

박사학위논문

# 제주해역의 해조류와 저서무척추동물 생태적 분포

2012년 8월

순천향대학교 대학원

생물학과

임 치 영

# 제주해역의 해조류와 저서무척추동물 생태적 분포

Ecological distribution of benthic algae and  
invertebrates on the coastal zones of Jeju island

지도교수 : 신 현 응

이 논문을 이학 박사학위 논문으로 제출함.

2012년 6월

순천향대학교 대학원

생물학과

임 치 영

## 임치영의 이학박사 학위논문을 인준함

2012년 6월

위원장 : 마 채 우 인

위 원 : 한 만 덕 인

위 원 : 조 성 환 인

위 원 : 조 지 영 인

위 원 : 신 현 응 인

순천향대학교 대학원

# 목 차

|                               |        |
|-------------------------------|--------|
| 목차 .....                      | i      |
| List of tables .....          | vi     |
| List of figures .....         | viii   |
| 국문 요약 .....                   | xi     |
| <br>제1장 총괄 서론 .....           | <br>1  |
| <br>제2장 조사지역의 특성 .....        | <br>4  |
| <br>제1절 조사 해역의 특성 .....       | <br>4  |
| <br>제2절 제주연안 물리화학적 환경요인 ..... | <br>01 |
| 1. 제주해역 물리화학적 환경요인 .....      | 01     |
| 가. 제주해역 해양환경 특성 .....         | 0      |
| (1) 수 온 .....                 | 0      |
| (2) 염 분 .....                 | 0      |
| 나. 제주해역 정점별 환경요인 .....        | 1      |
| (1) 수 온 .....                 | 1      |
| (2) 염 분 .....                 | 1      |
| (3) COD .....                 | 2      |

|                 |    |
|-----------------|----|
| (4) DIN .....   | 2  |
| (5) DIP .....   | 2  |
| (6) Chl-a ..... | 31 |

## 제3장 제주해역 해조류의 분포 및 생태 연구 ..... 81

### 제1절 서론 ..... 18

### 제2절 재료 및 방법 ..... 20

1. 표본채집 ..... 20
2. 해조류 군집분석 ..... 2
3. 통계분석 ..... 22

### 제3절 결과 ..... 25

#### 1. 제주해역 해조류 분포 ..... 28

##### 가. 제주해역 해조류 종 조성 ..... 28

- (1) 해역별 해조류 종 조성 ..... 28
- (2) 정점별 해조류 종 조성 ..... 28
- (3) 정점 수심별 해조류 종 조성 ..... 28

##### 나. 제주해역 해조류 생물량 ..... 28

- (1) 해역별 해조류 생물량 ..... 28
- (2) 정점별 해조류 생물량 ..... 28
- (3) 정점 수심별 해조류 생물량 ..... 28

#### 2. 제주해역 해조류 생태학적 군집분석 ..... 44

##### 가. 제주해역 해조상 ..... 44

|                                   |    |
|-----------------------------------|----|
| 나. 제주해역 해조류 출현양상을 이용한 생태학적 제지수    | 84 |
| 다. 제주해역 해조류 출현양상을 이용한 유사도 분석      | 05 |
| 3. 제주해역 유용해조류 분포                  | 25 |
| 제4절 고찰                            | 60 |
| 제4장 제주해역 저서무척추동물의 분포 및 생태 연구      | 62 |
| 제1절 서론                            | 62 |
| 제2절 재료 및 방법                       | 6  |
| 1. 표본채집                           | 63 |
| 2. 저서무척추동물 군집분석                   | 55 |
| 3. 제주해역 저서무척추동물 K-dominance curve | 56 |
| 4. 통계분석                           | 67 |
| 제3절 결과                            | 68 |
| 1. 제주해역 저서무척추동물의 분포               | 86 |
| 가. 제주해역 저서무척추동물 종 조성              | 86 |
| (1). 해역별 저서무척추동물 종 조성             | 8  |
| (2). 정점별 저서무척추동물 종 조성             | 8  |
| (3). 정점 수심별 저서무척추동물 종 조성          | 9  |
| 나. 제주해역 저서무척추동물 출현밀도              | 77 |

|                                             |     |
|---------------------------------------------|-----|
| (1) 해역별 저서무척추동물 출현밀도 .....                  | 7   |
| (2) 정점별 저서무척추동물 출현밀도 .....                  | 7   |
| (3) 정점 수심별 저서무척추동물 출현밀도 .....               | 8   |
| 다. 제주해역 저서무척추동물 생물량 .....                   | 78  |
| (1) 해역별 저서무척추동물 생물량 .....                   | 8   |
| (2) 정점별 저서무척추동물 생물량 .....                   | 8   |
| (3) 정점 수심별 저서무척추동물 생물량 .....                | 8   |
| 2. 제주해역 저서무척추동물 생태학적 군집분석 .....             | 79  |
| 가. 제주해역 저서무척추동물 출현양상을 이용한 생태학적 제지수<br>..... | 97  |
| 나. 제주해역 저서무척추동물 출현양상을 이용한 유사도 분석<br>.....   | 99  |
| 3. 제주해역 저서무척추동물 K-dominance curve .....     | 11  |
| 4. 제주해역 유용 저서무척추동물 분포 .....                 | 11  |
| <br>제4절 고찰 .....                            | 111 |
| <br>제5장 종합 고찰 및 결론 .....                    | 117 |
| <br>제6장 참고문헌 .....                          | 119 |
| <br>제7장 Abstracts .....                     | 129 |
| <br>제8장 부록 .....                            | 132 |

|                 |     |
|-----------------|-----|
| 제9장 감사의 글 ..... | 150 |
|-----------------|-----|

## List of table

|                                                                                                                               |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Table 1. Ratio of fishery area, rocky zone and sandy zone of sampling sites on the coastal zones of Jeju island .....         | 9   |
| Table 2. Equations for species diversity, maximum $H'$ and evenness index $J'$ .....                                          | 24  |
| Table 3. List of dominance species of benthic algae by Le Bris index method in sampling sites .....                           | 9   |
| Table 4. C/P, R/P and (R+C)/P index of sampling sites .....                                                                   | 4   |
| Table 5. C/P, R/P and (R+C)/P index of each depth at sampling sites .....                                                     | 4   |
| Table 6. Species richness, species evenness and species diversity of benthic algae in sampling sites at different depth ..... | 9   |
| Table 7. List of dominance species of benthic algae by Le Bris index method in sampling sites .....                           | 3   |
| Table 8. List of useful benthic algae in sampling sites on the coastal zones of Jeju island .....                             | 2   |
| Table 9. Species richness, species evenness and species diversity of benthic invertebrates in sampling sites and depths ..... | 89  |
| Table 10. List of useful benthic invertebrates in sampling sites on the coastal zone of Jeju island .....                     | 104 |
| Table 11. Spearman rank correlation between physical factors and benthic algae .....                                          | 114 |

|                                                                                              |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Table 12. Spearman rank correlation between physical factors and benthic invertebrates ..... | 115 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

|                                                                                   |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Table 13. Spearman rank correlation between benthic algae and invertebrates ..... | 116 |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----|

## List of figures

|                                                                                                                                     |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Fig. 1. Annual variation of water temperature on the coastal zone of Jeju island from 1997 to 2010 .....                            | 41  |
| Fig. 2. Annual variation of salinity on the coastal zone of Jeju island from 1997 to 2010 .....                                     | 51  |
| Fig. 3. Comparison of water temperature, salinity and COD of sampling sites on the coastal zones of Jeju island .....               | 61  |
| Fig. 4. Comparison of DIN, DIP and Chl-a of sampling sites on the coastal zones of Jeju island .....                                | 71  |
| Fig. 5. Sampling sites of benthic algae on the coastal zones of Jeju island from 2008 to 2010 .....                                 | 82  |
| Fig. 6. Comparison of number of species of benthic algae in each region on the coastal zones of Jeju island .....                   | 82  |
| Fig. 7. Comparison of number of species of benthic algae in sampling sites on the coastal zones of Jeju island .....                | 92  |
| Fig. 8. Comparison of number of species of benthic algae at 5 m depth in sampling sites on the coastal zones of Jeju island .....   | 103 |
| Fig. 9. Comparison of number of species of benthic algae at 10 m depth in sampling sites on the coastal zones of Jeju island .....  | 113 |
| Fig. 10. Comparison of number of species of benthic algae at 15 m depth in sampling sites on the coastal zones of Jeju island ..... | 123 |

|                                                                                                                                                                                         |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Fig. 11. Comparison of number of species of benthic algae at each depths in sampling sites on the coastal zones of Jeju island .....                                                    | 33  |
| Fig. 12. Comparison of biomass of benthic algae in each region on the coastal zones of Jeju island .....                                                                                | 3   |
| Fig. 13. Comparison of biomass of benthic algae in sampling sites on the coastal zones of Jeju island .....                                                                             | 3   |
| Fig. 14. Comparison of biomass of benthic algae at 5 m depth in sampling sites on the coastal zones of Jeju island .....                                                                | 04  |
| Fig. 15. Comparison of biomass of benthic algae at 10 m depth in sampling sites on the coastal zones of Jeju island .....                                                               | 14  |
| Fig. 16. Comparison of biomass of benthic algae at 15 m depth in sampling sites on the coastal zones of Jeju island .....                                                               | 24  |
| Fig. 17. Comparison of biomass of benthic algae at each depths in sampling sites on the coastal zones of Jeju island .....                                                              | 34  |
| Fig. 18. Dendrogram of similarity index at each sampling sites on the coastal zones of Jeju island .....                                                                                | 3   |
| Fig. 19. Distribution of useful algae in sampling sites on the coastal zones of Jeju island .....                                                                                       | 54  |
| Fig. 20. Distribution of <i>Codium contractum</i> , <i>C. fragile</i> , <i>Enteromorpha linza</i> and <i>Ulva pertusa</i> in sampling sites on the coastal zones of Jeju island .....   | 5 5 |
| Fig. 21. Distribution of <i>Dictyota dichotoma</i> , <i>Ecklonia cava</i> , <i>E. kurome</i> and <i>Sargassum fulvellum</i> in sampling sites on the coastal zones of Jeju island ..... | 56  |

- Fig. 22. Distribution of *Sargassum fusiform*, *S. horneri*, *S.serratifolium* and *Undaria pinnatifida* in sampling sites on the coastal zones of Jeju island ..... 57
- Fig. 23. Distribution of *Ahnfeltiopsis flabelliformis*, *Gelidium amansii*, *G. elegans* and *Grateloupia elliptica* in sampling sites on the coastal zones of Jeju island ..... 58
- Fig. 24. Distribution of *Lomentaria catenata* in sampling sites on the coastal zones of Jeju island ..... 59
- Fig. 25. Sampling sites of benthic invertebrates on the coastal zones of Jeju island from 2008 to 2010 ..... 46
- Fig. 26. Hypothetical K-dominance curves for species biomass and number, showing unpolluted, moderately polluted and heavily polluted conditions ..... 66
- Fig. 27. Comparison of number of species of benthic invertebrates in each region on the coastal zones of Jeju island ..... 17
- Fig. 28. Comparison of number of species of benthic invertebrates in sampling sites on the coastal zones of Jeju island ..... 27
- Fig. 29. Comparison of number of species of benthic invertebrates at 5 m depth in sampling sites on the coastal zones of Jeju island ..... 37
- Fig. 30. Comparison of number of species of benthic invertebrates at 10 m depth in sampling sites on the coastal zones of Jeju island ..... 47
- Fig. 31. Comparison of number of species of benthic invertebrates at 15 m depth in sampling sites on the coastal zones of Jeju island ..... 57
- Fig. 32. Comparison of number of species of benthic invertebrates at each

|                                                                                                                                    |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| depths in sampling sites on the coastal zones of Jeju island .....                                                                 | 6 7 |
| Fig. 33. Comparison of density of benthic invertebrates in each region on the coastal zones of Jeju island .....                   | 8   |
| Fig. 34. Comparison of density of benthic invertebrates in sampling sites on the coastal zones of Jeju island .....                | 8   |
| Fig. 35. Comparison of density of benthic invertebrates at 5 m depth in sampling sites on the coastal zones of Jeju island .....   | 38  |
| Fig. 36. Comparison of density of benthic invertebrates at 10 m depth in sampling sites on the coastal zones of Jeju island .....  | 48  |
| Fig. 37. Comparison of density of benthic invertebrates at 15 m depth in sampling sites on the coastal zones of Jeju island .....  | 58  |
| Fig. 38. Comparison of density of benthic invertebrates at each depths in sampling sites on the coastal zones of Jeju island ..... | 68  |
| Fig. 39. Comparison of biomass of benthic invertebrates in each region on the coastal zones of Jeju island .....                   | 9   |
| Fig. 40. Comparison of biomass of benthic invertebrates in sampling sites on the coastal zones of Jeju island .....                | 9   |
| Fig. 41. Comparison of biomass of benthic invertebrates at 5 m depth in sampling sites on the coastal zones of Jeju island .....   | 39  |
| Fig. 42. Comparison of biomass of benthic invertebrates at 10 m depth in sampling sites on the coastal zones of Jeju island .....  | 49  |
| Fig. 43. Comparison of biomass of benthic invertebrates at 15 m depth in sampling sites on the coastal zones of Jeju island .....  | 59  |

|                                                                                                                                                                                                              |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Fig. 44. Comparison of biomass of benthic invertebrates at each depths in sampling sites on the coastal zones of Jeju island .....                                                                           | 69  |
| Fig. 45. Dendrogram of similarity index at each sampling sites on the coastal zones of Jeju island .....                                                                                                     | 100 |
| Fig. 46. K-dominance curve results of Gwakji, Aewol, Woljeong and Haengwon on the coastal zones of Jeju island .....                                                                                         | 0   |
| Fig. 47. K-dominance curve results of Sincheon, Hacheon, Daepo and Jungmun on the coastal zones of Jeju island .....                                                                                         | 8   |
| Fig. 48. Distribution of useful benthic invertebrates in sampling sites on the coastal zones of Jeju island .....                                                                                            | 15  |
| Fig. 49. Distribution of <i>Anthocardis crassispina</i> , <i>Astrarium haematragum</i> , <i>Batillus cornutus</i> and <i>Omphalius pfeifferi</i> in sampling sites on the coastal zones of Jeju island ..... | 16  |
| Fig. 50. Distribution of <i>Reishia brooni</i> , <i>Ceratostoma fournieri</i> , <i>Tristichotrochus unicus</i> and <i>Thais luteostoma</i> in sampling sites on the coastal zones of Jeju island .....       | 107 |
| Fig. 51. Distribution of <i>Chlamys farreri</i> , <i>Omphalius rusticus</i> , <i>Thais brooni</i> and <i>Trochus sacellum rota</i> in sampling sites on the coastal zones of Jeju island .....               | 108 |
| Fig. 52. Distribution of <i>Polia subrubiginosus</i> , <i>Trochus sacellus rota</i> , <i>Calliostoma unicum</i> and <i>Chlorostoma tubinatum</i> in sampling sites on the coastal zones of Jeju island ..... | 19  |
| Fig. 53. Distribution of <i>Stronglocentrotus intermedius</i> and <i>Styela clava</i> in sampling sites on the coastal zones of Jeju island .....                                                            | 11  |

## 국문 요약

제주도는 해안에 다양한 기질이 존재하고 해양학적으로 제주 남쪽해역에서 북상하는 대마난류, 제주 북쪽의 남해안 연안수 및 중국대륙연안수 등 여러 수괴의 영향을 동시에 받고 있어 생물다양성이 높은 여건을 갖추고 있으며, 온대와 아열대, 열대 생물이 공존하는 곳으로 동·서·남해 해안과는 다른 종 조성을 가지고 있다. 해조군집은 연안생태계에서 발생하는 환경변화를 쉽게 인지할 수 있는 생물지표자로서의 유용성을 제공하며, 저서동물은 일시적인 환경변화에 쉽게 적응하지 않고 조사 시기에 영향을 받지 않아 연안 환경을 평가하는데 유용하게 이용되고 있다. 환경적 요인 및 지리적 요인으로 인해 연안생태 환경의 변화가 급격히 일어나고 있는 제주도 연안에 대한 저서생물의 주요 종 분포와 군집 양상 파악을 통해 연안 생태계 군집 분포 변화에 대한 규명 및 향후 진행 될 동·서·남해 연안 생태 변화를 예측하고 능동적 대응 방안을 마련의 기초 자료로의 활용을 위해 조사를 실시하였다. 조사방법으로는 제주해역에 서식하는 해조류와 저서무척추동물의 생태학적인 분포를 밝히기 위하여 제주해역의 물리·화학적인 요인을 측정하고, 2008년과 2010년 제주 연안 16개 정점에서 수심별로 방형구를 사용하여 저서생물(해조류, 저서무척추동물)을 채집하였다. 채집된 저서생물에 생태학적 연구를 위하여 출현 종수를 사용한 해조상 분석, 출현양상을 사용한 생태학적 제지수, Le Bris index 우점 종 분석, 정점 간 유사도 분석, K-dominance curve 그리고 기초 환경요인과 생물 간의 상관관계 분석을 수행하였다. 또한 제주해역에 서식하는 유용 해조류와 저서무척추동물의 분포를 파악하기 위해서 출현 종중에 유용 생물을 분류하여 출현 분포를 조사하였다.

