -0.06        | 0.25     | -0.61        | 0.49      | -0.41       |
| TOTAL                          | 99.1              | 99.87     | 99.38     | 100.61       | 100.25   | 99.58        | 99.12     | 100.14      |
| NORM                           |                   |           |           |              |          |              |           |             |
| Q                              |                   |           |           |              |          |              |           |             |
| Or                             | 8.92              | 6.74      | 13.06     | 10.22        | 5.94     | 5.5          | 9.57      | 11.23       |
| Ab                             | 25.49             | 28.52     | 32.34     | 26.24        | 25.81    | 26.15        | 25.67     | 29.95       |
| An                             | 20.55             | 24.81     | 19.69     | 18.9         | 23.47    | 22.1         | 21        | 20.1        |
| Ne                             | 1.64              |           | 2.74      | 2.15         |          |              | 1.31      | 1.1         |
| Di                             | 14.35             | 12.66     | 5.99      | 14.39        | 11.92    | 13.53        | 14.27     | 11.8        |
| Hy                             |                   | 7.01      |           |              | 17.8     | 16.47        |           |             |
| Ol                             | 20.94             | 11.84     | 19.39     | 19.82        | 7.01     | 9.35         | 20.11     | 17.79       |
| Mt                             | 2.48              | 2.46      | 2.44      | 2.48         | 2.46     | 2.44         | 2.39      | 2.38        |
| Il                             | 4.48              | 4.9       | 4.84      | 4.65         | 4.58     | 3.74         | 4.56      | 4.37        |
| Ap                             | 1.14              | 1.07      | 2.5       | 1.16         | 1        | 0.72         | 1.11      | 1.3         |
| C                              |                   |           |           |              |          |              |           |             |

| Area                           | Northeastern part |          |           |              |             |          |             |           |
|--------------------------------|-------------------|----------|-----------|--------------|-------------|----------|-------------|-----------|
| Location                       | Sangdo (78)       |          |           | Shinchon (0) | Pukchon (0) | Udo (3)  | Kyorea (30) | JMD       |
| Sample No.                     | A-2 (74)          | A-3 (13) | A-4 (-45) | SHI-1 (0)    | BOK-1 (0)   | UD-1 (3) | KYO-1 (30)  | N-1 (500) |
| SiO <sub>2</sub>               | 49.9              | 46.65    | 46.41     | 46.27        | 52.43       | 51.94    | 50.13       | 49.56     |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 15.77             | 13.68    | 12.85     | 13.17        | 14.31       | 14.19    | 15.55       | 15.23     |
| FeO*                           | 12.55             | 13.07    | 14.2      | 13.5         | 12.94       | 12.38    | 12.26       | 12.6      |
| MnO                            | 0.17              | 0.17     | 0.18      | 0.17         | 0.16        | 0.16     | 0.16        | 0.16      |
| MgO                            | 6.33              | 10.43    | 10.73     | 9.81         | 6.43        | 6.51     | 6.47        | 5.15      |
| CaO                            | 7.75              | 9.36     | 8.97      | 8.61         | 8.4         | 8.45     | 7.64        | 7.43      |
| Na <sub>2</sub> O              | 3.84              | 2.6      | 2.63      | 2.79         | 3           | 3.07     | 3.63        | 3.84      |
| K <sub>2</sub> O               | 1.82              | 1.33     | 1.23      | 1.3          | 0.46        | 0.64     | 1.54        | 1.78      |
| TiO <sub>2</sub>               | 2.34              | 2.38     | 2.25      | 2.37         | 1.61        | 1        | 2.23        | 2.26      |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0.54              | 0.41     | 0.36      | 0.37         | 0.17        | 0.23     | 0.51        | 0.83      |
| LOI                            | -0.83             | 0.01     | -0.42     | 0.38         | -0.79       | -0.66    | -0.42       | -0.65     |
| TOTAL                          | 99.99             | 100.07   | 99.41     | 98.73        | 99.13       | 98.71    | 99.69       | 98.2      |
| NORM                           |                   |          |           |              |             |          |             |           |
| Q                              |                   |          |           |              | 1.96        | 0.47     |             |           |
| Or                             | 10.64             | 7.86     | 7.27      | 7.8          | 2.72        | 3.84     | 9.1         | 10.64     |
| Ab                             | 29.83             | 18.77    | 19.21     | 21.44        | 25.39       | 26.32    | 30.72       | 32.92     |
| An                             | 20.22             | 21.7     | 19.64     | 19.89        | 24.25       | 23.41    | 21.53       | 19.27     |
| Ne                             | 1.26              | 1.75     | 1.7       | 1.4          |             |          |             |           |
| Di                             | 11.87             | 17.92    | 18.46     | 17.18        | 13.56       | 14.59    | 10.72       | 10.45     |
| Hy                             |                   |          |           |              | 26.23       | 26.52    | 5.12        | 3.15      |
| Ol                             | 18.19             | 24.06    | 25.93     | 24.22        |             |          | 15.09       | 14.89     |
| Mt                             | 2.35              | 2.46     | 2.7       | 2.6          | 2.45        | 2.38     | 2.32        | 2.41      |
| Il                             | 4.41              | 4.52     | 4.27      | 4.58         | 3.06        | 1.92     | 4.24        | 4.35      |
| Ap                             | 1.23              | 0.95     | 0.83      | 0.88         | 0.39        | 0.53     | 1.18        | 1.95      |
| C                              |                   |          |           |              |             |          |             |           |

Table 42. Continued.

| Area                           | Northeastern part |             |             |             |             |             |             |            |
|--------------------------------|-------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|
| Location                       | Myeongdoam (250)  |             |             |             |             |             |             | JHO1 (221) |
| Sample No                      | M16-1 (221)       | M16-2 (200) | M16-3 (168) | M16-4 (145) | M16-5 (125) | M16-6 (118) | M16-10 (30) | JHT-1 (74) |
| SiO <sub>2</sub>               | 48.34             | 48.98       | 48.24       | 49.68       | 49.19       | 46.91       | 55.21       | 51.07      |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 13.98             | 15.01       | 13.1        | 14.95       | 14.39       | 14.44       | 18.21       | 17.45      |
| FeO*                           | 13.02             | 12.85       | 13.7        | 12.4        | 12.89       | 13.71       | 8.52        | 10.43      |
| MnO                            | 0.16              | 0.14        | 0.16        | 0.15        | 0.16        | 0.16        | 0.22        | 0.2        |
| MgO                            | 8.14              | 6.43        | 9.02        | 6.23        | 6.93        | 7.53        | 1.56        | 2.57       |
| CaO                            | 8.71              | 9.22        | 8.96        | 8.43        | 8.36        | 9.12        | 5.44        | 7.52       |
| Na <sub>2</sub> O              | 3.12              | 3.09        | 2.84        | 3.49        | 3.33        | 2.97        | 5.28        | 4.57       |
| K <sub>2</sub> O               | 1.51              | 1.05        | 0.99        | 1.56        | 1.49        | 1.51        | 3.07        | 2.97       |
| TiO <sub>2</sub>               | 2.37              | 2.5         | 2.37        | 2.35        | 2.48        | 2.92        | 1.24        | 1.95       |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0.46              | 0.42        | 0.42        | 0.55        | 0.52        | 0.5         | 0.51        | 0.92       |
| LOI                            | -0.56             | -0.27       | -0.8        | -0.4        | -0.37       | -0.53       | 0.42        | -0.31      |
| TOTAL                          |                   |             |             |             |             |             |             |            |
| NORM                           |                   |             |             |             |             |             |             |            |
| Q                              |                   |             |             |             |             |             |             |            |
| Or                             | 8.92              | 6.21        | 5.85        | 9.22        | 8.81        | 8.92        | 18.26       | 17.61      |
| Ab                             | 25.56             | 26.23       | 24.12       | 29.62       | 28.26       | 22.35       | 44.09       | 30.45      |
| An                             | 19.72             | 24.08       | 20.11       | 20.56       | 19.98       | 21.65       | 17.07       | 18.38      |
| Ne                             | 0.5               |             |             |             |             | 1.56        | 0.5         | 4.54       |
| Di                             | 16.89             | 15.75       | 17.78       | 14.68       | 15          | 16.81       | 5.81        | 11.07      |
| Hy                             |                   | 8.35        | 6.28        | 2.91        | 3.65        |             |             |            |
| Ol                             | 20.37             | 11.21       | 17.8        | 14.92       | 15.93       | 19.4        | 9.08        | 10.13      |
| Mt                             | 2.46              | 2.44        | 2.6         | 2.35        | 2.45        | 2.6         | 1.62        | 1.99       |
| Il                             | 4.5               | 4.77        | 4.5         | 4.46        | 4.73        | 5.56        | 2.37        | 3.72       |
| Ap                             | 1.07              | 0.97        | 0.97        | 1.27        | 1.2         | 1.16        | 1.18        | 2.13       |
| C                              |                   |             |             |             |             |             |             |            |

| Area                           | Southeastern part |                |          |            |          |          |          |             |
|--------------------------------|-------------------|----------------|----------|------------|----------|----------|----------|-------------|
| Location                       | SHIN (39)         | Shinheung (50) |          | Kasi (140) |          |          |          | Eulgw (120) |
| Sample No                      | JSK-3 (-84)       | E-1 (49)       | E-2 (30) | F-1 (120)  | F-2 (90) | F-3 (30) | F-4 (10) | G-1 (110)   |
| SiO <sub>2</sub>               | 50.84             | 49.43          | 52.16    | 49.89      | 48       | 48.75    | 48.21    | 47.98       |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 16.47             | 13.98          | 14.69    | 15.53      | 13.98    | 13.67    | 16.08    | 14.14       |
| FeO*                           | 11.53             | 13.85          | 12.72    | 12.5       | 13.01    | 13.07    | 12.63    | 13.66       |
| MnO                            | 0.17              | 0.16           | 0.16     | 0.16       | 0.17     | 0.16     | 0.17     | 0.16        |
| MgO                            | 3.54              | 7.5            | 6.32     | 5.43       | 7.53     | 8.8      | 6.19     | 7.89        |
| CaO                            | 6.94              | 8.71           | 8.45     | 7.55       | 8.4      | 9        | 7.28     | 8.73        |
| Na <sub>2</sub> O              | 4.25              | 3.13           | 3.13     | 3.71       | 2.95     | 2.85     | 3.56     | 3.08        |
| K <sub>2</sub> O               | 2.61              | 0.93           | 0.64     | 1.5        | 1.12     | 0.8      | 2.29     | 1.15        |
| TiO <sub>2</sub>               | 2.45              | 2.4            | 1.98     | 2.24       | 2.31     | 2.04     | 2.31     | 2.45        |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0.88              | 0.46           | 0.25     | 0.52       | 0.44     | 0.3      | 0.67     | 0.37        |
| LOI                            | -0.44             | -0.99          | -0.33    | -0.54      | 0.32     | -0.16    | 0.11     | -0.32       |
| TOTAL                          |                   | 99.58          | 100.15   | 98.57      | 98.22    | 99.45    | 99.5     | 99.3        |
| NORM                           |                   |                |          |            |          |          |          |             |
| Q                              |                   |                | 0.89     |            |          |          |          |             |
| Or                             | 15.48             | 5.44           | 3.78     | 8.92       | 6.74     | 4.73     | 13.59    | 6.8         |
| Ab                             | 34.27             | 26.32          | 26.32    | 31.73      | 25.47    | 24.29    | 26.12    | 26.15       |
| An                             | 18.22             | 21.25          | 24.04    | 21.49      | 22.09    | 22.27    | 21.29    | 21.48       |
| Ne                             | 0.96              |                |          |            |          |          | 2.26     |             |
| Di                             | 8.86              | 15.43          | 13.28    | 10.67      | 14.47    | 16.94    | 8.81     | 16.09       |
| Hy                             |                   | 10.9           | 24.98    | 6.73       | 9.34     | 9.67     |          | 7.82        |
| Ol                             | 13.29             | 12.46          |          | 12.54      | 13.85    | 15.03    | 19.56    | 19.52       |
| Mt                             | 2.19              | 2.61           | 2.39     | 2.39       | 2.51     | 2.48     | 2.41     | 2.6         |
| Il                             | 4.67              | 4.54           | 3.74     | 4.29       | 4.48     | 3.89     | 4.41     | 4.67        |
| Ap                             | 2.04              | 1.07           | 0.58     | 1.23       | 1.04     | 0.7      | 1.55     | 0.86        |
| C                              |                   |                |          |            |          |          |          |             |

Table. 42. Continued.

| Area                           | Southeastern part |                  |              |                 |               |              |                |                         |
|--------------------------------|-------------------|------------------|--------------|-----------------|---------------|--------------|----------------|-------------------------|
| Location                       | Eugwi<br>(120)    | Seongsan<br>(15) | Shinsan (0)  |                 | MAE<br>(30)   | Tosan<br>(0) | SENG<br>(200)  | S - W<br>Shindo<br>(20) |
| Sample<br>No.                  | G-2<br>(105)      | SEG-1<br>(15)    | SHN-1<br>(0) | SHN-2<br>(-0.5) | MAE-1<br>(30) | TOS-1<br>(0) | JHT-2<br>(120) | J-1<br>(8)              |
| SiO <sub>2</sub>               | 47.74             | 47.3             | 50.92        | 47.4            | 50.45         | 48.7         | 50.78          | 48.26                   |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 15.27             | 14.47            | 14.17        | 14.06           | 15.02         | 15.11        | 17.4           | 14.38                   |
| FeO*                           | 13.58             | 12.74            | 12.72        | 12.85           | 12.88         | 12.97        | 10.62          | 13.6                    |
| MnO                            | 0.17              | 0.17             | 0.16         | 0.17            | 0.16          | 0.16         | 0.2            | 0.17                    |
| MgO                            | 7.31              | 7.64             | 7.25         | 8.37            | 5.93          | 6.81         | 2.79           | 7.95                    |
| CaO                            | 8.76              | 8.33             | 8.59         | 8.52            | 7.47          | 7.7          | 7.04           | 8.21                    |
| Na <sub>2</sub> O              | 3.24              | 3.43             | 3.15         | 3.19            | 3.8           | 3.65         | 4.21           | 3.08                    |
| K <sub>2</sub> O               | 1.36              | 1.63             | 0.94         | 1.43            | 1.66          | 1.85         | 2.62           | 1.43                    |
| TiO <sub>2</sub>               | 2.55              | 2.5              | 1.97         | 2.25            | 2.18          | 2.44         | 2              | 2.19                    |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0.58              | 0.55             | 0.3          | 0.45            | 0.73          | 0.57         | 1.01           | 0.45                    |
| LOI                            | -0.08             | -0.5             | -0.78        | -0.38           | -0.96         | -0.82        | 0.98           | 0.37                    |
| TOTAL                          | 100.48            | 98.27            | 99.4         | 98.32           | 99.32         | 99.15        |                | 100.1                   |
| NORM                           |                   |                  |              |                 |               |              |                |                         |
| Q                              |                   |                  |              |                 |               |              |                |                         |
| Or                             | 7.98              | 9.75             | 5.56         | 8.57            | 9.81          | 10.93        | 15.72          | 8.45                    |
| Ab                             | 25.52             | 24.24            | 26.57        | 24.44           | 32.07         | 27.65        | 35.66          | 26.15                   |
| An                             | 22.98             | 19.53            | 21.74        | 20.1            | 18.96         | 19.41        | 21.06          | 21.25                   |
| Ne                             | 0.94              | 2.77             |              | 1.56            |               | 1.75         | 0.26           |                         |
| Di                             | 13.55             | 15.31            | 15.55        | 16.15           | 10.97         | 12.43        | 6.44           | 13.69                   |
| Hy                             |                   |                  | 16.71        |                 | 5.43          |              |                | 2.16                    |
| Ol                             | 20.3              | 19.85            | 7.05         | 21.31           | 14.52         | 19.41        | 12.58          | 20.5                    |
| Mt                             | 2.55              | 2.44             | 2.41         | 2.46            | 2.44          | 2.45         | 2.03           | 2.58                    |
| Il                             | 4.82              | 4.81             | 3.74         | 4.33            | 4.12          | 4.63         | 3.86           | 4.18                    |
| Ap                             | 1.34              | 1.3              | 0.7          | 1.07            | 1.69          | 1.32         | 2.36           | 1.04                    |
| C                              |                   |                  |              |                 |               |              |                |                         |

| Area                           | Southwestern part |                 |              |              |              |            |              |                |
|--------------------------------|-------------------|-----------------|--------------|--------------|--------------|------------|--------------|----------------|
| Location                       | Shindo<br>(20)    | Saneopdeea(500) |              |              |              | Sangmo (8) |              | Kamsa<br>(160) |
| Sample<br>No.                  | J-3<br>(15)       | H-1<br>(500)    | H-2<br>(480) | H-3<br>(330) | H-4<br>(277) | K-1<br>(0) | K-3<br>(-50) | I-1<br>(150)   |
| SiO <sub>2</sub>               | 50.46             | 49.32           | 49.88        | 63.36        | 49.94        | 51.09      | 47.96        | 50.38          |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 14.35             | 16.75           | 16.5         | 6.85         | 18.45        | 14.18      | 14.08        | 16.08          |
| FeO*                           | 13.45             | 12.94           | 12.71        | 5.31         | 12.14        | 12.68      | 13.2         | 12.63          |
| MnO                            | 0.16              | 0.15            | 0.17         | 0.18         | 0.14         | 0.16       | 0.16         | 0.17           |
| MgO                            | 7.66              | 5.37            | 3.71         | 0.62         | 3.89         | 7.94       | 8.99         | 5.47           |
| CaO                            | 8.57              | 8.87            | 6.71         | 2.69         | 8.25         | 8.71       | 8.73         | 7.48           |
| Na <sub>2</sub> O              | 3.09              | 3.57            | 4.35         | 5.51         | 4            | 2.97       | 3.15         | 4.08           |
| K <sub>2</sub> O               | 0.68              | 1.18            | 2.05         | 3.56         | 1.4          | 0.68       | 1.37         | 1.82           |
| TiO <sub>2</sub>               | 2.06              | 2.71            | 2.34         | 0.46         | 2.28         | 1.99       | 2.48         | 2.34           |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0.27              | 0.45            | 0.74         | 0.17         | 0.59         | 0.25       | 0.43         | 0.63           |
| LOI                            | -0.41             | -0.48           | -0.82        | 1.7          | -0.44        | -0.33      | -0.71        | 0.66           |
| TOTAL                          | 100.32            | 100.63          | 98.34        | 100.42       | 100.63       | 100.31     | 99.85        | 100.41         |
| NORM                           |                   |                 |              |              |              |            |              |                |
| Q                              |                   |                 |              | 8.51         |              |            |              |                |
| Or                             | 3.96              | 6.86            | 12.23        | 21.33        | 8.21         | 4.02       | 8.04         | 10.64          |
| Ab                             | 25.98             | 29.79           | 35.21        | 47.22        | 33.51        | 24.96      | 23.91        | 32.53          |
| An                             | 23.1              | 25.88           | 19.59        | 10.87        | 27.95        | 23.2       | 20.14        | 19.96          |
| Ne                             |                   |                 | 1.05         |              |              |            | 1.4          | 0.9            |
| Di                             | 14.31             | 12.22           | 7.66         | 1.31         | 7.34         | 14.85      | 16.46        | 10.55          |
| Hy                             | 17.19             | 1.84            |              | 8.43         |              | 21.12      |              |                |
| Ol                             | 8.44              | 14.9            | 15.63        |              | 15.1         | 5.14       | 21.9         | 17.24          |
| Mt                             | 2.52              | 2.42            | 2.42         | 1.01         | 2.28         | 2.38       | 2.48         | 2.36           |
| Il                             | 3.87              | 5.07            | 4.48         | 0.93         | 4.29         | 3.76       | 4.69         | 4.39           |
| Ap                             | 0.63              | 1.02            | 1.74         | 0.39         | 1.34         | 0.58       | 1            | 1.44           |
| C                              |                   |                 |              |              |              |            |              |                |

Table 42. Continued.

| Area                           | Southwestern part |                   |            |            |             |           |             | N - W      |
|--------------------------------|-------------------|-------------------|------------|------------|-------------|-----------|-------------|------------|
| Location                       | Kamsa (160)       | Jaemyeong (20-50) |            |            | Songak (30) | Suwol (0) | SHOT (100)  | Eawol (20) |
| Sample No.                     | L-2 (80)          | DAE-1 (30)        | DAE-2 (20) | DAE-3 (50) | SON-1 (20)  | SUW-1 (0) | CJ-3 (-940) | L-1 (8)    |
| SiO <sub>2</sub>               | 52.03             | 49.39             | 50.32      | 42.89      | 49.35       | 51.38     | 50.39       | 48.76      |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 16.16             | 18.91             | 18.33      | 14.43      | 15.43       | 14.37     | 18.3        | 15.32      |
| FeO*                           | 12.19             | 10.29             | 10.24      | 13.76      | 12.84       | 12.34     | 10.45       | 12.68      |
| MnO                            | 0.16              | 0.24              | 0.24       | 0.19       | 0.16        | 0.16      | 0.19        | 0.16       |
| MgO                            | 3.88              | 1.95              | 2.26       | 8.71       | 6.78        | 6.4       | 2.78        | 6.55       |
| CaO                            | 6.78              | 6.47              | 7.78       | 10.35      | 7.67        | 8.27      | 5.41        | 8.04       |
| Na <sub>2</sub> O              | 4.2               | 4.15              | 4.45       | 3.77       | 3.78        | 3.12      | 2.32        | 3.62       |
| K <sub>2</sub> O               | 1.92              | 2.55              | 2.41       | 0.76       | 1.68        | 0.43      | 2.36        | 1.68       |
| TiO <sub>2</sub>               | 2.08              | 1.94              | 1.85       | 3.1        | 2.16        | 1.95      | 0.87        | 2.65       |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0.56              | 0.86              | 0.87       | 0.54       | 0.51        | 0.19      | 0.2         | 0.51       |
| LOI                            | -0.45             | 2.07              | 0.29       | -0.19      | -0.7        | -0.16     | 7.08        | -0.8       |
| TOTAL                          | 99.5              | 98.81             | 99.03      | 98.3       | 99.67       | 98.44     |             | 99.16      |
| NORM                           |                   |                   |            |            |             |           |             |            |
| Q                              |                   |                   |            |            |             | 1.27      | 6.52        |            |
| Or                             | 11.35             | 15.6              | 14.42      | 4.55       | 9.87        | 2.6       | 14.95       | 9.93       |
| Ab                             | 35.54             | 35.91             | 32.61      | 10.92      | 29.38       | 26.74     | 21.07       | 28.37      |
| An                             | 19.6              | 26.29             | 23.19      | 20.51      | 20.09       | 24.27     | 27.4        | 20.59      |
| Ne                             |                   | 0.21              | 3.01       | 11.64      | 1.37        |           |             | 1.23       |
| Di                             | 8.72              | 0.92              | 8.63       | 22.92      | 11.96       | 13.31     |             | 13.17      |
| Hy                             | 8.34              |                   |            |            |             | 25.23     | 22.94       |            |
| Ol                             | 8.9               | 13.2              | 10.59      | 19.53      | 19.66       |           |             | 18.09      |
| Mt                             | 2.31              | 2.02              | 1.96       | 2.64       | 2.42        | 2.36      | 2.12        | 2.39       |
| Il                             | 3.95              | 3.82              | 3.55       | 5.98       | 4.08        | 3.76      | 1.77        | 5.03       |
| Ap                             | 1.3               | 2.06              | 2.04       | 1.27       | 1.18        | 0.44      | 0.49        | 1.18       |
| C                              |                   |                   |            |            |             |           | 2.74        |            |

| Area                           | Northwestern part |           |           |           |             |           |              |           |
|--------------------------------|-------------------|-----------|-----------|-----------|-------------|-----------|--------------|-----------|
| Location                       | Eawol (20)        |           |           | Yiho (20) | Chagwi (30) |           | Konea (30-0) |           |
| Sample No.                     | L-2 (3)           | L-4 (-70) | L-5 (-82) | M-3 (-36) | CHA-1 (5)   | CHA-2 (5) | KON-1 (25)   | KON-2 (3) |
| SiO <sub>2</sub>               | 48.15             | 46.53     | 49.23     | 48.41     | 47.06       | 49.04     | 47.53        | 48.17     |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 15.14             | 13.01     | 14.75     | 14.45     | 13.09       | 14.89     | 15.19        | 13.82     |
| FeO*                           | 13.21             | 13.01     | 12.12     | 12.98     | 12.51       | 11.63     | 13.64        | 12.89     |
| MnO                            | 0.16              | 0.18      | 0.17      | 0.16      | 0.16        | 0.16      | 0.16         | 0.17      |
| MgO                            | 6.4               | 9.72      | 7.24      | 6.19      | 9.79        | 6.57      | 6.43         | 9.49      |
| CaO                            | 8                 | 9.06      | 7.42      | 9.5       | 8.93        | 7.21      | 8.37         | 9.22      |
| Na <sub>2</sub> O              | 3.58              | 2.7       | 3.71      | 3.04      | 2.88        | 3.85      | 3.44         | 2.84      |
| K <sub>2</sub> O               | 1.82              | 1.02      | 2.18      | 1.1       | 1.38        | 2.24      | 1.23         | 1.08      |
| TiO <sub>2</sub>               | 2.61              | 2.43      | 2.17      | 2.5       | 2.24        | 2.3       | 2.84         | 1.97      |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0.51              | 0.38      | 0.59      | 0.43      | 0.46        | 0.64      | 0.57         | 0.29      |
| LOI                            | -0.97             | 0.27      | -0.7      | -1.45     | -0.19       | -0.2      | -0.67        | -0.92     |
| TOTAL                          | 98.61             | 98.31     | 98.86     | 97.29     | 98.31       | 98.34     | 98.72        | 99.03     |
| NORM                           |                   |           |           |           |             |           |              |           |
| Q                              |                   |           |           |           |             |           |              |           |
| Or                             | 10.81             | 6.15      | 12.94     | 6.56      | 8.27        | 13.42     | 7.33         | 6.38      |
| Ab                             | 26.22             | 23.27     | 27.16     | 26.06     | 22.25       | 28.62     | 28.68        | 24.03     |
| An                             | 19.91             | 20.79     | 17.2      | 22.82     | 19.02       | 16.98     | 22.5         | 21.8      |
| Ne                             | 2.3               |           | 2.38      |           | 1.33        | 2.42      | 0.32         |           |
| Di                             | 13.72             | 18.36     | 13.07     | 18.23     | 18.67       | 12.42     | 12.86        | 18.06     |
| Hy                             |                   | 0.68      |           | 6.13      |             |           |              | 0.69      |
| Ol                             | 18.37             | 22.63     | 19.43     | 11.89     | 22.65       | 17.98     | 18.96        | 22.2      |
| Mt                             | 2.51              | 2.51      | 2.31      | 2.48      | 2.41        | 2.23      | 2.6          | 2.44      |
| Il                             | 4.98              | 4.71      | 4.14      | 4.81      | 4.31        | 4.43      | 5.43         | 3.74      |
| Ap                             | 1.18              | 0.9       | 1.37      | 1.02      | 1.09        | 1.51      | 1.32         | 0.67      |
| C                              |                   |           |           |           |             |           |              |           |

Table. 42. Continued.

| Area                           | Northwestern part |           |               |             | Mt. Peakdu |       |       |       |
|--------------------------------|-------------------|-----------|---------------|-------------|------------|-------|-------|-------|
| Location                       | Todu (50-0)       |           | Eorimok (950) | ISO         |            |       |       |       |
| Sample No.                     | DOD-1 (15)        | DOD-2 (2) | EAR-1 (950)   | CJ-2 (-480) | B-1        | B-2   | B-3   | B-4   |
| SiO <sub>2</sub>               | 46.58             | 48.19     | 50.15         | 45.32       | 71.17      | 67.99 | 66.78 | 63.61 |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 15.93             | 15.23     | 16.82         | 15.68       | 10.48      | 13.55 | 14.84 | 16.11 |
| FeO*                           | 13.6              | 12.97     | 12.09         | 13.44       | 7.09       | 5.77  | 5.67  | 5.65  |
| MnO                            | 0.16              | 0.16      | 0.17          | 0.18        | 0.12       | 0.11  | 0.11  | 0.16  |
| MgO                            | 6.32              | 6.97      | 4.43          | 5.07        | 0.05       | 0.05  | 0.05  | 0.34  |
| CaO                            | 8.93              | 8.2       | 7.39          | 10.12       | 0.3        | 0.64  | 0.54  | 1.37  |
| Na <sub>2</sub> O              | 3.39              | 3.53      | 4.21          | 2.82        | 4.51       | 5.8   | 5.57  | 4.84  |
| K <sub>2</sub> O               | 1.14              | 1.5       | 1.99          | 1.93        | 4.69       | 5.29  | 5.23  | 6.12  |
| TiO <sub>2</sub>               | 2.97              | 2.53      | 2.27          | 3.14        | 0.35       | 0.35  | 0.34  | 0.53  |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0.56              | 0.49      | 0.86          | 0.91        | 0.02       | 0.03  | 0.02  | 0.13  |
| LOI                            | -0.88             | -0.29     | -0.73         | 1.03        | 0.93       | 0.04  | 0.46  | 0.84  |
| TOTAL                          | 96.68             | 99.49     | 99.64         |             |            |       |       |       |
| NORM                           |                   |           |               |             |            |       |       |       |
| Q                              |                   |           |               |             | 26.84      | 13.52 | 10.14 | 5.82  |
| Or                             | 6.74              | 8.86      | 11.7          | 11.58       | 28.07      | 31.38 | 31.14 | 36.58 |
| Ab                             | 25.26             | 27.25     | 33.56         | 18.25       | 28.13      | 40.44 | 47.56 | 41.46 |
| An                             | 25.03             | 21.35     | 21.08         | 24.76       |            |       | 0.06  | 4.2   |
| Ne                             | 1.9               | 1.46      | 1.03          | 3.22        |            |       |       |       |
| Di                             | 13.08             | 13.38     | 8.2           | 16.76       | 1.21       | 2.65  | 2.22  | 1.62  |
| Hy                             |                   |           |               |             | 10.59      | 7.6   | 7.1   | 7.91  |
| Ol                             | 18.45             | 19.28     | 15.86         | 14.66       |            |       |       |       |
| Mt                             | 2.58              | 2.46      | 2.28          | 2.58        |            |       | 1.09  | 1.09  |
| Il                             | 5.66              | 4.82      | 4.29          | 6.04        | 0.66       | 0.66  | 0.65  | 1.03  |
| Ap                             | 1.3               | 1.14      | 1.99          | 2.13        | 0.05       | 0.07  | 0.05  | 0.3   |
| C                              |                   |           |               |             |            |       |       |       |

| Area                           | Mt. Peakdu |       |       |
|--------------------------------|------------|-------|-------|
| Location                       |            |       |       |
| Sample No.                     | B-5        | B-7   | B-8   |
| SiO <sub>2</sub>               | 53.59      | 51.38 | 51.98 |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 16.86      | 14.69 | 13.81 |
| FeO*                           | 10.17      | 13.01 | 11.51 |
| MnO                            | 0.19       | 0.15  | 0.14  |
| MgO                            | 2.6        | 6.35  | 7.41  |
| CaO                            | 4.76       | 8.67  | 7.35  |
| Na <sub>2</sub> O              | 5.02       | 2.9   | 3.02  |
| K <sub>2</sub> O               | 3.51       | 0.48  | 1.89  |
| TiO <sub>2</sub>               | 1.71       | 1.47  | 1.36  |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 1.21       | 0.17  | 0.21  |
| LOI                            | -0.43      | 0.55  | 1.14  |
| TOTAL                          |            |       |       |
| NORM                           |            |       |       |
| Q                              |            | 0.8   |       |
| Or                             | 20.8       | 2.84  | 11.35 |
| Ab                             | 41.81      | 24.71 | 25.89 |
| An                             | 13.15      | 25.86 | 18.77 |
| Ne                             | 0.45       |       |       |
| Di                             | 2.25       | 13.56 | 13.83 |
| Hy                             |            | 26.56 | 18.3  |
| Ol                             | 13.53      |       | 6.56  |
| Mt                             | 1.93       | 2.48  | 2.2   |
| Il                             | 3.27       | 2.81  | 2.62  |
| Ap                             | 2.8        | 0.39  | 0.49  |
| C                              |            |       |       |

## 5-2. 화산암류의 암석기재

### 5-2-1. 화산암류 분류 및 명명

화산암류는 화학조성을 근거로 하여 여러 학자들에 의하여 분류 및 명명되었다.(Irving and Baragar, 1971 : Strecisen, 1978 : Cox et al, 1979 : Le Bas et al, 1986 : Le Maitre et al, 1989) 이 연구에서는 Le Bas(1986)에 의해 분류를 이용하였다(Fig 62). 이 지역의 현무암류는 알카리 계열의 알카리현무암, 하와이아이트, 뮤저라이트, 벤모라이트, 조면암 및 비알카리 계열의 솔레라이트 등 다양한 암형으로 분류된다. 솔레라이트가 소량 분포하는 지역은 북촌, 우도, 수월봉 지역과 시추코아에서 얻어진 상모(지하 -50m) 및 신도(지하 -15m) 지역의 암석들이 솔레라이트에 분류된다. 이 연구에서도 암석기재는 기존의 연구자들의 내용과 별 다른 차이를 발견할 수 없었다. 각 화산암류에 대한 암석 기재학적 특징은 다음과 같다.

#### 1) 알카리 현무암

현미경 하에서 반정이 감람석 장석 및 휘석인 반정질 조직을 보인다. 석기는 전 지역에서 침상장석, 휘석, 감람석 및 불투명 광물로 이루어 졌으며 Lath 모양의 사장석과 감람석 휘석 불투명 광물이 불규칙하게 배열되고 충전 조직을 보인다.

감람석 반정은 4.0~13% 사장석 반정은 1.5~20%로 그 함량이 다양하다.

#### 2) 하와이아이트

이 암석의 반정은 감람석 휘석 및 사장석이고 석기로는 감람석, 휘석, 사장석 불투명 광물이며 충전 조직을 보인다. 반정의 양은 전체적으로 볼때 알카리 현무암에 비해 적고 육안상으로는 비현정질로 보인다. 감람석 반정이 3~9%, 휘석 1~2%, 사장

석 1~14%, 감람석 크기는 0.5~3mm, 휘석은 0.5~2mm, 사장석은 0.5~4mm 이다.

반상조직을 보이며 반정은 감람석 2~4% 휘석 1.5~3% 사장석 1~19% 이다.

### 3) 뮤저라이트

육안상으로는 반정광물이 뚜렷하게 보이지 않는다. 전체적으로 반상조직을 보이며 감람석 4% 휘석 1% 장석 20% 내외의 반정이 있다. 사장석은 1~2mm Labradorite 이다. 석기는 감람석, 휘석, 장석, 불투명 광물로 된 충전조직(interstitial texture) 이다.

### 4) 벤모라이트

이 용암류는 명도암 지하 220m에 분포하는 용암류로 육안에서 암상이 매우 신선하고 건고하며 회색을 띠며 조면암으로 기재하였으며  $\text{SiO}_2$  함량이 55.2% 로서 벤모라이트로 분류하였다. 육안으로는 하와이아이트 또는 조면암으로 보이며 현미경하에서 반정은 소량의 사장석 알카리장석, 휘석이 관찰된다. 사장석은 자형으로 크기는 1~2mm 정도이며 휘석은 크기가 0.2~1mm 이고 취반상조직을 보인다. 석기는 사장석 알카리장석 및 유리질로 구성되며 단주상 및 침상으로 약간의 방향성을 보인다.

### 5) 조면암

이 용암류는 거린사슴에서 지하 170m에 분포하는 암석으로서 법정리 조면암으로 분류된다. 육안으로는 암록색을 띠며 치밀건고하고 장석반정과 검은색의 휘석 결정이 보인다. 사장석의 크기는 1~1.2mm 정도이며 자형내지 반자형에 속한다. 장석은 방향성이 강한것이 특징이다. 백두산 암석은 거의 조면암이며 벤모라이트, 뮤저라이트도

있다.

#### 6) 슬레이트이트

이 용암류의 분포지역은 북촌, 우도, 수월봉 지역, 시추코아에서는 상모(지하 -50m) 신도(지하 -15m) 에서 분포하는데 이들 암석들은 모두 해안선상에 분포하며 침상장 석감람석으로 기재되어 있다. 현미경하에서는 중립의 다공상, 작은 침상형의 사장석 과 휘석 및 감람석이 관찰이 되며 휘석은 반자형의 반정 내지는 미반정이며 석기광 물로도 산출된다.

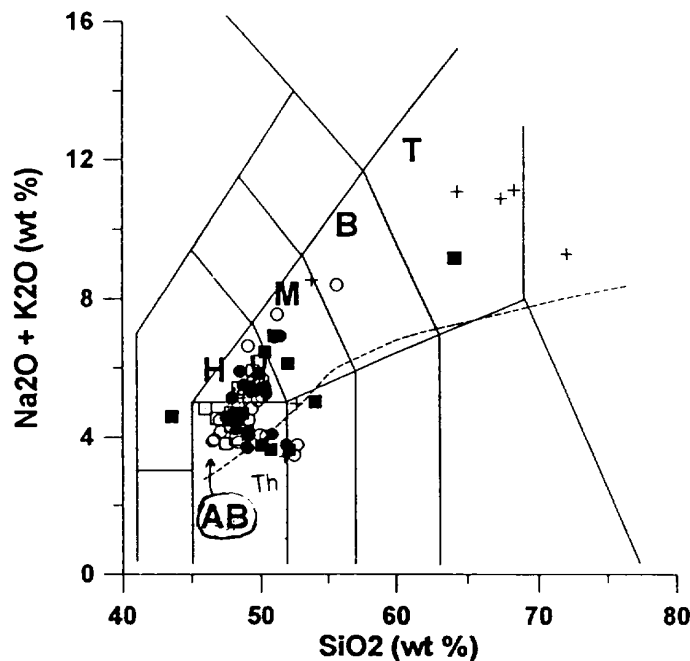


Fig. 62. Classification and nomenclature of alkaline volcanic rocks based on their alkalis (wt %) vs.  $\text{SiO}_2$  (wt %) (Lebas and others, 1986).  
 AB : Alkali basalt, H : Hawaiite, M : Mugearite, B : Benmoreite, T : Trachyte, Th : Tholeiite, Symbols : [Northeastern part : ○, Southeastern part : ●, Southwestern part : ■, Northwestern part : □, Mt. Peakdu : + ]

### 5-3. 화산암류의 지화학적 특성

제주도에 분포하는 화산암류의 지화학적 특성을 분석하기 위해서는 68개 시료에 대해 주구성원소, 미량원소, 희토류원소를 분석하였으며 화산암의 주성분원소를 이용하여 CIPW Norm 광물을 계산하였으며 그 결과 기존 연구자들의 내용과 별다른 차이는 없었다.

#### 5-3-1. 주성분 원소

시료 68개를 분석하였다(Table 42,44). 철성분은  $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$  비를 0.15 (Cox et al, 1979) 로 환산하여 구하였다. 전체용암류의  $\text{SiO}_2$  함량은 42.89~63.36% 를 보이며 전체평균 57.8% 이다. 지역별로는 북동지역 46.27~55.21% 범위며 평균은 49.12% 남서지역 42.89~63.36% 범위이며 평균은 50.4% 북서지역 45.32~50.15% 범위이며 평균 47.93% 이다.  $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$  의 지역별 함량범위는 북동지역 3.83%~8.28%, 남동지역 3.65%~6.83%, 남서지역 3.65%~9.07%, 북서지역 3.72%~6.2% 이다. 암석조성의 분화경향을 알아보기 위해서는 지역에 관계없이 분화지수로  $\text{MgO}$  의 함량을 이용하여 가로축에 적용시켜  $\text{MgO}$  가 감소에 따라 주성분 원소의 특성을 보면 Fig 63과 같다.  $\text{Al}_2\text{O}_3$  는  $\text{MgO}$  가 약 3% 가 될때까지는 증가하다가 그 후에는 감소한다. 이는 3% 될 때까지는 사장석이 주된 정출광물이 아니었음을 의미한다.

$\text{FeO}$  는  $\text{MgO}$ 가 약 5% 이하에서는 감소하고, 남서지역에서는 약간 감소가 심하다. 즉 초기에는 약간 증가하다가 감소하는 경향을 보인다. 이런 경향은 Fe 조성이 많은 Fe-Ti 산화광물과 같은 광물이 관련되었음을 시사한다.

$\text{TiO}_2$ 는  $\text{FeO}$  산화물과 비슷하나 조금은 분산된 경향을 보인다.

$\text{CaO}$ 는  $\text{MgO}$  가 감소에 따라 서서히 감소하다가 약 3% 이후 급히 감소하는 경향이

있다.

$\text{Na}_2\text{O}$ 는  $\text{MgO}$  가 감소에 따라 증가하며 불호정원소 임을 지시한다.

$\text{K}_2\text{O}$ 는 약 4% 될때까지는 서서히 증가하는 경향이나 이후는 급히 증가한다. 이는  $\text{K}_2\text{O}$ 가 감람석, 휘석, 사장석, Fe-Ti 산화물에 불호정 성분이다.

$\text{P}_2\text{O}_5$  는  $\text{MgO}$  감소에 따라 증가하다가 남부지역에서 몇 곳에서 감소한다.  $\text{SiO}_2$  도  $\text{MgO}$  가 감소 함에 따라 서서히 증가경향을 보인다. 즉, 전체적인 주성분원소의 변화는  $\text{MgO}$  가 약 4% 이상에서는  $\text{MgO}$ 가 감소함에 따라  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  ,  $\text{Na}_2\text{O}$  성분은 증가하고,  $\text{TiO}_2$  , Total FeO ,  $\text{SiO}_2$  ,  $\text{K}_2\text{O}$  성분은 일정하고,  $\text{CaO}$ 가 급격히 감소하는 경향이 있어, 분화과정에서 감람석과 휘석의 정출이 크게 영향을 주었음을 알 수 있다.  $\text{MgO}$ 가 4% 이하에서는  $\text{MgO}$  가 감소함에 따라  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{SiO}_2$  성분은 증가하고  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , Total FeO,  $\text{CaO}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ 의 성분은 감소하는 경향이 있어, 분화과정에서 Fe-Ti 산화광물과, 인회석의 정출이 있었음을 알 수 있다. 결과적으로 마그마가 분화하면서 초기에는 감람석, 휘석의 정출이 그 후에는 Fe-Ti 산화광물과 인회석의 정출이 분화에 영향을 주었음을 알 수 있다(Fig 63).

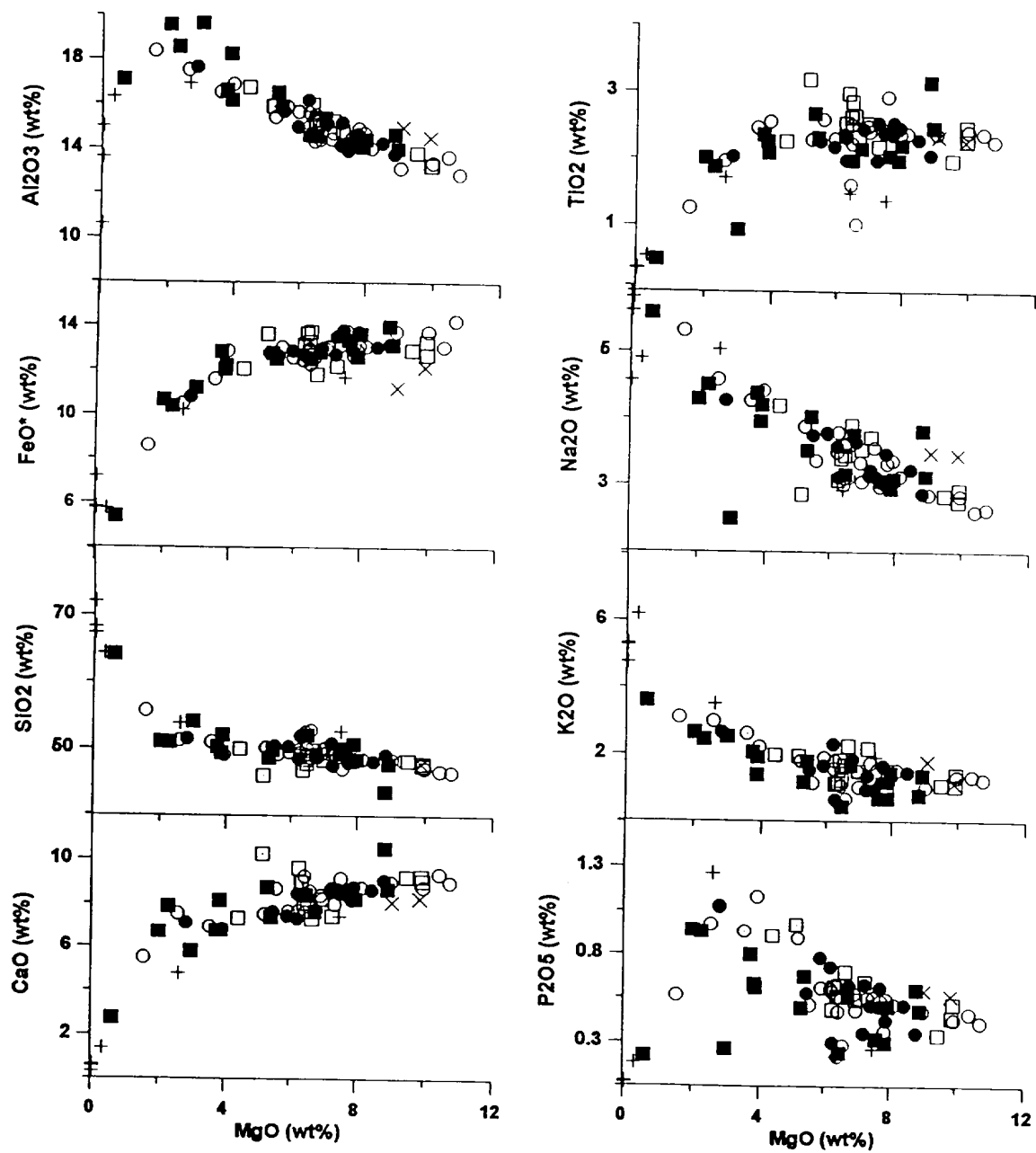


Fig. 63. Plots of major elements (wt %) vs. MgO for Cheju Island. All data were normalized to 100% on a volatile-free basis before plotting. Symbols as Fig. 62.

### 5-3-2. 미량원소

미량원소 분석 값은 Table 44와 같다. MgO분화지수로 하여 호정원소를 표시 하였다.

Ni은 감람석, Cr은 탄사휘석, Co은 Fe-Ti 산화광물, 그리고 Ba은 사장석에 호정성이 강한 원소들이다. Fig 64.에서와 같이 MgO가 분화가 되면서 Ni, Cr은 MgO가 4%까지 급격히 감소하고, Co은 MgO 8%부터 급격히 감소한다. Ba은 Mgo가 감소하면서 증가하는 경향을 보인다. 이는 분화초기에는 감람석, 휘석 그리고 분화중기 부터는 Fe-Ti 산화광물이 마그마 분화에 영향을 주었고 사장석은 그렇지 않았음을 알수 있다. 이는 주성분 원소와도 일치한다.

불호정적 원소에 대해서는 감람석, 휘석, 석류석에 불호정성인 강한 원소 La 을 이용하였다. Zr, Y 는 현무암질 마그마에서 액상-고상 분배계수가 작아 분별결정작용동안 액상에 더 농집되는 불호정 미량원소에 해당하며 특히 풍화나 변질 작용에도 영향을 크게 받지않는 불유동성 (immobile) 원소이기 때문에 마그마의 분화척도로 사용한다. 주성분산화물과도 함께 비교하면 상관 관계가 일정한 경향은 이들 모두 동원마그마 기원임을 지시한다(Fig 64, 65).

Table 44. Abundance of trace elements in volcanic rocks of Cheju Island and Mt. Peakdu.

| Area       |  | Northeastern part |           |           |          |              |          |           |               |          |          |             |           |           |          |              |              |         |             |     |
|------------|--|-------------------|-----------|-----------|----------|--------------|----------|-----------|---------------|----------|----------|-------------|-----------|-----------|----------|--------------|--------------|---------|-------------|-----|
| Location   |  | Pongosa (300)     |           |           |          | Samyang (30) |          |           | Heangwon (80) |          |          | Sangdo (78) |           |           |          | Shinchon (Q) | Pukch'on (Q) | Udo (3) | Kyorea (30) | JMD |
| Sample No. |  | C-1 (300)         | C-2 (280) | C-4 (300) | D-1 (30) | D-3 (38)     | B-1 (80) | B-4 (-20) | A-1 (78)      | A-2 (74) | A-3 (13) | A-4 (-45)   | SHI-1 (Q) | BOK-1 (Q) | UD-1 (3) | KYO-1 (30)   |              |         |             |     |
| Ba         |  | 472               | 303       | 630       | 475      | 274          | 250      | 430       | 497           | 486      | 400      | 343         | 341       | 122       | 163      | 424          | 477          |         |             |     |
| Sr         |  | 584               | 529       | 803       | 519      | 426          | 391      | 571       | 569           | 567      | 506      | 505         | 424       | 238       | 308      | 549          | 593          |         |             |     |
| Zr         |  | 23                | 34        | 26        | 24       | 22           | 22       | 22        | 26            | 25       | 23       | 22          | 25        | 22        | 23       | 24           | 28           |         |             |     |
| Be         |  | 1                 | 1         | 2         | 2        | 1            | 1        | 1         | 2             | 2        | 1        | 1           | 1         | <3        | <1       | 2            | 228          |         |             |     |
| V          |  | 169               | 191       | 123       | 171      | 169          | 154      | 182       | 147           | 161      | 211      | 206         | 223       | 154       | 161      | 151          | 139          |         |             |     |
| Au         |  | 6                 | 5         | <5        | <5       | <5           | <5       | <5        | <5            | <5       | <5       | <5          | <5        | <5        | <5       | <5           | 6            |         |             |     |
| As         |  | 3                 | <2        | <2        | <2       | <2           | <2       | <2        | <2            | <2       | 2        | <2          | 7         | <2        | 3        | 4            | 2            |         |             |     |
| Br         |  | 1                 | 1         | 1         | 1        | <1           | <1       | <1        | <1            | <1       | <1       | <1          | 3         | <1        | <1       | <1           | <1           |         |             |     |
| Co         |  | 54                | 41        | 28        | 48       | 54           | 52       | 51        | 42            | 43       | 56       | 64          | 55        | 45        | 48       | 43           | 37           |         |             |     |
| Cr         |  | 250               | 120       | 15        | 260      | 240          | 300      | 270       | 160           | 170      | 420      | 440         | 350       | 230       | 250      | 190          | 100          |         |             |     |
| Cs         |  | <0.5              | <0.5      | <0.5      | <0.5     | <0.5         | <0.5     | <0.5      | 1.8           | 1.6      | 0.5      | 0.5         | 0.5       | 0.5       | 0.5      | 0.5          | 0.5          |         |             |     |
| Hf         |  | 6                 | 3.6       | 7.5       | 6.2      | 4.9          | 4.8      | 5.7       | 6.2           | 6.3      | 4.8      | 5.5         | 4.4       | 3         | 3.5      | 6.3          | 6.4          |         |             |     |
| Hg         |  | <1                | <1        | <1        | <1       | <1           | <1       | <1        | <1            | <1       | <1       | <1          | <1        | <1        | <1       | <1           | <1           |         |             |     |
| Ir         |  | <5                | <5        | <5        | <5       | <5           | <5       | <5        | <5            | <5       | <5       | <5          | <5        | <5        | <5       | <5           | <5           |         |             |     |
| Mo         |  | <5                | <5        | 6         | <5       | <5           | <5       | <5        | <5            | <5       | <5       | <5          | <5        | <5        | <5       | <5           | <5           |         |             |     |
| Rb         |  | 75                | 20        | 20        | 52       | 20           | 20       | 38        | 39            | 68       | <20      | <20         | <20       | <20       | <20      | 52           | 67           |         |             |     |
| Sb         |  | 0.3               | <0.2      | <0.2      | <0.2     | <0.2         | <0.2     | <0.2      | 0.3           | <0.2     | <0.2     | <0.2        | 0.3       | <0.2      | 0.3      | <0.2         | <0.2         |         |             |     |
| Sc         |  | 23                | 20        | 14        | 23       | 21           | 22       | 22        | 19            | 20       | 27       | 28          | 26        | 22        | 23       | 18           | 18           |         |             |     |
| Se         |  | <3                | <3        | <3        | <3       | <3           | <3       | <3        | <3            | <3       | <3       | <3          | <3        | <3        | <3       | 3            | 3            |         |             |     |
| Ta         |  | 1                 | 2         | 3         | 3        | 1            | <1       | 2         | <1            | 4        | 3        | <1          | 2         | <1        | <1       | <3           | 3            |         |             |     |
| Th         |  | 6.4               | 3.2       | 6.5       | 5.6      | 3.7          | 3.6      | 6.4       | 6.4           | 5.5      | 5.2      | 4.4         | 3.6       | 1.5       | 1.8      | 5.8          | 6.4          |         |             |     |
| U          |  | 1.8               | 0.8       | 0.5       | 1.6      | 0.5          | 0.5      | 0.8       | 0.9           | 2        | <0.5     | <0.5        | <0.5      | <0.5      | <0.5     | <0.5         | <0.5         |         |             |     |
| K          |  | <3                | <3        | <3        | <3       | <3           | <3       | <3        | <3            | <3       | <3       | <3          | <3        | <3        | <3       | <3           | <3           |         |             |     |
| La         |  | 39.7              | 23.6      | 53.5      | 35.4     | 24.3         | 21.9     | 37.1      | 40.8          | 41.2     | 32.6     | 31.4        | 24.9      | 11        | 13.7     | 35.1         | 43.1         |         |             |     |
| Cb         |  | 77                | 50        | 113       | 76       | 48           | 46       | 76        | 77            | 82       | 64       | 62          | 51        | 23        | 31       | 71           | 91           |         |             |     |
| Nd         |  | 3.8               | 25        | 61        | 31       | 27           | 22       | 37        | 38            | 41       | 33       | 36          | 27        | 16        | 19       | 32           | 47           |         |             |     |
| Sm         |  | 7.5               | 6         | 12        | 7.8      | 6.3          | 5.9      | 7.3       | 7.8           | 7.8      | 6.5      | 6.8         | 6.1       | 3.9       | 4.6      | 7.2          | 9.9          |         |             |     |
| Eu         |  | 2.7               | 2.1       | 3.8       | 2.6      | 2.2          | 1.9      | 2.3       | 2.7           | 2.8      | 2        | 2.2         | 1.8       | 1.1       | 1.6      | 2.1          | 3.1          |         |             |     |
| Tb         |  | 1.1               | 1         | 1.5       | 1        | 1            | 0.5      | 1.2       | 1             | 0.5      | 0.5      | 0.6         | 0.6       | 0.9       | 0.8      | 1.3          | 1.5          |         |             |     |
| Gd         |  | 52                | 46        | 30        | 46       | 60           | 54       | 58        | 46            | 34       | 55       | 70          | 51        | 88        | 61       | 61           | 40           |         |             |     |
| Pb         |  | <5                | <5        | <5        | 15       | <5           | 6        | 5         | 6             | <5       | <5       | <5          | 7         | <5        | <5       | <5           | <5           |         |             |     |
| Zn         |  | 127               | 130       | 149       | 131      | 130          | 128      | 120       | 141           | 132      | 113      | 124         | 123       | 133       | 122      | 128          | 168          |         |             |     |
| Ag         |  | <0.4              | <0.4      | <0.4      | <0.4     | <0.4         | <0.4     | <0.4      | <0.4          | <0.4     | <0.4     | <0.4        | <0.4      | <0.4      | <0.4     | <0.4         | <0.4         |         |             |     |
| Ni         |  | 169               | 74        | 9         | 146      | 162          | 199      | 143       | 102           | 97       | 231      | 283         | 209       | 152       | 136      | 133          | 102          |         |             |     |
| Cd         |  | <0.5              | <0.5      | <0.5      | <0.5     | <0.5         | <0.5     | <0.5      | <0.5          | <0.5     | <0.5     | 0.6         | <0.5      | <0.5      | <0.5     | <0.5         | 0.9          |         |             |     |
| Bi         |  | <5                | <5        | <5        | <5       | <5           | <5       | <5        | <5            | <5       | <5       | <5          | <5        | <5        | <5       | <5           | <5           |         |             |     |
| Yb         |  | 1.7               | 1.7       | 2.7       | 2        | 1.9          | 1.8      | 1.7       | 1.6           | 2        | 1.7      | 1.8         | 1.9       | 1.7       | 2        | 1.9          | 2.2          |         |             |     |
| Lu         |  | 0.22              | 0.26      | 0.34      | 0.26     | 0.27         | 0.24     | 0.2       | 0.26          | 0.26     | 0.22     | 0.26        | 0.26      | 0.26      | 0.21     | 0.22         | 0.32         |         |             |     |
| Mass       |  | 0.8643            | 1.143     | 1.075     | 0.6464   | 1.097        | 1.049    | 0.9557    | 1.152         | 1.167    | 1.329    | 0.6267      | 1.118     | 0.9972    | 1.104    | 0.9944       | 1.042        |         |             |     |
| Ga         |  |                   |           |           |          |              |          |           |               |          |          |             |           |           |          |              |              |         |             |     |
| Nb         |  |                   |           |           |          |              |          |           |               |          |          |             |           |           |          |              |              |         |             |     |

Table. 44. Continued.

| Area       | Northeastern part |                |                |                |                |                |                |                            |                            |             | Southeastern part |              |                |             |             |              |  |  | Eulgiw (120) |
|------------|-------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------------------|----------------------------|-------------|-------------------|--------------|----------------|-------------|-------------|--------------|--|--|--------------|
|            | Myeongdoam (250)  |                |                |                |                |                |                |                            |                            |             | SHIN(39)          |              | Shinheung (50) |             | Kas(140)    |              |  |  |              |
| Location   | M16-1<br>(221)    | M16-2<br>(200) | M16-3<br>(188) | M16-4<br>(145) | M16-5<br>(125) | M16-6<br>(118) | M16-10<br>(30) | JHOT(221)<br>JHT-1<br>(74) | SHIN(39)<br>JSK-3<br>(-84) | E-1<br>(49) | E-2<br>(30)       | F-1<br>(120) | F-2<br>(80)    | F-3<br>(30) | F-4<br>(10) | G-1<br>(110) |  |  |              |
| Sample No. | 357               | 248            | 247            | 369            | 345            | 360            | 910            | 700                        | 690                        | 275         | 194               | 367          | 348            | 268         | 687         | 333          |  |  |              |
| Ba         | 492               | 396            | 456            | 550            | 447            | 570            | 1010           | 1000                       | 700                        | 412         | 330               | 513          | 425            | 357         | 857         | 472          |  |  |              |
| Sr         | 11                | 11             | 11             | 12             | 13             | 10             | 18             | 19                         | 18                         | 24          | 22                | 25           | 27             | 22          | 27          | 21           |  |  |              |
| Y          | 231               | 171            | 188            | 274            | 206            | 176            | 523            | 493                        | 357                        | 147         | 130               | 213          | 195            | 141         | 336         | 161          |  |  |              |
| Be         |                   |                |                |                |                |                |                |                            |                            | 1           | 3                 | 2            | 2              | 2           | 2           | 2            |  |  |              |
| V          |                   |                |                |                |                |                |                |                            |                            | 175         | 157               | 136          | 178            | 184         | 148         | 193          |  |  |              |
| Au         |                   |                |                |                |                |                |                |                            |                            | <5          | 8                 | <5           | <5             | <5          | <5          | 10           |  |  |              |
| As         |                   |                |                |                |                |                |                |                            |                            | <2          | <2                | <2           | 3              | <2          | <2          | <2           |  |  |              |
| Fr         |                   |                |                |                |                |                |                |                            |                            | <1          | <1                | <1           | <1             | <1          | <1          | <1           |  |  |              |
| Co         | 59                | 62             | 57             | 53             | 57             | 65             | 18             | 30                         | 42                         | 53          | 47                | 41           | 51             | 51          | 39          | 57           |  |  |              |
| Cr         | 166               | 229            | 114            | 120            | 147            | 109            | 16             | 19                         | 7                          | 270         | 300               | 150          | 290            | 400         | 150         | 290          |  |  |              |
| Cs         |                   |                |                |                |                |                |                |                            |                            | <0.5        | <0.5              | <0.5         | <0.5           | <0.5        | 1.5         | <0.5         |  |  |              |
| Hi         |                   |                |                |                |                |                |                |                            |                            | 4.5         | 4                 | 6            | 6.3            | 4.6         | 9.2         | 4.4          |  |  |              |
| Hq         |                   |                |                |                |                |                |                |                            |                            | <1          | <1                | <1           | <1             | <1          | <1          | <1           |  |  |              |
| Ir         |                   |                |                |                |                |                |                |                            |                            | <5          | <5                | <5           | <5             | <5          | <5          | <5           |  |  |              |
| Mo         |                   |                |                |                |                |                |                |                            |                            | <5          | <5                | <5           | <5             | <5          | <5          | <5           |  |  |              |
| Rb         |                   |                |                |                |                |                |                |                            |                            | 46          | <20               | 54           | <20            | <20         | <20         | <20          |  |  |              |
| Sb         |                   |                |                |                |                |                |                |                            |                            | 0.3         | 0.2               | 0.4          | 0.3            | 0.2         | 0.2         | 0.2          |  |  |              |
| Sc         |                   |                |                |                |                |                |                |                            |                            | 26          | 24                | 18           | 25             | 27          | 18          | 24           |  |  |              |
| Se         |                   |                |                |                |                |                |                |                            |                            | <3          | <3                | <3           | <3             | <3          | <3          | <3           |  |  |              |
| Ta         |                   |                |                |                |                |                |                |                            |                            | 2           | <1                | 2            | 2              | 2           | 5           | 2            |  |  |              |
| Th         |                   |                |                |                |                |                |                |                            |                            | 2.9         | 2.4               | 4.8          | 5.2            | 3.2         | 9.9         | 3.8          |  |  |              |
| U          |                   |                |                |                |                |                |                |                            |                            | 0.8         | <0.5              | 1.2          | 1              | <0.5        | <0.5        | <0.5         |  |  |              |
| K          |                   |                |                |                |                |                |                |                            |                            | <3          | <3                | <3           | <3             | <3          | <3          | <3           |  |  |              |
| La         |                   |                |                |                |                |                |                |                            |                            | 21.7        | 15.7              | 32.6         | 30.8           | 21.5        | 63.6        | 25.8         |  |  |              |
| Cb         |                   |                |                |                |                |                |                |                            |                            | 48          | 35                | 66           | 65             | 46          | 122         | 54           |  |  |              |
| Nd         |                   |                |                |                |                |                |                |                            |                            | 31          | 19                | 37           | 37             | 24          | 53          | 26           |  |  |              |
| Sm         |                   |                |                |                |                |                |                |                            |                            | 6.8         | 5.4               | 7.8          | 7.4            | 5.7         | 10          | 6.4          |  |  |              |
| Eu         |                   |                |                |                |                |                |                |                            |                            | 2.4         | 1.9               | 2.7          | 2.5            | 2           | 3.3         | 2.4          |  |  |              |
| Tb         |                   |                |                |                |                |                |                |                            |                            | 0.8         | 1                 | 1.2          | 1.1            | 1.2         | 1.4         | 0.9          |  |  |              |
| Cu         | 52                | 25             | 36             | 32             | 50             | 41             | 9              | 17                         | 17                         | 46          | 56                | 41           | 46             | 39          | 29          | 44           |  |  |              |
| Pb         | 18                | 17             | 19             | 19             | 18             | 19             | 26             | 24                         | 23                         | <5          | <5                | <5           | <5             | <5          | <5          | 6            |  |  |              |
| Zn         | 111               | 112            | 107            | 113            | 107            | 106            | 132            | 131                        | 123                        | 134         | 123               | 136          | 132            | 119         | 128         | 122          |  |  |              |
| Ag         |                   |                |                |                |                |                |                |                            |                            | <0.4        | <0.4              | <0.4         | <0.4           | <0.4        | <0.4        | <0.4         |  |  |              |
| Ni         | 121               | 121            | 76             | 75             | 115            | 92             | 1.1            | 4                          | 1                          | 137         | 142               | 107          | 189            | 231         | 199         | 191          |  |  |              |
| Cd         |                   |                |                |                |                |                |                |                            |                            | <0.5        | <0.5              | <0.5         | <0.5           | <0.5        | <0.5        | <0.5         |  |  |              |
| Ti         |                   |                |                |                |                |                |                |                            |                            | <5          | <5                | <5           | <5             | <5          | <5          | <5           |  |  |              |
| Yb         |                   |                |                |                |                |                |                |                            |                            | 2           | 2                 | 2.1          | 2.4            | 1.8         | 2.3         | 1.6          |  |  |              |
| Lu         |                   |                |                |                |                |                |                |                            |                            | 0.27        | 0.26              | 0.32         | 0.33           | 0.27        | 0.33        | 0.26         |  |  |              |
| Mass       |                   |                |                |                |                |                |                |                            |                            | 0.807       | 0.6875            | 1.101        | 1.196          | 1.111       | 1.015       | 1.089        |  |  |              |
| Ga         | 18                | 15             | 16             | 16             | 16             | 16             | 16             | 16                         | 16                         |             |                   |              |                |             |             |              |  |  |              |
| Nb         | 58                | 48             | 49             | 62             | 56             | 61             | 109            | 102                        | 79                         |             |                   |              |                |             |             |              |  |  |              |