제주해역 물리·환경요인 중에 수온은 조사정점의 위치적인 차이에 따라서 19~26℃의 범위에서 상대적으로 동부해역이 서부해역보다 높았다. 염분과 COD는 수온과 동일한 양상으로 해역별 또는 위치적으로 차이가 있는 양상이었으나, 통계학적으로는 유의하지 않았다. DIN와 DIP는 모든 정점에서 국내 수질기준 I, II 등급에 해당하였으며, Chl-a는 용승현상 등 해양물리화학적인 특징으로 서부해역이 동부해역보다 상대적으로 높았다.

해조류의 총 출현 종수는 89종이었으며, 녹조류 12종(13.5%), 갈조류 24종

(27.0%), 홍조류 53종(59.6%)이었다. 수심별 출현 종수는 수심 5 m 71종, 수심 10 m 52종, 수심 15 m 56종이 출현하였으며, 해역별 출현 종수는 북서부해역 28종, 북동부해역 30종, 남동부해역 24종, 남서부해역 20종이 관찰되었다. 정점별 C/P ratio는 0.14에서 7까지 평균 1.92의 값을 나타내었고, 생태학적 제지수 분석 결과, 북서부해역에 위치한 애월과 이호에서 종 풍부도(d)와 종 균등도(J')가 타 정점에 비해 높았으며, 종 다양도 지수(H')를 이용하여 평가한 결과 월령(1.78), 괄지(1.47), 중문(1.78)은 군집 안정도는 “불안정”하고 환경상태는 “나쁜”것으로 평가되며, 그 외 13개 정점에서는 2.08~2.95로 군집 안정도는 “불안정”하고 환경상태는 “양호”한 것으로 평가되었다. 제주 해역의 해조류 출현 종 및 생체량 분석 결과 북동부해역이 타 해역에 비해 상대적으로 번무하였으며, 남서부해역은 상대적으로 낮게 나타났다.

저서무척추동물의 총 출현 종수는 199종이었으며, 환형동물문 17종, 절지동물문 37종, 극피동물문 11종, 연체동물문 90종, 기타동물문 44종이었다. 수심별 출현 종수는 수심 5 m 142종, 수심 10 m 112종, 수심 15 m 116종이 출현하였으며, 해역별 출현 종 수는 북서부해역 84종, 북동부해역 125종, 남동부해역 107종, 남서부해역 76종이 관찰되었다. 해역별 우점분류군은 모든 해역에서 연체동물이었으며, 최우점 종은 분홍명게로 단위면적당 110.8 inds./m<sup>2</sup>이었다. 생태학적 제지수 분석 결과, 남동부해역에 위치한 신천에서 종 다양도(H')와 종 균등도(J')가 타 정점에 비해서 높기 때문에 저서무척추동물이 서식하기에는 가장 안정적인 것으로 판단된다.

제주해역 환경요인과 해조류 및 저서무척추동물의 생태적 분포 양상을 비교 분석한 결과, 생태적 분포를 결정 짓는 가장 큰 환경요인은 수온인 것으로 나타났으며, 이에 따라서 해조류 및 저서무척추동물 우점종 분포와 밀도가 결정 되는 것으로 판단되었다.

본 연구는 조사 대상 해역에 대한 물리·화학적인 환경요인 및 일반 현황과 조사 정점 내 주요 저서생물 분포특성 파악, 수심별·지역별 출현 저서생물의 비교분석을 통해 연안 생태계 변화를 규명하여 향후 동·서·남해 연안 저서생물자원 변화 예측 및 이에 따른 어항변동 연구에 대한 기초자료로 제공될 수 있을 것으로 사료된다.

## 제1장 총괄 서론

해양생물의 다양성을 분석하기 위해서는 서식지, 채집 장소 및 방법, 군집 구조 분석 등이 중요하며, 이에 많은 연구와 기준화를 위한 노력이 진행되었다(Gee and Warwick, 1996). 특히 해양생물의 군집구조는 개체 수에 영향을 받으며(Ward and Stanford, 1979), 이와 같은 군집구조는 시 공간적인 차이와 서식지에 다양한 환경적인 영향에 의해 결정된다(Stevenson, 1997). 환경오염, 도시화, 인구성장에 따른 해양환경오염으로 인하여 저서생물에 대한 군집구조가 변화하고 있다고 보고된 바 있다. 더욱이 연안의 생태계 내에서 관광객의 증가는 각종 오락 활동으로 인한 쓰레기를 증가 시켜 저서 퇴적층에 기름, 오수, 악취 등이 침전되는 결과를 가져오는데 이는 박테리아, 곰팡이가 나타나게 할 뿐 아니라 해조류 및 저서무척추동물 등 해양생물 생태계를 파괴한다고 보고되었다(Ruschmann, 1993).

제주도 주변해역은 제주도 남쪽해역에서 북상하는 대만난류수의 영향을 받고 있다.(Rho, 1985) 하지만 제주해협 북쪽에서는 한국남해안 연안수가 영향을 미치고 있고(Choi, 1989) 하계 표층은 중국대륙연안수의 영향을 받고 있다(Kim and Rho, 1994). 동계에 형성된 황해저층 냉수는 저온·저염 으로 계절에 따라 남하하면서 제주도 서방해역에 영향을 미친다(Yoon, 1986). 제주해협의 중·저층에서는 11-13℃ 정도의 저온수가 하계에 출현하고(Rho, 1985), 해협 동쪽입구에서는 제주도 동쪽을 따라 북상하는 대만난류가 있다(Rho and Hirano, 1983). 제주도의 강수량, 기온, 북서계절풍 등과 같은 기상상태나 육수유입, 파랑, 조석상태 등에 의해서도 시·공간적 차가 생길 수 있다. 이러한 현상의 구체적인 예는 성산포 주변 연안역이 우도 수도의 강한 조류에 의해 연직혼합이 잘 이루어지는 것에서 볼 수 있다. 표층, 저층간의 수온차가 매우 적고(Byeon, 1981), 조석혼합 및 용승에 의해 하계 표층냉수가 자주 출현하며(Kim and Lee, 1982), 중국대륙연안수가 제주도 주변해역까지 이동해 와서 제주도 주변해역의 표층염분이 현저히 저하한다(Kim and Rho, 1994). 제주도 연안 천해역의 환경은 이들 수괴 세력변화에 의해 크게 좌우되기도 하지만 지역적 또는 계절적으로 많은 영향을 받는 해양환경 때문인 것으로도 볼 수 있다. 하지만 최근 제주도 해양환경의 가장 큰 변화는 수온상승으로 직접적 혹은 간접적으로 해양생태계에 영향을 주어, 열대성해역으로 변화하고 있

다고 많은 보고와 연구결과가 발표 되었다. 해양생태계의 변화에 있어 수온상승을 표현할 수 있는 연안 해역에 대한 과학적인 조사가 미비하기 때문에 어떤 현상에 대해 아직 언급하기는 어렵지만, 수온상승이 제주도를 포함하는 한반도 연안 해양 생태계에 많은 영향을 미치고 있는 징후가 많이 나타나고 있다(해양수산부, 2006).

제주도 연안은 많은 어류의 산란장, 치어 성육장이 되며 유용수산물들이 풍부하여 많은 회유 성 어종의 회유경로가 되기도 한다. 그러므로 연안역의 수산 자원 조성과 관리는 매우 중요하다고 볼 수 있다. 그러나 지금까지의 연구 경향을 보면 제주도 외해역의 환경 특성 규명에만 연구가 치우쳐 있지 수산자원관리나 수산업 측면에서 제주도의 기후, 해양 공간, 관광 측면에서 매우 중요한 제주도 연안역에 관한 연구는 Rho and Jeong(1976, 1997)의 연구를 비롯한 몇 개의 연구가 전부이다. 강(1966)은 첫 번째로 제주해역의 해조류를 조사하였으며, 해조류 이용하는 사례에 대해서 연구도 수행 되었다. Yang *et al.*(2007)은 제주 차귀도 주변해역의 저서 무척추동물에 대한 출현 및 계절적 변동을 연구하였다. 제주해역 수온 상승에 따른 해양생태계 변화는 Ohno(1993), Serisawa *et al.*(2004) 그리고 국립수산과학원 동해수산연구소(2006)에서 모자반류, 석회조류, 전복, 오분자기 그리고 소라 등 해조류와 유용 어패류의 상관관계를 연구하였다. 또한 국립수산과학원 동해연구소(2006)에서 제주도 부근에서나 볼 수 있었던 자리돔이 남해안은 물론 독도 부근이나 영덕주변에서 쉽게 볼 수 있는 어종이 되었으며, 제주도 연안에서 해조류 군락을 이루던 감태(*Ecklonia cava*)의 경우 동해 왕돌초 및 삼척연안에서 집단 서식군락이 확인되었다고 보고하였다.

해양환경 평가에서 해양 저서성 해조류 군집을 오랜 기간 동안 변화를 관찰하는 가장 적절한 종으로 보는데(Kroncke, 1995) 대부분의 저서성 해조류가 움직이지 않아 양적인 채집이 용이하고(Warwick, 1993) 생장기간이 2~5년으로 비교적 긴 시간 동안 해양환경의 변화를 보고 다양한 분석이 가능하기 때문이다(Underwood, 1996). 저서생물의 군집 구조 변화는 시 공간적 변화에 관련이 있음을 증명하였고, 또한 염분도, pH, sediment, DO 등의 복잡한 영향을 준다고 보고 하였다(Gaston and Nasci, 1988; Gray *et al.*, 1988). 따라서 저서생물의 군집 구조 변화는 인간에 활동에 의한 가장 큰 영향을 받는 것으로 보고되고 있다(Mooraki *et al.*, 2009). 또한 포르투갈의 휴양지 Troia Resor에서는 해양연안에 건축물에 의해 환경오염이 유발 되었으며, 이것을 생물의 군집 구조를 변화시키는 시공간적 환경 변화의 지

표로 보고 하였다(Ferreira and Andrade, 2003; Silva and Ghiardi-Lopes, 2012).

해조류 및 저서무척추동물의 군집에 대한 연구는 연안 군집의 형성 기작을 이해하는데 중요한 단서를 제공해 줄 수 있음에도 불구하고 이제까지 제주도 연안을 대상으로 보고된 바가 없다. 더욱이 섬 주변 해역에서 최근 어족 자원의 보호와 어획량 증대를 위한 인공어초의 투석사업이 빈번하게 이루어지고 있음을 감안할 때, 이와 같은 연구와 여기서 얻어지는 결과는 기초학문으로서의 성과뿐만 아니라 나아가서는 수산업 분야에서도 기초 자료로 활용할 수 있다는 점에서 그 의의를 갖는다. 정부에서 해양 환경을 복원을 위해 인공어초, 바다목장, 바다 숲, 방류사업을 실시하는 이러한 것들 다 과학적인 자료를 바탕으로 진행 하고 있다.

따라서 본 연구는 1) 조사 대상 해역에 대한 물리·화학적인 환경요인 및 일반 현황에 대해 살펴보고, 2) 주요정점 내 주요 해조류 및 저서무척추동물 분포특성 파악, 3) 환경 변화에 따른 수심별 지역별 출현 저서 생물의 비교분석을 통해 연안 생태계 변화를 규명하는데 연구목적이 있다. 또한 향후 동·서·남해 연안 저서 생물자원 변화 및 이에 따른 어획변동 연구에 대한 기초 자료를 제공하는 데 목적이 있다.

## 제2장 조사지역의 특성

### 제1절 조사 해역의 특성

제주 연안은 일부해역을 제외하고 대부분의 연안 해역이 암반으로 구성되어 있는 특징을 갖고 있다. 본 조사에서 나타난 16개 정점의 평균 암반대 면적은 86.8 ha이며 사질대가 48.2 ha로 분포하고 있는 것으로 조사되었다. 암반대가 가장 발달된 해역은 북동부해역의 이호동(100%)으로 어장면적 전체가 암반대로 조사되었다. 또한 남동부해역의 보목동(97.2%)과 남원(98.6%), 북동부해역의 성산리(91.9%), 북서부해역의 월령리(98.3%)는 90% 이상의 암반비율을 나타냈다. 북서부해역의 광지리와 남서부해역의 중문동(29.5%)은 암반비율은 10.7%와 29.5%에 불과하여 다른 해역에 비해 상대적으로 적은 암반면적을 갖고 있는 것으로 보인다(Table 1).

각 해역의 특성을 살펴보면 남동부해역의 신천리, 하천리는 연중 대마난류수의 영향을 받는 해역이다. 이중 신천리의 경우 육상 양식장이 밀집해 있고 갯녹음 현상이 심하게 발생하고 있는 특징을 보이며, 성산리는 갯녹음 진행이 가장 미약한 지역으로 생물상 및 환경여건이 양호한 특징을 가지고 있는 어장이다. 남서부해역의 대포동, 중문동 및 남동부해역의 보목동 및 신흥리(남원읍)는 대마난류나 중국 대륙연안 해류의 영향을 받는 해역(고 등, 1998)으로 다른 조사지역에 비해 수온이 높아 아열대성 생물, 특히 산호류의 분포가 많이 나타나고 있는 어장이다. 북서부해역의 애월리, 광지리, 영락리 및 월령리는 하계 중국대륙연안수(양자강 희석수)의 영향을 받는 해역이지만, 최근 해조류가 급격하게 감소하고 있는 해역이었다. 특히 영락리의 경우 해안선 주변에 다수의 육상양식장이 있어 육상기원 오염이 우려되는 어장이었다. 북동부해역의 행원리, 월정리, 신흥리(조천) 및 북서부해역의 신엄리, 이호동의 경우 동계에는 대마난류수의 영향을 받으나, 하계에는 대마난류수와 황해저층냉수의 혼합수에 의한 영향을 받고 있는 곳이었다. 기존 자료에 의하면 해조류와 함께 산호류 군락이 동시에 발달하고 있는 해역으로 조사된 바가 있는 해역이다.

북서부해역의 광지리는 북위 33°26'433", 동경 126°18'300"에 삼각형 형

태로 애월리와 귀덕리 사이에 자리 잡고 있다. 광지리. 정점은 본 조사에 포함된 16개 정점 중 가장 사질대가 발달해 있는 해역으로 애월쪽의 일부와 광지 해수욕장 남측 끝단의 일부 해역에만 암반대가 분포하고 나머지는 대부분 사질대로 구성되어 있다. 수심은 연안에서 외해 측으로 가면서 15 m 이상으로 점차 깊어지는 경향을 보인다.

애월리 정점은 북위  $33^{\circ}27'450''$ , 동경  $126^{\circ}17'283''$ 에 애월코지를 둘러싸고 있다. 애월리 정점은 북측의 애월항에서 코지를 지난 부분까지는 대부분 암반대로 이루어져 있다. 하지만 남측의 광지리 방향으로서는 사질대로 구성된 단순한 형태의 해저지형이기 때문에 수심 분포가 다른 어장에 비해 비교적 복잡하다. 이는 애월리에 있는 다양한 크기의 암반대 때문인 것으로 보이며 특히 애월리 코지 앞 해역은 외해 측보다 오히려 연안측이 20m 이상의 깊은 수심대를 갖는 것으로 조사되었다. 다른 해역도 수심의 기복이 심하게 나타나는 특징을 갖는다.

한림읍 월령리 정점은 북위  $33^{\circ} 22'54.58''$ , 동경  $126^{\circ} 12'35.77''$ 에 위치한 곳으로 애월읍 판포리와 금릉리를 사이에 두고 돌출 암반을 포함한 형태이다. 그런데 돌출 암반을 포함하고 있어 조사지역 중 가장 작은 어업권을 보유하고 있다. 수심이 매우 낮아 대부분의 지역에 암반대가 발달해 있고 정점의 서쪽, 판포리를 마주보는 지역만 사질로 구성되어 있다.

제주시 이호동 정점은 북위  $33^{\circ}30'12.09''$ , 동경  $26^{\circ}26'51.40''$ 에 위치하고, 제주시 서측 내도동과 도두동 사이에 동서방향으로 해안선을 따라 길게 위치하고 있으며, 최근 연안 매립을 통한 방파제 공사를 완공하여 그 면적이 상당히 축소되어 있다. 이 지역은 조사정점 전체가 10m 이내의 낮은 수심이며 원장천 입구 지역에서만 15 m 이상의 수심이 확인되었다. 또한 저질의 상태는 원장천 입구에서 평탄한 사질 대를 잠수조사에서 발견하였으며 대부분이 암초 및 암반이 혼재해 넓게 분포하고 있는 특징을 가지고 있었다.

애월읍 신엄리 정점은 북위  $33^{\circ} 28'57.03''$ , 동경  $126^{\circ} 21'17.81''$ 에 위치하고 구엄리 및 고내리를 사이에 두고 동서방향으로 해안선을 따라 길게 위치하고 장방형 형태로 되어 있다. 조사정점 내에는 동측에는 암반대(56ha)가 발달해 있으며, 서측에는 사질대(45ha)가 발달되어 있고 해안선안쪽으로 암반이 수심 10~15m 까지로 조금 분포하고 있다. 낮은 암반지대와 자갈이 중앙에서 한 쪽에 분포되어 있고, 사질은 그 맞은편에 분포되어 있어 암반과 사질이 뚜렷하게 구분되는 구역

이었다. 암반이 발달된 지역은 어장 경계까지 수심의 변화가 컸으며, 사질이 발달된 지역은 15m까지는 급격한 수심 변화를 보이고 있으나, 사질을 만나면서 평탄한 지역을 이루고 있었다. 사이드스캔소나로 얻은 자료를 확인해 보면 정점의 저질상태는 사질, 자갈과 사질 혼재, 암반으로 구성되어 있다.

북동부해역의 월정리 정점은 북위  $33^{\circ}33'550''$ , 동경  $126^{\circ}47'783''$ 에 해안선에 북서·남동방향으로 되어 있다. 월정리 정점은 암반대가 매우 발달해 있으며 암반대 사이나 정점의 양 끝단으로 사질대가 분포하고 있다. 특히, 암반대는 수심이 깊은 곳은 평탄한 암반대의 특징을 갖고 있으나, 연안 측으로는 다소 굴곡이 심하거나 협곡형태의 지형적 특성을 보이는 것으로 조사되었다. 수심 분포는 서측 끝단이 가장 깊은 수심 대를 나타내고 있으며, 일부해역에서 암반대의 분포 특성에 따라 수심의 변화가 심하게 나타나지만, 대부분의 해역은 연안에서 외해 측으로 가면서 점차 깊어지는 것으로 조사되었다.

행원리 정점은 북위  $33^{\circ}33'550''$ , 동경  $126^{\circ}50'883''$ 에 동·서 방향으로 길게 해안선에 평행한 모양으로 위치하는 해역이다. 정점의 서측 끝단인 월정리 정점과 접한 해역을 제외하고 대부분이 암반으로 되어 있거나, 암반사이에 크고 작은 사질대가 분포하는 경향을 보인다. 행원리 정점 역시 월정리와 유사하게 완만한 기울기를 갖고 있으나, 부분적으로 협곡의 특징을 나타내는 암반특성을 갖고 있다. 수심은 서측 끝단인 월정리와 접한 해역이 가장 깊고 대부분의 해역은 15m이내의 안정된 수심 분포를 갖고 있는 것으로 조사되었다.

성산읍 성산리 정점은 북위  $33^{\circ}28'01.42''$ , 동경  $126^{\circ}56'28.21''$ 에 위치하고 있는 것으로 성산항 동편 및 성산 일출봉을 북으로 하고 정면에는 우도가 위치하고 있으며, 면적은 74 ha이다. 이 지역은 넓고 평평하게 분포된 암반구역이 외곽 기선을 중심으로 좌우로 넓게 분포되어 있었으며, 성산일출봉에 가까워지면서 굴곡이 심한 암반의 분포가 확인 되었다. 수심의 경우 어장 북쪽은 정점경계에서 20m의 수심 대를 보였으나 성산일출봉에 가까워지면서는 수심이 조사정점 경계에서 최대 10m 정도가 낮은 수심 분포를 보였다. 소규모의 사질 구역을 확인할 수 있었으며 대부분이 암반구역인 것을 알 수 있었다.

조천읍 신흥리 정점은 북위  $33^{\circ}33'14.35''$ , 동경  $126^{\circ}38'43.17''$ 에 위치하고 제주시 동측 조천읍 신천리와 조천리 사이에 동서방향으로 해안선을 따라 북쪽으로 돌출되어 위치하고 있다. 신흥리 정점은 수심의 변화가 매우 큰 지역으로 조사정점 중

심부에서 솟아 오른 듯 낮고(5 m 내외) 해안선 부근 및 외해 측에서 깊은 수심을 보이고 있다. 저질은 대부분이 암반이었으며 그 외에 사질 혹은 니질이 암반 구역 내에서 일부 분포하고 있는 것이 확인 되었다.

남동부해역의 신천리 정점은 북위 33°20'333", 동경 126°52'867"에 위치하고 있다. 정점의 해저지형 및 수심 분포 특성을 보면, 서귀포시 동측 삼달리와 하천리 사이에 남서·북동방향으로 해안선을 따라 길게 위치하고 있다. 신천리 정점의 5 m와 15 m는 암반대가 발달해 있으며, 연안보다는 외측으로 가면서 사질대가 많이 분포하는 경향을 보인다. 특히 조사정점의 중앙부분에 약 10 ha의 사질대가 넓은 면적으로 자리 잡고 있으며, 사질대상에도 크고 작은 암반대가 부분적으로 분포하는 경향을 보이고 수심 분포가 정점의 5 m에서 외측으로 20 m 이상으로 깊게 나타났으며, 15 m인 하천 쪽은 10 m 미만의 낮은 수심을 갖고 있는 것으로 나타났다.

하천리 정점은 북위 33°19'317", 동경 126°51'850"에 위치하고 표선해수욕장 앞의 좌우측으로 장방형 형태를 갖고 있다. 대부분의 해역은 암반대가 발달해 있지만, 암반대의 높이는 높지 않고 외측으로 평탄한 암반대가 발달해 있다. 해저지형은 외측으로 약 16 ha 이상의 사질대가 존재하며, 표선해수욕장 입구 주변에도 비교적 넓은 사질대가 발달해 있는 것으로 나타났다. 수심은 전형적으로 연안에서 외측으로 가면서 15 m 이상으로 점차 깊어지는 전형적인 수심 분포의 특징을 나타내고 있다.

서귀포시 보목동 정점은 북위 33° 13'37.84", 동경 126° 36'17.89"에 위치하고 있으며, 해안선을 따라 동서방향으로 범섬을 포함하고 있는 정방형 형태이다. 정점 내에는 주로 암반으로 구성되어 있으며 일부 범섬의 서쪽과 남쪽 지역에서 사질대로 구성되어 있고 해안선에서 범섬 앞쪽까지 10m 수심으로 정점 전반에 걸쳐 매우 완만하며 암초가 발달된 지형을 이루고 있다. 또한 정점 서쪽의 경우 어장 경계까지 30 m 이상으로 매우 가파른 암반구조를 가지고 있으며 동쪽의 경우 25 m 전후로 완만한 수심변화를 보이고 있었다. 조사정점 내의 전체 저질은 주로 암반으로 구성되어 있으며 그 외에 범섬 북쪽 및 동쪽으로 암초가 산재해 있었으며 일부 조사정점 서쪽 경계에서 사질 구역을 확인할 수 있었다.

남원읍 신흥리 정점은 북위 33°18'06.40", 동경 26°46'46.13"에 위치하고 있으며, 해안선에 남서·북동방향에 위치하고 있다. 이 지역은 넓고 완만한 암반

지형을 이루고 있는 지역으로 정점의 남서쪽 지역은 어장경계까지 10~15 m 수심으로 완만한 경사를 이루고 있는 반면, 북동쪽 지역은 조사정점경계까지 20 m 이상으로 깊은 수심을 가지고 있어 상대적으로 가파른 경사를 보이고 있다. 또한 북동쪽 지역의 5 m 수심 대에는 정치망이 설치되어 있다. 저질의 종류는 암반, 암반과 돌 혼재, 그리고 일부 어장 북동쪽 일부 지역에 니질이 분포되어 있는 것으로 확인 되었다.

남서부해역의 대정읍 영락리 정점은 북위  $33^{\circ} 14'34.18''$ , 동경  $126^{\circ} 11' 54.93''$ 에 위치하고 일파리 및 무룡리를 사이에 두고 북서·남동방향으로 해안선을 따라 길게 위치하고 있다. 영락리 정점은 조사지역 중 가장 넓은 사질대 면적을 가지고 있으며 어장경계지역의 외측, 20 m 수심 층에서 주로 확인되었다. 해안선 부근에서는 주로 암반구조가 수직으로 융기되어 있어 해안선 지역의 수심이 5 m 이상으로 나타났다. 주로 조사정점 북서쪽에서는 수심의 변화가 심해 가파른 경사를 보이는 반면 중앙 및 조사정점 남동쪽에는 수심이 완만하게 증가하는 경향을 보이고 있다. 저질 특성을 살펴보면 타 지역과는 다르게 암반, 자갈, 사질이 모두 확인되고 있으며 정점 안쪽에는 암반 및 자갈의 분포가 발달되어 있었다. 주로 정점의 북동지역에는 자갈과 모래가 혼재하는 경향을 보이고 있으며 정점의 중앙부에 암반, 어장의 남동쪽에는 사질이 넓게 분포하는 특징을 보이고 있다.

대포동 정점은 북위  $33^{\circ}13'217''$ , 동경  $126^{\circ}27'450''$ 에 연안에 평행하고 길게 자리 잡은 형태를 갖고 있다. 해저지형은 암반 대와 사질대가 교대로 나타나며, 정점의 중앙부분에 위치한 넓은 사질대 사이에 위치한 암반 대는 굴곡이 매우 심한 독립여의 형태적 특징을 갖고 있다. 수심은 연안에서 외해로 가면서 급속히 낮아지고 있으며, 굴곡이 심한 독립여가 위치한 곳에서 약 5m 이상의 수심변화가 나타나는 것으로 조사되었다.

중문동 정점은 북위  $33^{\circ}13'217''$ , 동경  $126^{\circ}25'417''$ 에 위치하며 대포동과 유사한 위도에 마름모 형태를 갖고 있다. 중문동 정점은 매우 적어 약 15 m 주변 해역까지 조사가 되었는데, 중문동 포구를 중심으로 서측은 사질대로 동측은 암반대로 이루어져 있으며, 수심이 깊은 해역의 암반 대는 굴곡이 심한 독립여가 많이 분포하는 특징을 보인다. 수심 분포 역시 대포동과 마찬가지로 연안에서 외해 측으로 가면서 급격히 수심이 깊어지는 특징을 나타냈다.

Table 1. Ratio of fishery area, rocky zone and sandy zone of sampling sites on the coastal zones of Jeju island

| Regions      | Sampling sites | Fishery area (ha) | Rocky zone (ha) | Sandy zone (ha) | Rocky zone / Fishery area (%) |
|--------------|----------------|-------------------|-----------------|-----------------|-------------------------------|
| Northwestern | Wolyeong       | 42                | 41.3            | 0.7             | 98.3                          |
|              | Gwakji         | 84.3              | 10.2            | 85.4            | 10.7                          |
|              | Aewol          | 141.1             | 100.6           | 22.9            | 81.5                          |
|              | Sineom         | 101               | 56              | 45              | 55.4                          |
|              | Iho            | 68                | 68              | —               | 100                           |
| Northeastern | Jocheon        | 153               | 149             | 4               | 97.4                          |
|              | Woljeong       | 234.1             | 160.1           | 64.4            | 71.3                          |
|              | Haengwon       | 247.3             | 121.9           | 56.3            | 68.4                          |
|              | Seongsan       | 74                | 68              | 6               | 91.9                          |
| Southeastern | Sincheon       | 98.8              | 57.6            | 40              | 60.3                          |
|              | Hacheon        | 91.2              | 52.3            | 21.2            | 71.2                          |
|              | Namwon         | 74                | 73              | 1               | 98.6                          |
|              | Bomok          | 211               | 205             | 6               | 97.2                          |
| Southwestern | Daepo          | 136.1             | 58.5            | 82.1            | 41.6                          |
|              | Jungmun        | 44                | 95.5            | 228.3           | 29.5                          |
|              | Yeongnak       | 131               | 72              | 59              | 55.0                          |

## 제2절 제주연안 물리화학적 환경요인

### 1. 제주해역 물리화학적 환경요인

#### 가. 제주해역 해양환경 특성

##### (1) 수 온

1997년부터 2010년까지 14년간의 제주연안 4개 해역에 대한 수온변화를 비교 분석하였다. 동부해역의 수온은 표층의 경우 연간  $14.90 \sim 30.38^{\circ}\text{C}$ 의 범위로서 평균  $19.58 \pm 5.02^{\circ}\text{C}$ 이며, 저층은  $14.80 \sim 25.75^{\circ}\text{C}$ 의 범위로서 평균  $18.55 \pm 3.69^{\circ}\text{C}$ 이었다. 지난 4년간의 연간 수온 상승률은 표층에서  $0.033^{\circ}\text{C}$ , 저층에서  $0.034^{\circ}\text{C}$ 가 증가하는 양상이었다. 서부해역의 수온 변화를 보면 표층은  $13.50 \sim 29.56^{\circ}\text{C}$ 의 범위로 평균  $19.37 \pm 4.84^{\circ}\text{C}$ 이며, 저층은  $2.80 \sim 21.78^{\circ}\text{C}$ 로 평균  $17.25 \pm 0.68^{\circ}\text{C}$ 이었다. 지난 10년간 연간 수온 상승률은 표층에서  $0.008^{\circ}\text{C}$ , 저층에서  $0.008^{\circ}\text{C}$ 가 증가하는 양상이었다. 남부해역의 수온 변화는 표층은  $14.30 \sim 30.03^{\circ}\text{C}$ 의 범위로서 평균  $19.94 \pm 4.65^{\circ}\text{C}$ 이며, 저층은  $14.20 \sim 26.70^{\circ}\text{C}$ 의 범위로서 평균  $18.73 \pm 3.40^{\circ}\text{C}$ 이었다. 지난 10년간 연간 수온 상승률은 표층에서  $0.010^{\circ}\text{C}$ , 저층에서  $0.001^{\circ}\text{C}$ 가 증가하는 양상이었다. 북부해역의 수온 변화는 표층은  $13.60 \sim 29.44^{\circ}\text{C}$ 의 범위로 평균  $18.76 \pm 5.52^{\circ}\text{C}$ 이며, 저층은  $13.50 \sim 23.16^{\circ}\text{C}$ 의 범위로서 평균  $16.83 \pm 2.44^{\circ}\text{C}$ 이었다. 이는 연간 수온 상승률이 표층에서  $0.014^{\circ}\text{C}$ , 저층에서  $0.006^{\circ}\text{C}$ 가 증가하는 양상이었다. 하지만 모든 해역에서의 수온 변화는 통계학적인 차이가 없는 것으로 나타났다(ANOVA;  $F=4.969$ ,  $df=3$ ,  $p>0.05$ )(Fig. 1).

##### (2) 염 분

1997년부터 2010년까지 14년간 제주연안 4개 해역에 대한 염분변화를 비교 분석하였다. 동부해역의 관측된 염분이  $31.07 \sim 34.62$ 의 범위로 평균  $33.66 \pm 1.13$ 이었으며, 저층은  $32.37 \sim 34.70$ 의 범위로 평균  $33.88 \pm 0.79$ 이었다. 서부해역의 표층 염분은  $29.38 \sim 34.82$ 의 범위로 평균  $33.30 \pm 1.45$ 이었으며, 저층은  $30.05 \sim 34.81$ , 평균  $33.82 \pm 0.85$ 이었다. 남부해역의 표층 염분은  $29.57 \sim 34.80$ 의 범위로 평균  $33.51 \pm 1.22$ 이었으며, 저층은  $30.56 \sim 34.78$ 로 평균  $33.73 \pm 0.91$ 이었다. 반면 북부해역의 표층 염분은  $29.62 \sim 34.75$ 의 범위로 평균  $33.39 \pm 1.27$ 이었으며, 저층은  $32.53 \sim 34.91$ 의 범위로서 평균  $33.91 \pm 0.60$ 이었다. 제주연안 해역별 염분의 차이는 없었다(ANOVA;  $F=1.104$ ,  $df=3$ ,  $p>0.05$ )(Fig. 2).