Table 44. Continued.

| Area       | Southeastern part |               |             |            |           |             |            |              |                   |             | Southwestern part |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|------------|-------------------|---------------|-------------|------------|-----------|-------------|------------|--------------|-------------------|-------------|-------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
|            | Eugwi (120)       | Seongsan (15) | Shinsan (0) | MAE (30)   | Tosan (0) | SENG (200)  | Sangmo (8) | Kamsan (160) | Teapyeong (20-50) | Songak (30) | Shindo (20)       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Location   | G-2 (120)         | SEQ-1 (15)    | SHN-1 (0)   | MEA-1 (30) | TOS-1 (0) | JHT-2 (120) | K-3 (-50)  | I-2 (160)    | DAE-1 (30)        | DAE-2 (20)  | DAE-3 (50)        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Sample No. | 428               | 453           | 245         | 400        | 421       | 690         | 1100       | 639          | 470               | 878         | 1067              |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Ba         | 587               | 616           | 384         | 490        | 522       | 24          | 20         | 26           | 29                | 37          | 38                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Y          | 24                | 26            | 24          | 26         | 28        | 24          | 20         | 26           | 29                | 37          | 38                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Zr         | 190               | 215           | 153         | 200        | 245       | 347         | 193        | 271          | 389               | 253         | 229               |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Be         | 2                 | 2             | 1           | 2          | 2         |             | 2          | 2            | 2                 | 2           | 2                 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| V          | 191               | 198           | 171         | 195        | 150       |             | 192        | 141          | 117               | 72          | 73                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Au         | <5                | 9             | 10          | 6          | 7         |             | 10         | <5           | <5                | 7           | 6                 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| As         | <2                | 3             | <2          | 2          | <2        |             | <2         | <2           | <2                | <2          | 3                 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Br         | <1                | <1            | <1          | <1         | <1        | 27          | <1         | <1           | <1                | <1          | 2                 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Co         | 50                | 43            | 45          | 48         | 41        | 14          | 54         | 41           | 29                | 13          | 50                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Cr         | 220               | 220           | 280         | 310        | 200       |             | 330        | 110          | 76                | 14          | 18                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Cs         | <0.5              | <0.5          | <0.5        | <0.5       | <0.5      |             | <0.5       | <0.5         | 1.4               | <0.5        | 1.2               |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Hf         | 5                 | 53            | 45          | 55         | 64        | 67          | 55         | 68           | 75                | 9.9         | 6.5               |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Hg         | <1                | <1            | <1          | <1         | <1        |             | <1         | <1           | <1                | <1          | <1                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Ir         | <5                | <5            | <5          | <5         | <5        |             | <5         | <5           | <5                | <5          | <5                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Mo         | <5                | <5            | <5          | <5         | <5        |             | <5         | <5           | <5                | <5          | <5                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Rb         | <20               | <20           | <20         | 40         | 32        | 29          | 47         | 66           | 57                | 66          | 88                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Sb         | 0.2               | 0.2           | 0.4         | 0.2        | 0.2       | 0.3         | 0.4        | 0.3          | 0.3               | 0.3         | <0.2              |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Sc         | 22                | 19            | 22          | 25         | 18        | 19          | 24         | 17           | 15                | 7.7         | 7.4               |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Se         | <3                | <3            | <3          | <3         | <3        |             | <3         | <3           | <3                | <3          | <3                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Ta         | 3                 | 3             | 1           | 2          | 4         |             | 2          | 4            | 3                 | 5           | 4                 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Th         | 48                | 54            | 33          | 52         | 51        | 67          | 6          | 69           | 62                | 9.3         | 8.4               |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| U          | 1.6               | 1             | <0.5        | <0.5       | 1.4       | <0.5        | 1.2        | 2            | 1.2               | 1.3         | 2.4               |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| K          | <3                | <3            | <3          | <3         | <3        |             | <3         | <3           | <3                | <3          | <3                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| La         | 34.2              | 36.6          | 19.6        | 32.5       | 41.2      |             | 34.4       | 46.4         | 38.7              | 71          | 71.4              |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Cb         | 68                | 71            | 40          | 66         | 69        | 78          | 71         | 88           | 76                | 140         | 137               |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Nd         | 36                | 34            | 22          | 29         | 35        | 37          | 34         | 50           | 41                | 66          | 66                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Sm         | 7.3               | 6.8           | 5.2         | 6.8        | 7.4       | 7.6         | 7.1        | 8.6          | 8.6               | 12          | 11                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Eu         | 2.7               | 2.2           | 1.8         | 2.5        | 2.6       | 2.7         | 2.2        | 2.9          | 3                 | 3.5         | 3.7               |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Tb         | 1.2               | 1             | 1           | <0.5       | 1.3       | 0.5         | 0.5        | 1.3          | 1.3               | 1.5         | 1.4               |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Cu         | 42                | 69            | 53          | 56         | 30        | 47          | 61         | 44           | 32                | 10          | 15                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Pb         | <5                | <5            | <5          | 5          | <5        | 94          | <5         | <5           | 6                 | <5          | 7                 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Zn         | 129               | 131           | 126         | 129        | 148       | 135         | 122        | 143          | 142               | 149         | 144               |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Ag         | <0.4              | <0.4          | <0.4        | <0.4       | <0.4      | 1.2         | <0.4       | <0.4         | <0.4              | <0.4        | <0.4              |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Ni         | 166               | 160           | 153         | 199        | 102       | 133         | 241        | 102          | 55                | 4           | 5                 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Cd         | <0.5              | <0.5          | <0.5        | <0.5       | <0.5      |             | 0.5        | <0.5         | <0.5              | <0.5        | <0.5              |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Bi         | <5                | <5            | <5          | <5         | <5        |             | <5         | <5           | <5                | <5          | <5                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Yb         | 1.6               | 1.3           | 1.8         | 1.8        | 2.1       | 1.4         | 1.6        | 2.1          | 2.1               | 3.4         | 3.3               |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Lu         | 2.26              | 0.26          | 0.23        | 0.28       | 0.26      | 0.28        | 0.25       | 0.27         | 0.34              | 0.48        | 0.56              |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Mass.      | 1.4               | 1.58          | 1.26        | 1.229      | 1.363     | 0.9689      | 1.133      | 0.9907       | 1.214             | 1.331       | 1.009             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Σa         |                   |               |             |            |           | 14          |            |              |                   |             |                   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Σb         |                   |               |             |            |           | 83          |            |              |                   |             |                   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

Table 44. Continued.

| Area       | Southwestern part |           |           |           |          |           |             |         |         |           | Northwestern part |           |           |           |            |            |  |  |  |  |           |  |             |  |             |
|------------|-------------------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|-------------|---------|---------|-----------|-------------------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|--|--|--|--|-----------|--|-------------|--|-------------|
|            | Sarcopodes (500)  |           |           |           |          |           |             |         |         |           | Sangmo (8)        |           | Suwoi (0) |           | SHOT (100) | Eawoi (20) |  |  |  |  | Yiho (20) |  | Chagwi (30) |  | Kone (30-0) |
| Location   | H-1 (500)         | H-2 (480) | H-3 (330) | H-4 (277) | K-1 (10) | SUW-1 (0) | CJ-3 (-940) | L-1 (8) | L-2 (3) | L-4 (-70) | L-5 (-82)         | M-3 (-36) | CHA-1 (5) | CHA-2 (5) | KON-1 (25) | KON-2 (3)  |  |  |  |  |           |  |             |  |             |
| Sample No. | 3500              | 480       | 330       | 277       | 10       | 0         | (-940)      | 18      | 3       | 278       | 614               | (-36)     | 384       | 603       | 125        | 326        |  |  |  |  |           |  |             |  |             |
| Ba         | 355               | 528       | 1003      | 432       | 188      | 123       | 284         | 437     | 429     | 278       | 614               | 307       | 384       | 603       | 347        | 326        |  |  |  |  |           |  |             |  |             |
| Sr         | 598               | 626       | 592       | 735       | 346      | 269       | 289         | 630     | 596     | 427       | 738               | 504       | 541       | 733       | 594        | 379        |  |  |  |  |           |  |             |  |             |
| Y          | 22                | 28        | 30        | 20        | 23       | 22        | 10          | 23      | 23      | 23        | 25                | 22        | 23        | 26        | 25         | 22         |  |  |  |  |           |  |             |  |             |
| Zr         | 171               | 277       | 599       | 176       | 136      | 115       | 215         | 240     | 239     | 175       | 305               | 166       | 208       | 328       | 203        | 137        |  |  |  |  |           |  |             |  |             |
| Be         | 2                 | 2         | 3         | 2         | 1        | <1        |             | 2       | 2       | 2         | 3                 | 1         | 1         | 2         | 2          | 1          |  |  |  |  |           |  |             |  |             |
| V          | 195               | 116       | 140       | 140       | 157      | 160       |             | 190     | 188     | 207       | 151               | 197       | 183       | 154       | 198        | 214        |  |  |  |  |           |  |             |  |             |
| Au         | 8                 | <5        | <5        | <5        | <5       | 8         |             | 6       | 8       | 5         | <5                | <5        | <5        | <5        | 6          | <5         |  |  |  |  |           |  |             |  |             |
| As         | <2                | <2        | <2        | <2        | <2       | <2        |             | <2      | 3       | 2         | <2                | <2        | <2        | 3         | <2         | <2         |  |  |  |  |           |  |             |  |             |
| Br         | <1                | <1        | <1        | <1        | <1       | <1        |             | <1      | <1      | <1        | <1                | <1        | 3         | 3         | <1         | <1         |  |  |  |  |           |  |             |  |             |
| Co         | 46                | 35        | 5         | 33        | 51       | 45        | 25          | 43      | 44      | 59        | 40                | 44        | 48        | 40        | 49         | 54         |  |  |  |  |           |  |             |  |             |
| Cr         | 120               | 29        | 22        | 61        | 340      | 220       | 23          | 160     | 170     | 360       | 280               | 210       | 390       | 220       | 140        | 370        |  |  |  |  |           |  |             |  |             |
| Cs         | <0.5              | <0.5      | <0.5      | <0.5      | 1.6      | <0.5      |             | <0.5    | <0.5    | <0.5      | <0.5              | 0.7       | <0.5      | <0.5      | <0.5       | <0.5       |  |  |  |  |           |  |             |  |             |
| Hf         | 4.8               | 8.2       | 15        | 4.8       | 4        | 3.1       |             | 6.3     | 6.9     | 4.7       | 82                | 4.9       | 5         | 8         | 5.3        | 4          |  |  |  |  |           |  |             |  |             |
| Hg         | <1                | <1        | <1        | <1        | <1       | <1        |             | <1      | <1      | <1        | <1                | <1        | <1        | <1        | <1         | <1         |  |  |  |  |           |  |             |  |             |
| Ir         | <5                | <5        | <5        | <5        | <5       | <5        |             | <5      | <5      | <5        | <5                | <5        | <5        | <5        | <5         | <5         |  |  |  |  |           |  |             |  |             |
| Mo         | <5                | 6         | 8         | <5        | <5       | <5        |             | <5      | <5      | <5        | <5                | <5        | <5        | 12        | <5         | <5         |  |  |  |  |           |  |             |  |             |
| Rb         | <20               | <20       | 140       | <20       | 41       | <20       |             | 99      | 57      | <20       | 81                | <20       | 38        | <20       | <20        | 50         |  |  |  |  |           |  |             |  |             |
| Sb         | <0.2              | 0.4       | 0.3       | <0.2      | <0.2     | 0.6       |             | 0.3     | <0.2    | <0.2      | 0.3               | <0.2      | <0.2      | 0.3       | 0.3        | 0.2        |  |  |  |  |           |  |             |  |             |
| Sc         | 22                | 15        | 21        | 1.3       | 24       | 21        |             | 20      | 21      | 28        | 18                | 25        | 23        | 18        | 20         | 29         |  |  |  |  |           |  |             |  |             |
| Se         | <3                | <3        | <3        | <3        | <3       | <3        |             | <3      | <3      | <3        | <3                | <3        | <3        | <3        | <3         | <3         |  |  |  |  |           |  |             |  |             |
| Ta         | 3                 | 3         | 7         | 3         | <1       | <1        |             | 4       | 4       | 2         | 5                 | 3         | 1         | 5         | 4          | <1         |  |  |  |  |           |  |             |  |             |
| Th         | 4.6               | 8.2       | 15        | 4.5       | 24       | 1.6       |             | 7       | 6.3     | 4         | 8.7               | 4.1       | 5.4       | 8.6       | 4.3        | 3.4        |  |  |  |  |           |  |             |  |             |
| U          | <0.5              | <0.5      | 3.2       | <5        | <0.5     | <0.5      |             | 2.2     | 1.4     | 1.3       | 1.6               | <0.5      | <0.5      | 1.5       | 1.5        | 1          |  |  |  |  |           |  |             |  |             |
| K          | <3                | <3        | <3        | <3        | <3       | <3        |             | <3      | <3      | <3        | <3                | <3        | <3        | <3        | <3         | <3         |  |  |  |  |           |  |             |  |             |
| La         | 29.8              | 50.7      | 93.7      | 30.6      | 16       | 10.7      |             | 38.8    | 41.9    | 27.6      | 54.7              | 25.7      | 35.1      | 53.5      | 32.8       | 21.2       |  |  |  |  |           |  |             |  |             |
| Cb         | 61                | 101       | 167       | 59        | 38       | 23        |             | 77      | 80      | 57        | 101               | 55        | 68        | 99        | 64         | 41         |  |  |  |  |           |  |             |  |             |
| Nd         | 31                | 53        | 67        | 12        | 24       | 16        |             | 42      | 43      | 27        | 47                | 31        | 32        | 44        | 32         | 20         |  |  |  |  |           |  |             |  |             |
| Sm         | 7.4               | 10        | 9.3       | 6.5       | 5.3      | 4.3       |             | 7.6     | 7.9     | 6.9       | 8.8               | 6.8       | 6.6       | 8.4       | 7.3        | 5.1        |  |  |  |  |           |  |             |  |             |
| Eu         | 2.6               | 3.4       | 2.9       | 2.4       | 1.7      | 1.6       |             | 2.5     | 2.5     | 2.4       | 2.8               | 2.4       | 2.3       | 2.6       | 2.5        | 1.7        |  |  |  |  |           |  |             |  |             |
| Tb         | 1.1               | 1.7       | <0.5      | 0.9       | 0.9      | 1.2       |             | <0.5    | 1.1     | <0.5      | 1.7               | <0.5      | 0.8       | 1         | 1          | 0.9        |  |  |  |  |           |  |             |  |             |
| Cu         | 68                | 23        | 8         | 38        | 52       | 60        | 20          | 30      | 43      | 56        | 34                | 66        | 55        | 58        | 48         | 54         |  |  |  |  |           |  |             |  |             |
| Pb         | 5                 | <5        | <5        | 9         | <5       | <5        | 25          | 10      | <5      | <5        | <5                | 5         | <5        | 9         | <5         | <5         |  |  |  |  |           |  |             |  |             |
| Zn         | 131               | 145       | 127       | 120       | 128      | 141       | 112         | 132     | 138     | 134       | 141               | 129       | 113       | 132       | 138        | 114        |  |  |  |  |           |  |             |  |             |
| Ag         | <0.4              | <0.4      | <0.4      | <0.4      | <0.4     | <0.4      |             | <0.4    | <0.4    | <0.4      | <0.4              | <0.4      | <0.4      | <0.4      | <0.4       | <0.4       |  |  |  |  |           |  |             |  |             |
| Ni         | 78                | 19        | 5         | 58        | 229      | 167       | 14          | 139     | 137     | 284       | 198               | 117       | 233       | 144       | 116        | 183        |  |  |  |  |           |  |             |  |             |
| Cd         | 0.5               | <0.5      | <0.5      | <0.5      | <0.5     | <0.5      |             | <0.5    | <0.5    | 0.9       | <0.5              | <0.5      | <0.5      | <0.5      | <0.5       | <0.5       |  |  |  |  |           |  |             |  |             |
| Bi         | <5                | <5        | <5        | <5        | <5       | <5        |             | <5      | <5      | <5        | <5                | <5        | <5        | <5        | <5         | <5         |  |  |  |  |           |  |             |  |             |
| Yb         | 1.7               | 2.2       | 3.4       | 1.3       | 1.6      | 1.7       |             | 1.9     | 1.8     | 2         | 2                 | 1.7       | 1.5       | 1.9       | 1.8        | 1.9        |  |  |  |  |           |  |             |  |             |
| Lu         | 0.2               | 0.31      | 0.59      | 0.21      | 0.27     | 0.22      |             | 0.25    | 0.22    | 0.28      | 0.28              | 0.3       | 0.24      | 0.27      | 0.24       | 0.27       |  |  |  |  |           |  |             |  |             |
| Mass       | 0.5931            | 0.8104    | 0.643     | 1.059     | 0.9554   | 1.102     |             | 1.053   | 1.069   | 1.285     | 1.032             | 1.08      | 1.619     | 1.192     | 1.362      | 1.116      |  |  |  |  |           |  |             |  |             |
| Ga         |                   |           |           |           |          |           | 18          |         |         |           |                   |           |           |           |            |            |  |  |  |  |           |  |             |  |             |
| Nb         |                   |           |           |           |          |           | 23          |         |         |           |                   |           |           |           |            |            |  |  |  |  |           |  |             |  |             |

Table 44. Continued.

| Area       | Northwestern part |           |              |             | Mt. Peakdu |      |      |     |      |     |     |
|------------|-------------------|-----------|--------------|-------------|------------|------|------|-----|------|-----|-----|
| Location   | Todu (50-0)       |           | Erimok (850) | ISD         | B-1        | B-2  | B-3  | B-4 | B-5  | B-7 | B-8 |
| Sample No. | DOD-1 (15)        | DOD-2 (2) | EAR-1 (850)  | CJ-2 (-480) |            |      |      |     |      |     |     |
| Ba         | 353               | 419       | 531          | 429         | 5.6        | 14   | 28   | 328 | 1100 | 179 | 313 |
| Si         | 717               | 550       | 651          | 770         | 4.4        | 3.4  | 4.1  | 74  | 710  | 244 | 312 |
| Y          | 22                | 24        | 29           | 16          | 70         | 38   | 25   | 16  | 19   | 10  | 9.9 |
| Zr         | 155               | 203       | 258          | 26          | 2000       | 1400 | 1300 | 252 | 429  | 81  | 182 |
| Be         | 1                 | 1         | 2            |             |            |      |      |     |      |     |     |
| V          | 201               | 186       | 136          |             |            |      |      |     |      |     |     |
| Au         | 5                 | <5        | <5           |             |            |      |      |     |      |     |     |
| As         | <2                | <2        | <2           |             |            |      |      |     |      |     |     |
| Br         | <1                | <1        | <1           |             |            |      |      |     |      |     |     |
| Co         | 46                | 44        | 32           | 52          | 4.7        | 5.1  | 5.5  | 7.9 | 27   | 48  | 45  |
| Cr         | 100               | 230       | 68           | 51          | 9.6        | 16   | 18   | 22  | 8.4  | 142 | 176 |
| Cs         | <0.5              | <0.5      | <0.5         |             |            |      |      |     |      |     |     |
| Hf         | 4.2               | 5.1       | 6.5          |             |            |      |      |     |      |     |     |
| Hg         | <1                | <1        | <1           |             |            |      |      |     |      |     |     |
| Ir         | <5                | <5        | <5           |             |            |      |      |     |      |     |     |
| Mo         | <5                | <5        | 7            |             |            |      |      |     |      |     |     |
| Rb         | <20               | 55        | 57           |             |            |      |      |     |      |     |     |
| Sb         | <0.2              | <0.2      | 0.3          |             |            |      |      |     |      |     |     |
| Sc         | 20                | 21        | 16           |             |            |      |      |     |      |     |     |
| Se         | <3                | <3        | <3           |             |            |      |      |     |      |     |     |
| Te         | 2                 | 2         | 3            |             |            |      |      |     |      |     |     |
| Ta         | 3.4               | 4.6       | 6.9          |             |            |      |      |     |      |     |     |
| Th         | <0.5              | 1         | 1.4          |             |            |      |      |     |      |     |     |
| U          | <3                | <3        | <3           |             |            |      |      |     |      |     |     |
| La         | 27.3              | 31.4      | 46.5         |             |            |      |      |     |      |     |     |
| Cb         | 55                | 63        | 92           |             |            |      |      |     |      |     |     |
| Nd         | 33                | 34        | 51           |             |            |      |      |     |      |     |     |
| Sm         | 6.6               | 6.6       | 9.1          |             |            |      |      |     |      |     |     |
| Eu         | 2.4               | 2.2       | 3.1          |             |            |      |      |     |      |     |     |
| Tb         | 1.1               | <0.5      | 0.6          |             |            |      |      |     |      |     |     |
| Cu         | 46                | 54        | 32           | 32          | 15         | 17   | 16   | 7   | 14   | 46  | 42  |
| Pb         | <5                | 9         | 6            | 20          | 24         | 23   | 27   | 24  | 24   | 19  | 18  |
| Zn         | 129               | 130       | 133          | 101         | 278        | 147  | 172  | 104 | 121  | 107 | 103 |
| Ag         | <0.4              | <0.4      | <0.4         |             |            |      |      |     |      |     |     |
| Ni         | 89                | 140       | 52           | 24          | 2          | 3.4  | 4.1  | 4.4 | 1    | 115 | 128 |
| Cd         | <0.5              | <0.5      | <0.5         |             |            |      |      |     |      |     |     |
| Bi         | <5                | <5        | <5           |             |            |      |      |     |      |     |     |
| Yb         | 1.7               | 1.7       | 0            |             |            |      |      |     |      |     |     |
| Lu         | 0.22              | 0.24      | 0.3          |             |            |      |      |     |      |     |     |
| Mass       | 1.363             | 1.26      | 1.367        |             |            |      |      |     |      |     |     |
| Ga         |                   |           |              | 17          | 24         | 20   | 19   | 13  | 15   | 21  | 19  |
| Nb         |                   |           |              | 74          | 240        | 178  | 173  | 56  | 73   | 23  | 30  |

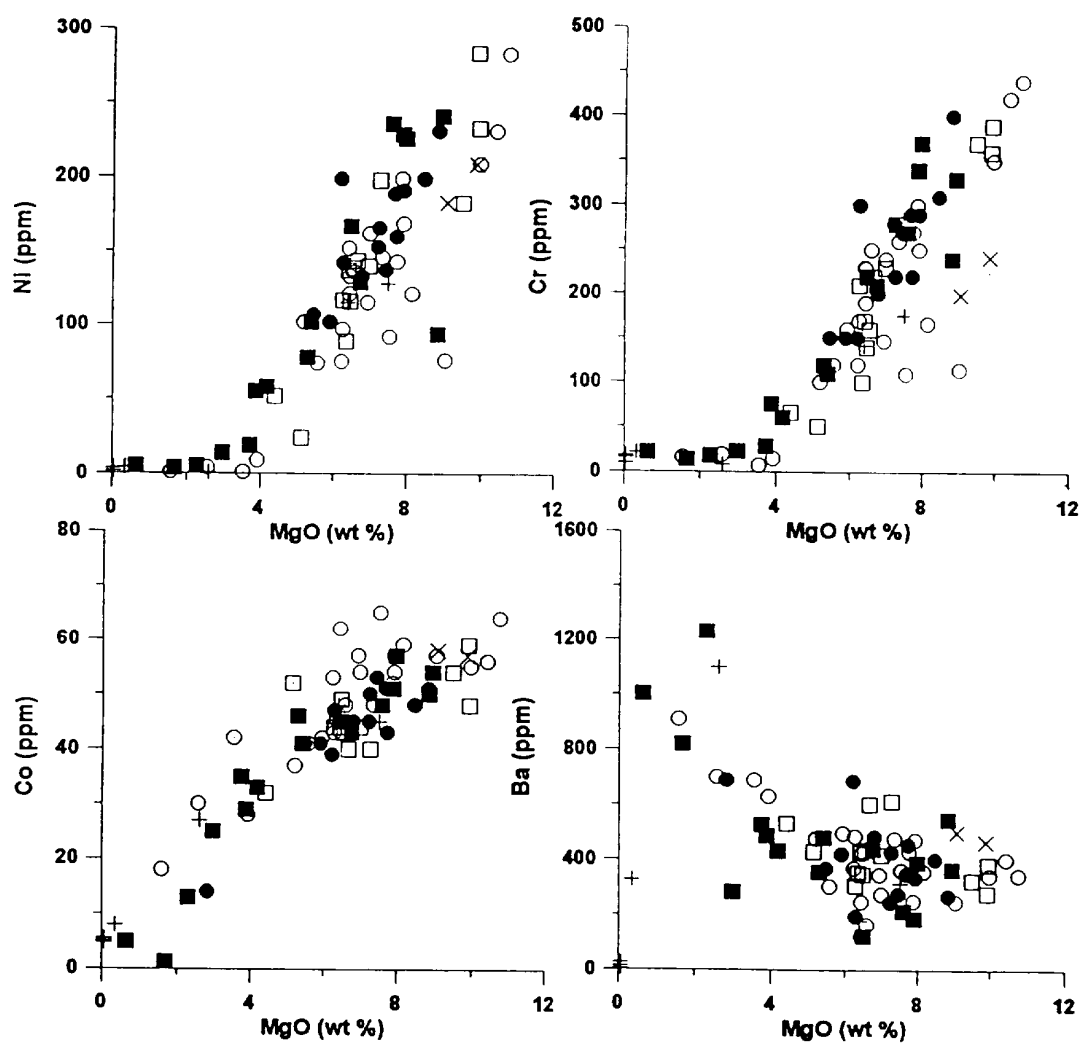


Fig. 64. Plots of compatible trace elements (ppm) vs. MgO for Cheju Island.  
Symbols as in Fig. 62.

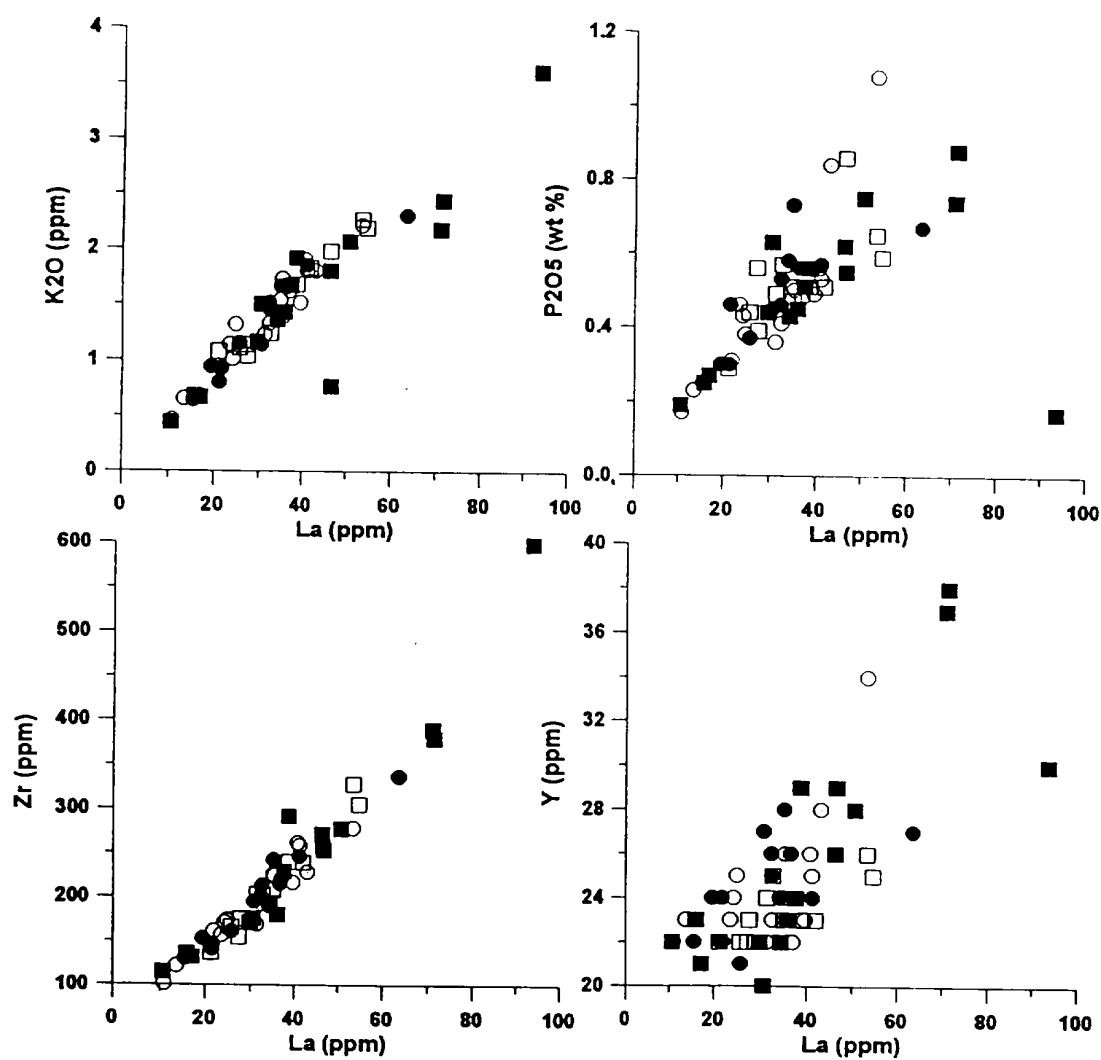


Fig. 65. Plots of incompatible trace elements (ppm) vs. La for Cheju Island.  
Symbols as in Fig. 62.

### 5-3-3. 마그마 계열 및 분화계통

Fig 66과 같이 일반적으로 알카리암은  $K_2O/Na_2O$  비에 따라 크게 Na계열과 K계열로 나누어진다(Mac Donald and katsura, 1964).  $K_2O/Na_2O$  비가 0.5이하 일때는 Na계열의 암석명을 사용한다. 이 연구에서도  $K_2O : Na_2O$  비가 1:2 정도로 Na계열로 분류되며 분화된 암석일수록 1 : 1 과 1 : 2 사이에 분류된다. 전체적인 경향은 다른 연구자들의 결과와 거의 같다(이문원 1982, 원종관 외. 1988, 박준범. 1984, 김영우. 1995).