## 나. 제주해역 정점별 환경요인

### (1) 수 온

제주연안 정점별 수온은 2008년 조사정점인 괏지, 애월, 월정, 행원, 신천, 하천, 대포 그리고 중문에서 평균  $23.92 \pm 0.64^{\circ}\text{C}$ 로 남서부해역에 위치한 중문과 대포에서 각각  $25.8 \pm 0.14^{\circ}\text{C}$ 와  $25.62 \pm 0.34^{\circ}\text{C}$ 로 다른 정점에 비해 상대적으로 높았다. 반면 북동부해역에 위치한 월정과 행원에서는 각각  $22.31 \pm 0.07^{\circ}\text{C}$ 와  $22.57 \pm 0.03^{\circ}\text{C}$ 로 다른 정점에 비해 상대적으로 낮았다. 북서부해역에 위치한 괏지와 애월 그리고 남동부해역에 위치한 신천과 하천은 약  $23.5^{\circ}\text{C}$ 로 상대적으로 고수온인 남서부해역과 저수온인 북동부해역의 중간 값이었다. 2010년 조사정점인 월령, 신업, 이호, 조천, 성산, 남원, 보목 그리고 영락에서 평균  $18.69 \pm 0.36^{\circ}\text{C}$ 로 동부해역에 위치한 월령에서  $19.59 \pm 0.03^{\circ}\text{C}$ 로 다른 해역에 위치한 정점보다 상대적으로 높았다. 반면 서부해역에 위치한 성산에서는  $17.12 \pm 0.56^{\circ}\text{C}$ 로 다른 정점에 비해 상대적으로 낮았다. 이외의 북부해역과 남부해역에 위치한 정점에서는 약  $18.7^{\circ}\text{C}$  수준이었다. 2008년 정점 수온과 2010년 정점 수온은 조사시기의 차이에 따라서 약  $5^{\circ}\text{C}$ 의 차이가 있었다(Fig. 3).

### (2) 염 분

제주연안 정점별 염분은 2008년 조사정점(괏지, 애월, 월정, 행원, 신천, 하천, 대포, 중문)에서 평균  $32.52 \pm 0.17$ 로 북서해역에 위치한 괏지에서  $33.05 \pm 0.19$ 로 다른 정점에 비해 상대적으로 높았다. 반면 남서해역에 위치한 대포와 중문에서는 각각  $31.99 \pm 0.22$ 와  $32.11 \pm 0.10$ 로 다른 정점에 비해 상대적으로 낮았다. 북동해역에 위치한 월정, 행원 그리고 남동해역에 위치한 신천, 하천은 약 32.59로 상대적으로 고염분인 북서해역의 괏지와 저염분인 남서해역의 중간 값이었다. 2010년 조사정점(월령, 신업, 이호, 조천, 성산, 남원, 보목, 영락)에서 평균  $33.76 \pm 0.09$ 로 북동해역의 성산에서  $34.10 \pm 0.08$ 로 가장 높게 나타났으며, 북서해역의 신업과 남동해역의 보목, 남서해역의 영락에서 각각  $33.85 \pm 0.16$ ,  $33.84 \pm 0.08$ ,  $33.80 \pm 0.05$ 로 다른 정점보다 상대적으로 높았다. 반면 남동해역의 남원에서는  $33.47 \pm 0.51$ 로 다른 정점에 비해 상대적으로 낮은 염분 값을 보였다. 2008년과 2010년 정점별 염분은 조사 시기의 차이에 따라서 약 1.2의 차이를 보였다(Fig. 3).

### (3) COD

유기물 지표로 사용되는 COD는 2008년 정점(곽지, 애월, 월정, 행원, 신천, 하천, 대포, 중문)에서 평균  $0.92 \pm 0.29 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 으로 나타났으며, 남서해역에 위치한 중문에서  $1.70 \pm 0.067 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 로 다른 정점에 비해 상대적으로 높았고, 남동해역에 위치한 신천에서  $0.15 \pm 0.06 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 으로 다른 정점에 비해 낮은 값을 보였다. 2010년 정점(월령, 신암, 이호, 조천, 성산, 남원, 보목, 영락)에서는 평균  $1.26 \pm 0.10 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 으로 나타났으며, 남동해역에 위치한 남원에서  $1.48 \pm 0.078 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 로 다른 정점에 비해 상대적으로 높았고, 같은 해역에 위치한 보목과 북서해역에 위치한 이호에서 각각  $0.97 \pm 0.099 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 와  $0.98 \pm 0.067 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 로 다른 정점에 비해 상대적으로 낮았다(Fig. 3).

### (4) DIN

제주연안 정점별 용존무기질소(DIN)는 2008년 정점에서 평균  $0.124 \pm 0.023 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 으로 나타났으며, 북서해역에 위치한 애월에서  $0.189 \pm 0.051 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 로 다른 정점에 비해 높게 나타났고, 남서해역에 위치한 중문에서  $0.051 \pm 0.003 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 으로 가장 낮은 값을 보였다. 모든 조사 정점에서 수질기준 I 등급에 해당하는 수질상태를 나타냈다. 2010년 정점에서는 평균  $0.052 \pm 0.010 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 으로 나타났으며, 남동해역에 위치한 보목에서  $0.072 \pm 0.004 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 로 다른 정점에 비해 높게 나타났고, 북서해역에 위치한 월령에서  $0.026 \pm 0.006 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 로 가장 낮은 값을 보였다(Fig. 4).

### (5) DIP

제주연안 정점별 용존무기인(DIP)는 2008년 정점에서 평균  $0.007 \pm 0.002 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 으로 나타났으며, 북서해역에 위치한 애월에서  $0.012 \pm 0.004 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 로 다른 정점에 비해 높게 나타났고, 남서해역에 위치한 대포와 중문에서 각각  $0.0025 \pm 0.0003 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ ,  $0.002 \pm 0.00 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 로 다른 정점에 비해 상대적으로 낮았다. 2010년 조사정점에서는 평균  $0.003 \pm 0.001 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 으로 나타났으며, 남서해역에 위치한 영락에서  $0.006 \pm 0.000 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 으로 다른 정점에 비해 상대적으로 높게 나타났고, 북동해역에 위치한 조천과 남동해역에 위치한 남원에서  $0.002 \pm 0.000 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 로 조사정점 중 가장 낮은 값을 보였다(Fig. 4).

## (6) Chl-a

제주연안 정정별 Chl-a는 2008년 조사정점에서 평균  $4.614 \pm 0.968 \text{ ug}\cdot\text{l}^{-1}$ 로 나타났으며, 북서해역에 위치한 애월에서  $9.175 \pm 4.88 \text{ ug}\cdot\text{l}^{-1}$ 로 다른 정점에 비해 상대적으로 높게 나타났고, 북동해역에 위치한 월정과 행원에서 각각  $3.195 \pm 0.09 \text{ ug}\cdot\text{l}^{-1}$ 와  $3.505 \pm 0.29 \text{ ug}\cdot\text{l}^{-1}$ 로 조사정점 중 가장 낮은 값을 보였다. 용승현상의 영향을 받는 북서해역과 남서해역에서 높은 값을 보였으며, 북동해역 및 남동해역에서는 낮은 값을 보였다. 2010년 조사정점의 평균은  $0.054 \pm 0.054 \text{ ug}\cdot\text{l}^{-1}$ 로 나타났으며, 북서해역에 위치한 이호에서  $0.965 \pm 0.05 \text{ ug}\cdot\text{l}^{-1}$ 로 조사정점 중 가장 높게 나타났고, 남동해역에 위치한 보목에서  $0.69 \pm 0.01 \text{ ug}\cdot\text{l}^{-1}$ 로 가장 낮은 값을 보였다. 용승현상의 영향을 받는 북서부지역에서는 다소 높은 분포를 보였다(Fig. 4).

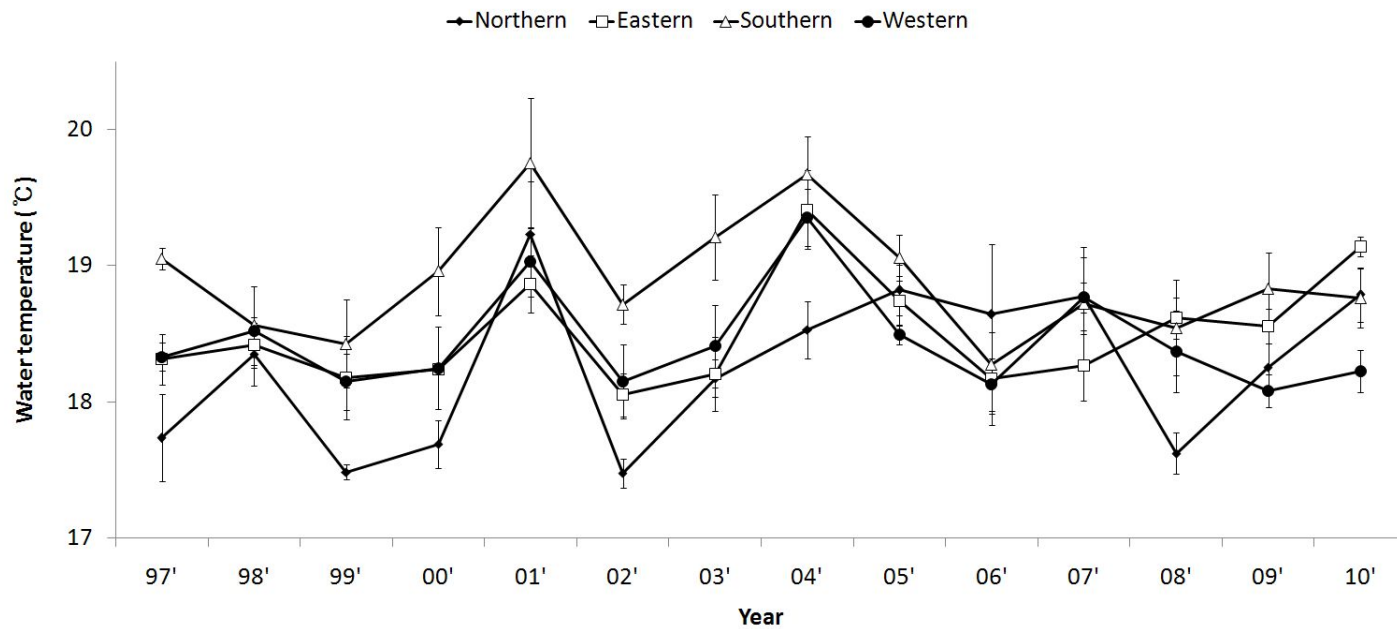


Fig. 1. Annual variation of water temperature on the coastal zone of Jeju island from 1997 to 2010.

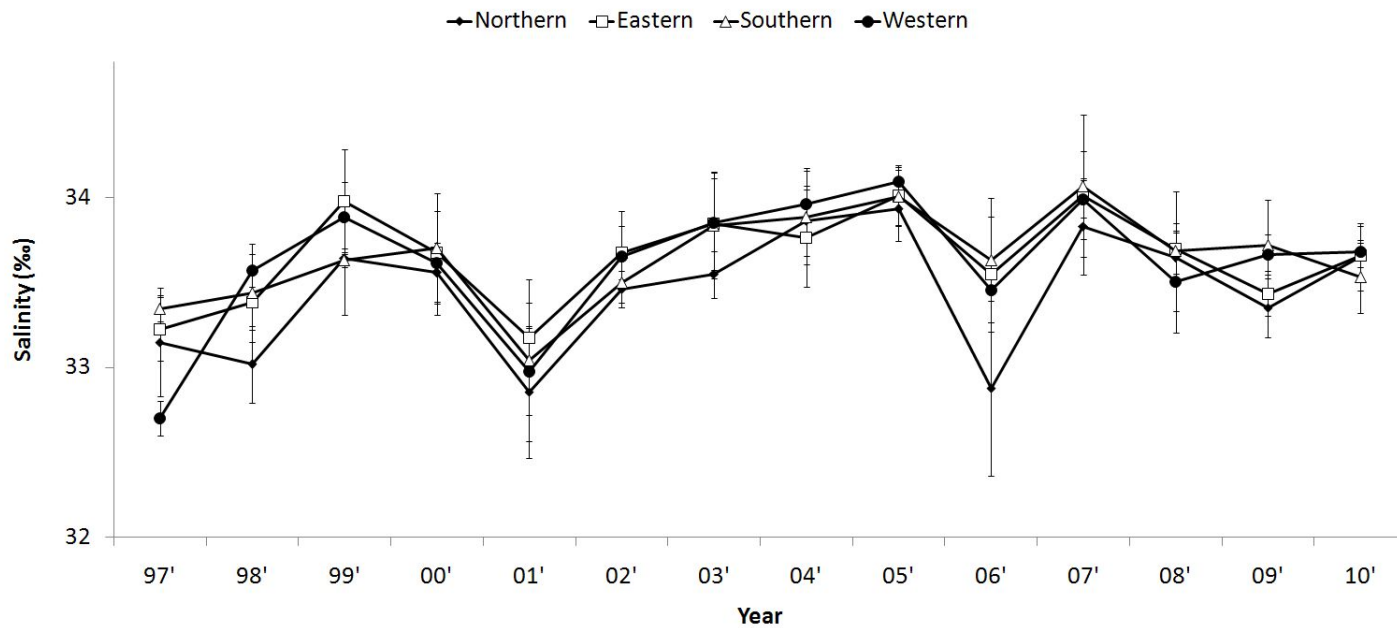


Fig. 2. Annual variation of salinity on the coastal zone of Jeju island from 1997 to 2010.

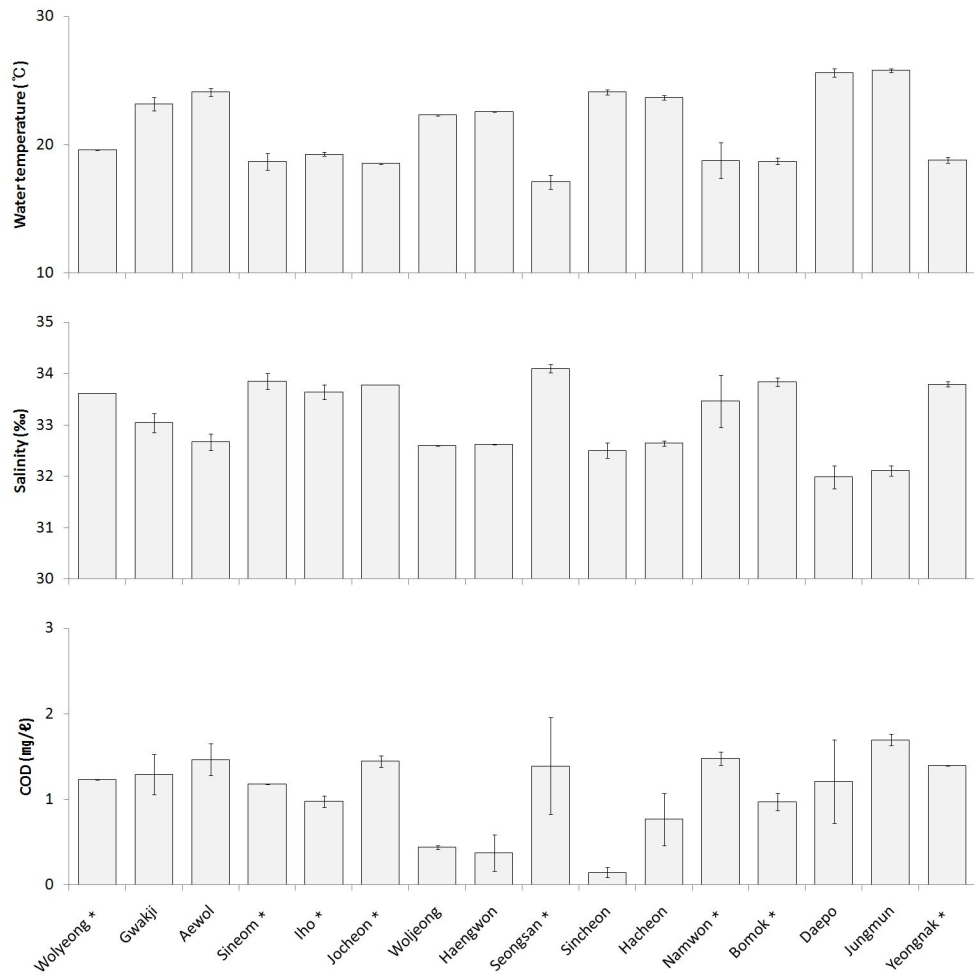


Fig. 3. Comparison of water temperature, salinity and COD of sampling sites on the coastal zones of Jeju island.