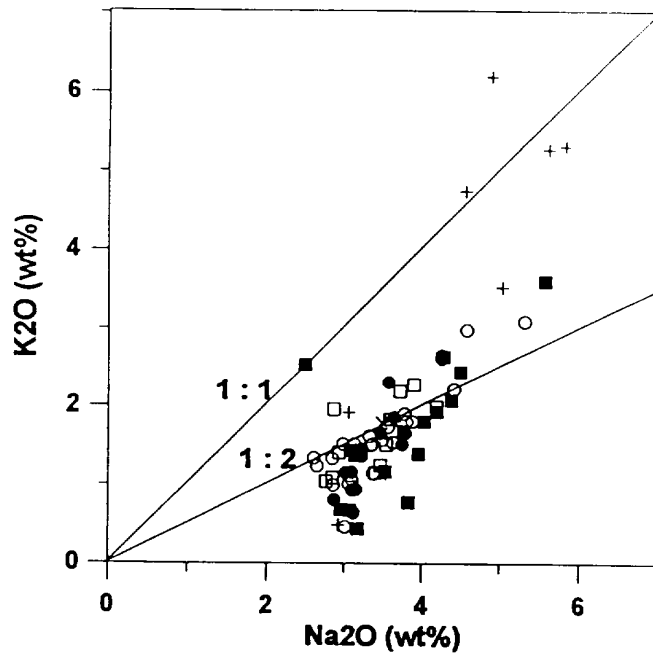


Fig. 66. Plot of  $K_2O$  vs.  $Na_2O$  for Cheju Island. Symbols as in Fig. 62.

Fig 67, 68은  $\text{SiO}_2$  노름성분 관계도와  $\text{FeO/Mgo}$  노름성분 관계도이다(Miyashio, 1978). Toder 와 Tilly(1962) 가 제시한 현무암류의 노름성분 관계도의 사면체에서 솔레라이트질 현무암과 마그마를 구분하는 열분화선(Termal divide line)은 세로축의 0 점이 된다.  $\text{SiO}_2$  가 증가함에 따라 노름 네펠린 함량은 감소하고 열분화선을 넘어 노름 석영의 양이 증가하는 Straddle trend 를 보인다. 그리고  $\text{FeO/MgO}$ 가 증가함에 따라 노름 네펠린 성분에서 열분화선을 넘어 노름 하이퍼신과 석영의 성분이 증가하는 경향을 보인다.

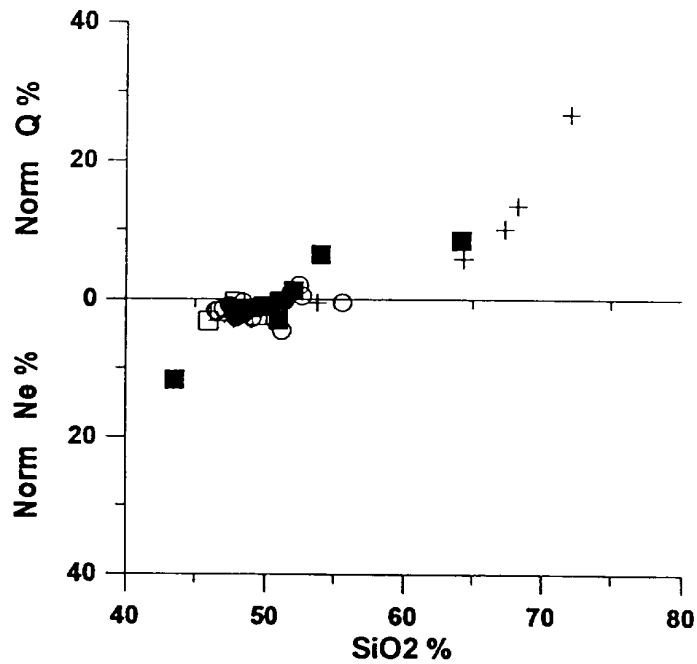


Fig. 67. Plot of  $\text{SiO}_2$  vs. norm Q and Ne. Symbols as in Fig. 62.

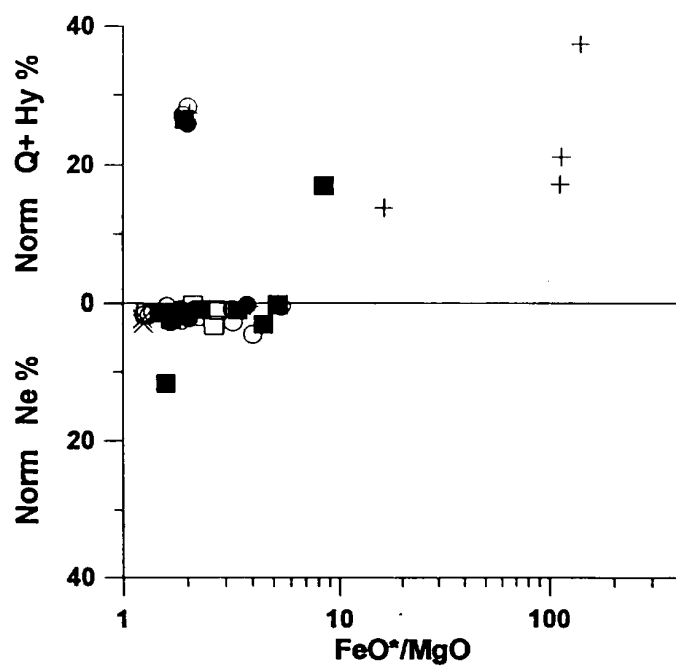


Fig. 68. Plot of  $\text{FeO}/\text{MgO}$  vs. norm Q+Hy and Ne.  
Symbols as in Fig. 62.

#### 5-3-4. 지구조 환경

High Field Strength Element(HFSE)인 Ti,Zr 및 Y은 Large Ion Lithophile Element(LILE) 보다는 이온반경이 더 작으나, 좀 더 높은 전하를 갖는 성질이 있어 변성작용이나 2차 변질작용의 과정에서 비유동성을 보여 지구조 환경을 분류하는데 사용된다.

미량원소 Ti/Y 에 대한 Zr/Y 비와 Zr에 대한 Zr/Y비를 이용(Fig 69, 70, Table 44) 하여 제주도의 마그마 생성과 관련된 지구조환경을 보면(Pearce and Gale, 1977; Pearce and Norry, 1979)제주도 현무암류는 Within- plate basalt 영역에 속한다. 이러한 사실은 기존의 연구결과 (이문원, 1982)에서 제주도 마그마의 성인이 열점과 관련이 있다는 것과는 거의 일치한다.

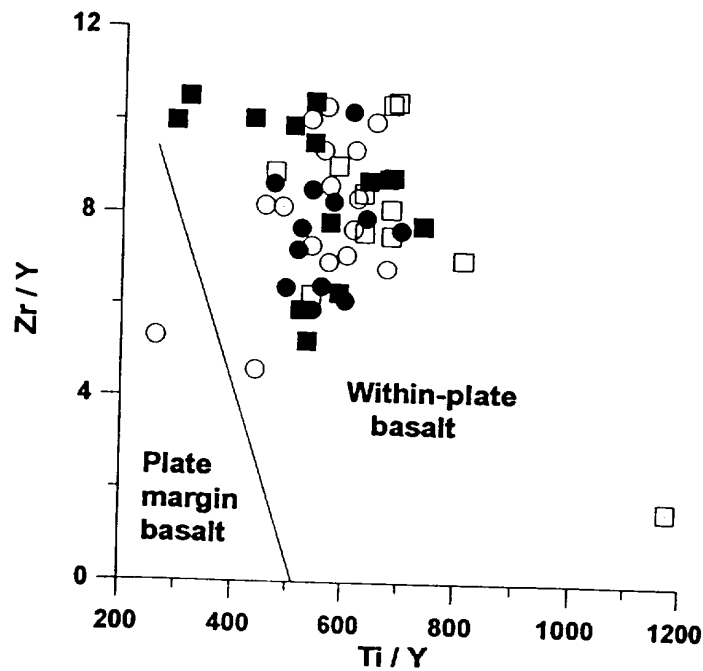


Fig. 69. Discrimination diagram for basalts based upon Ti/Y vs. Zr/Y variation from Pearce and Gale(1977). Symbols as in Fig. 62.

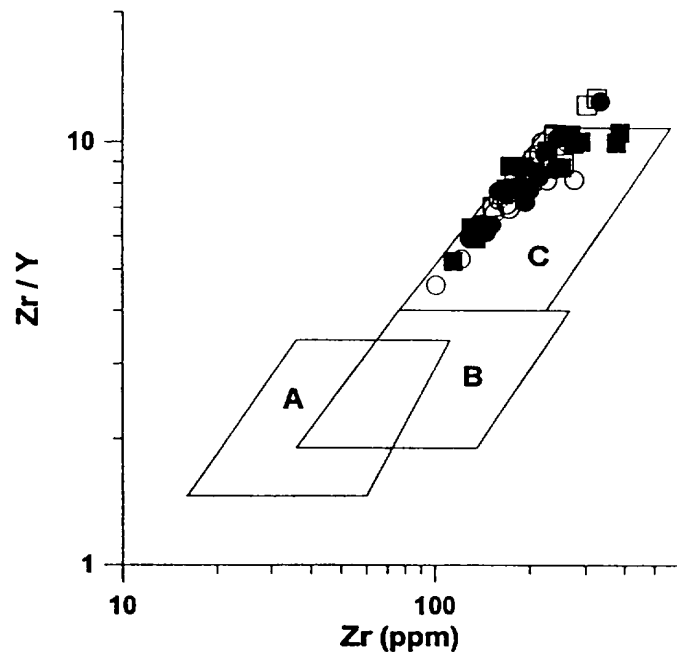


Fig. 70. Discrimination diagram for basalts based upon Zr/Y-Zr variation from Pearce and Norry(1979). Symbols as in Fig. 62.  
A : volcanic-arc basalts, B : MORB, C : within plate basalts.

## IV. 고 찰

### 1. 암층의 분포 및 층서

#### 1-1. 기저의 화강암과 그 상위층

이 암층이 시추에서 확인된 4지점과 4지점의 주상도는 Fig71과 같다. 화강암이 시작되는 심도는 4개의 지점에서 각각 다르다. 연동(No-K)에서는 (-)231m, 하덕천(Ros)에서는 (-)950m, 종달(D)에서는 (-)678m, 중문(J)에서는 (-)805에서 부터 확인된다.

이 기저 화강암은 응회암으로 피복되어 있고 그 위층은 세화리층이 분포한다(Table 45). 하덕천에서 화강암의 절대연령은  $66.4\text{Ma} \pm 1.7\text{Ma}$ 이다. 한편 지표에서는 사라봉, 수월봉, 송악산 응회 퇴적층내에서 화강암편 또는 화강편마암편이 관찰이 되며 시추 코어인 와흘지역(표고 65m)에서 지하 180m 지점 응회층 내에 거력의 화강암편이 포획된 것을 확인하였다.

따라서 제주도의 기반암은 전역이 모두 화강암이며 지점에 따라 응회암, 세화리층 등의 순서로 피복이 되어 있다. 이러한 하부층서는 제주도의 화산활동이 백악기말 한반도의 화산활동과 연계성이 있음을 추정할 수 있다(Table 45).

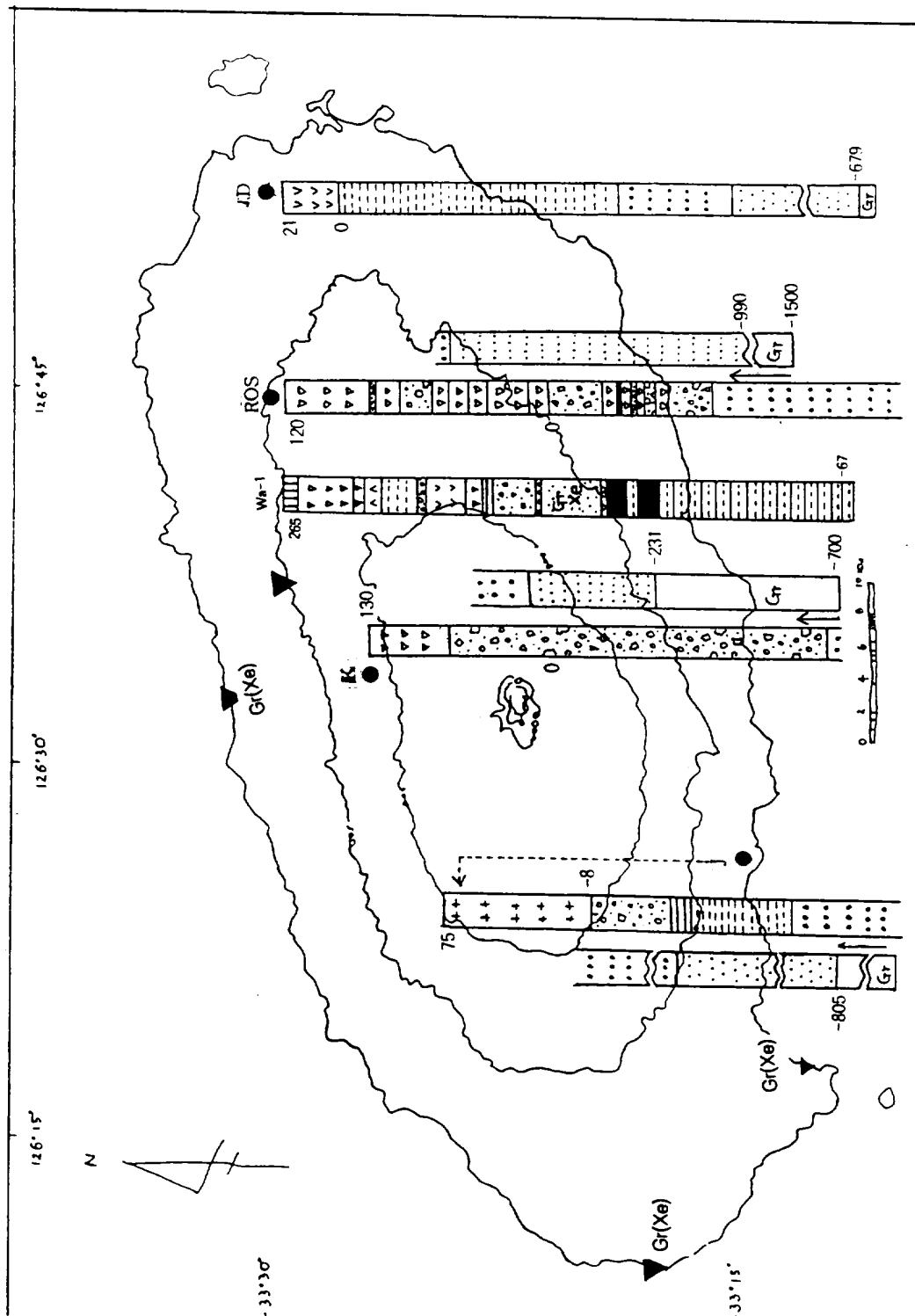


Fig. 71. Distribution of bore holes in which granite is encountered.

Table 45. Level of occurrence of granite and the stratigraphic relationship with overlying strata.

|                 |                    |                |                | (m) |
|-----------------|--------------------|----------------|----------------|-----|
| K<br>(Yeondong) | ROS<br>(Teokcheon) | D<br>(Jongdal) | J<br>(Jungmun) |     |
| SHF             | SHF                | SHF            | SHF            |     |
| TUFF            | TUFF               | TUFF           | TUFF           |     |
| -231            | -950               | -679           | -805           |     |
| Granite         | Granite            | Granite        | Granite        |     |

## 1-2. 응회암과 그 상·하위층

시추자료에서 확인되는 이 층의 대표적인 분포지점은 Fig72와 같다. 각 지점에서 이 층과의 상·하 층서 관계는 Table 46과 같다. 분포심도는 이 층이 시작되는 심도이다. 원종관, 이문원, 이동영(1993)은 Table 46에서 Ros, C-1, C, E, J, I, G, F지점에서의 응회암을 기저 응회암이라 명명하였다. 각 지점에서 시추심도는 1500m~350m이며 그 외 지점에서는 130m~34m 이다.

응회암은 화산활동과 관련된 암층이기 때문에 이 암층의 형성은 제주도의 화산활동과 관련이 있으며, 그 시기는 백악기 말이거나 신생대 초기로 추정된다. 한편 이 암층의 지역별 해수면하 평균 분포고도는 북서지역이 (-)20.6m, 북동지역이 (-)228m, 남서지역이 (-)79.3m, 남동지역이 (-)20.5m이다.

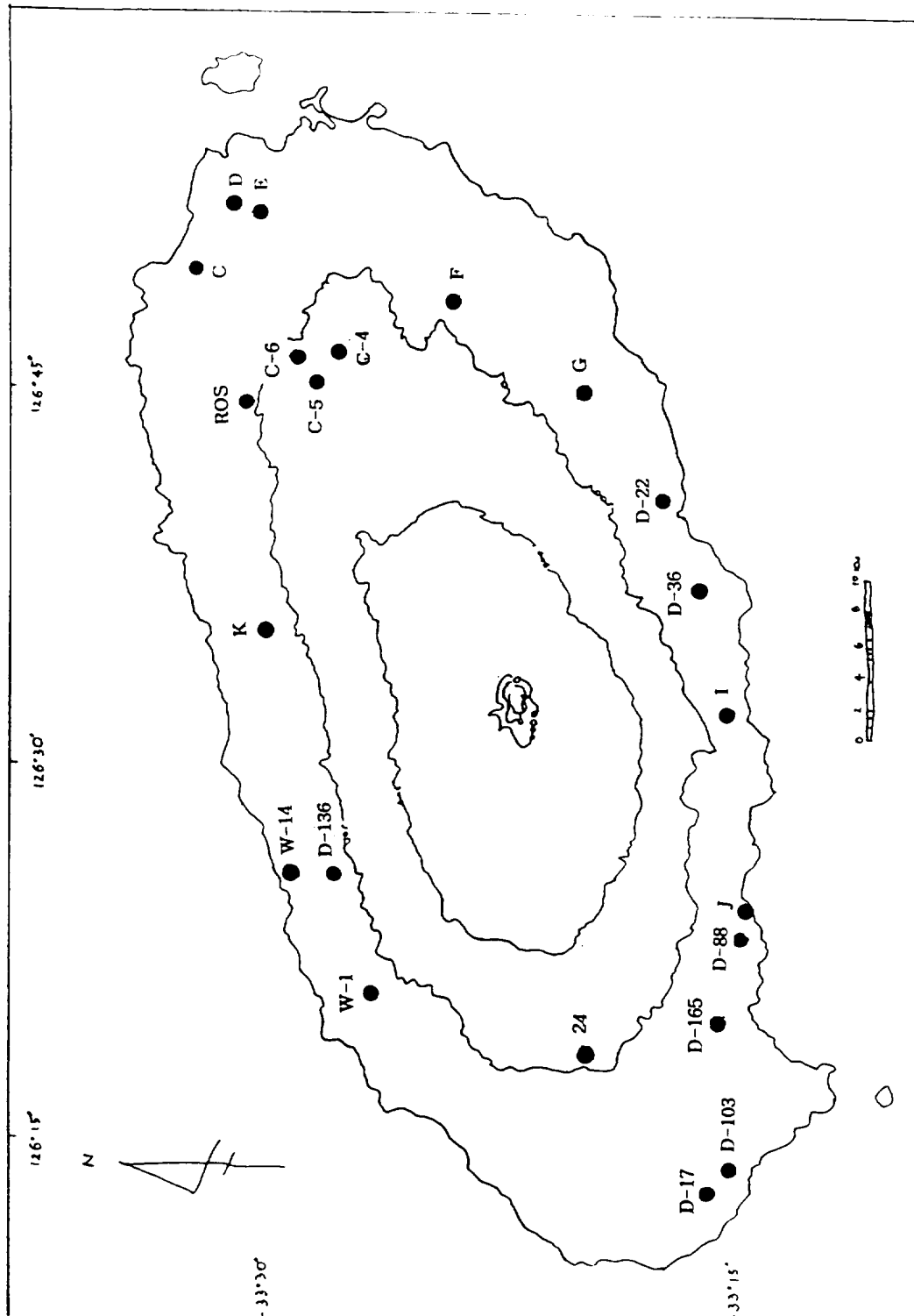


Fig. 72. Distribution of bore holes in which basal tuft is encountered.

Table 46. Level of occurrence of basal tuff (Tuff) and the stratigraphic relationship with other strata.

| (m)                                                                                                                                              |       |      |      |      |      |      |      |       |       |      |      |      |      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|------|------|------|------|
| W-1                                                                                                                                              | D-136 | W-14 | K    | ROS  | C-1  | C    | E    | D-103 | D-17  | J    | I    | G    | F    |
| (Dongmyeong) (Sanggwai) (Donggwai) (Yeondong) (Deokcheon) (Songdang) (Sehwa) (Jongdal) (Sindo) (Mung) (Jungmun) (Namseong) (Seongeup) (Seongeup) |       |      |      |      |      |      |      |       |       |      |      |      |      |
|                                                                                                                                                  |       |      |      |      |      |      |      |       |       |      |      |      |      |
| PC                                                                                                                                               |       | PC   | PC   | PC   | APB  | APB  | APB  | PC    | PS    | APB  | APB  | APB  | FB   |
|                                                                                                                                                  |       |      |      |      |      |      |      |       |       |      |      |      |      |
| FOB                                                                                                                                              | FOB   | FOB  | SHF  | SHF  | SHF  | SHF  | SHF  | FOB   | FOB   | SHF  | SHF  | SHF  | SHF  |
|                                                                                                                                                  |       |      |      |      |      |      |      |       |       |      |      |      |      |
| 8                                                                                                                                                | -22   | -9.8 | -190 | -177 | -265 | -260 | -227 | -67.8 | -66.7 | -215 | -315 | -290 | -317 |
| TUFF                                                                                                                                             | TUFF  | TUFF | TUFF | TUFF | TUFF | TUFF | TUFF | TUFF  | TUFF  | TUFF | TUFF | TUFF | TUFF |
|                                                                                                                                                  |       |      |      |      |      |      |      |       |       |      |      |      |      |
| ?                                                                                                                                                | PC    | Gr   | Gr   |      |      |      | (Gr) |       |       |      |      |      | Gr   |

### 1-3 미고결층(세화리층)과 그 상위층

시추자료에서 확인된 지점은 연동(K), 하덕천(Ros), 송당(C-1), 세화(C), 종달(E), 중문(J), 남성(I), 남성(N), 돈네코(M), 신흥(G), 성읍(F)이며(Fig 73), 각 지점에서 이 층의 상·하 층서관계는 Table 46, 47과 같다. 이 층의 바로 위층은 비현정질현무암이 분포한다. 서귀포지역인 중문(J), 남성(I,N), 돈네코(M)에서 비현정질현무암(APB)에 의해서 피복이 되어 있다(Table 47). 그러나 이 지역은 조면암류(하와이아이트)가 분포하며 이들은 서귀포층을 피복하고 있다. 이 층에 대해서는 서귀포층과 고생물학적·층서적 특성의 다른면을 명확하게 규명할 필요가 있다. 한편 세화리층은 상기 기재한 지역 외에도 제주시 동부지역인 이도 대림 아파트지역 지하 (-)40m지점에서부터에서도 분포하며 이 층은 제주도의 심부, 즉 서귀포층보다 하부에 전도에 걸쳐 분포할 가능성이 있다. 또한 이 층의 상위에는 비현정질현무암(하와이아이트)이 피복하고 있다. 한편 본 층의 서부지역에서도 심부에 분포할 것으로 추정되지만, 동부나 남부지역과 같이 심부의 시추공 자료가 없어서 본 연구에서는 확인 할 수 없었다.

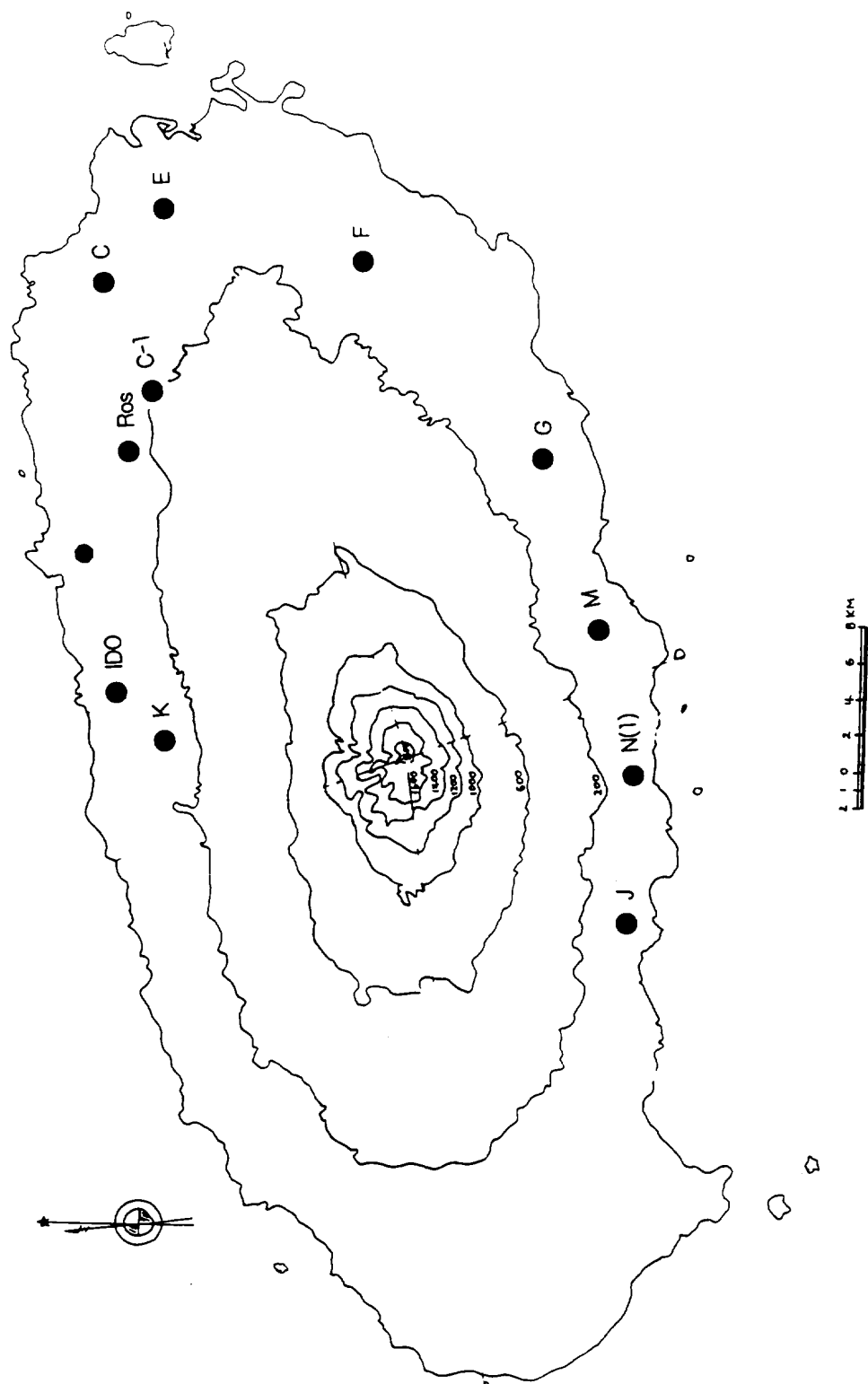
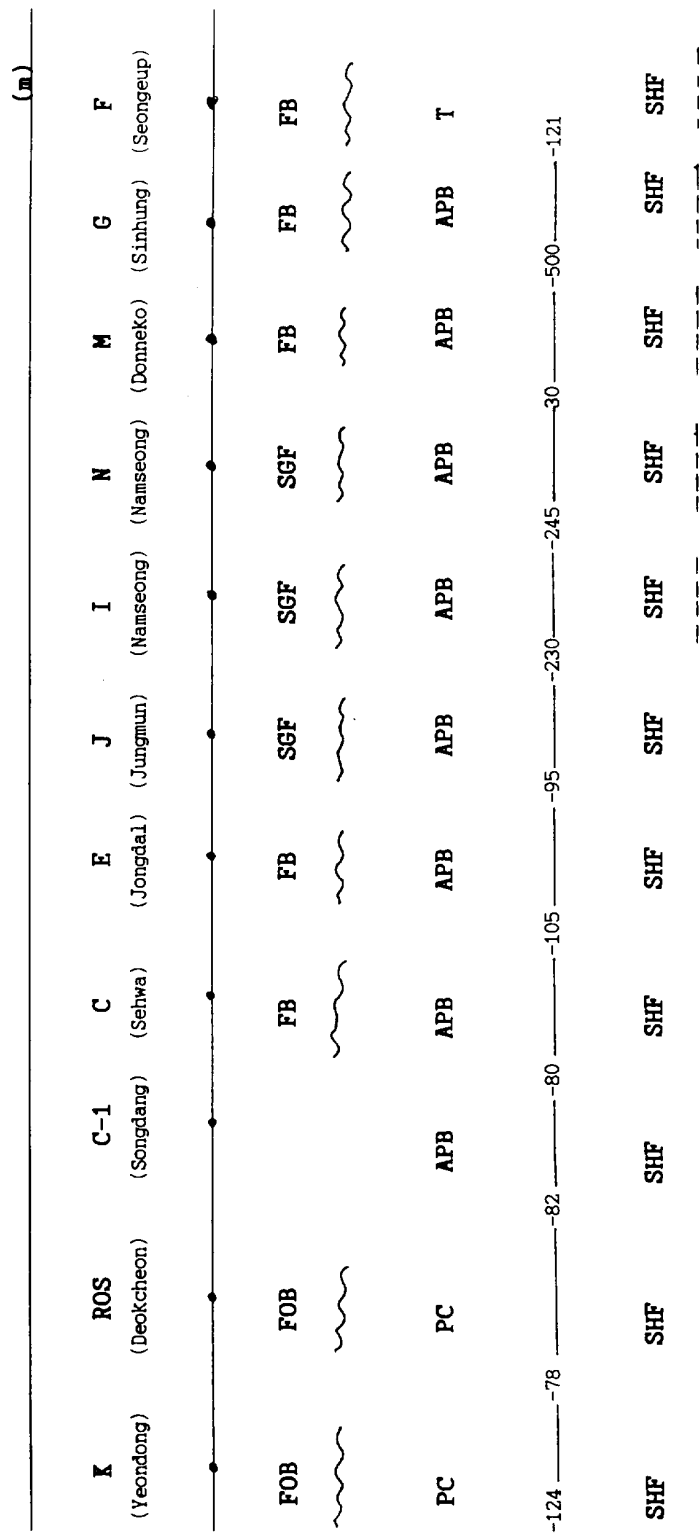


Fig. 73. Distribution of bore holes in which Sehwarl Formation is encountered.

Table 47. Level of occurrence of Sehwari Formation (SHF) and the stratigraphic relationships with other strata.



#### 1-4. 고토양층과 그 상·하위층

이 층은 지표상에서 형성시대가 다른 고산자구네, 한장동, 온평리, 정방폭포 주상절리 하부, 신양리 사구층 하부, 교래리 FOB하부, 토산리 FOB하부, 대평리 조면암(하와이아이트) 하부 등에서 관찰된다. 시추공 주상도를 살펴보면 제주도 전지역에서 형성시대가 다른 2~4회이상의 것을 확인할 수 있다. 해수면 하에 분포하는 고토양을 1~2회 정도로 수평적으로 상·하위 층을 서로 비교가 용이하다. 해수면하에서 서귀포층 최하부에 있는 고토양층의 대표적인 지점과 분포심도는 청수(24)가 (-)61m, 고산(D-120)이 (-)65m, 하원(D-87)이 (-)52m, 서홍(D-215)이(-)12m, 한남(F-83)이(-)30m이다(Fig74). 한편 서귀포층을 피복하고 있는 용수(D-123)가 (-)50.5m, 고산(D-93)이 (-)64.6m, 고산(D-120)이 (-)57m, 사계(87-W)가 (-)42m, 예래(D-169)가 (-)50m, 하원(D-87)이(-)16m, 서홍(D-215)이 (-)12m, 봉개(D-27)가 (-)20m에 분포하는 고토양층을 하부고토양(고토양I)으로 정하였다. 또한, 해안선 부근의 FOB하부에서 육안으로 관찰이 되며 지질 주상도 D-41, D-14, D-18, D-212, B-98, D-57, D-98, D-2, D-107, B-82, D-20, D-148, D-31과 같이 해수준면상에서도 FOB에 의해서 피복된 고토양을 온평리(신산리)고토양(고토양II)으로 정한다. 수월봉 응회층 하부, 정방 조면암 하부, 대평리 하와이아이트 하부에 분포하는 고토양은 한장동 고토양(고토양III)으로 정한다. 한편 신양리 사구층에 의해 피복된 고토양에 대해서는 이동영 외 3인(1987)이 동남고토양(고토양IV)으로 명명하였는데 이 연구에서도 이에 따른다. 이 고토양들의 형성 시기로 보면 제주도는 최소한 4회 이상의 장기간 동안의 화산활동 휴지기를 의미한다. 특히 고토양 형성시기에 제주도는 작은 호소이거나 빙하기 해수면 변동으로 육지와 연결이 있었을 것이다(Fig 74, 75, 76, 77).