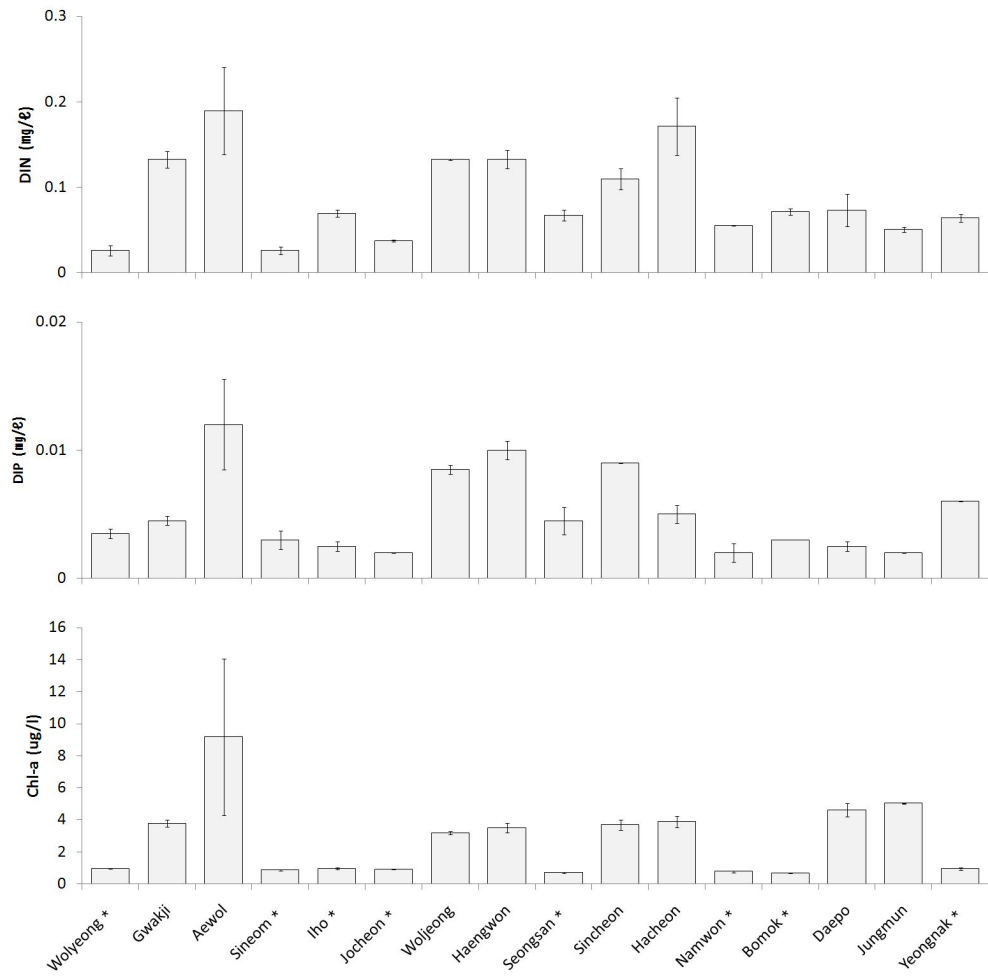


Fig. 4. Comparison of DIN, DIP and Chl-a of sampling sites on the coastal zones of Jeju island.

## 제3장 제주해역 해조류의 분포 및 생태 연구

### 제1절 서론

해양생물 중 해조류는 기질에 부착한 후 사멸까지 한 곳에 서식하는 고착 생물이며, 영양염 증가, 섭식압력, 태풍활동 등의 환경변화에 빠르게 반응할 수 있는 기회주의적 특성을 나타내므로, 연안생태계에 발생하는 환경변화 요소에 그대로 노출되어 살아가므로 생태계 오염 조건에 대한 생물지표로 유용하게 이용되기도 하며(Levine, 1984; Haglud *et al.*, 1996), 연안생태계에서 광합성을 통하여 산소를 생성하고 해수의 영양염을 흡수하여 성장하는 일차생산자로서, 그리고 어·패류의 산란장, 서식처, 은신처를 제공함으로써 생태학적으로도 매우 중요한 역할을 한다(Lindstrom, 2009).

제주도 주변해역은 제주도 남쪽해역에서 북상하는 쿠로시오 난류(Kuroshio Warm Current)의 지류인 대마난류수(Tsushima Current)의 영향을 받고(Rho, 1985), 제주해협 북쪽에는 한국남해안 연안수가 영향을 미치며(Choi, 1989), 하계 중국 양자강 입구의 동쪽 해역에 위치하고 있어 양자강 저염분의 영향을 직접적으로 받는 해역이다(Kim and Rho, 1994; 국립수산물과학원, 2001). 이러한 외 해역 환경에 영향을 받는 제주도 연안 천해역의 환경은 주변 수괴의 변화에 의해 좌우되지만, 이외에도 육수유입, 파랑, 조석상태 및 강수량, 기온, 북서계절풍 등과 같은 기상 상태에 의해서도 시·공간적으로 변화할 수 있다.

제주도 연안 해조류에 대한 연구는 Okamura(1892)에 의한 기록이 우리나라 연안 해조류 최초 연구 기록이며, Kang(1966)은 총 414종의 해조류를 보고하였고, 우리나라 연안을 수온과 조류 등에 의한 해조류 분포를 기준으로 동해 북부, 동해 남부, 남해안, 서해안 및 제주도의 5개 해역으로 구분하였다. 그러나 지금까지의 연구경향은 서귀포 주변의 바위섬 등 국지적 조사나 환경 특성 규명에 치우쳐 있어 제주 연안 해역 해조류의 생태적 분포에 관한 연구는 몇 개의 연구가 있을 뿐 매우 빈약한 실태이다.

본 연구는 제주도 연안 16개 조사 정점의 물리·화학적인 환경요인 및 일반현황

을 측정하고, 수심별·점별 출현 해조류의 비교 분석을 통해 연안 생태계 변화를 규명을 통한 해조류 분포 특성을 파악하고, 향후 해조류의 자원량 변동을 파악하는데 기초 자료로 제공될 수 있을 것으로 사료된다.

## 제2절 재료 및 방법

### 1. 표본채집

제주 연안에 서식하는 해조류의 분포와 생태를 연구하기 위해 2008년부터 2010년까지 월령, 광지, 애월, 신엄, 이호, 조천, 월정, 행원, 성산, 신천, 하천, 남원, 보목, 대포, 중문 그리고 영락 16개 정점을 선정하여 해조류 표본을 채집 하였다 (Fig. 5).

제주해역 해조류 표본은 정점별로 가상의 조사선을 설정한 후 Line-transect 방법으로 실시하였다. 사전 준비한 조사선의 좌표를 확인하고 도착 지점의 방향을 설정한 후 수중에 잠수를 하여 목표방향으로 진행하면서 정량 채집과 각 조사선의 특성에 대한 필요한 자료를 취득하였다. Line-transect 기준은 수심 5m, 10m, 15m로 선정하였으며, 이를 중심으로 50 cm × 50 cm의 방형구를 설치하여 방형구 내 시료를 전량 채집하는 방법인 시료파괴 분석방법(Destructive analysis) (Kim *et al.*, 2008)을 이용하여 채취하였다. 채집된 시료는 아이스박스에 넣고 실험실로 운반하였으며, 종 분류 및 습중량을 측정하였다. 측정된 자료는 면적당 1 m<sup>2</sup>로 환산하였으며, 동정된 해조류의 정리는 한국 동식물 도감(1997, 문교부), 제주의 바닷말(이, 2008)을 참고로 하였다. 출현종 목록은 녹조식물(Chlorophyta), 갈조식물(Phaeophyta), 홍조식물(Rhodophyta)에 국한하여 작성하였다.

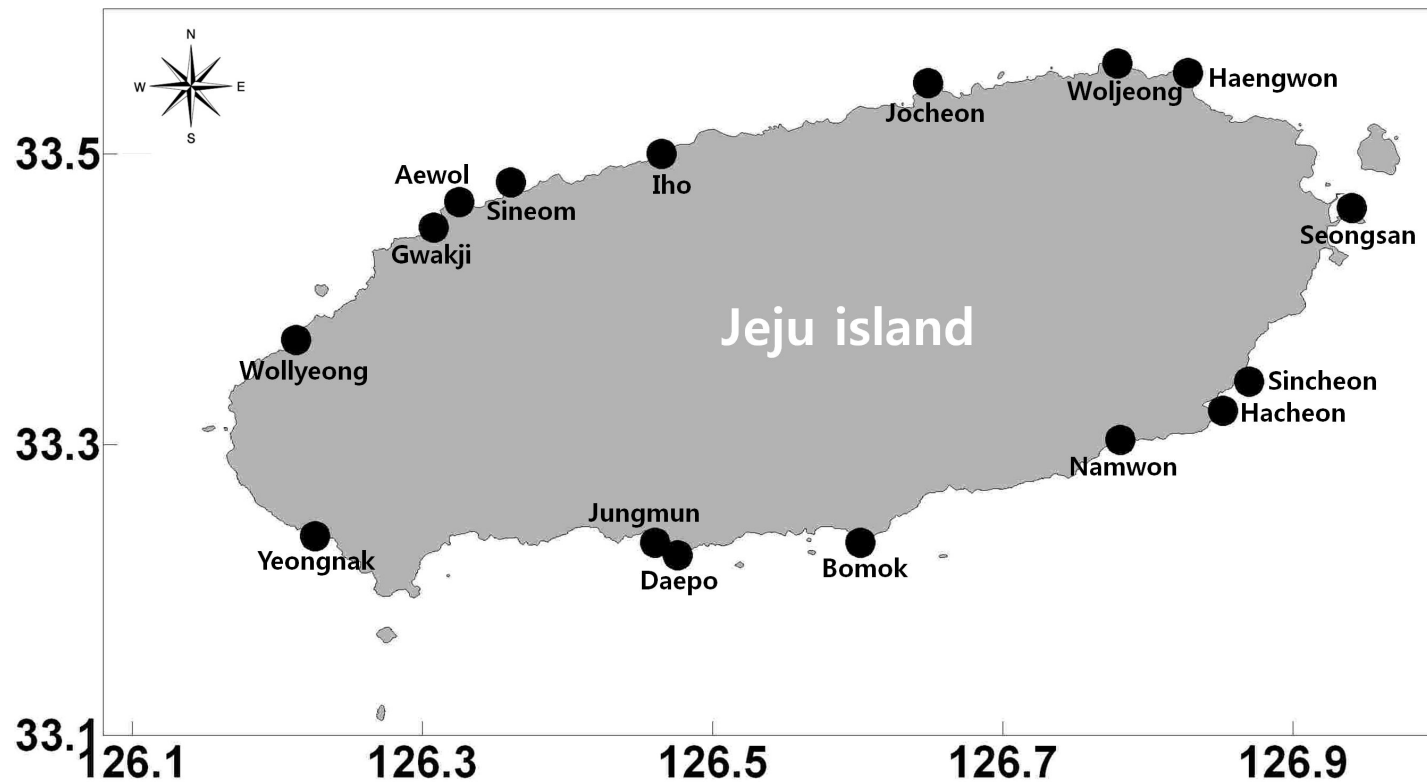


Fig. 5. Sampling sites of benthic algae on the coastal zones of Jeju island from 2008 to 2010.

## 2. 해조류 군집분석

제주연안 정점 및 수심별 출현 해조류 생태학적 특징을 파악하기 위하여 출현 종수, 생체량, 우점종 그리고 우점종 중요도를 비교 분석하였다. 우점종은 출현 해조류의 피도값과 출현빈도를 이용한 Le Bris(1988) <sup>(2)</sup>의 방법을 사용하였다. 제주연안 정점별 해조상의 특성 파악하기 위하여 Segawa(1957), Feldmann(1937) 그리고 Cheney(1977)의 지표를 사용하였다. 지표 산출은 녹조식물 / 갈조식물은 C/P, 홍조식물 / 갈조식물은 R/P, 그리고 (홍조식물 + 녹조식물) / 갈조식물은 (R + C)/P로 하였다.

정점별 생태학적 제지수를 비교 및 분석하기 위하여 Branoff et al.(2009)의 연구 방법과 동일하게 생체량을 대수변환(square root)을 실시하여 Shannon and Weaver(1949)의 종 다양성지수 (Diversity index, H')와 Pielou(1975)의 종 균등도(Evenness index J') 그리고 Margalef(1958)의 종 풍부도를 Table 1에 나타낸 식에 의하여 산출하여 정점 및 수심별로 비교 분석하였다(Table 2).

정점별 상호간의 유사도 분석은 해조류 연구 특성상 출현밀도를 파악 할 수 없기 때문에 Bray and Curtis(1957)의 방법을 사용하지 않고, 아래와 같은 식 <sup>(2)</sup>을 이용한 Barbour et al.(1987)의 Sorensen 방법을 사용하였다. 모든 정점간의 유사도 수치를 resemble table로 작성 후 수지도(Dendrogram)를 작성하여 도식화 하였다.

$$D'_{ij} = F_{ij} \times D_{ij} \times 100$$

$$= \left\{ \frac{P_{ij}}{P_j} \times 100 \right\} \times \left\{ \sum_{k=1}^{P_i} \frac{N_{ik}}{N_k} \right\} \times 100$$

----- (1)

$P_{ij}$ : j번째 군집에서 종 I의 출현횟수

$P_j$ : j번째 군집의 전체 정점수

$N_{ik}$ : j군집 군집에서 k번째정점에 출현하는 종 I의 개체수 또는 생체량

$N_k$ : k번째 정점에서 전체 개체수 또는 생물량

$$\text{Sorensen similarity index} = \{ 2c / (a + b) \} \text{-----} (2)$$

a = 정점 A의 출현종수

b = 정점 B의 출현종수

c = 정점 A와 B의 출현종수

### 3. 통계분석

제주해역 정점별 출현종수, 피도, 생체량, 우점종 그리고 생태학적 제지수 등 요인간의 비교는 정규성 검증(Normality) 및 분산 동질성 검증을 실시하고, 정규성 분포를 가지는 요인은 두 개 집단 비교 분석시는 T-test를 사용하였고, 두 개 집단 이상일 경우에는 일원배치 분산분석(ANOVA)를 사용하였다. 비정규성 분포를 가지는 요인은 두 개 집단 비교 분석시는 Wilcoxon sign rank test를 사용하였고, 두 개 집단 이상일 경우에는 Kruskal-Wallis test를 사용하였다.

제주연안 정점 및 해역별 해조류와 환경요인간 상관관계 분석은 정규성 검증 후 정규성일 때에는 Pearson's correlation 방법을 사용하였고, 비정규성 시에는 Spearman correlation 방법을 사용하였다. 상관관계 규명은 유의수준 95% 이하의  $R^2$ 값이 0.5 이상을 기준으로 하였다.

Table 2. Equations for species diversity, maximum  $H'$  and evenness index  $J'$ 

| Index                                                 | Equation                                                     |
|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| Diversity Index ( $H'$ )<br>Shannon and Wiener (1949) | $H' = - \sum \left[ \frac{n_i}{n} \ln \frac{n_i}{n} \right]$ |
| Richness Index ( $d$ )<br>Margalef (1958)             | $d = \frac{(S-1)}{\ln(N)}$                                   |
| Evenness Index ( $J'$ )<br>Pielou (1969)              | $J' = \frac{H'}{\ln(S)}$                                     |

$n_i$  : number of individuals belonging to the  $i$ th of  $S$  species in the sample,  $n$  : total number of individuals in the sample,  $S$  : number of species

## 제3절 결과

### 1. 제주해역 해조류 분포

#### 가. 제주해역 해조류 종 조성

##### (1) 해역별 해조류 종 조성

제주연안 해역을 정점 광지와 애월은 북서부해역, 월정과 행원은 북동부해역, 신천과 하천은 남동부해역 그리고 대포와 중문은 남서부해역으로 구분하였다. 해역별 출현종수는 북동부해역에서 30종으로 가장 높았으며, 이후 북서부해역 28종, 남동부해역 24종 그리고 남서부해역 20종으로 출현하였다. 해역별 분류군에 따른 종 조성은 북서부해역에서 녹조류 8종, 갈조류 2종 그리고 홍조류 18종이었고, 북동부해역에서 녹조류 5종, 갈조류 9종 그리고 홍조류 16종이었다. 남동부해역에서 녹조류 5종, 갈조류 4종 그리고 홍조류 15종이었으며, 남서부해역에서 녹조류 3종, 갈조류 2종 그리고 홍조류 15종이었다. 녹조류와 홍조류의 경우는 각각 8종과 18종으로 북서부해역이 다른 해역에 비해 상대적으로 높은 것으로 나타났으나, 갈조류의 경우는 북서부해역에서 9종으로 가장 높았다. 남서부해역의 경우, 전체 출현종수와 분류군별 출현밀도가 다른 해역에 비해 상대적으로 낮았다(Fig. 6).