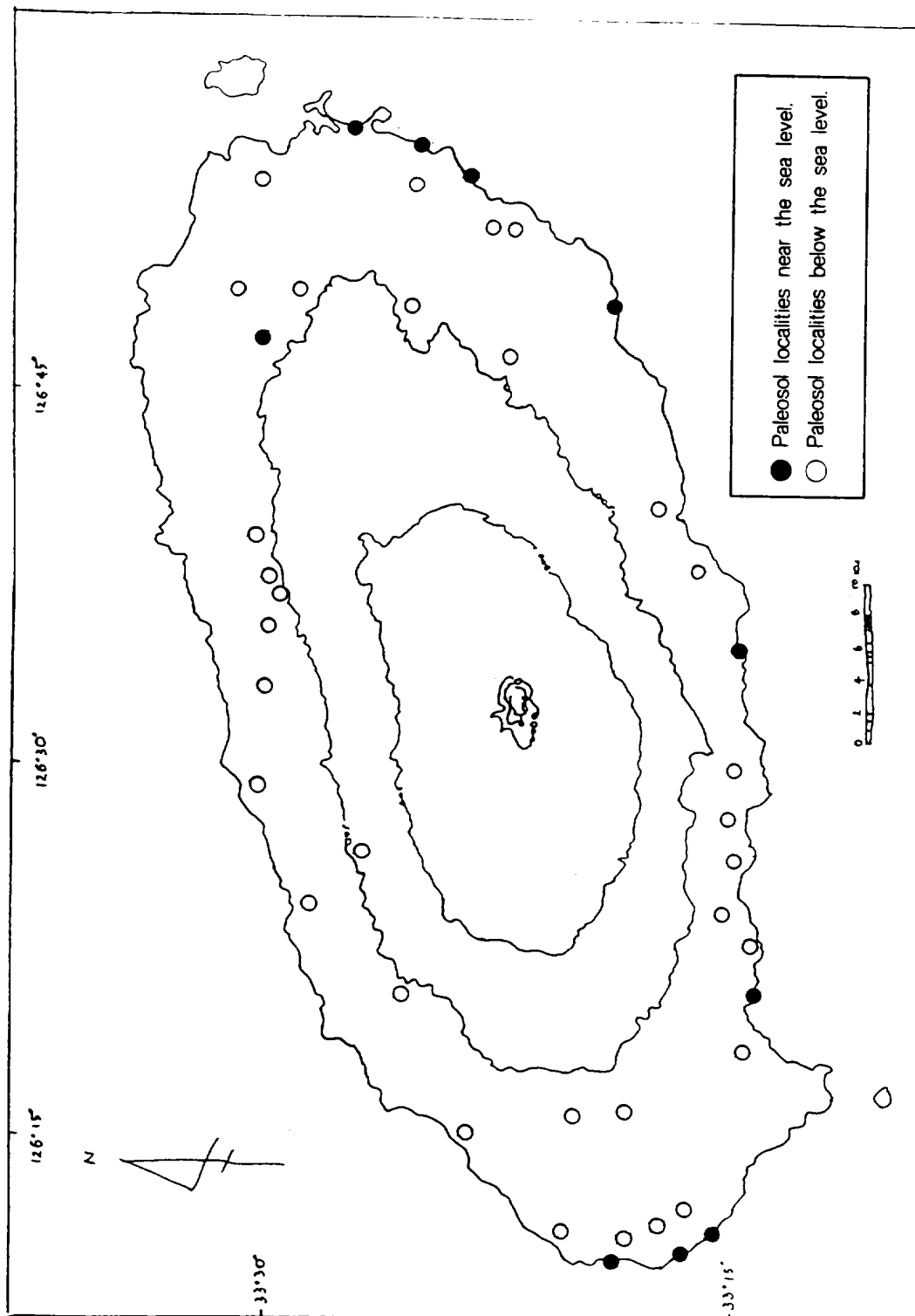


Fig. 74. Distribution of paleosols near sea level (filled circles) and below sea level (open circles).

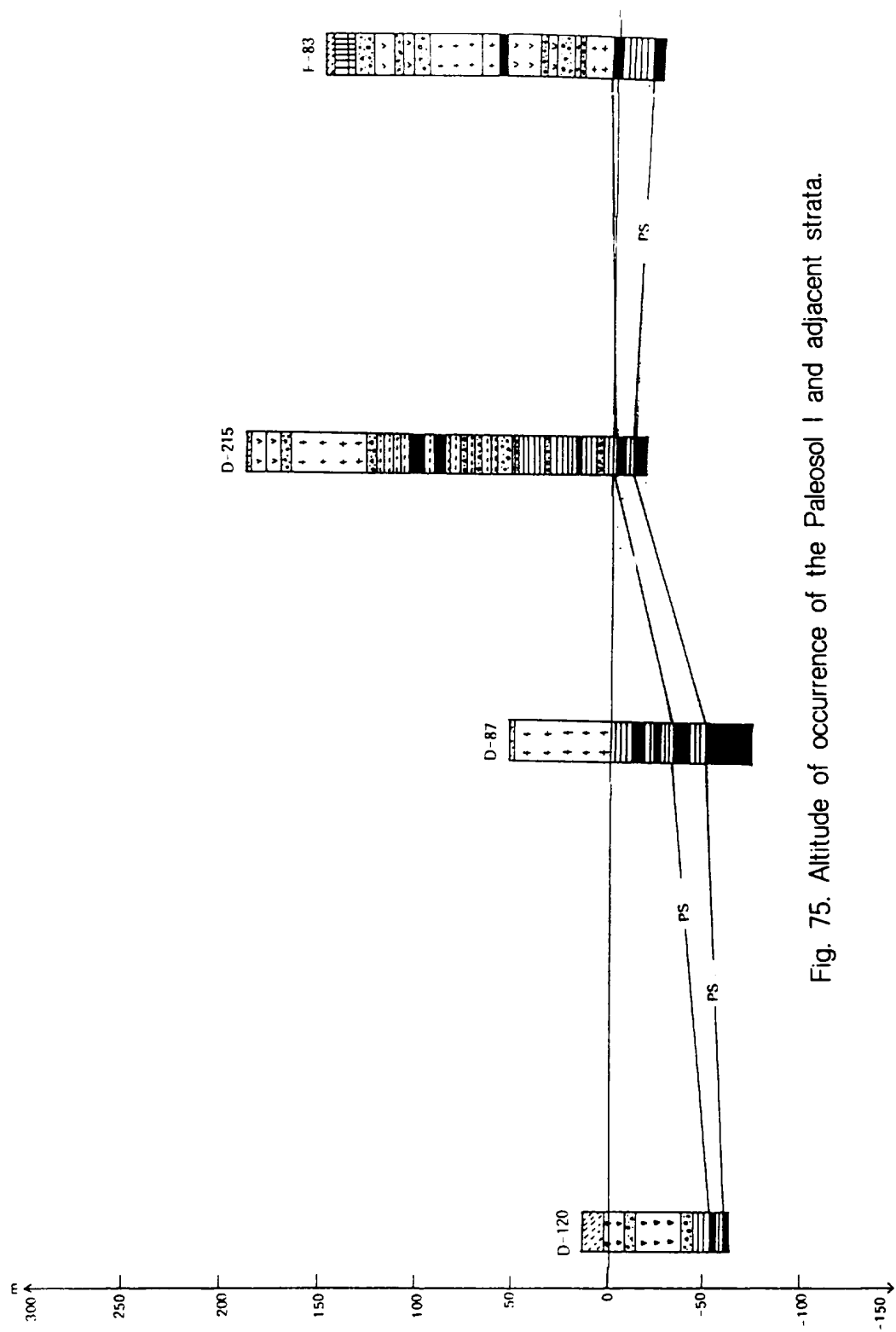


Fig. 75. Altitude of occurrence of the Paleosol I and adjacent strata.

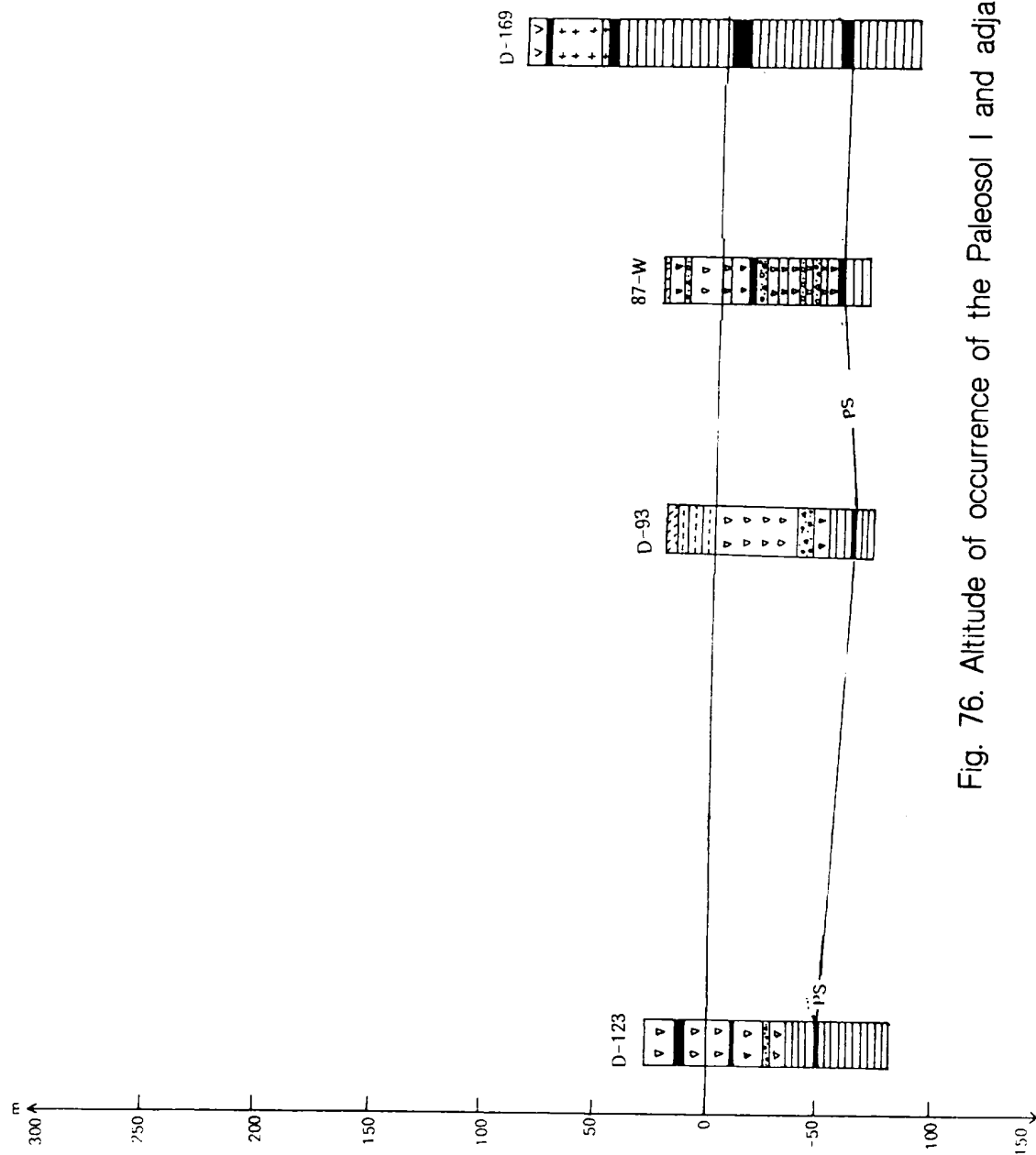


Fig. 76. Altitude of occurrence of the Paleosol I and adjacent strata.

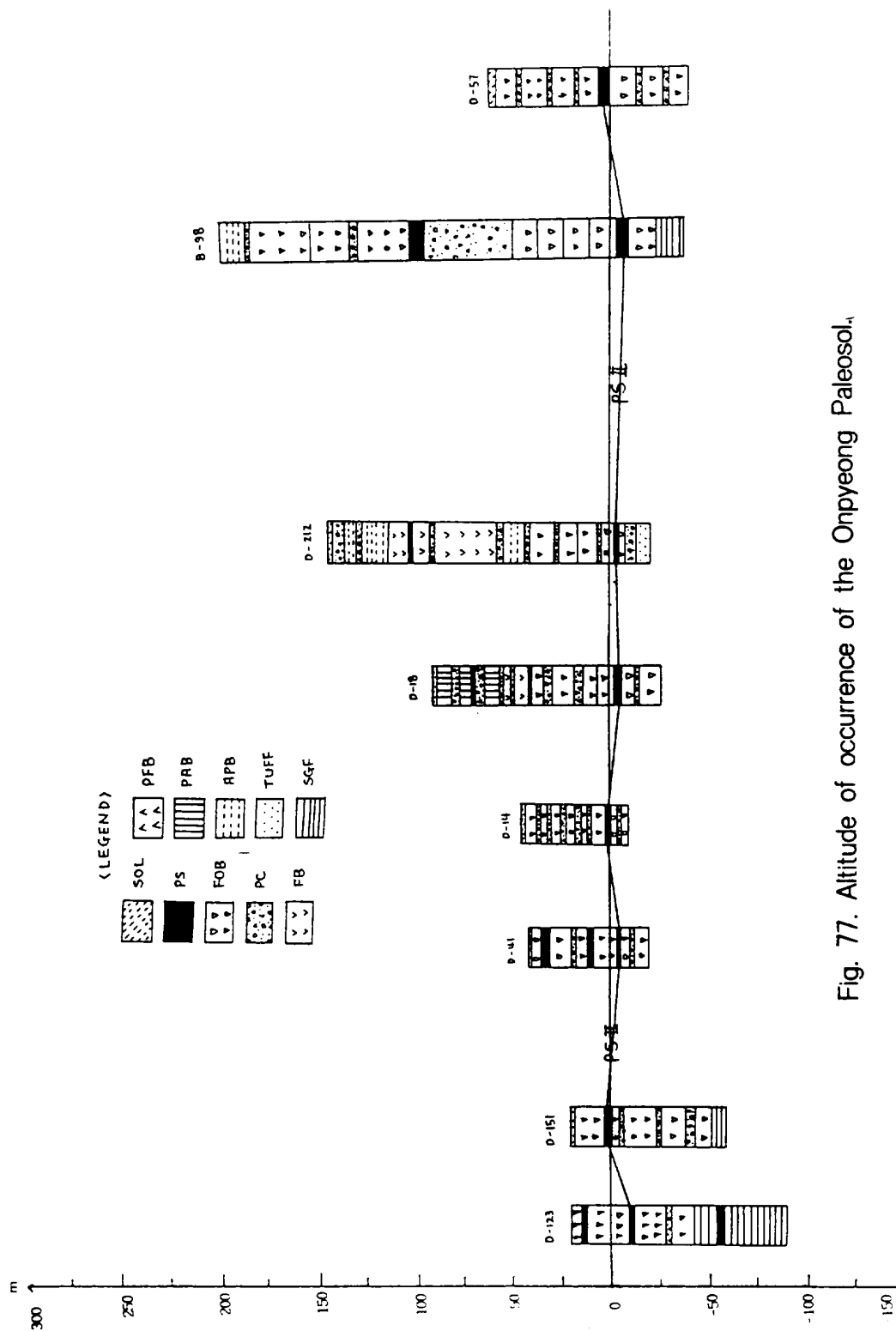


Fig. 77. Altitude of occurrence of the Onpyeong Paleosol.

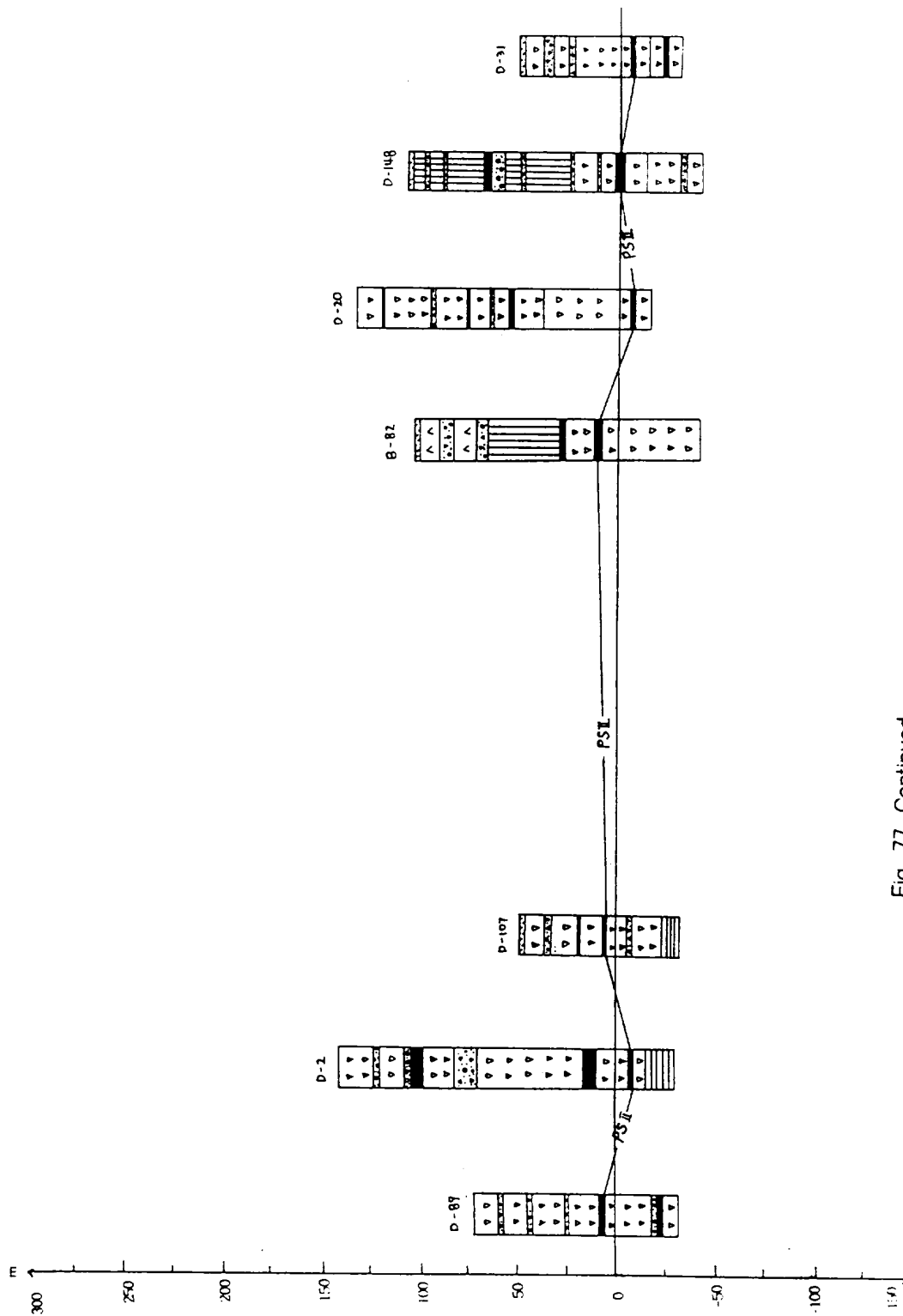


Fig. 77. Continued.

#### 1-5. 서귀포층과 그 상·하위층

이 암층들이 시추공자료에서 확인되는 지점(Table 48)은 북서지역의 용수(D-123), 조수(D-52), 금악(D-280), 금악(B-94), 어음(B-95), 구업(F-9), 북동지역의 영평(D-204), D-272(오등동), D-127(봉개), D-78(신촌), B-98(중동), B-96(덕천), 남서지역의 D-93(고산), D-120(고산), D-56(신도), D-209(무릉), D-55(영락), F-55(산양), 24(청수), 87-W(상예), D-138(화순), B-65(감산), B-49(상창), D-169(예래), D-205(색달), J(중문), D-87(하원), D-178(강정), B-102(기목), D-116(호근), D-215(서홍), D-85(서홍), 남동지역의 D-262(서홍), B-108(미악), D-187(동홍), I(남성), N(남성), B-97(법호촌), D-263(토평), D-63(보목), D-274(상효), 17(상효), D-97(상위미), D-129(자배봉), F-83(한남), B-69(수망), F(가시) 등이다(Fig 78, Table 48). 서귀포층이 해수준면하에 분포하고 하부고토양을 피복하고 있는 지점은 D-123(용수), D-127(봉개), D-93(고산), D-120(고산), 87-W(사계), D-169(예래), D-262(서홍), D-205(상예), D-87(하원), D-215(서홍), D-262(서홍), F-83(한남)지점이며, 이들 서귀포층을 하부서귀포층(I)이라 정한다(Fig 79). 한편 해수면 상위에서 D-123(용수), B-95(어음), D-33(동명), D-78(신촌), B-96(덕천), B-70(중동), D-93(고산), D-120(고산), 87-W(사계), B-69(수망)지점에서 현무암류가 피복하고, D-169(예래), D-205(상예), D-87(하원), D-178(강정), B-102(기목), D-215(서홍), D-262(서홍), D-187(동홍), D-263(토평), F-83(한남)지점에서 조면암이 피복하고 있는 서귀포층과, 지표에 노출된 서귀포시 남성동 서귀포하와이아이트가 피복하는 서귀포층을 상부 서귀포층(II)로 정한다(Fig 80).

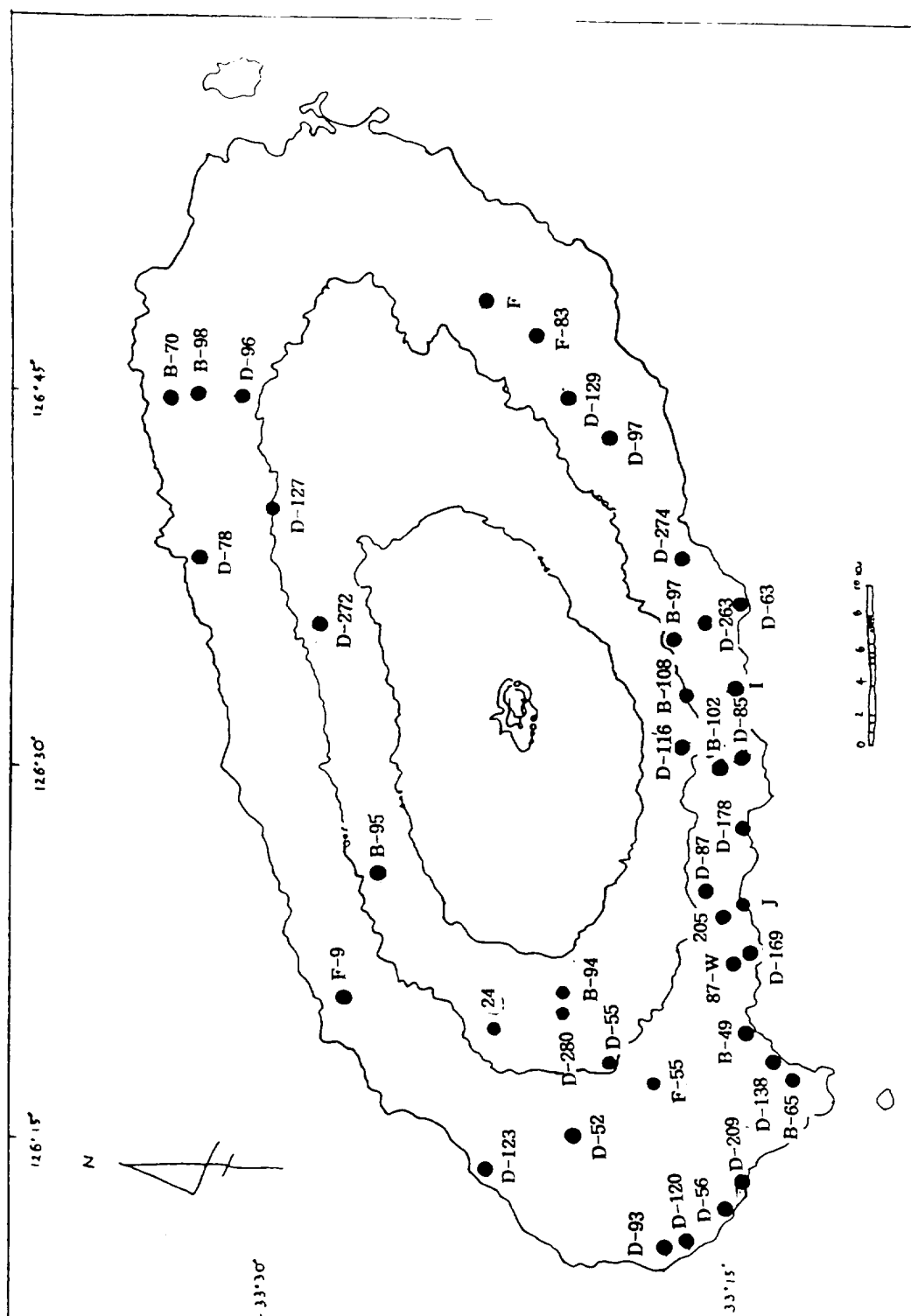


Fig. 78. Distribution of bore holes in which Segwipo Formation (SGF) is encountered.



(u)

|                |                   |           |             |              |                |              |                      |                      |                |               |            |
|----------------|-------------------|-----------|-------------|--------------|----------------|--------------|----------------------|----------------------|----------------|---------------|------------|
| D-205          | J                 | D-87      | D-178       | B-102        | D-116          | D-215        | D-85                 | D-262                | B-108          | D-187         | I          |
| (Seakdal)      | (Jungmun)         | (Hawon)   | (Kangjeong) | (Kimok)      | (Hogun)        | (Sechong)    | (Seohong)            | (Seohong)            | (Miaek)        | (Donghong)    | (Namseong) |
| T<br>SGF<br>PS | T<br>PC<br>T      | SGF<br>PS | PC<br>T     | T<br>PC<br>T | T<br>SSF<br>PS | T<br>FB<br>T | T<br>PS<br>SGF<br>PS | T<br>PS<br>SGF<br>PS | FB<br>PC<br>FB | T<br>SGF<br>T |            |
| -16            | -45               | -50       | 2           | -22          | 10             | -161         | -13                  | 151                  | 88             | 17            |            |
| SGF            | SGF<br>APB<br>SHF | SGF<br>PS | SGF         | SGF          | SGF<br>PS      | SGF          | SGF                  | SGF                  | SGF            | SGF           | SGF<br>APB |

[illegible]

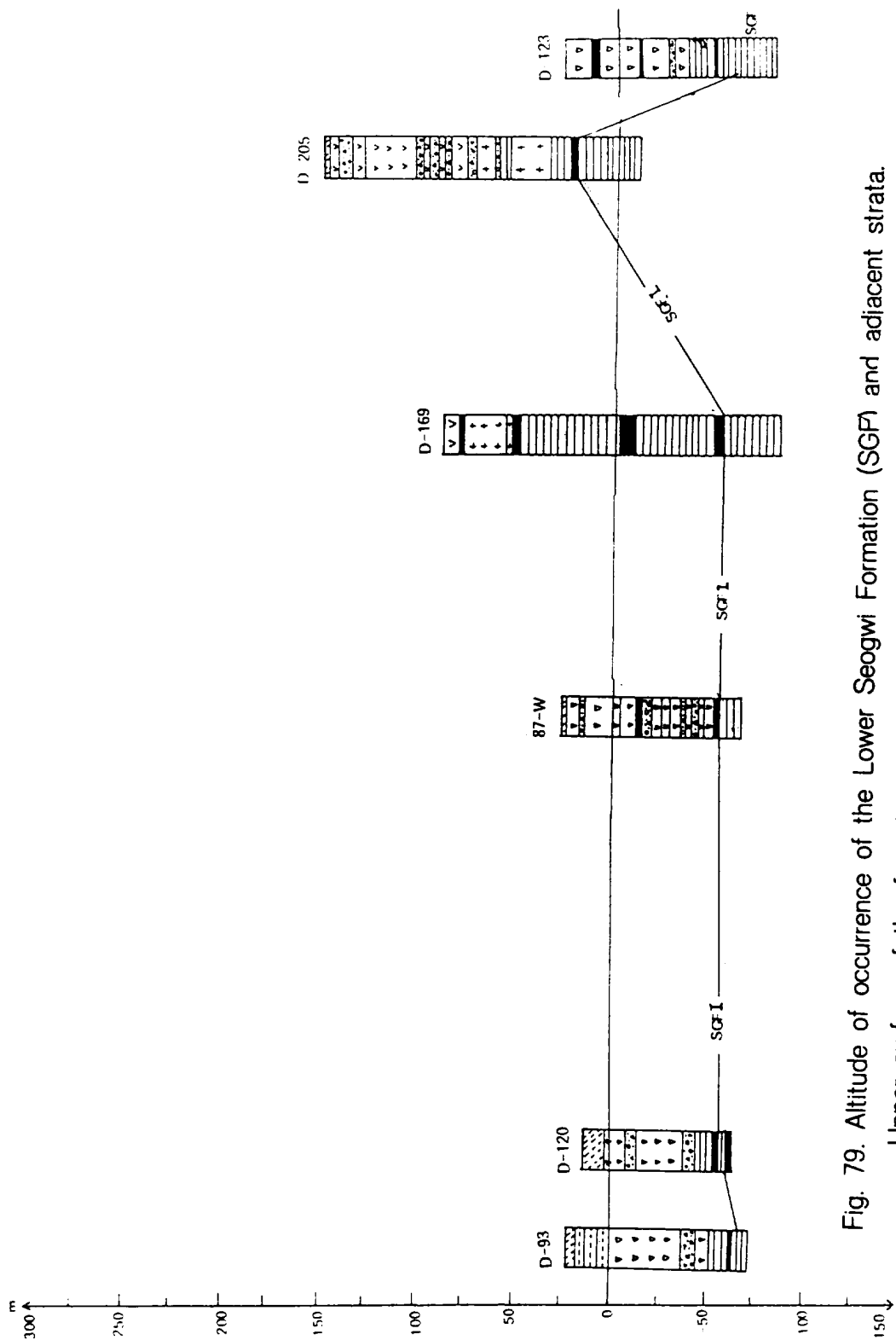


Fig. 79. Altitude of occurrence of the Lower Seogwi Formation (SGF) and adjacent strata.

Upper surface of the formation is in contact with Paleosol I and is connected by straight lines.

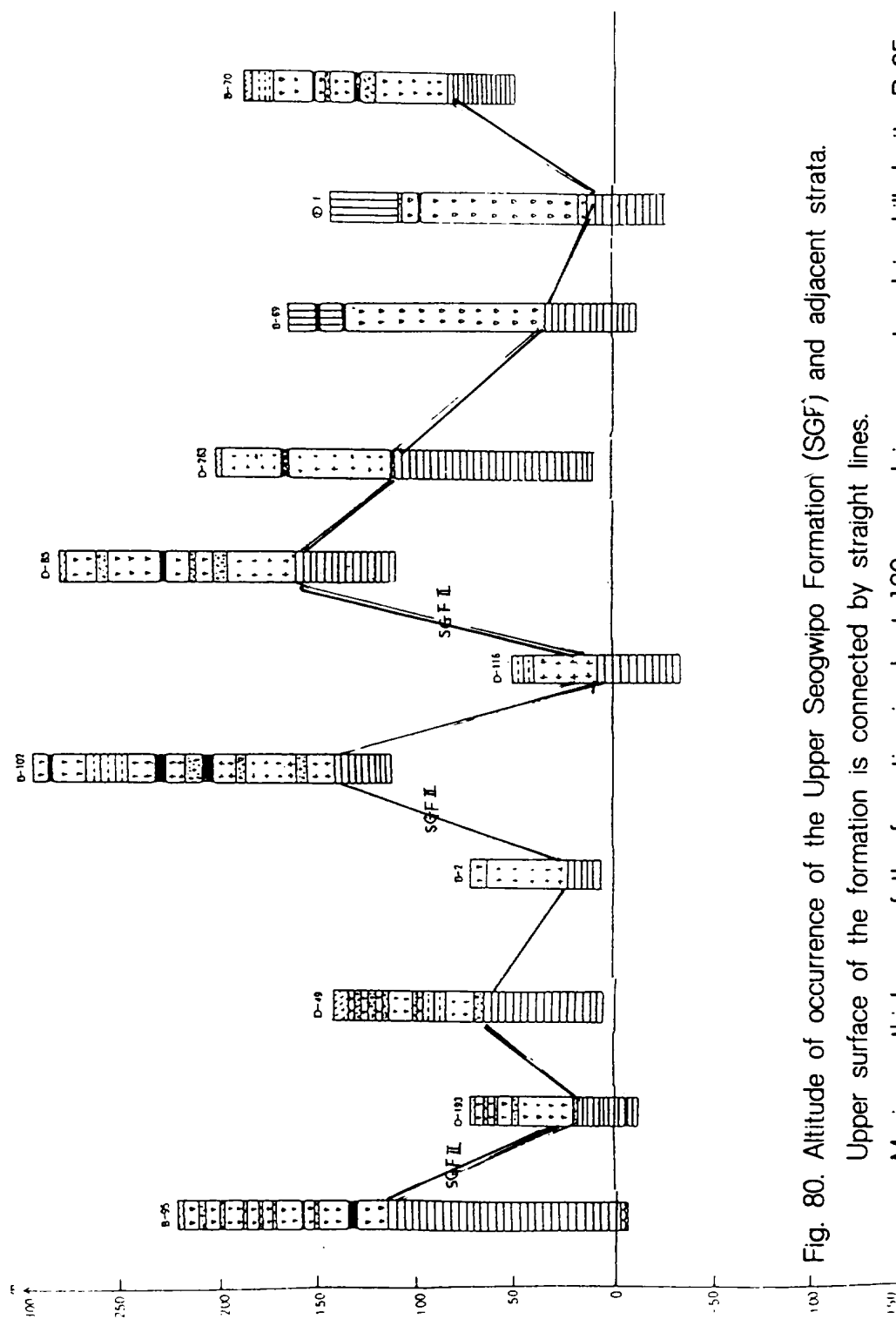


Fig. 80. Altitude of occurrence of the Upper Seogwipo Formation (SGF) and adjacent strata.

Upper surface of the formation is connected by straight lines.

Maximum thickness of the formation is about 120 m and is encountered in drilled site B-95.

#### 1-6. 감람석휘석현무암과 침상장석감람석현무암의 해수준면하 분포

해수준면하에 분포하는 현무암의 분포를 고찰하도록 한다.

북서지역에서는 B-94(금악)가 (-)128m, B-95(어음)가 (-)3m, D-33(동명)이 (-)3.5m의 서포층 하부에 OAB가 분포하고, D-123(용수)이 (-)29m, D-280(금악)이 (-)3m, D-18(상가)이 (-)11m에 FOB분포하며, 북동지역에서는 B-96(덕천)이 (-)26m에 OAB가, D-91(아라)이 (-)30m, 5(삼양)가 (-)32m, 6(신촌)이 (-)10m, D-232(와산)가 (-)40m, Ros(덕천)가 (-)50m, 11(상도)이 (-)40m, D(종달)가 (-)17.5m, B-131(우도)이 (-)9.3m에서 분포한다. 남서지역에서는 B-93(고산)이 (-)46.2m, D-56(신도)이 (-)53.5m, D-17(무릉)이 (-)55.24m, D-55(영락)가 (-)36.8m, F-77(서광)이 (-)30m에서 FOB가 분포하며, 남동지역에서는 F-73(남원)이 (-)66m, 16(의귀)이 (-)10m, D-20(성읍)이 (-)5.4m, D-31(하천)이 (-)22.5m, B-33(난산)이 (-)4.83m, D-283(수산)이 (-)10m에 FOB가 분포한다(Fig 81). 이외에 판포에서 지하 약 100~150m지점에서 판포현무암이 분포한다. 이들 현무암들은 현무암 화산활동 제 1 기로 추정할 수 있다. FOB의 해수면하의 분포와 해수면상의 FOB 분포와도 거의 일치한다(Fig 81). FOB의 지역별 해수면하에서 평균 분포고도는 북서 (-)14m, 북동(-)21.6m, 남서(-)39m, 남동(-)17.4m이다. 특히 D-280(표고 312m,심도 320m)에서는 서귀포층 하부에 해수준고 (-)1m에서부터 (-)8m사이에 분출시기가 조금씩 다른 FOB 용암단위 3매가 확인된다. 이들은 해수준면하에 분포하는 현무암으로 하부 현무암이라 정한다.

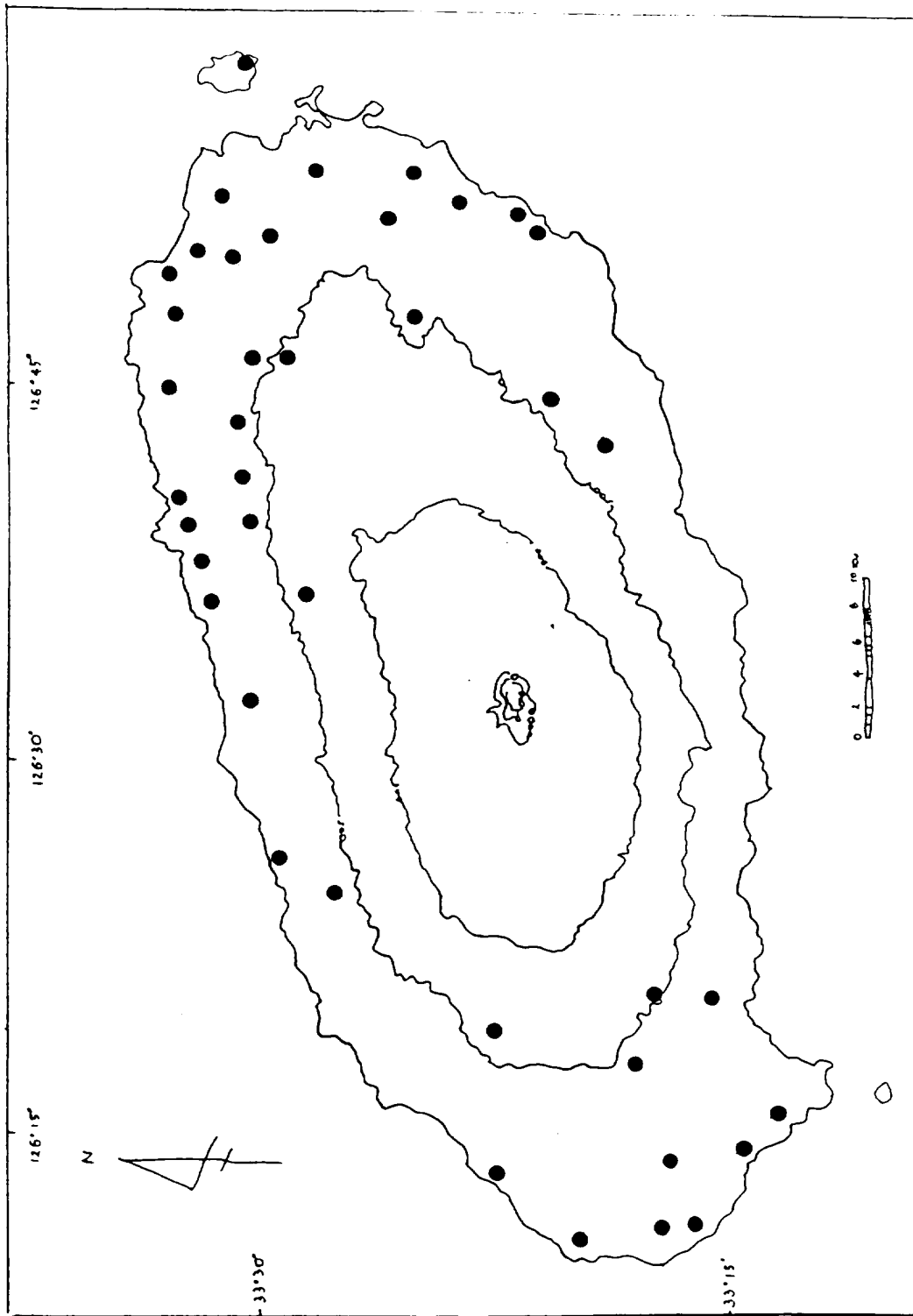


Fig. 81. Distribution of bore holes in which Feldspar Olivine Basalts (FOB) are encountered.

### 1-7. 조면암류 (하와이아이트)

이 암은 북서지역의 구엄(F-9), 광령(D-218), 해안(D-48)에서 각각 (-)51m, (-)15.5m, 9m의 해수준고에 분포한다. 북동지역의 연동(D-116), 정실(D-261), 오동동(D-133), 아라(D-216), 봉개(D-217), 봉개(C), 명도암(4), 와홀(F-71)에서의 평균최저 분출고는 31.5m, 두께는 8m, 최고분출고는 87M, 두께는 19m이다. 남서지역의 산양(F-55)에서 서홍(D-215)까지 시추공 14지점의 분포고도는 평균 109m이며, 남동지역의 동홍(D-187)에서 성읍(M)까지 9개 시추공에서 평균분포고도는 최고 96m, 최저 65m이다. 이 암석들은 K-Ar 연령과 층서에 따라 1기는 각수바위·산방산·문섬·숲섬·구엄·상귀 조면암으로, 2기는 정방·영실·성읍·백록·정실·99계곡·천아계곡·오동동·명도암 조면암으로, 3기는 남성 조면암으로, 4기는 궁산·우보악·법정·거린사슴 하부 조면암으로, 6기는 백록 조면암으로 구분이 되며, 7기는 백록담 조면암(하와이아이트)으로 분류가 된다.

이 암들은 제주도를 형성 하는 과정에서 한라산을 중심으로 남사면 중심과 북사면 중심으로 제주도 골격을 형성한 암석으로 추론된다(Fig 82).

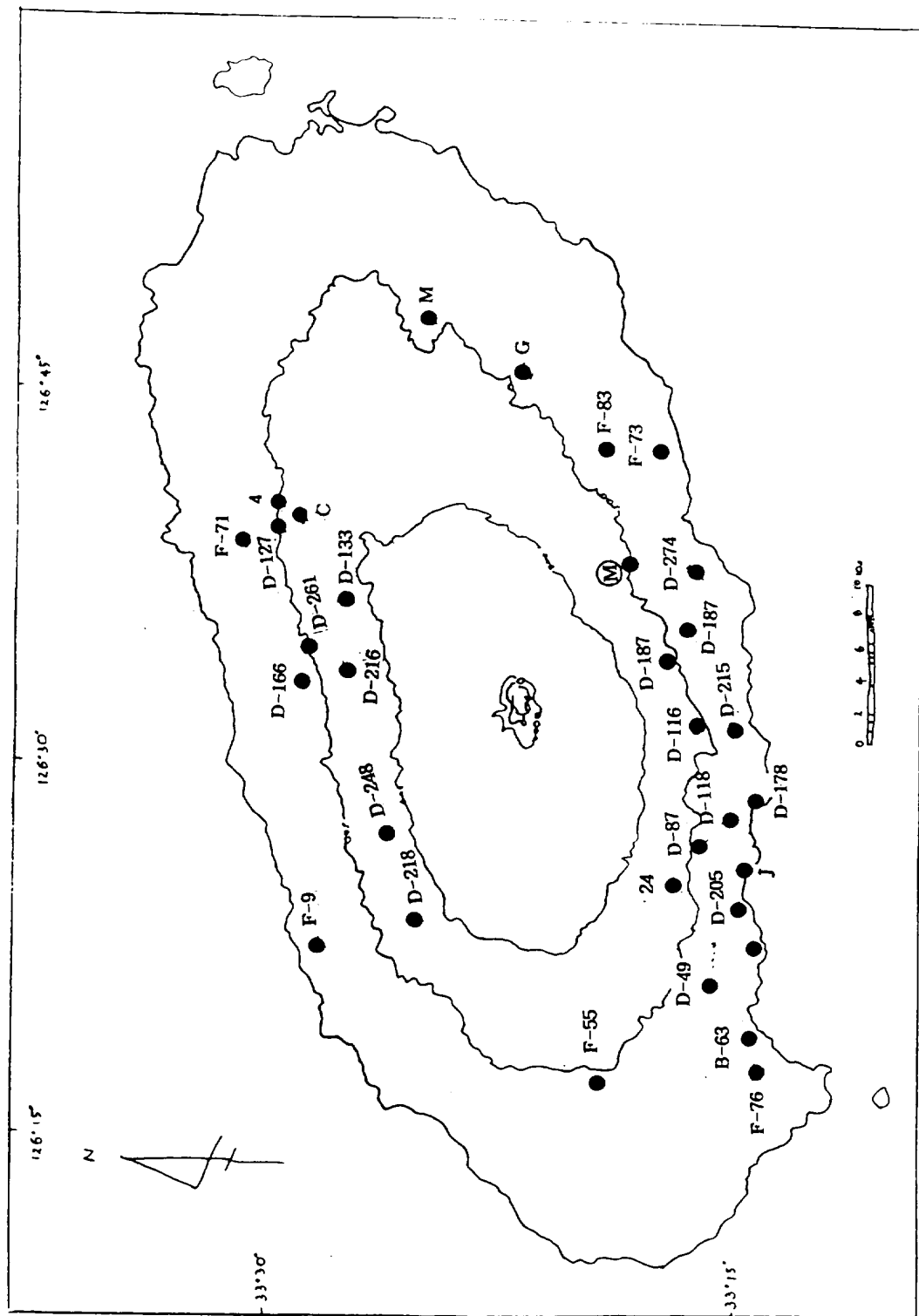


Fig. 82. Distribution of bore holes and outcrops in which trachytes (T) occur.

## 2. 제주도 형성과 화산활동

제주도에 분포하는 암층류는 심부기저에 화강암을 기반암으로 해수준면 하위에 분포하는 응회암, 미고결층(세화리층), 고토양층, 서귀포층, 감람석휘석현무암, 침상장석감람석현무암과, 해수준면 상위에 분포하는 세화리층, 고토양층, 서귀포층, 성산층, 침상장석감람석현무암, 조면암, 하와이아이트, 비현정질현무암, 장석현무암, 반상휘석현무암, 반상장석현무암 등이며 이들은 분출시기를 달리함은 물론 분출횟수도 다양하다. 이 연구에서는 이들의 분출시기를 크게 5단계, 작게 11단계로 구분하여 제주도의 형성과 화산활동단계를 기재한다(Table 49).

Table. 49. Division of volcanic stages in Cheju Island based on radiometric ages of volcanic rocks. Stratigraphic successions of tuff ring / cones and sedimentary sequences are shown in the right columns.

| Geologic time (Ma)         | Volcanic stage | Chronostratigraphy (K-Ar age : Ma)    | Lithostratigraphy                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                  |                                   |
|----------------------------|----------------|---------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-----------------------------------|
|                            |                |                                       | Major rock type (Ma)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Tuff cone (Ring) | Sediment sequence                 |
| Holocene 0.01              |                | XI 1445 BP 1670 BP<br>1002 BP 1007 BP | Spatter cone, Scoria mound.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                  |                                   |
| P L E I S T O C E N E      | U P P E R      | X 0.06 ~ 0.025                        | Peakrok TA-H(0.025 ± 0.008)<br>Kangjeong B(<0.030)<br>Tosan FOB(0.04), Pyeongak OB(0.035 ± 0.014)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Cinder cone II   | Dune sand                         |
|                            |                |                                       | Suak FB-IV(0.045 ± 0.07)<br>Weonang APB (0.049 ± 0.010 ~ 0.122 ± 0.012)<br>Kwangryeong PAB-H(0.06)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Cinder cone I    |                                   |
|                            | V              | IX 0.190 ± 0.9 ~ 0.07 ± 0.04          | Sanbong(west) FOB(0.07 ± 0.04)<br>Peakrok TA-H(0.07 ± 0.01)<br>Kaorin FB-V(0.093 ± 0.025)<br>Pomal PFB-K(0.109), Kogeunsa FB-H(0.097)<br>Kaorin a FB-V(0.121 ± 0.018), Chwabo H-H(0.12)<br>Tosan FOB(0.154), Susan FOB(0.150 ± 0.015)<br>Tonguwon FOB(0.16 ± 0.04)<br>Pulgeunoreum FB-V(0.161 ± 0.031), Hella T(0.160 ± 0.017)<br>Peopjeongak T-H(0.167 ± 0.042)<br>Sengdo FOB(0.169 ± 0.017), Uboak T-H(0.168 ± 0.017)<br>Kungsan T-H(0.190 ± 0.019), Yongnun H(0.17) | Ilchul           | Dongnam Paleosol SYF(IV)          |
|                            |                |                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Songak           |                                   |
|                            | M I D D L E    | VII 0.27                              | Sumang PAB-I (0.27)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Suwol            | Hanjang-dong Paleosol(III)        |
|                            |                | VI 0.378200 ~ 0.31 ± 0.04             | Teeheung FOB(0.31 ± 0.04)<br>Wimi FOB(0.377 ~ 0.378200)<br>Nanwonbomal FOB(0.3405)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                  |                                   |
|                            | 0.73           | V 0.42 ~ 0.41 ± 0.01                  | Namesong T-H(0.41 ± 0.01)<br>Manjang : FOB(0.42)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                  |                                   |
|                            |                | IV 0.55 ± 0.04 ~ 0.472 ± 0.0086       | Seongeup T(0.4972 ± 0.0086), Peakrok T(0.47 ± 0.07)<br>Chongdal : APB(0.510 ± 0.050)<br>Yeongsil : TA-H(0.52 ± 0.03)<br>Jeongbang : T(0.55 ± 0.04)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Dangsan          | Upper SGF(II)                     |
|                            | L O W E R      | III 0.7035 ~ 0.60 ± 0.13              | Kosan FOB(0.60 ± 0.03)<br>Mae FOB(0.60 ± 0.013), Teeheung : FOB(0.63 ± 0.03)<br>Onpyeong B : FOB(0.67 ± 0.03)<br>Shioreum : PFB-II ~ V(0.689 ± 0.021)<br>Shinheung : PAB-K(0.7035)                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Dusan<br>Hwasun  | Onpyeong Paleosol(II)             |
|                            |                | II 1.20 ± 0.05 ~ 0.94 ± 0.05          | Shioreum (0.711 ± 0.021)<br>Munseom(0.728 ± 0.034), Supseom(0.725 ± 0.038)<br>Sanbongsan T (0.87 ± 0.02, 0.747 ± 0.023)<br>Kaksu T(0.917 ± 0.028)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Dansen           | Lower SGF(I)<br>Lower Paleosol(I) |
| Upper Tertiary to Mesozoic | I              | I 2.22 ± 0.16                         | Panpo Basalt                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                  |                                   |
|                            |                |                                       | Tuff<br>Granite                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                  | SHF                               |

## 2-1. I단계 기반 활동단계 (1.20Ma이전 화산단계)

기반암인 화강암의 K-Ar연령은  $66.4\text{Ma} \pm 1.7\text{Ma}$ 이며, 판포 현무암 K-Ar연령은  $2.22 \pm 0.16\text{Ma}$ 이다. 해수면하에 분포하는 응회암, 세화리층은 이기간에 형성된 것으로 해석되며, 응회암도 화산활동에 의해 형성되기 때문에 제주도의 화산활동은 1.20Ma 이전부터 시작이 된 것으로 추정된다. 이시기를 I 단계 기반 활동 단계로 본다.

## 2-2 II단계 제주도 기저 형성단계 (1.20~0.71Ma)

### 1) 1.20~0.94Ma 현무암류 화산단계

이 단계는 제주도의 화산활동이 시작된 시기로, 이 단계에서 분출한 용암류는 기저 용암류로 분류되고 있으며, 해수면위에 분포는 없다. 이 단계는 현무암류로 시작되어 현무암류로 끝난다. 이 연대의 화산분출암은 감람석회석현무암(OAB)으로 덕천(B-96 : -26.5m), 금악(B-94 : -12.6m), 어음(B-95 : -3m), 동명(D-33 : -3.5m)에 분포하며, 금악(D-280)에서는 FOB가 서귀포층 하부에 분포하고 하부로의 연속성은 시추종료로 확인할 수 없다.

용머리에 포획된 OAB암편의 K-Ar연령은  $1.20 \pm 0.05\text{Ma}$ 이며, 수월봉에서는  $1.20 \pm 0.04\text{Ma}$ , 사계층에서는  $0.94 \pm 0.05\text{Ma}$ 이다. 이 암편들은 기저현무암이라 명명하고, 아울리 하부 서귀포층, 하부 고토양층의 형성시기로도 추정된다.

### 2) 0.971~0.711Ma 조면암류 화산단계

이 단계는 큰단계의 화산활동이 끝나는 단계로 주로 조면암을 분출하였다. 이 연대

에 분출한 각 암석들의 K-Ar연령은 각수바위 조면암(T-III)이  $0.971 \pm 0.028\text{Ma}$ , 산방산 조면안산암(TA-III)이  $0.87 \pm 0.02\text{Ma}$  ·  $0.747 \pm 0.023\text{Ma}$ , 문섬 조면암(T-I)이  $0.728 \pm 0.03\text{Ma}$ , 숲섬 조면암(T-I)이  $0.725 \pm 0.038\text{Ma}$ , 시오름 벤모라이트가  $0.771 \pm 0.02\text{Ma}$ 이며, 이 암석들은 제주도 북부지역인 구엄, 상귀, 아라, 오등동, 봉개 지역에서 지표와 하부층서에 분포하고 있다. 이 단계는 제주도 남사면인 산방산과 북사면인 오등동, 봉개, 정실지역을 중심으로 골격을 형성하는 단계이며, 단산, 화순층, 일부분 지역의 하부고토양의 형성시기이다.

### 2-3. III단계 해안저지대 형성단계 (0.70~0.41Ma)

이 단계는 일명 표선리현무암(FOB)이 다량으로 분출하여 현재의 해안저지대의 대체적인 윤곽이 만들어진 시기다. 이 단계의 형태는 중심부가 영실부근에서 고도의 조면암들이 중심을 이루어지며, 백록담 조면암 분출로 이단계는 끝난다. 그러나 한정된 지역에서는 비현정질현무암(종달), 침상장석감람석현무암(토산)의 분출도 있었다.

#### 1) 0.7035~0.60±0.13Ma 현무암류 화산단계

이 연대에 분출한 암석들의 K-Ar연령은 신흥현무암(PAB : 표고100m)이 0.7035Ma, 시오름벤모라이트(표고650m)가  $0.689 \pm 0.021\text{Ma}$ , 온평리현무암(표고5m)이  $0.67 \pm 0.03\text{Ma}$ , 고산현무암(표고1m)이  $0.60 \pm 0.03\text{Ma}$ 이다. 이 연대의 화산활동에서 침상장석감람석현무암(FOB)이 현 해수면 선상에 분포하며, 이 FOB를 피복하고 있는 고토양을 경계로하여 현해수면하에서도 하부현무암(FOB)이 분포한다. 지역별 이 하부 현무암이 해수면하의 평균분출(분포)고도는 북서지역이 (-)14m, 북동지역이 (-)21.6m, 남서지역이 (-)39m, 남동지역이 (-)17.4m이어서 제주도 해안저지대, 즉 해안선고도를

기준하여 상하위의 지층(지형)형성에는 결정적인 역할을 한 시기이다.

## 2) $0.55 \pm 0.04 \sim 0.47 \pm 0.07\text{Ma}$ 하와이아이트 화산단계

이 연대에 분출한 암석들의 K-Ar연령은 정방조면암(T-1하와이아이트)이  $0.55 \pm 0.04\text{Ma}$ , 영실조면암(TA-III 한라산하와이아이트)이  $0.52 \pm 0.03\text{Ma}$ 이며, 이에 속하는 조면암류는 천왕사 99계곡, 천아계곡, 광령계곡(하와이아이트)등이 있다. 종달 비현정질 현무암(APB)은  $0.51 \pm 0.05\text{Ma}$ 이며, 성읍 조면암은  $0.492 \pm 0.086\text{Ma}$ , 백록담조면암(하와이아이트)은  $0.47 \pm 0.07\text{Ma}$ , 태흥리 FOB가  $0.44\text{Ma}$ 이다. 응회구는 두산봉, 당산봉, 퇴적층은 상부 서귀포층이 이 연대에 해당한다.

## 3) $0.42 \sim 0.41 \pm 0.01\text{Ma}$ 현무암류의 화산단계

만장굴 FOB가  $0.41 \pm 0.01\text{Ma}$ , 남성동 조면암(하와이아이트)이  $0.41 \pm 0.01\text{Ma}$ 의 K-Ar연령이 측정되었다. 이 시대에는 침상장석감람석현무암이 해수준면상에서 다량 분포하며, 남사면 지역인 남성동에서는 남성동 하와이아이트가 해수준면상위에 분포하는 서귀포층을 피복한다.

## 2-4. IV단계 제주도 완성단계 ( $0.37 \sim 0.27\text{Ma}$ )

이 단계는 영실 조면암과 백록담 조면암 분출이 끝이 나면서 III단계 초기 분출용암류인 침상장석감람석현무암류와 암상이 비슷한 현무암류가 몇 회에 걸쳐 다량으로 분출하여 제주도 북부 및서북부와 동남부일대에 넓게 분포한다. 이 단계에서 제주도의 다량의 현무암류 분출은 끝이났다.

### 1) $0.37\text{Ma} \sim 0.31 \pm 0.04\text{Ma}$ 현무암류 화산단계

이 시대에 분출한 암석들의 K-Ar연령은 위미FOB(표고65m)가  $0.378\text{Ma}$ , 남원FOB(표고10m)가  $0.37\text{Ma}$ , 태흥FOB(표고3m)가  $0.31 \pm 0.04\text{Ma}$ 이다.

이 시대는 전시대에 분출한 FOB와는 시기를 달리한 FOB분출시대라 할 수 있다.

### 2) $0.27\text{Ma}$ 현무암류 화산단계

이 연대의 암석들의 K-Ar연령은 수망리 반상회석현무암(PAB : 표고 180m)이  $0.27\text{Ma}$ 이며, 이 암석은 제주도 중산간 지대 이상에서 부분적으로 분포한다. 이 암석류의 분출로 제주도의 외형적인 지형(모습)은 완성되었으며, 다랑이 현무암류의 용암분출도 끝이 났다. 이때 수월봉응회구층이 차귀도와 함께 해저용기 또는 폭발에 의해 현위치에 형성된 것으로 본다.

### 2-5. V단계 기생화산 형성단계 ( $0.19 \sim 0.025 \pm 0.008\text{Ma}$ )

이 단계는 100만년 이상의 4단계에 걸쳐 지속되었던 제주도의 본격적인 화산활동이 끝나고 휴지기 이후 후기 화산활동으로 접어드는 시기이다. 이 시기에는 다량의 현무암류를 분출(열하, 균열분출)했던 분화구에 소량이 용암류가 충전된 후 분출하여 최후로 기생화산이 형성되는 시기이다. 이 기생화산들은 같은 분화구에서 여러번의 화산활동이 있어 2중, 3중 층서구조는 물론 외형적인 형태 등 복합적인 기생화산들도 많다. 이 시대의 초기에는 응회구인 일출봉의 분석구, 송악산의 제2분화구 등 제주도에 분포하고 있는 응회구층들이 형성된 후에 분출한 분석구들도 많다.

### 1) $0.190 \pm 0.09\text{Ma} \sim 0.07 \pm 0.04\text{Ma}$ 연대

이 연대의 암석들의 K-Ar연령은 궁산조면암(T-뮤저라이트 : 표고180m)이  $0.190 \pm 0.019\text{Ma}$ , 용눈이현무암(하와이아이트 : 표고 300 m)이  $0.17\text{Ma}$ , 상도 FOB(표고 78m)가  $0.169 \pm 0.17\text{Ma}$ , 범정악 조면암(T)이  $0.167 \pm 0.017\text{Ma}$ , 붉은오름 현무암(FB-V : 표고 1100m)이  $0.161 \pm 0.031\text{Ma}$ , 한라산 조면암(T)이  $0.16 \pm 0.071\text{Ma}$ , 동주원 FOB(표고 20m)가  $0.16 \pm 0.04\text{Ma}$ , 토산 FOB(표고5m)가  $0.154\text{Ma}$ , 수산 FOB(표고 80m)가  $0.150 \pm 0.015\text{Ma}$ 이다. 이 기간 동안에는 초기에서 침상장석감람석현무암과 유사한 현무암질 용암류를 분출한 후, 기생화산을 형성하였다. 이 시기의 기생화산은 형태가 파괴된 것이 많으며, 고기 기생화산으로 분류되고 있다. 중산간 지역에 해당하는 곳에서 화산활동이 활발하였던 기간이다. 특히 침상장석감람석현무암(FOB)이 제 5기 분출기로 추정되며, 한라산 돔의 형태인 조면암의 형성시기이며 해안저지대에서는 부분적인 용암유출이 있었던 시기였던 것으로 추정된다. 거린사슴 현무암(FB-V)이  $0.121 \pm 0.018\text{Ma}$ ,  $0.093 \pm 0.025\text{Ma}$ , 남원(표고 23m) 반상장석 현무암(PFB-I)이  $0.019\text{Ma}$ , 고근산 현무암(FBⅡ)이  $0.097\text{Ma}$ 이며 이 기간에는 장석 현무암(FB)의 분출시기로 추정된다. 백록담 조면암(TA-Ⅲ. T)은  $0.07 \pm 0.01\text{Ma}$ , 산방산 서쪽 현무암(표고 30m)이  $0.07 \pm 0.0\text{Ma}$ 이다. 이 현무암은 산방 북측 주위의 기생화산에서 분출한 용암류로 사료가 되며, 이 시기에 중산간지대의 동서측에 형성된 기생화산을 분석구 I으로 정한다. 이 시대의 중기에는 신양리층이 말기에는 동남(신양)고토양이 형성되었다.

## 2) $0.06 \sim 0.025 \pm 0.008\text{Ma}$ 연대

광령(표고 25m) 반상회석현무암(PAB-I)이  $0.06\text{Ma}$ , 월랑 비현정질현무암(표고 150m)이  $0.049 \pm 0.01\text{Ma}$ , 수악(표고 400m) 장석현무암(FB-IV)이  $0.045 \pm 0.07\text{Ma}$ , 토산(표고 10m) FOB가  $0.04\text{Ma}$ , 병악(화순) 감람석현무암(OB)가  $0.035 \pm 0.014\text{Ma}$ , 강정(표고 3m) 현무암(AB)이  $0.03\text{Ma}$  보다 적으며 백록담(1950m) 조면안산암(TA-III, T)이  $0.025 \pm 0.008\text{Ma}$ 이다. 한편 이 연대에는 최후기에 형성된 기생화산인 Cinder cone II와 Spatter cone, Scoria mound, 현생 퇴적층인 사구층이 형성시기다.