##### (2) 정점별 해조류 종 조성

제주연안 정점별 해조류 출현 종수는 성산에서 30종으로 가장 많은 종수가 출현하였고, 이후 이호(26종), 행원(24종), 월정(23종), 애월(23종) 그리고 신천(20종) 순으로 출현하였다. 이외 10개 정점에서는 20종 미만으로 상대적으로 서부해역에 위치한 정점 월령과 광지는 각각 9종으로 가장 적은 종이 출현하였다. 해조류 분류군별 출현 종수는 녹조류가 신암에서 7종으로 가장 높았으며, 이후 행원 (5종), 월정(5종), 이호(4종), 조천(4종), 신천(4종), 하천(4종) 그리고 남원(4종) 순으로 출현하였다. 갈조류는 성산에서 10종으로 가장 높았으며, 이후 보목(9종), 행원(8종), 이호(8종), 영락(7종) 순으로 출현하였다. 반면, 애월과 신천의 경우, 전체 출현 종수는 20종 이상으로 높았으나, 갈조류는 각각 1종으로 다른 정점에 비해 상대적으로 낮았다. 홍조류는 애월, 성산 그리고 신천에서 각각 15종으로 다른 정점에 비해 출현 종수가 많았고, 전체 출현 종수가 20종 이상인 이호(14종), 월정(14종) 그리고 행원(14종)에서도 상대적으로 출현 종수가 많았다. 정점의 위치에 따른 해조류 분

류군별 출현 종수 양상은 상대적으로 북부해역에 위치한 정점에서 많은 것으로 나타났다(Wilcoxon sign rank test;  $df=1$ ,  $Z=-2.533$ ,  $p<0.05$ )(Fig. 7).

### (3) 정점 수심별 해조류 종 조성

제주해역 정점 수심 5 m에 서식하는 해조류의 종 조성은 정점 이호에서 21종으로 가장 많은 종이 출현하였고, 이후 행원(19종), 애월(17종), 성산(17종) 그리고 월정(16종) 순으로 출현종수가 많았다. 반면 광지와 영락에서는 각각 5종으로 가장 적은 수의 종이 출현하였다. 정점별 수심 5 m 해조류 분류군별 종 조성은 녹조류의 경우, 녹조류가 출현하지 않은 신천과 영락을 제외한 정점에서는 1 ~ 4종의 범위로 애월과 이호에서 4종으로 가장 많은 종이 출현하였다. 갈조류의 경우, 이호와 월정에서 각각 6종으로 다른 정점에 비해 상대적으로 많은 종수가 출현하였고, 이후 조천(5종), 성산(5종), 신엄(4종), 보목(4종) 그리고 영락(4종) 순으로 출현하였다. 홍조류의 경우, 월정에서 13종으로 가장 많은 종이 출현하였고, 이후 애월(12종), 행원(12종), 이호(11종), 성산(10종) 그리고 신천(10종) 순으로 출현하였다(Fig. 8).

제주해역 정점 수심 10 m에 서식하는 해조류의 종 조성은 정점 월정과 성산에서 17종으로 가장 많은 종이 출현하였고, 이후 애월(16종), 행원 14종, 신천(13종), 하천(11종) 그리고 영락(11종) 순으로 출현종수가 많았다. 반면, 월령에서는 3종으로 가장 적은 수의 종이 출현하였다. 정점별 수심 10 m 해조류 분류군별 종 조성은 녹조류의 경우, 녹조류가 출현하지 않은 월령과 광지를 제외한 정점에서는 1 ~ 5종의 범위로 애월에서 5종으로 가장 많은 종이 출현하였다. 갈조류의 경우, 보목에서 각각 6종으로 다른 정점에 비해 상대적으로 많은 종수가 출현하였고, 이후 성산(5종), 조천(4종) 그리고 영락(4종) 순으로 출현하였다. 홍조류의 경우, 월정에서 11종으로 가장 많은 종이 출현하였고, 이후 행원(10종), 애월(10종), 성산(10종) 그리고 신천(10종)에서 상대적으로 많은 종이 출현하였다(Fig. 9).

제주해역 정점 수심 15 m에 서식하는 해조류의 종 조성은 정점 성산에서 17종으로 가장 많은 종이 출현하였고, 이후 행원(16종), 월정(14종), 신천(13종), 애월(13종) 그리고 대포(12종) 순으로 출현종수가 많았다. 반면, 신엄에서는 3종으로 가장 적은 수의 종이 출현하였다. 정점별 수심 15 m 해조류 분류군별 종 조성은 녹조류의 경우, 녹조류가 출현하지 않은 월령, 신엄 그리고 영락을 제외한 정점에서

는 1 ~ 5종의 범위로 성산에서 5종으로 가장 많은 종이 출현하였다. 갈조류의 경우, 행원과 성산에서 각각 5종으로 다른 정점에 비해 상대적으로 많은 종수가 출현하였고, 이후 이호(4종) 그리고 영락(4종)에서 다른 정점에 비해 상대적으로 많은 종이 출현하였다. 홍조류의 경우, 신천에서 10종으로 가장 많은 종이 출현하였고, 이후 월정(9종), 행원(9종), 애월(8종) 그리고 대포(8종)에서 상대적으로 많은 종이 출현하였다(Fig. 10).

정점별 수심에 따른 종수의 변화를 분석한 결과, 수심이 깊어질수록 종수가 감소하는 정점, 수심이 깊어질수록 종수가 증가하는 정점 그리고 수심과 종수가 상관이 없는 정점으로 구분되었다. 수심이 깊어질수록 종수가 감소하는 정점은 애월 그리고 신엄으로 수심이 깊어질수록 녹조류와 홍조류의 출현 종수가 감소하는 양상이었다. 수심이 깊어질수록 종수가 증가하는 정점은 신천과 대포로 수심이 깊어질수록 녹조류의 출현 종수가 증가하는 양상이었다. 수심과 종수가 상관이 없는 정점들은 녹조류, 갈조류 그리고 홍조류의 출현 종 구성이 수심에 따라서 변하고, 분류군별로 출현 종수 변화에 따른 것으로 나타났다(Fig. 11).

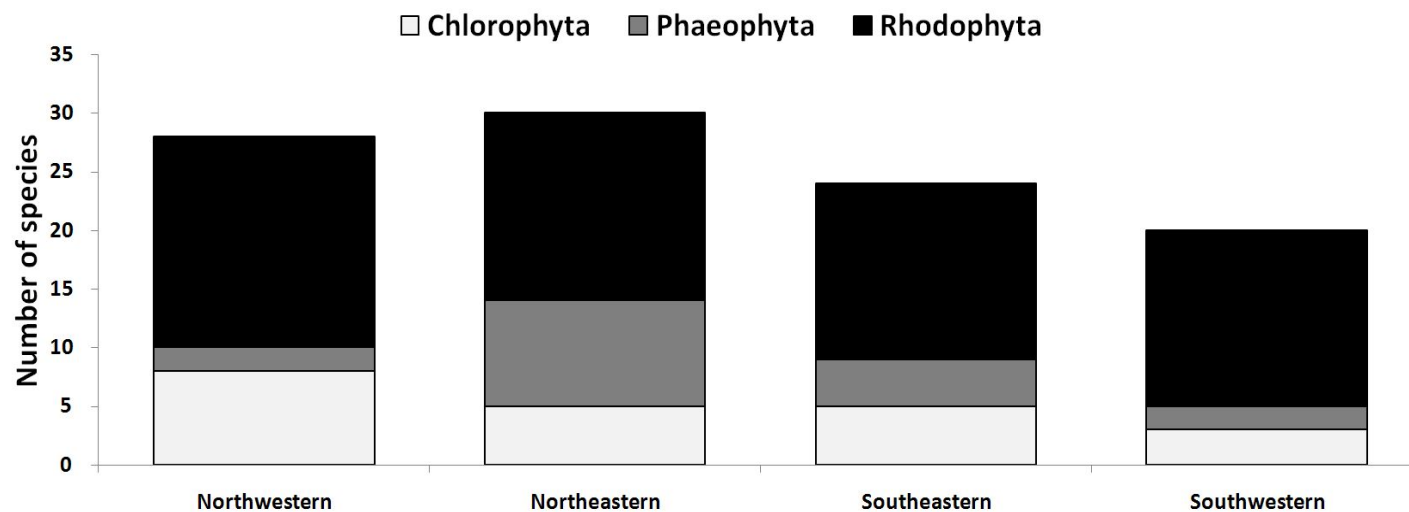


Fig. 6. Comparison of number of species of benthic algae in each region on the coastal zones of Jeju island.

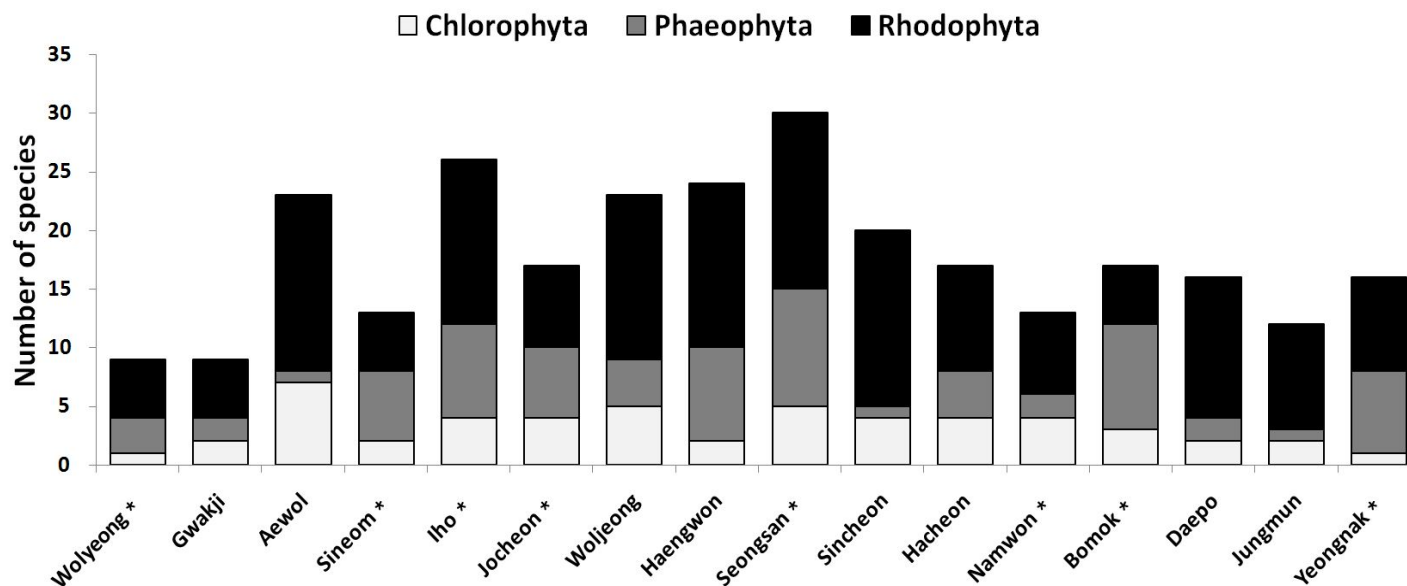


Fig. 7. Comparison of number of species of benthic algae in sampling sites on the coastal zones of Jeju island.

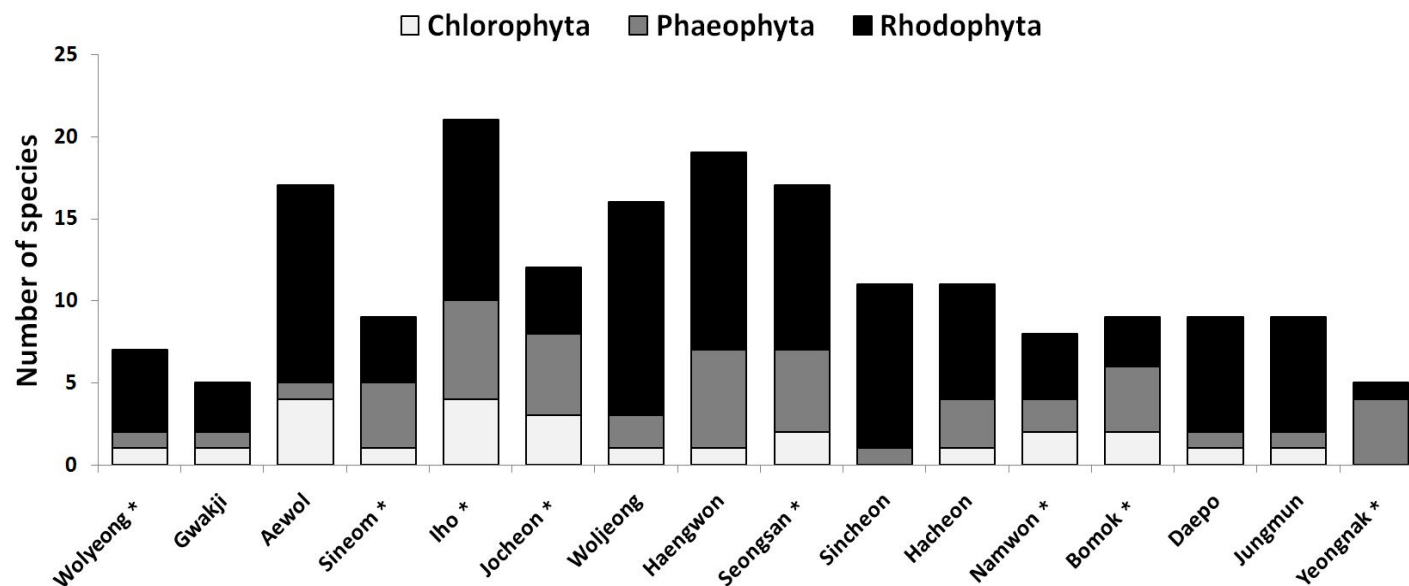


Fig. 8. Comparison of number of species of benthic algae at 5 m depth in sampling sites on the coastal zones of Jeju island.

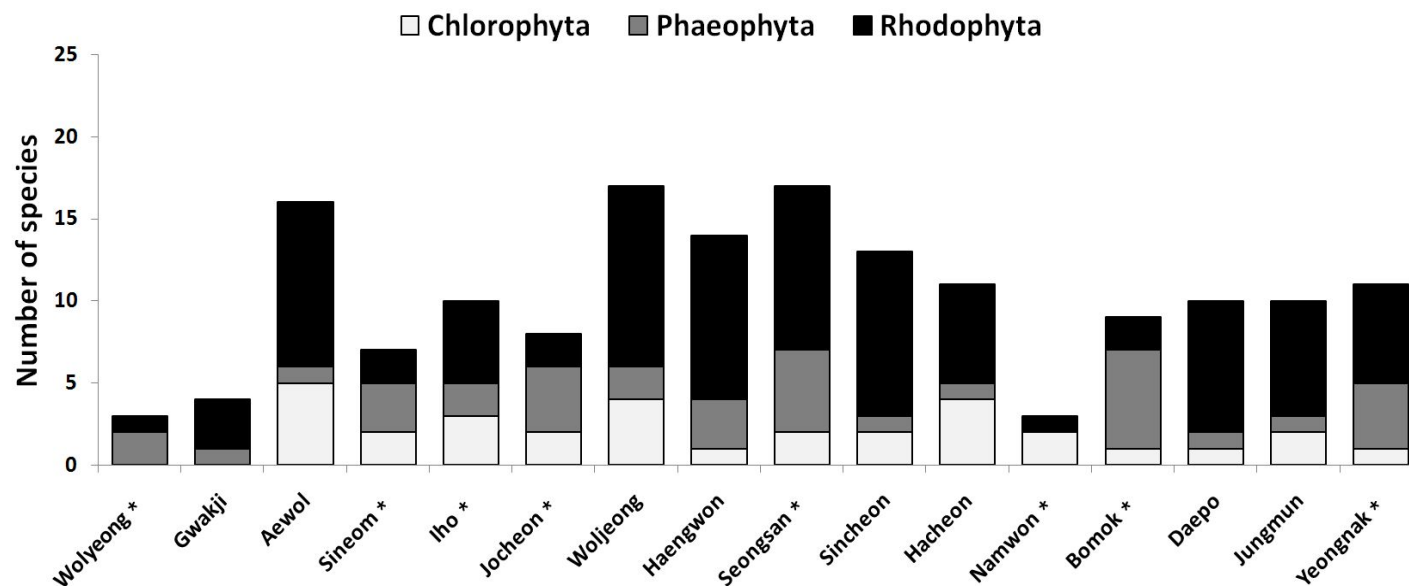


Fig. 9. Comparison of number of species of benthic algae at 10 m depth in sampling sites on the coastal zones of Jeju island.

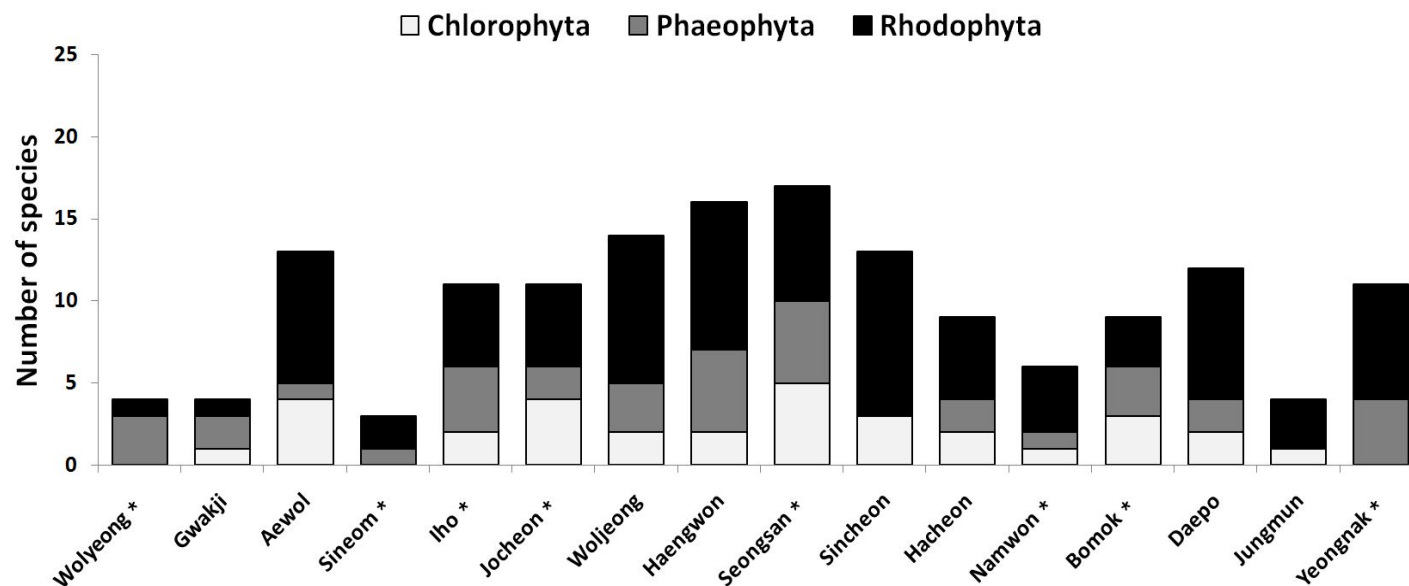


Fig. 10. Comparison of number of species of benthic algae at 15 m depth in sampling sites on the coastal zones of Jeju island.

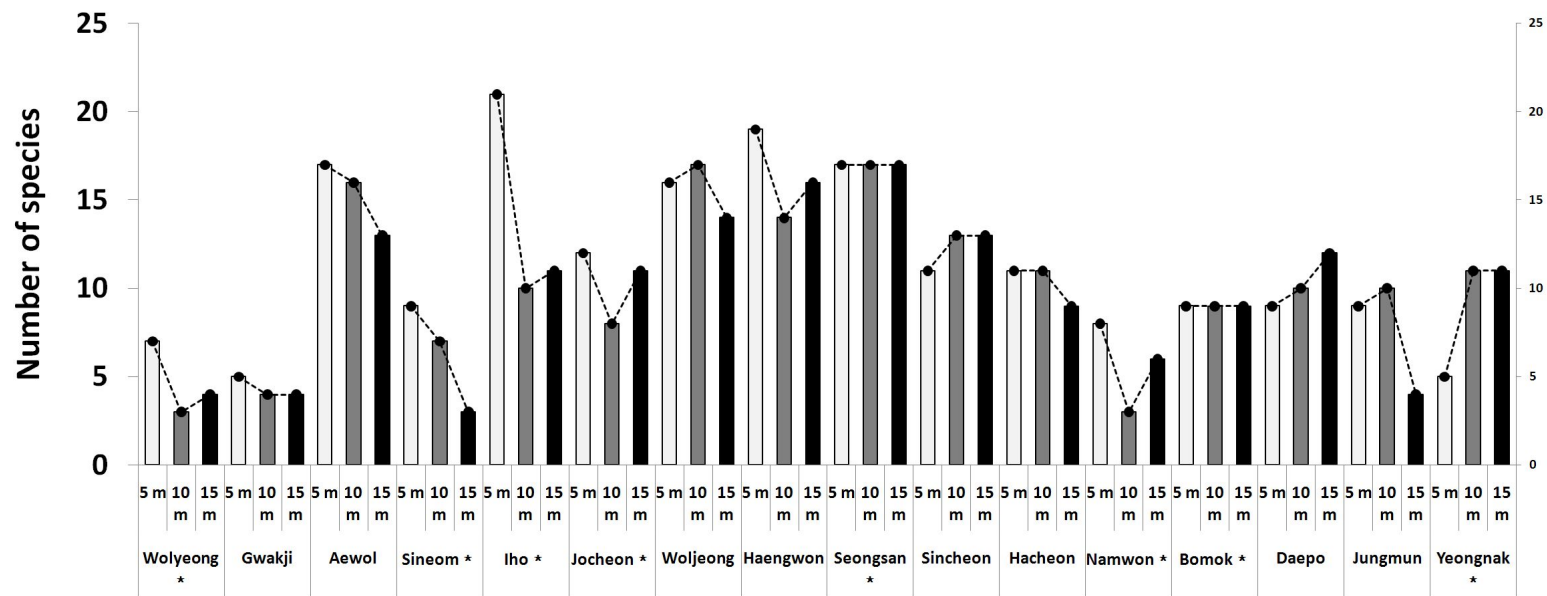


Fig. 11. Comparison of number of species of benthic algae at each depths in sampling sites on the coastal zones of Jeju island.

## 나. 제주해역 해조류 생물량

### (1). 해역별 해조류 생물량

제주연안 해역을 정점 광지와 애월은 북서부해역, 월정과 행원은 북동부해역, 신천과 하천은 남동부해역 그리고 대포와 중문은 남서부해역으로 구분하였다. 해역별 생체량은 북동부해역에서 12,973 gWWt/m<sup>2</sup>으로 가장 높았으며, 이후 남동부해역 4,300 gWWt/m<sup>2</sup>, 남서부해역 1,296 gWWt/m<sup>2</sup> 그리고 북서부해역 1,037 gWWt/m<sup>2</sup>로 출현하였다. 해역별 분류군에 따른 생체량은 북동부해역에서 녹조류 248 gWWt/m<sup>2</sup>, 갈조류 11,136 gWWt/m<sup>2</sup> 그리고 홍조류 1,589 gWWt/m<sup>2</sup>이었고, 남동부해역에서 녹조류 497 gWWt/m<sup>2</sup>, 갈조류 2,405 gWWt/m<sup>2</sup> 그리고 홍조류 1,398 gWWt/m<sup>2</sup>이었다. 남서부해역에서 녹조류 95 gWWt/m<sup>2</sup>, 갈조류 1,005 gWWt/m<sup>2</sup> 그리고 홍조류 197 gWWt/m<sup>2</sup>이었으며, 북서부해역에서 녹조류 139 gWWt/m<sup>2</sup>, 갈조류 541 gWWt/m<sup>2</sup> 그리고 홍조류 357 gWWt/m<sup>2</sup>이었다. 녹조류와 홍조류의 경우는 각각 497 gWWt/m<sup>2</sup>와 1,398 gWWt/m<sup>2</sup>로 남동부해역이 다른 해역에 비해 상대적으로 높은 것으로 나타났으나, 갈조류의 경우는 북동부해역에서 11,136 gWWt/m<sup>2</sup>로 가장 높았다. 남서부해역과 북서부해역의 경우, 북동부와 남동부를 포함하는 동부지역에 비해 상대적으로 생체량이 낮았다(Fig. 12).

### (2). 정점별 해조류 생물량

제주연안 정점별 해조류 출현 생체량은 월정에서 15,457 gWWt/m<sup>2</sup>로 가장 높은 생체량이었고, 이후 행원(13,371 gWWt/m<sup>2</sup>), 하천(6,594 gWWt/m<sup>2</sup>), 신천(2,963 gWWt/m<sup>2</sup>), 성산(1,559 gWWt/m<sup>2</sup>) 그리고 중문(1,486 gWWt/m<sup>2</sup>) 순으로 출현하였다. 이외 10개 정점에서는 1,400 gWWt/m<sup>2</sup> 미만이었다. 상대적으로 정점 이호와 남원은 각각 347 gWWt/m<sup>2</sup>와 127 gWWt/m<sup>2</sup>로 낮은 생체량이었다. 해조류 분류군별 출현 생체량은 녹조류가 하천에서 809 gWWt/m<sup>2</sup>로 가장 높았으며, 이후 행원(412 gWWt/m<sup>2</sup>), 신천(296 gWWt/m<sup>2</sup>), 애월(251 gWWt/m<sup>2</sup>), 대포(188 gWWt/m<sup>2</sup>), 조천(157 gWWt/m<sup>2</sup>), 성산(142 gWWt/m<sup>2</sup>) 그리고 이호(107 gWWt/m<sup>2</sup>) 순으로 출현하였다. 갈조류는 월정에서 14,238 gWWt/m<sup>2</sup>로 가장 높았으며, 이후 행원(13,371 gWWt/m<sup>2</sup>), 하천(5,253 gWWt/m<sup>2</sup>), 중문(1,219 gWWt/m<sup>2</sup>), 광지(1,123 gWWt/m<sup>2</sup>) 그리고 대포(1,014 gWWt/m<sup>2</sup>) 순으로 출현하였다. 반면, 신

천, 애월과 남원에서는  $100 \text{ gWWt/m}^2$  이하 생체량이었다. 홍조류는 신천에서  $2,574 \text{ gWWt/m}^2$ 로 가장 높은 생체량이었으며, 이후 행원( $2,450 \text{ gWWt/m}^2$ ), 월정( $1,080 \text{ gWWt/m}^2$ ), 영락( $792 \text{ gWWt/m}^2$ ) 그리고 애월( $670 \text{ gWWt/m}^2$ ) 순으로 높았다. 정점의 위치에 따른 해조류 분류군별 출현 생체량은 상대적으로 북부해역에 위치한 정점에서 높은 것으로 나타났다(Wilcoxon sign rank test;  $df=1$ ,  $Z=3.188$ ,  $p<0.05$ )(Fig. 13).

제주연안 정점별 해조류 출현 생체량과 출현빈도를 기초로 하여 Le Bris index 방법으로 우점종을 분석한 결과, 상위 20종중에 홍조류 11종, 갈조류 5종 그리고 녹조류 4종순으로 출현하였다. 분류군별 Le Bris 지수값은 갈조류 63.70%, 홍조류 25.75% 그리고 녹조류 8.97%순이었다. 제주연안 상위 20종은 전체의 98.4%(Le Bris index  $132.26 \times 10^4$ )로 다른 종에 비해 상대적으로 우점도가 높았다. 상위 20종중에 *Ecklonia cava*가 56.54%(Le Bris index  $16.23 \times 10^4$ )로 최우점하였고, 이후 *Coralline* (U. K) 8.83%(Le Bris index  $2.53 \times 10^4$ ) 그리고 *Grateloupia angusta* 7.33%(Le Bris index  $2.10 \times 10^4$ )순으로 출현하였으며, 이종들은 전체의 70% 이상 우점하였다(Table 3).

### (3). 정점 수심별 해조류 생물량

제주해역 정점 수심 5 m에 서식하는 해조류의 생체량은 정점 행원에서  $22,565 \text{ gWWt/m}^2$ 으로 가장 높았고, 이후 월정( $13,750 \text{ gWWt/m}^2$ ), 하천( $9,743 \text{ gWWt/m}^2$ ), 신천( $4,702 \text{ gWWt/m}^2$ ) 그리고 성산( $2,501 \text{ gWWt/m}^2$ )순으로 높았다. 반면 남원에서는  $55 \text{ gWWt/m}^2$ 로 가장 낮았다. 정점별 수심 5 m 해조류 분류군별 녹조류 생체량의 경우, 녹조류가 출현하지 않은 신천과 영락을 제외한 정점에서는 행원에서  $684 \text{ gWWt/m}^2$ 로 가장 높았다. 갈조류의 경우, 행원에서  $16,287 \text{ gWWt/m}^2$ 로 다른 정점에 비해 상대적으로 생체량이 높았고, 이후 월정( $11,966 \text{ gWWt/m}^2$ ), 하천( $9,167 \text{ gWWt/m}^2$ ), 성산( $2,101 \text{ gWWt/m}^2$ ), 괄지( $1,144 \text{ gWWt/m}^2$ ) 그리고 중문( $1,110 \text{ gWWt/m}^2$ )순이었다. 홍조류의 경우, 행원에서  $5,594 \text{ gWWt/m}^2$ 로 가장 높았고, 이후 신천( $4,510 \text{ gWWt/m}^2$ ), 월정( $1,746 \text{ gWWt/m}^2$ ), 애월( $1,135 \text{ gWWt/m}^2$ ), 영락( $1,039 \text{ gWWt/m}^2$ ) 그리고 신업( $838 \text{ gWWt/m}^2$ )순이었다(Fig. 14).

제주해역 정점 수심 10 m에 서식하는 해조류의 생체량은 정점 월정에서  $14,983 \text{ gWWt/m}^2$ 으로 가장 높았고, 이후 행원( $10,617 \text{ gWWt/m}^2$ ), 하천( $7,048$

gWWt/m<sup>2</sup>), 중문(2,897 gWWt/m<sup>2</sup>) 그리고 신천(2,335 gWWt/m<sup>2</sup>)순으로 높았다. 반면 남원에서는 23 gWWt/m<sup>2</sup>로 가장 낮았다. 정점별 수심 10 m 해조류 분류군별 녹조류 생체량의 경우, 녹조류가 출현하지 않은 광지와 월령을 제외한 정점에서는 하천에서 1,339 gWWt/m<sup>2</sup>로 가장 높았다. 갈조류의 경우, 월정에서 13,565 gWWt/m<sup>2</sup>로 다른 정점에 비해 상대적으로 생체량이 높았고, 이후 행원(11,966 gWWt/m<sup>2</sup>), 하천(5,097 gWWt/m<sup>2</sup>), 중문(2,545 gWWt/m<sup>2</sup>), 광지(1,437 gWWt/m<sup>2</sup>) 그리고 대포(1,169 gWWt/m<sup>2</sup>)순이었다. 홍조류의 경우, 신천에서 2,237 gWWt/m<sup>2</sup>로 가장 높았고, 이후 행원(1,133 gWWt/m<sup>2</sup>), 월정(1,098 gWWt/m<sup>2</sup>), 영락(901 gWWt/m<sup>2</sup>), 보목(799 gWWt/m<sup>2</sup>) 그리고 신암(762 gWWt/m<sup>2</sup>)순이었다(Fig. 15).

제주해역 정점 수심 15 m에 서식하는 해조류의 생체량은 정점 월정에서 17,639 gWWt/m<sup>2</sup>로 가장 높았고, 이후 행원(6,929 gWWt/m<sup>2</sup>), 하천(2,990 gWWt/m<sup>2</sup>), 대포(2,090 gWWt/m<sup>2</sup>) 그리고 신천(1,850 gWWt/m<sup>2</sup>)순으로 높았다. 반면 중문에서는 115 gWWt/m<sup>2</sup>로 가장 낮았다. 정점별 수심 15 m 해조류 분류군별 녹조류 생체량의 경우, 녹조류가 출현하지 않은 영락, 신암 그리고 월령을 제외한 정점에서는 하천에서 1,078 gWWt/m<sup>2</sup>로 가장 높았다. 갈조류의 경우, 월정에서 17,182 gWWt/m<sup>2</sup>로 다른 정점에 비해 상대적으로 생체량이 높았고, 이후 행원(5,859 gWWt/m<sup>2</sup>), 대포(1,780 gWWt/m<sup>2</sup>), 하천(1,495 gWWt/m<sup>2</sup>), 광지(788 gWWt/m<sup>2</sup>) 그리고 보목(420 gWWt/m<sup>2</sup>)순이었다. 홍조류의 경우, 신천에서 974 gWWt/m<sup>2</sup>로 가장 높았고, 이후 행원(622 gWWt/m<sup>2</sup>), 보목(471 gWWt/m<sup>2</sup>), 영락(436 gWWt/m<sup>2</sup>), 하천(417 gWWt/m<sup>2</sup>) 그리고 애월(412 gWWt/m<sup>2</sup>)순이었다(Fig. 16).