## 3) Holocene의 화산활동 ( $0.01\text{Ma} \sim \text{BP}$ )

제주도에는 암재층(Scoria)내에 완전히 탄화되지 않은 수목은 현재까지는 관찰이 되지 않으며, 따라서  $\text{C}^{14}$ 동위원소 연령측정 결과는 아직 없다. 그러나 문헌상 기록은 동국여지승람(東國輿地勝覽)과 이조열성실록(李朝烈聖實錄)이다. 동국여지승람에는 1차 폭발은 1002년, 2차 폭발은 1007년이라는 기록이 있고, 이조열성실록에는 1445년 1월 24일, 1670년 11월 15일에 지진이 일어나 인명과 가축에 피해를 주었다는 기록이 있다. 이러한 사실들로 보아 제주도의 지진 및 화산활동은 역사상 4회였던 것으로 생각되며, 이들 활동지역은 야외관찰로는 층서적 특성, 지형과 암상의 변화 등 지표면에서의 풍화상태를 고려해볼 때 송악산 제2분화구, 형제섬, 비양도로 추정되나, 이들의 분출할때의 증거가 될만한 분출물은 아직 확인이 안 된다.

## V. 결 론

1. 제주도 기저(심부)는 화강암이 북부의 연동(-)231m, 덕천(-)950m, 종달(-)679m, 남부의 중문(-)805m인 현해수준면하에 분포하며 지표상에서는 사라봉 북쪽 응회질쇄선층내의 화강암편이 수월봉, 송악산 응회구층내에서는 화강암편 또는 화강편마암편이 포획되어있는 것을 관찰할 수 있으며, 지질 주상도 코어인 와홀(표고 265m)지점의 지하 180m에서 응회층 내에 거력의 화강암편이 포획되어 있는 것을 확인하였다. 이는 제주도 심부가 화강암으로 구성되어 있음을 시사한다. 덕천에서의 화강암시료의 K-Ar연령은  $66.4\text{Ma} \pm 1.7\text{Ma}$ 이다. 이 화강암들은 한반도에 분포하는 백악기말 화강암과 대비된다.

2. 기저 응회암층은 연동, 종달, 덕천, 중문에서 화강암층 직상위에 분포하며, 그 외 지점에서는 대부분이 FOB 상위층에 응회암층이 분포한다. 기저 응회암층은 제주도 화산활동의 시작으로 추론된다. 이 시대는 백악기 말이거나 신생대 초이다.

3. 미고결(세화리)층은 북동지역에서는 해수면하 평균 (-)93.5m, 남서지역에서는 (-)95m, 남동지역에서는 (-)198m에서부터 상위층이 시작되며 이층은 비현정질현무암(APB)이 피복하며, 서귀포층보다는 심부에 분포한다.

4. 고토양층은 해수준하에서 지역에 따라 서귀포층이 피복하며, 또한 서귀포층을 피

북하고 있는 고토양층을 하부 고토양(고토양I)으로, 해수준면선상인 온평리, 신산리, 토산리, 태흥리 지역에서 FOB에 의해 피복되어 있는 고토양을 온평리 고토양(고토양II)으로, 수월봉응회층, 정방 하와이아이트에 의해 피복되어 있는 고토양을 한장동 고토양(고토양III)으로, 신양리층과 신양리 사구층 사이에 협재되어 있는 고토양을 동남고토양(고토양IV)으로 정한다. 이는 제주도가 화산활동 휴지기는 5회 이상임을 지시하고 있다.

5. 서귀포층을 종합하면 제주시 일원, 성산읍과 표선면 일대의 일부를 제외하고는 제주도 전지역의 하부층서에 분포하고 있으며, 지역별 평균분포고도는 해수준면하에 북서지역은 (-)55m, 북동지역은 (-)12m, 남서지역은 (-)48m, 남동지역은 (-)16m이며, 해수준면상위에 지역별 평균분포고도는 북서지역 62m, 북동지역은 정실, 오동동, 봉개, 영평지역에 분포하며, 남서지역은 50m, 남동지역도 50m이다. 이 층은 해수면하에서 고토양에 의해 피복되어 있는 층을 하부 서귀포층(서귀포층I), 해수준면 상에서 조면암이나 FOB에 의해서 피복된 층을 상부 서귀포층(서귀포층II)으로 정한다.

6. 제주도 해수준면하에 분포하는 현무암을 살펴보면 감람석휘석현무암이 금악, 상대, 동명, 덕천의 서귀포층 직하위에 분포하며, 이들의 K-Ar연령은  $1.20 \pm 0.05\text{Ma} \sim 0.94 \pm 0.05\text{Ma}$ 이다. 침상장석감람석현무암은 제주시 일원, 성산읍, 표선면 일부 지역을 제외하고는 대부분 서귀포층을 피복하여 분포하며 특히 D-280(금악)에서는 서귀포층하부에 FOB가 분포한다. 이들에 대한 K-Ar연령측정결과는 아직 없다. 한편 판포현무암은 지하 약 144~152m에 분포하며 K-Ar연령은  $2.22\text{Ma} \pm 0.16\text{Ma}$ 이다. 이들 현무암들은 제 I 단계 화산활동에 해당한다.

7. 침상장석감람석현무암의 1기 분출은 해수면하에 분포하는 하부 현무암이다. 해수면 상위에서는 K-Ar연령에 따라 온평리·고산리·매오름·태흥리 FOB는 2기, 만장굴FOB는 3기, 남원·위미·태흥FOB는 4기, 상도FOB는 5기, 동주원 FOB는 6기, 토산FOB는 7기로 구분된다. 분출횟수는 야외관찰에서도 다양하게 나타나며, 시추공 주상도에서는 덕천(D-265)에서는 34회가 확인된다.

8. 조면암류의 분출시기는 K-Ar연령에 따라 1기는 각수바위조면암, 산방산조면암, 문섬조면암, 숲섬조면암으로, 2기는 정방조면암(하와이아이트), 영실조면암, 성읍조면암, 백록담조면암으로, 3기는 남성조면암(하와이아이트)으로, 4기는 궁산조면암, 우보악조면암, 법정조면암으로, 5기는 한라산조면암으로, 6기는 백록담조면암으로, 7기는 백록담 조면암(하와이아이트)으로 구분이 된다.

9. 비현정질현무암은 K-Ar연령에 따라 1기는 종달 APB로, 2기는 월랑APB로 구분이 된다.

10. 장석현무암은 K-Ar연령에 따라 1기는 붉은오름FB로, 2기는 거린사슴 FB로, 3기는 고근산 FB로, 4기는 수악계곡 FB로 구분된다.

11. 제주도의 화산활동은 크게는 5단계로 구분된다. I 단계는 기반활동단계, II 단계는 제주도 기저형성단계, III단계는 해안저지대 형성단계, IV단계는 제주도완성단계, V 단계는 기생화산형성단계로 구분이되며 작게는 11단계로 구분이 된다.

12. 제주도를 형성하고 있는 화산암류의 주성분 산화물인  $\text{SiO}_2$  함량은 42.89~52.16%이며, 지역별  $\text{SiO}_2$  함량범위는 북서지역이 45.32~50.15%, 북동지역이 46.27~55.21%, 남서지역이 42.89~63.36%, 남동지역이 47.3%~51.16% 범위이다.

13. 제주도 화산암류의 화학조성으로는 알카리 암류이며, Na계열에 속하며 알카리현무암, 하와이아이트, 뮤저라이트, 벤모라이트, 조면암, 비알카리계열의 솔레아이트로 분류가 된다. 이는 제주도 화산암류의 형성환경이 5회이상의 변화가 있었다는 것을 보여주며, 이는 화산활동 단계구분과도 거의 일치한다.

14. 제주도 화산암류의 모 마그마는 판내 알카리 현무암의 지구조 환경하에서 생성되었다. 주성분원소와 미량원소의 변화경향은 알카리암석현무암질 마그마를 모 마그마로하여 단순한 분별결정 작용으로 분화된 것이며, 이는 마그마의 성인의 열점과 관련이 있다.

## □ 참 고 문 헌

- Aguirre, E. and Pasini, G. 1985. The Pliocene~Pleistocene boundary. Episodes. V8, 116-120.
- Anderson, D. L. 1981. Hot spot basalt. and the evolution of the Earth. Science. 213, 82-89.
- Barker, D. S. 1983. Igneous rocks. Prentice-Hall, Inc Englewood cliffs. N. J. 07632.
- Bas, M. J. Le. Matirer, w. and wodley, A. R. 1992. The construction of the total alkali-silica chemical classification of volcanic rocks. mineral petrol. 461-22.
- Burke, K. C and Wilson, J. T. 1976. Hot spots on the Earth's surface. Sei Am, 46-57.
- Chough, S. K and Sohn, Y. K. 1990. Depositional mechanics and sequences of base surges. Songaksan tuff ring Che-Ju Island, Korea. sedimentology 37, 115-1135.
- Choi, S. H., Kim, Y. K., Lee, D. Y., 1991. Sea water intrusion in the coastal Area of Che-Ju volcano Island. Korean. Jour. Korean. Mining Geol v24, n3 319~327.
- Fisher, R.V. and Schmincke, H. U., 1984. Pyroclastic ROCK SPEINGER - Verlag. Berlin 472p.
- Green, D. H and Ringwood, A. E. 1964. Fractionation of basaltic magma at high pressure. Nature. 201. 1276-1277.
- HAN, S. J., YOON, H. I. & PARK, B. K. 1987. Nearshore sedimentary environments of the Sinyangri Formation in Cheju Island, Korea. J. Oceanol. Soc. Korea.
- Kuno, H. Y. and Nakagawa, K. and Nagashima, K. 1957. Differentiation of Hawaiian magmas. Japan. Jour. Geol. Geogr. 28-4. 179-218.

- Kushirok. I. Kuno. H. 1963. Origin of primary basalt magma and classification of basalt rocks. *Journ. Petrol.* 4 pp75-89.
- Kawamura, R. 1951. Study of sand movement by wind in Japan : Tokyo, Japan Technical Research Institute of Tokyo Univ-Report 5 pp95-112.
- Kim. D. H. Hwang. S. K. and Antony John Reedman. 1986. Tuff ring and cone on Jeju Island. Korea. *Jour. Geol. soc. Korea.* V22. pp1-9.
- Kim. J. Y. 1990. Quaternary stratigraphy of the terrace gravel sequences in the Pohang area (Korea). Ph. d. Thesis. Seoul National University.
- Kim. J. Y., Choi. D. K. and Lee. D. Y., 1990. Paleoenvironmental implications of the Quaternary gravel sequences on the basis of gravel shape. *The Korea Jour. Quaternary Res.* Vol. 4. 41-57.
- Kim. Y. K., Lee. D. S., 1983. Petrology of Alkali Volcanic Rocks in Northern Part of Ulleung Island. *Kl. M. G.* Vol. 16. No. 1. pp19-36.
- KIGAM. 1996. Radiometric Age Maps of Volcanic, Plutonic and Metamorphic Rocks and Ore Deposits in the Korean Peninsula. KR-95(B)-7.
- Lee. D. Y. 1985. Quaternary deposits in the coastal fringe of the Korean peninsula. D.Sc. Thesis of Free Univ. Brussels, Belgium.
- Lee K. H., Jeong. B. I., Choi. K.S. and Lee. S. K., 1983. A study of gravity and geomagnetism of Jeju Island. *Geol. Soc. Korea.* Vol. 19. 1-10.
- Lee. M. W., 1982. Petrology and geochemistry of Jeju volcanic Island, Korea. *Sci. Rep. Tohoku Univ.* series 3. 15, 77-256.
- Lee M. W., Yoshida, T. and Aoki, K., 1982. Trace element behavior in fractional crystallization of Jeju alkaline lavas. *Korea Research of Rept labor Nuclear Sci Tohoku Univ.* Vol. 15. no. 2.
- Lee. D. Y. 1987. Stratigraphic research of the Quaternary deposits in the Korean Peninsula progress in Quaternary geology of East and South - Asia. *ccop/tp* 18. 227-242.

- Lee, D. Y., Kim, J. Y., and Yun, S.K 1988. Quaternary geology in the southern part of the Pohang in the southern part of the Pohang basin, Korea Report. KR- 88-1B, -349-403.
- Lee, S.M. 1974. The relation setting of Korea with relation to plate tectonic..J. Geol.soc oreo.10.25-36.
- LEE, S. K.(1981) A study of gravity, crustal structure and isostasy of Jeju Island. Korea. Thesis M. S. Degree. Dept. Geol. Seoul Nat. Univ.
- MATSUMOTO, Y. & TSUJI, K., 1969. Petrochemical study on the lavas of Cheju Island. J. Geol. Soc. Japan. 75.112.
- Miyashiro, A. 1974. Volcanic rock series in Island arcs and active continental margins American. Jour.Sci 274-321-355.
- Moore, J. G. 1967. Base Surge in recent volcanic eruption. Bull. Volcan.V30.37-353.
- Nakamura, E. Campbell, I. H. and Sun, S. S. 1985. The Influence of subduction processes on the geochemistry of Japanese alkaline basalt. Nature Vol 316.pp 55-57.
- Nakamura, S. 1925. Note on Sishu Volcanic Island The Globe (chikyu)4. 325-3367.
- Paik, K. H. and Lee, G. H. 1984. A Plio-Pleistocene ostracode assemblage from the Seoguiipo Formation, Chju Island, South sea of Korea. proceedings of U.S-Korea. seminar and Workshop on Yellow sea (1984.Seoul). 223-234.
- Sheridan, M. Fand Updiko, R. E. 1975. Sugarloop mountain tephra a Pleistocene Rhyolitic deposit of basalt-surge origin. Geol sos Am Bull.v86.571-581.
- Son, I. S. (1980) A study on the classification of the parasitic cone type in Jeju Island. M.S. thesis of Graduate School. Korea University. p. 1-41.
- Son, Y. K. 1992. Depositional Models of basaltic tuff ring and tuff cone in Cheju Island.Korea. Thesis for degree of doctor of philosophy. Seoul. Univ.

- Son. Y. K., Park K. H., 1994. Geology and Evolution of Tok Island. Korea. J.G.S.K.vol30.No3,p242-261.
- Taneda.s Tsuju and Nakamura. H. 1970. Geologycal Petrological and Paleomagnetic studies on the volcanic rocks of Cheju- Island. Volcan.soc. Japan. ser.2.96-108.
- Tamanyu S. 1990. The K-Ar Ages and Their stratigraphic Inter pretation of the Cheju Island Volcanics Korea. Bull Geol. surv Japan.vol41.No10 pp.527-537.
- Won Jong Kwan, Lee Moon Won, 1984. The volcanism and Petrology of alkali Volcanic rocks. Ulrung Island. J.G.S.K.vol. 20. No.4. p.296-305.
- Won C. K. Matsuda.j. Nagaok., Kim K.H., Lee M.W. 1986. Paleo.magnetism and Radio. metric Age of Trachytes in Jeju Island. Korea. K.IMG. vol.19 No.1. pp.25-33.
- Yang. Kyo seuk. 1981. A study on volcanic rocks of downstream area of the Hantan River in choogaryong rift valley. Maor in Earth science Education. The Graduated School of Education yeansei Universiey.
- Yoons. Koh G.W. Psak W.B. Kim H.W. Chae J I. 1992.
- The subsurface structure in the Eastern part of the Jeju Island (abstract). J. Geol Soc. Korean. 49th symposium. vol28 No5. p531~532.
- Yun sung Hyo. Won chong kwan Lee Moon Won 1993. Cenozoic volcanic Activty and Petrochemistry of Volcanic Rocks in the Mt. Paektu area J.G.S.K. vol.29 No.3. p.291-307.
- 강영복, 1979. 한국의 적색토 생성에 있어서 고토양문제에 관한 고찰. 지리학과 지리 교육. 9.pp256-266.
- 김광호. 이문원, 1983. 제주도 화산암류의 고지자기. 지질학회 제38차 학술발표회 논문요약. p 20
- 김광호. 원종관. 이문원, 1986. 제주도의 조면암의 고지자기 및 절대연령에 관한 연구. 광산지질학회. 19권 1호

- 김동학, 황재하, 황상구, 최성자, 1989. 제주도 화산활동(2). 과학기출처 KR-88-(B)-4
- 김봉균, 1969. 제주도 신양리 및 고산리지구의 신양리층에 대한 층서 및 고생물학적 연구. 지질학회지 제5권 2호.
- 김주용, 이동영, 한대석, 민충기, 김성택, 윤상규, 1993. 금강유역 제4기 지질 및 사력 광산 조사연구. 자원연구소 연구보고서. KR-93-IE
- 길영우, 1995. 제주도 동북사면에 분포하는 화산암류의 화산층서 및 암석학적 연구. 강원대 대학원 석사논문
- 남기영, 1965. 제주도 동남부의 지하수원 국립지질 조사소지하수원 보고서 Vol2 PP.33-49.
- 건설부, 제주도, 1993. 제주도 성산도폭 지질도 설명서
- 농어촌진흥공사, 1971~1996. 제주도 지하수 개발을 위한 지하수 보고서(지질주상도).
- 박준범, 1994. 제주도 화산암의 지화학적 진화. 연세대 대학원 박사학위논문.
- 서해길외 8명, 1964. 제주도 남부지하수원. 국립지질조사소 지하수원보고서 Vol1. pp77-111.
- 손치무외 22명, 1968. 한라산 학술조사 보고서. 문화공보부.
- 오남삼, 1981. 제주도 파식대에 대한 지형학적연구 지리학 논총. pp1-10.
- 原口九萬, 1931. 濟州島の地質. 濟州島地質調査要報 第1卷の1.
- 원종관, 이문원, 김윤구, 1986. 한반도에서의 제4기 화산활동과 화산암류의 특성 이상만 교수 정년기념 논문집.
- 원종관, 이문원, 1988. 한반도에서의 제4기 알카리 화산암의 암석학적연구. 지질학회지 24.151-193.
- 윤상규, 김원영, 1984. 제주지역 지열조사 연구. 한국자원연구소 국토이용지질조사연구. 연구보고 83-5-08.
- 윤상규, 한대석, 이동영, 1987. 제주도 남부지역 제4기 지질조사연구. 한국자원연구소 연구보고 KR-86-2(B)-2 P64.

- 윤정수, 1985. 제주도 연안의 해변 퇴적물에 관한 연구. 광산지질학회지 제18권 pp55-63.
- 윤정수, 손인석, 1991. 제주도 3대 하천대의 지질구조와 지형발달 .  
제주대 해양연구보고 15권
- 윤정수, 1992. 제주도 주변지역 대륙붕 퇴적물의 광물학적 및 지화학적 연구.  
고려대 박사학위 논문
- 윤형대, 1986. 한국 울릉도 알카리 마그마의 지구화학적 특성과 기원에 관한 연구.  
서울대 대학원 박사학위논문
- 이기화, 김형수, 1993. 제주도의 심부전기탐사. 지질학회지 제29권 1호 PP3-20.
- 이동영, 1989. 한반도에서 제4기 동안의 지구환경 변화. 한국자원연구소 연구보고1.
- 이동영, 임정웅, 임병우, 1994. 자연 감마선 검중에 의한 암층구분 및 지질구조 해석.  
지질학회 학회지 제 30권 제 5호 PP467-474.
- 이문원, 손인석, 1984. 제주화산도의 용기지형과 구조운동에 관한 연구. 제주대논문집  
제 17 집 P.221-228.
- 이문원, 1984. 제주도 화산암류에 함유된 MAFIC포획암연구. 지질학회지 제 20권 2호.
- 이문원, 원종관, 이동영, 박계현, 김문섭, 1994. 제주도 남사면 화산암류의 화산층서 및  
암석학적 연구 지질학회지 30권 6호 PP521-541.
- 이민성, 전용원, 1985. 한반도 남부의 제 4기 화산암류와 이들의 Tectonic한 환경.  
지질학회지 21권 p260-289.
- 이병조, 1987. 제주도 표선리 Alkali 현무암에 대한 고지자기학적 연구. 전북대 대학원  
석사논문
- 이상규 외 27인, 1995. 제주도 지열자원 탐사 및 최적활용 방안연구(I). 자원연구소.  
상공자원부 931k101-113 API. 234P.
- 이상규 외 27인, 1995. 제주도 지열자원 탐사 및 최적활용방안(II).  
통상산업부 941K101-113API.376P.자원연구소.

- 이상만, 1966. 제주도의 화산암류 . 한국지질학회지 제 2권.
- 이상만, 김상욱, 진명식, 1987. 남한의 백악기~제 3기 화산활동과 구조적 의의.  
한국지질학회지 제 23권 4호 PP338-359.
- 제주도 지질도 (1/10만), 1971. 농어촌 진흥공사
- 최순학, 1985. 제주지역 수리 지질조사 연구. 한국자원연구소 연구보고 85-20.
- 최순학, 1992. 제주도와 OAHU의 지질구조 및 수자원 특성. 대한지질공학회지.  
2권 1호 PP70~83
- 통상산업부, 1996. 제주도 지열자원탐사 및 최적 활용방안연구(Ⅲ) PP23-28
- 한국과학재단, 1996. 제주도 특정연구 1차 중간보고서 P26
- 한상준, 1988. 제주도 신양리층의 연안퇴적물 환경 한국해양학회지 22권 제1호 PP1-8
- 황상구, 황재하, 김동학, M.F. Howells, 1992. 제주도 송악산용회환분석구의 형성과정.  
지질학회지. 제 28권 1호 p110-120.
- 황석연, 1985. 제주도에 분포하는 화산암류 및 퇴적암류에 대한 고지자기 연구.  
연세대 대학원 석사논문
- 홍만섭 외 8명, 1965. 제주도 지하수 탐색지질조사 보고서 건설부

## 사 사

이 연구를 위해 많은 지도를 하여주신 윤정수 지도교수님과 고유봉 교수님, 최영찬 교수님, 방익찬 교수님, 이준백 교수님, 윤석훈 교수님께 무한한 감사를 드립니다.

논문을 심사하면서 상세하게 지적하여 내용을 수정·보완하여 주신 강원대학 이문원 교수님, 경상대학 손영관 교수님께도 감사를 드립니다. 야외조사시의 조언과 자료 정리에 도움을 주신 한국자원연구소 이동영 박사님, 진명식 박사님의 고마움도 늘 간직하겠습니다.

이 논문을 위해 현지 시료채취시 편의와 자료정리에 도움을 주신 농어촌진흥공사 제주지사 관계자와 암석시료 분석을 위해 준비과정에서 도움을 주신 공주대학 최석원 교수님, 분석을 담당하여 주신 캐나다의 「ACTLABS」 DR. E. L. HOFFMAN, 분석결과에 대한 컴퓨터 자료정리에 도움을 주신 강원대학 길영우 석사에게도 고마움을 전합니다.

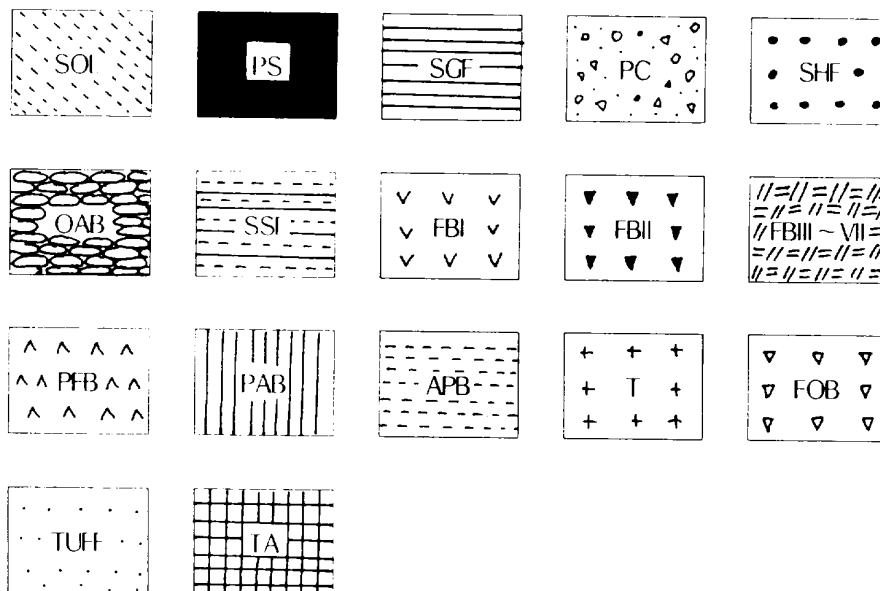
끝으로 오늘까지 고된 생활속에서도 모든 희생을 감수하고 인내로서 이 논문을 위해 같이 고생하신 우리가족 모두에게 이 논문을 드립니다.

---

# Appendicies

- 부록에 수록되어 있는 자료들은 논문의 내용에 인용한 것도 있고, 인용하지 않은 것도 있음.

## LEGEND



SOL : Soil  
 PS : Paleosol  
 SGF : Seogwipo Formation  
 PC : Pyroclastic  
 SHF : Schwari Formation  
 OAB : Olivine Augite Basalt  
 SSF : Seongsan Formation  
 FB : Feldspar Basalt  
 PFB : Porphyritic Feldspar Basalt  
 PAB : Porphyritic Augite Basalt  
 APB : Aphanitic Basalt  
 T : Trachyte  
 FOB : Feldspar Olivine Basalt  
 Tuff : Tuff  
 TA : Trachyte - Andesite

Table 1. Bore hole data in the northwestern area.

| Area | Boring site | Bore hole No. | Altitude (m) | Boring depth | Area | Boring site | Bore hole No. | Altitude (m) | Boring depth |
|------|-------------|---------------|--------------|--------------|------|-------------|---------------|--------------|--------------|
|      |             |               |              |              |      |             |               |              |              |
| N    | Yongsu      | D-123         | 20           | 100          | N    | Kwangryeong | D-218         | 185          | 201          |
|      | Yongsu      | D-115         | 15           | 101          |      | Kwangryeong | A             | 335          | 523          |
|      | Phanpo      | D-221         | 45           | 153          |      | Hean        | D-248         | 196          | 220          |
|      | Sangdea     | 88-W          | 109          | 130          |      | Nohyeong    | D-214         | 104          | 129          |
|      | Phanpo      | F-72          | 35           | 90           |      | Tonggwi     | W-14          | 34.42        | 58           |
|      | Chosu       | D-52          | 70           | 125          |      | Sogil       | D-231         | 198          | 220          |
|      | Kumak       | D-280         | 312          | 320          |      | Panpo       | F-72          | 35           | 90           |
|      | Kumak       | B-94          | 225          | 255.2        |      | Panpo       | D-221         | 45           | 153          |
|      | Longmyeong  | W-1           | 27.6         | 60           |      | Sangga      | 31            | 132          | 170          |
|      | Sangdea     | F-28          | 109          | 130          |      | Wolryeong   | 25            | 75           | 93           |
| W    | Kwideok     | D-26          | 60.81        | 101          | W    | Pongseong   | 28            | 150          | 115          |
|      | Kwakji      | 29            | 50           | 90           |      | Eawol       | L-1           | 20           | 103          |
|      | Joem        | B-95          | 220          | 223.7        |      | Keumdeok    | 32            | 162          | 166          |
|      | Sangga      | D-18          | 92.67        | 117          |      | Kwngryeong  | 33            | 145          | 110          |
|      | Sangga      | 31            | 132          | 170          |      | Iho         | M-m           | 20           | 58           |
|      | Keucom      | F-9           | 40           | 108          |      | Eoum        | Eo-1          | 160          | 178          |
|      | Hagwi       | F-56          | 72           | 121          |      | Eoum        | Eo-2          | 300          | 294          |
|      | Sanggwi     | D-136         | 90           | 130          |      |             |               |              |              |
|      |             |               |              |              |      |             |               |              |              |
|      |             |               |              |              |      |             |               |              |              |

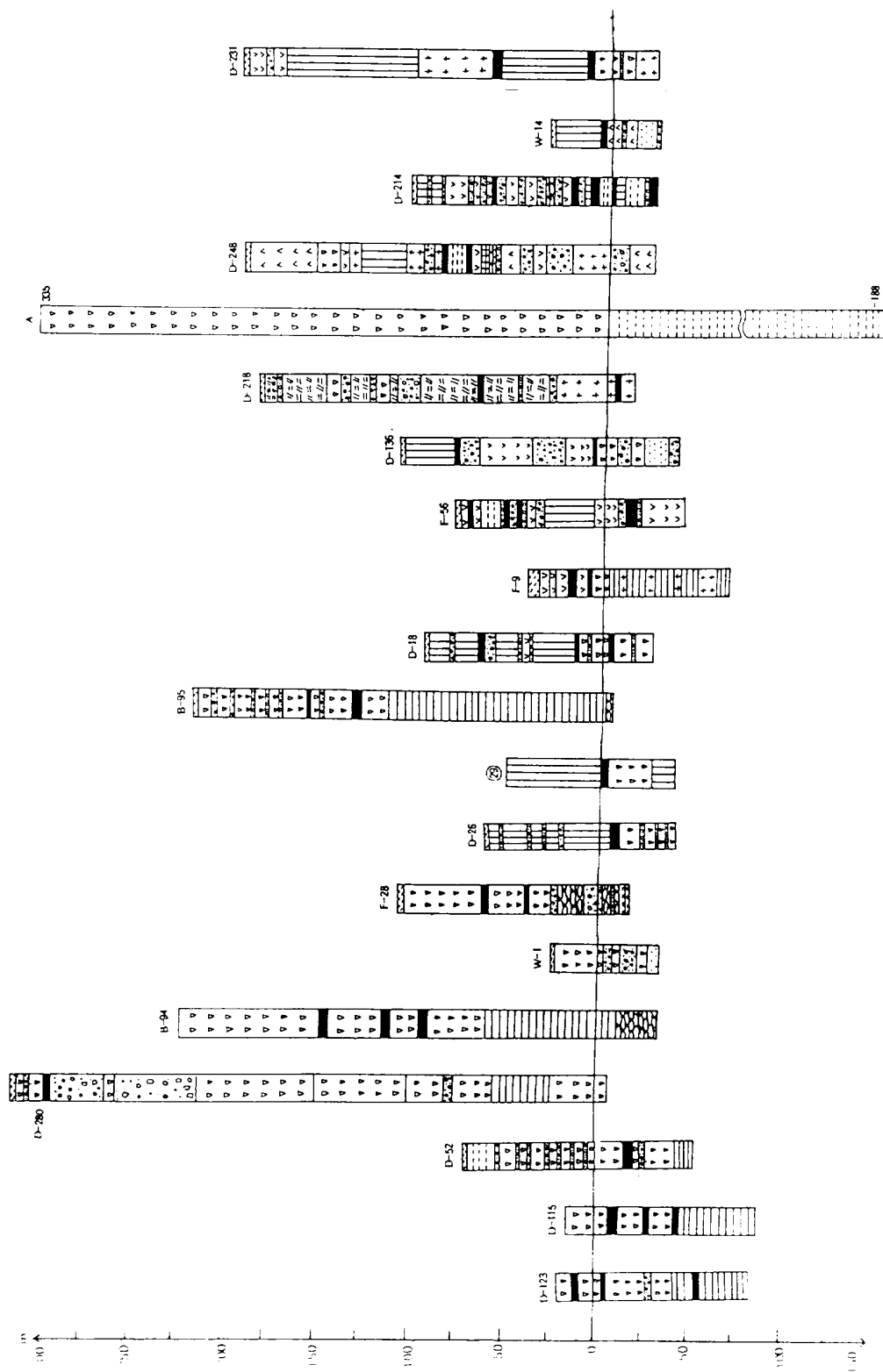


Fig. 1. Columnar sections of cores drilled in the northwestern part of Cheju Island.

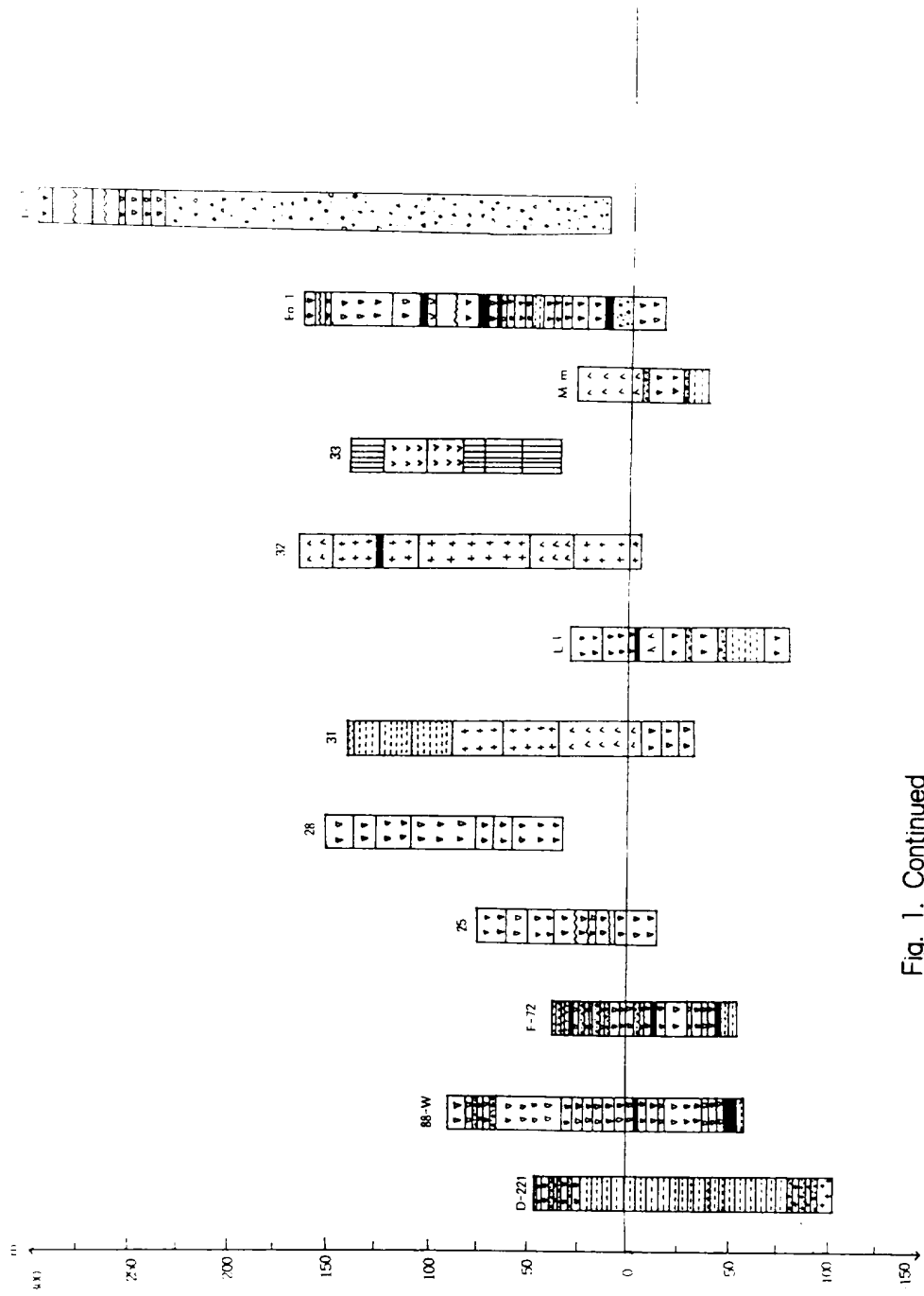


Fig. 1. Continued

Table 2. Bore hole data in the northeastern area.

| A<br>r<br>e<br>a | Boring site | Bore<br>hole<br>No. | Altitude<br>(m) | Boring<br>depth | A<br>r<br>e<br>a | Boring site | Bore<br>hole<br>No. | Altitude<br>(m) | Boring<br>depth |
|------------------|-------------|---------------------|-----------------|-----------------|------------------|-------------|---------------------|-----------------|-----------------|
|                  |             |                     |                 |                 |                  |             |                     |                 |                 |
| N                | Yeondong    | D-150               | 150             | 144             | N                | Teokcheon   | B-96                | 130             | 158.5           |
|                  | Yeondong    | D-166               | 120             | 156             |                  | Teokcheon   | ROS                 | 120             | 1500            |
|                  | Yeondong    | K                   | 130             | 700             |                  | Teokcheon   | B-77                | 230             | 243.2           |
|                  | Ora         | D-261               | 202             | 240             |                  | Songdang    | D-50                | 200             | 180             |
|                  | Yeondong    | D-238               | 192             | 220             |                  | Songdang    | C-6                 | 210             | 903             |
|                  | Ora         | D-91                | 80              | 112             |                  | Teokcheon   | D-265               | 240             | 270             |
|                  | Odungdong   | D-272               | 260             | 265             |                  | Pyeongdean  | 10                  | 132             | 150             |
|                  | Odungdong   | D-133               | 140             | 150             |                  | Songdang    | C-4                 | 210             | 960             |
|                  | Ora         | D-216               | 202             | 240             |                  | Songdang    | C-3                 | 211             | 904             |
|                  | Yeongpyeong | D-204               | 230             | 230             |                  | Songdang    | C-5                 | 214             | 850             |
| E                | Ponggea     | C                   | 300             | 170             | E                | Songdang    | C-1                 | 178             | 680             |
|                  | Ponggea     | D-127               | 140             | 180             |                  | Sehwa       | C                   | 180             | 680             |
|                  | Myeongdoam  | 4                   | 250             | 226             |                  | Chongdal    | D                   | 21              | 700             |
|                  | Hwecheon    | 5                   | 225             | 230             |                  | Chongdal    | E                   | 15              | 603             |
|                  | Shinchon    | B                   | 39              | 125             |                  | Chongdal    | D-200               | 52              | 72              |
|                  | Shinchon    | D-78                | 35              | 62              |                  | Udo         | B-130               | 37              | 38.5            |
|                  | Waheul      | F-71                | 215             | 250             |                  | Udo         | D-131               | 30              | 32              |
|                  | Wasan       | D-232               | 195             | 220             |                  | Udo         | B-129               | 10              | 65              |
|                  | Seonheul    | 8                   | 90              | 117             |                  | Songdang    | F                   | 150             | 690             |
|                  | Odeungdong  | 1                   | 275             | 200             |                  | Sangdo      | 11                  | 55              | 101             |
|                  | Idodearim   | 2                   | 30              | 130             |                  | Sangdo      | A a                 | 80              | 128             |
|                  | Ponggea     | 3                   | 120             | 180             |                  | Wahul       | Wa-1                | 265             | 332             |
|                  | Samyang     | D d                 | 30              | 75              |                  | Kyorea      | Kyo-1               | 430             | 210             |
|                  | Sinchon     | 6                   | 50              | 80              |                  | Deacheon    | Dea-1               | 305             | 300             |
|                  | Seonhul     | 7                   | 70              | 110             |                  | Sangdo      | Sang-1              | 130             | 130             |
|                  | Hadeokcheon | 9                   | 105             | 109             |                  | Sangdo      | Sang-2              | 80              | 100             |
|                  | Heangwon    | B b                 | 80              | 110             |                  | Wasan       | Was-1               | 310             | 309             |

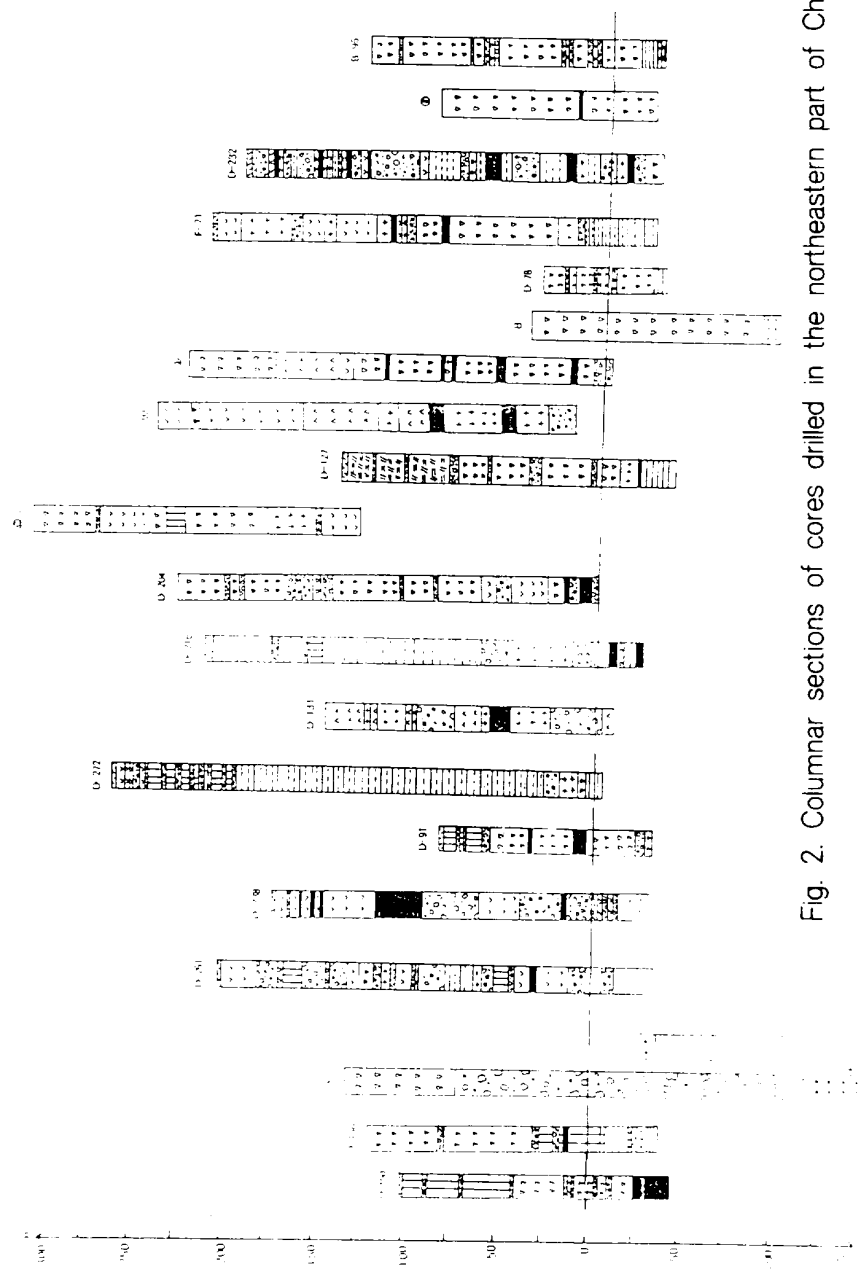


Fig. 2. Columnar sections of cores drilled in the northeastern part of Cheju Island.





Fig. 2. Continued

Table 3. Bore hole data in the southwestern area.

| A<br>r<br>e<br>a | Boring site | Bore<br>hole<br>No. | Altitude<br>(m) | Boring<br>depth | A<br>r<br>e<br>a | Boring site | Bore<br>hole<br>No. | Altitude<br>(m) | Boring<br>depth |
|------------------|-------------|---------------------|-----------------|-----------------|------------------|-------------|---------------------|-----------------|-----------------|
| S                | Kosan       | D-93                | 18              | 87              | S                | Sangchang   | D-39                | 140             | 150             |
|                  | Kosan       | D-120               | 10              | 80              |                  | Sangchang   | D-49                | 140             | 135             |
|                  | Shindo      | D-56                | 300             | 100             |                  | Sangchang   | D-165               | 190             | 207             |
|                  | Shindo      | D-103               | 35              | 122             |                  | Yerye       | D-169               | 80              | 170             |
|                  | Meureung    | D-17                | 34.76           | 114             |                  | Seakdal     | D-205               | 150             | 160             |
|                  | Meureung    | D-209               | 39              | 103             |                  | Chungmun    | D-111               | 100             | 220             |
|                  | Yeongrak    | D-55                | 15              | 63              |                  | Chungmun    | B-17                | 140             | 61              |
|                  | Sanyang     | F-55                | 98              | 196             |                  | Hwesu       | B-52                | 130             | 101             |
|                  | Cheongsu    | 24                  | 116             | 179             |                  | Chungmun    | J                   | 75              | 880             |
|                  | Poseong     | D-210               | 60              | 101             |                  | Chungmun    | D-168               | 110             | 130             |
|                  | Sagye       | 87-W                | 20              | 88              |                  | Hawon       | D-87                | 50              | 120             |
|                  | Jeoksu      | F-76                | 145             | 200             |                  | Keorin      | H                   | 550             | 263             |
|                  | Seogwang    | F-77                | 150             | 180             |                  | Peobhwan    | B-12                | 75              | 56.5            |
|                  | Seogwang    | 22                  | 162             | 174             |                  | Kangjeong   | D-178               | 50              | 90              |
| W                | Kamsan      | B-63                | 130             | 203             | W                | Yongheung   | D-118               | 160             | 220             |
|                  | Kamsan      | F-64                | 132             | 137             |                  | Kimok       | B-102               | 290             | 173             |
|                  | Hwasun      | D-139               | 80              | 90              |                  | Hogeun      | D-116               | 50              | 82              |
|                  | Kamsan      | B-65                | 130             | 203             |                  | Hogeun      | D-101               | 155             | 191             |
|                  | Hwasun      | 19                  | 122             | 130             |                  | Seohong     | D-215               | 180             | 196             |
|                  | Changcheon  | D-25                | 173             | 90              |                  | Seohong     | D-85                | 275             | 108             |
|                  | Sangchang   | B-7                 | 200             | 65              |                  | Seohong     | D-108               | 90              | 100             |
|                  | Nongnambong | J                   | 20              | 109             |                  | Donggwang   | 20                  | 150             | 160             |
|                  | Sagye       | 21                  | 40              | 90              |                  | Kamsan      | I i                 | 160             | 185             |
|                  | Sangmo      | K k                 | 8               | 60              |                  | Donggwang   | 18                  | 210             | 200             |

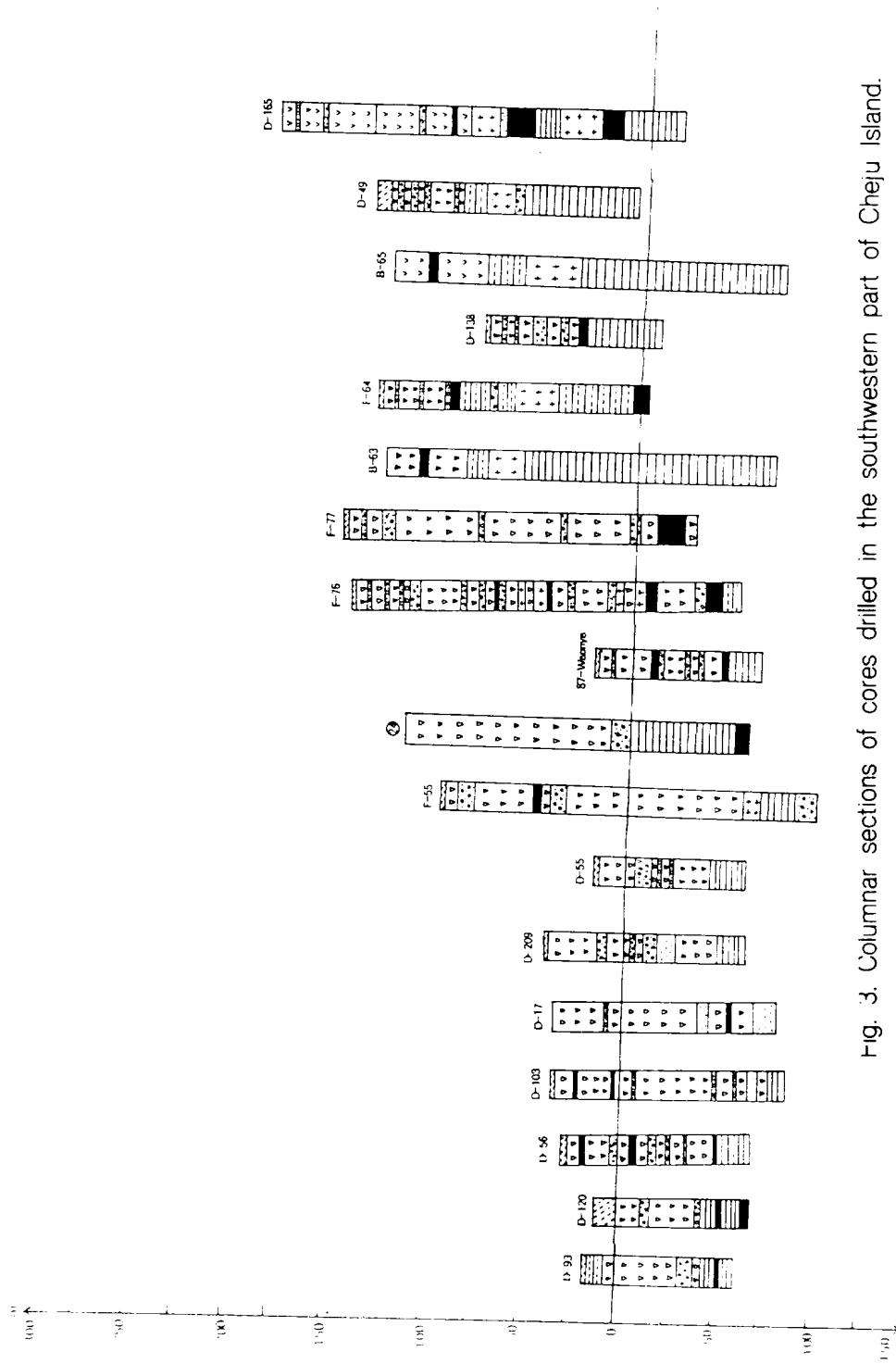


Fig. 3. Columnar sections of cores drilled in the southwestern part of Cheju Island.

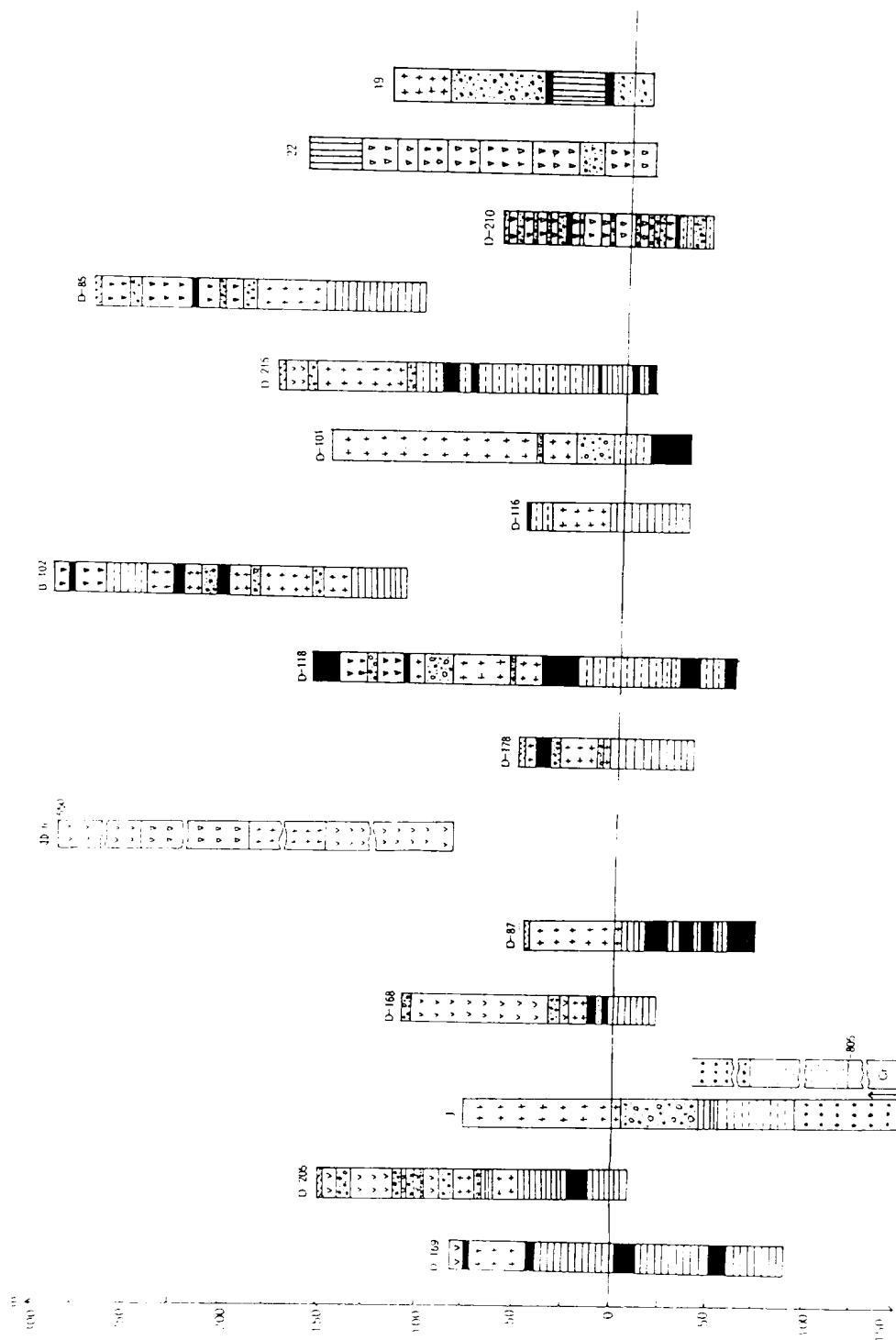


Fig. 3. Continued

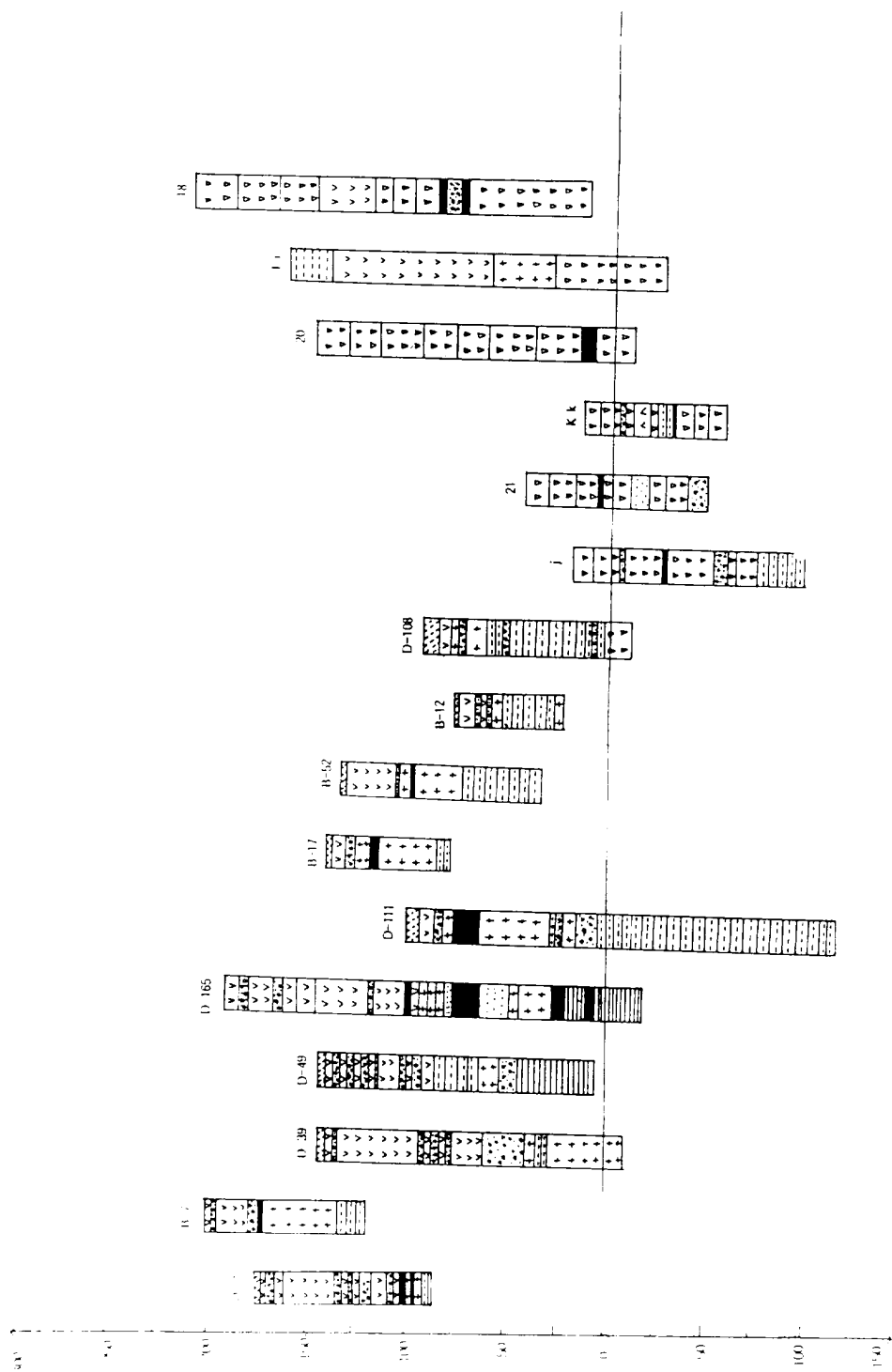


Fig. 3. Continued





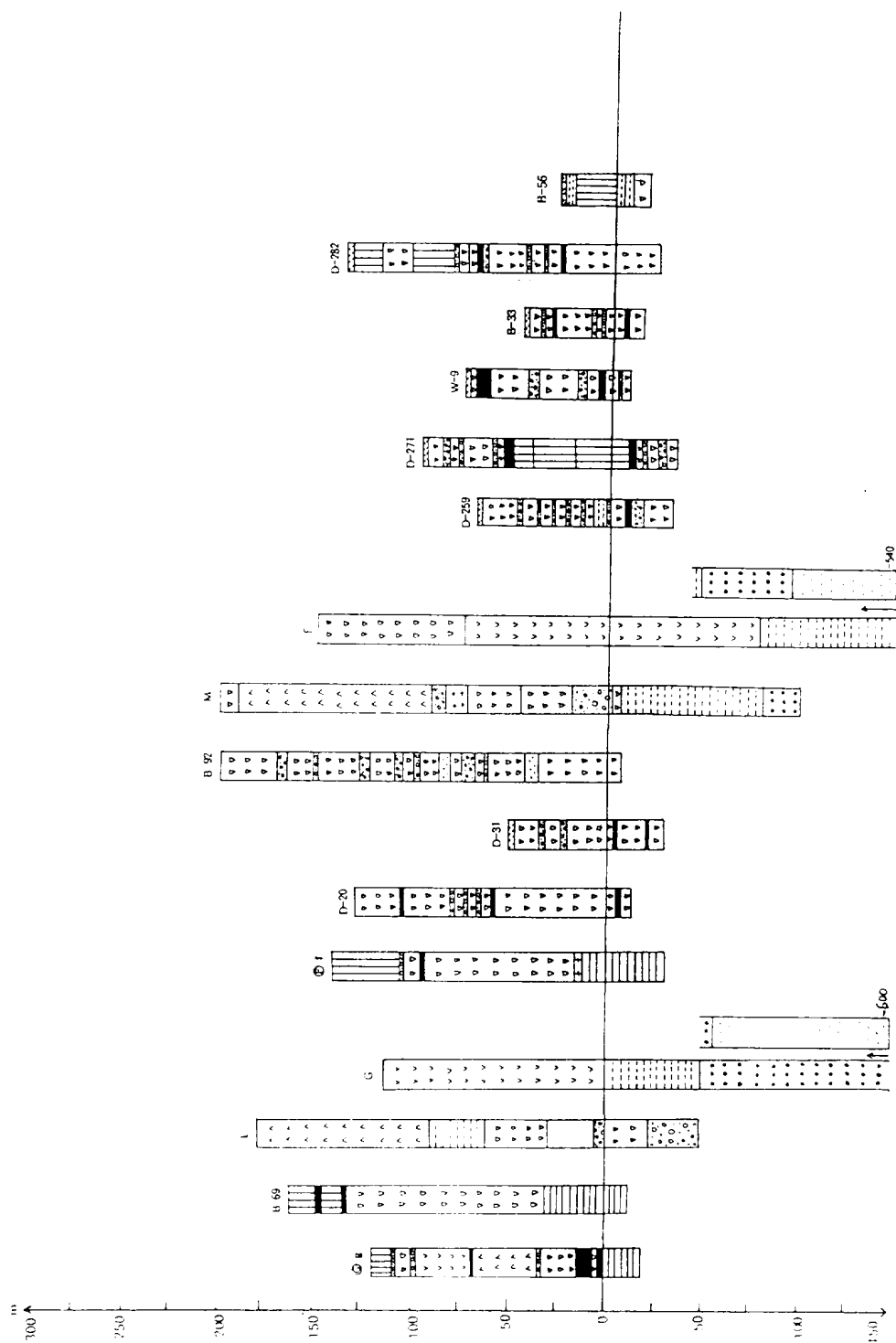


Fig. 4. Continued

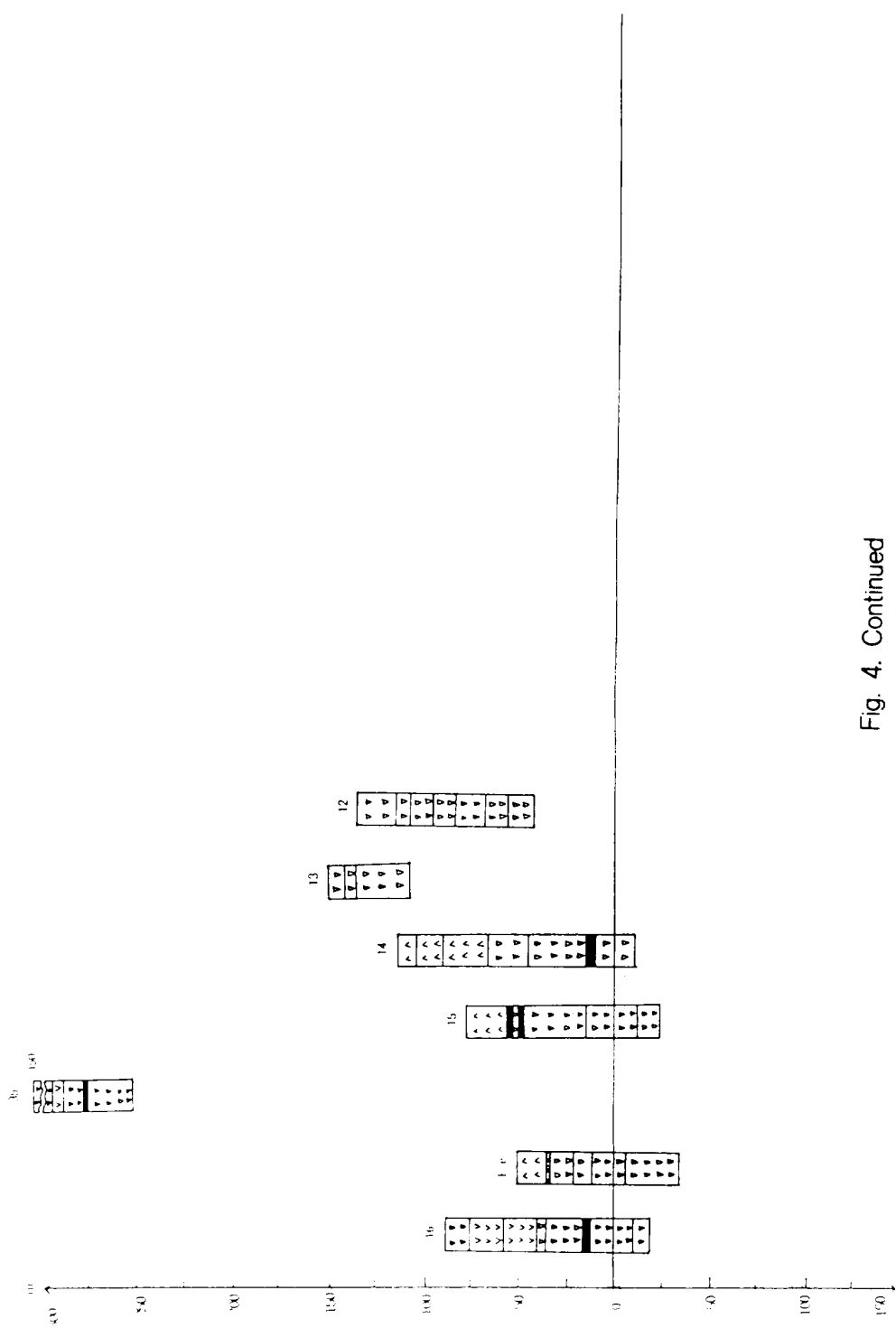


Fig. 4. Continued