정점별 수심에 따른 생체량의 변화를 분석한 결과, 수심이 깊어질수록 생체량이 감소하는 정점, 수심이 깊어질수록 생체량이 증가하는 정점 그리고 수심과 생체량이 상관없는 정점으로 구분되었다. 수심이 깊어질수록 생체량이 감소하는 정점은 월령, 애월, 신암, 행원, 성산, 신천, 하천 그리고 영락으로 수심이 깊어질수록 갈조류와 홍조류의 생체량이 감소하는 양상이었다. 수심이 깊어질수록 생체량이 증가하는 정점은 월정과 대포로 수심이 깊어질수록 갈조류의 생체량이 증가하는 양상이었다. 수심과 생체량이 상관없는 정점들은 녹조류, 갈조류 그리고 홍조류의 생체량이 수심에 따라서 변하고, 우점종의 생체량의 변화에 따른 것으로 나타났다(Fig. 17).

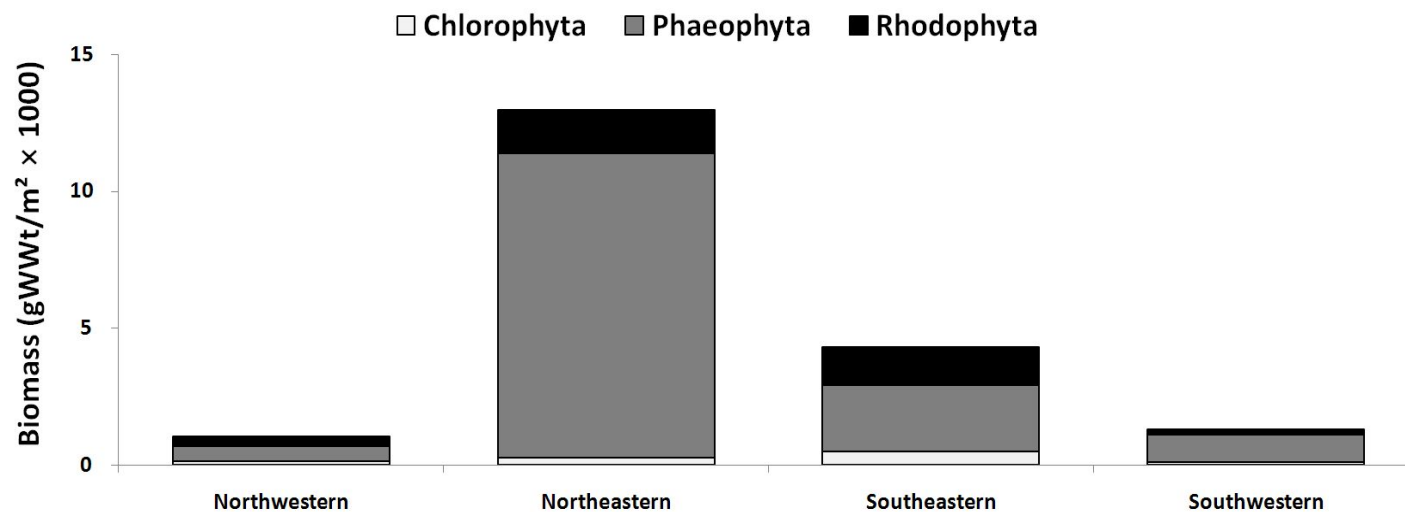


Fig. 12. Comparison of biomass of benthic algae in each region on the coastal zones of Jeju island.

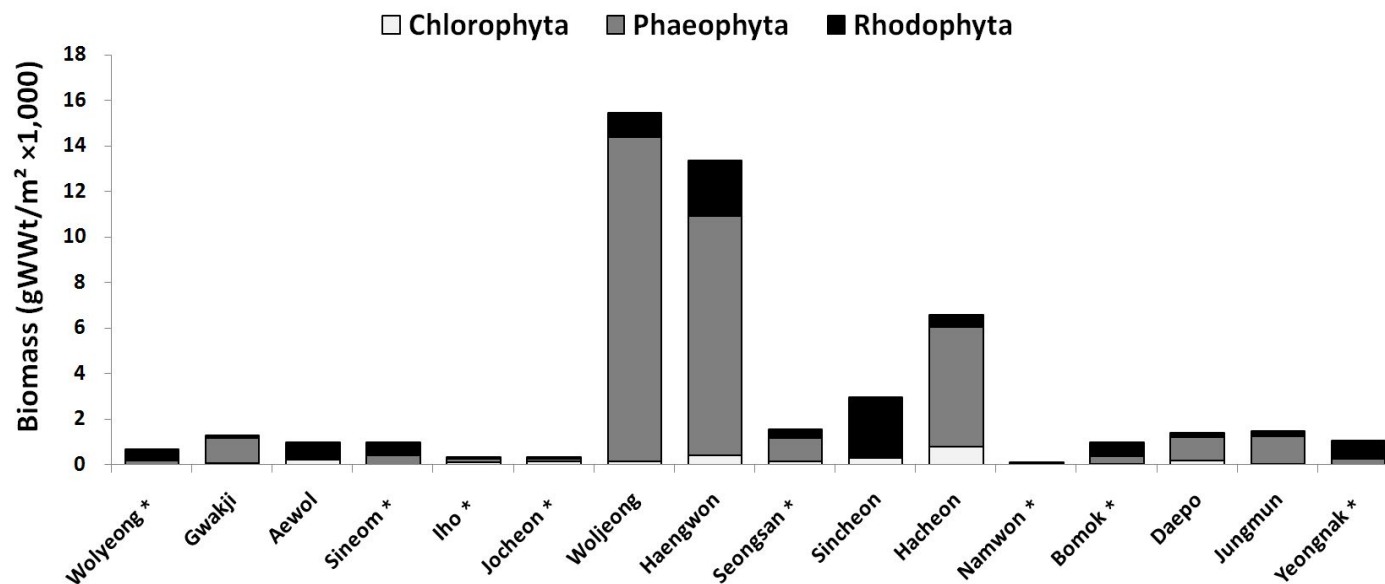


Fig. 13. Comparison of biomass of benthic algae in sampling sites on the coastal zones of Jeju island.

Table 3. List of dominance species of benthic algae by Le Bris index method in sampling sites.

| Ranks | Classifications      | Species name                 | Le Bris Index ( $\times 10^4$ ) | percentage (%) |
|-------|----------------------|------------------------------|---------------------------------|----------------|
| 1     | Ph                   | <i>Ecklonia cava</i>         | 16.23                           | 56.54%         |
| 2     | Rh                   | <i>Coralline</i> (U. K)      | 2.53                            | 8.83%          |
| 3     | Rh                   | <i>Grateloupia angusta</i>   | 2.10                            | 7.33%          |
| 4     | Ch                   | <i>Cladophora wrightiana</i> | 1.43                            | 4.97%          |
| 5     | Rh                   | <i>Corallina pilulifera</i>  | 1.00                            | 3.49%          |
| 6     | Ch                   | <i>Codium coactum</i>        | 0.91                            | 3.17%          |
| 7     | Ph                   | <i>Colpomenia sinuosa</i>    | 0.86                            | 2.98%          |
| 8     | Ph                   | <i>Undaria pinnatifida</i>   | 0.80                            | 2.79%          |
| 9     | Rh                   | <i>Amphiroa anceps</i>       | 0.71                            | 2.46%          |
| 10    | Rh                   | <i>Peyssonnelia capensis</i> | 0.34                            | 1.18%          |
| 11    | Ph                   | <i>Ecklonia kurome</i>       | 0.33                            | 1.14%          |
| 12    | Rh                   | <i>Amphiroa ephedraea</i>    | 0.19                            | 0.67%          |
| 13    | Rh                   | <i>Lithophyllum okamurae</i> | 0.16                            | 0.56%          |
| 14    | Ch                   | <i>Codium contractum</i>     | 0.16                            | 0.56%          |
| 15    | Rh                   | <i>Galaxaura falcata</i>     | 0.13                            | 0.44%          |
| 16    | Rh                   | <i>Predaea tokidae</i>       | 0.11                            | 0.39%          |
| 17    | Ch                   | <i>Codium fragile</i>        | 0.08                            | 0.27%          |
| 18    | Ph                   | <i>Dictyota coriacea</i>     | 0.07                            | 0.24%          |
| 19    | Rh                   | <i>Plocamium telfairiae</i>  | 0.06                            | 0.20%          |
| 20    | Rh                   | <i>Gracilaria textorii</i>   | 0.06                            | 0.19%          |
| Total | Ch: 4, Ph: 5, Rh: 11 |                              | 132.26                          | 98.4%          |

※ Ch: Chlorophyta; Ph: Phaeophyta; Rh: Rhodophyta

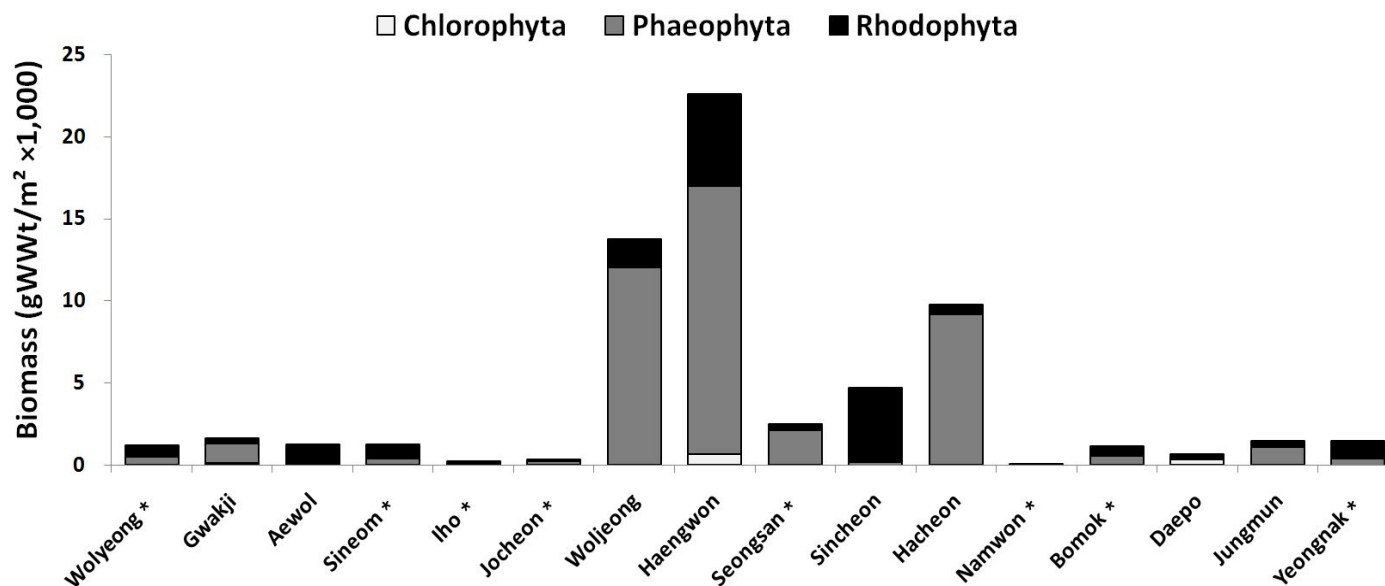


Fig. 14. Comparison of biomass of benthic algae at 5 m depth in sampling sites on the coastal zones of Jeju island.

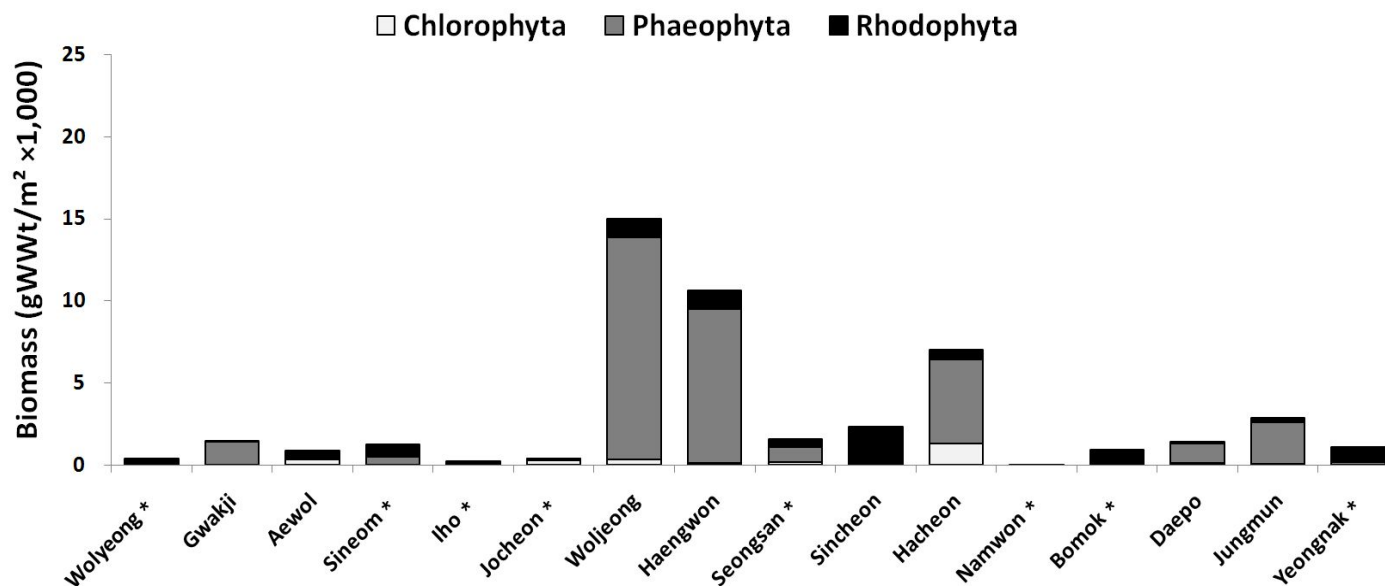


Fig. 15. Comparison of biomass of benthic algae at 10 m depth in sampling sites on the coastal zones of Jeju island.

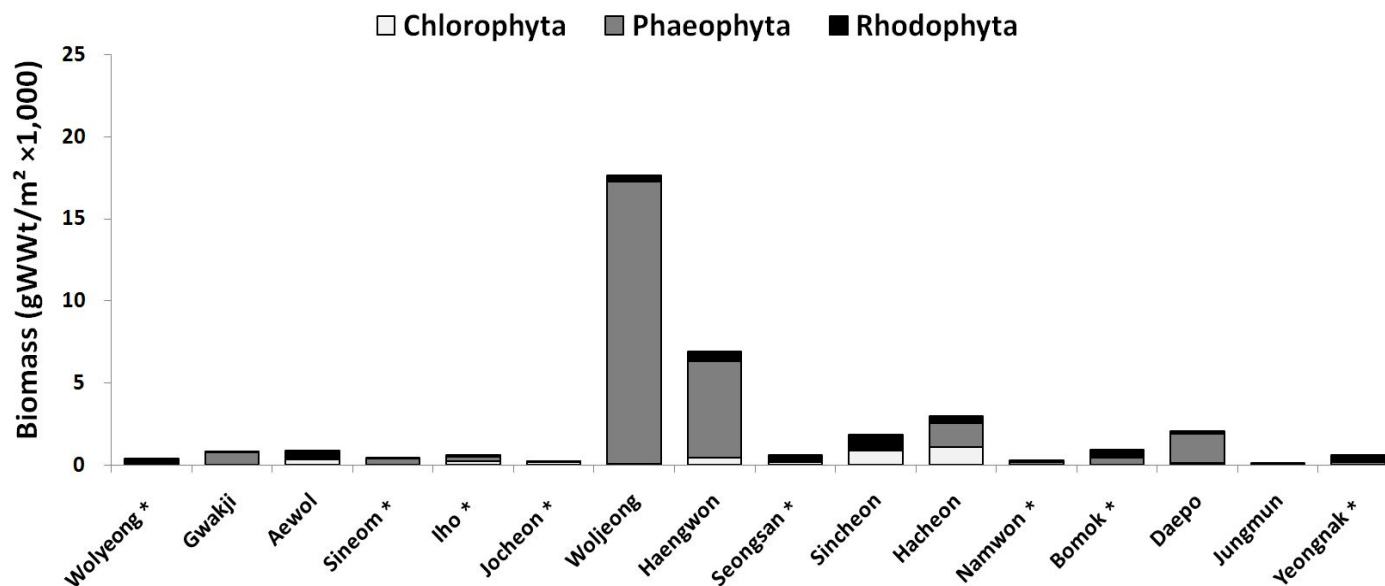


Fig. 16. Comparison of biomass of benthic algae at 15 m depth in sampling sites on the coastal zones of Jeju island.

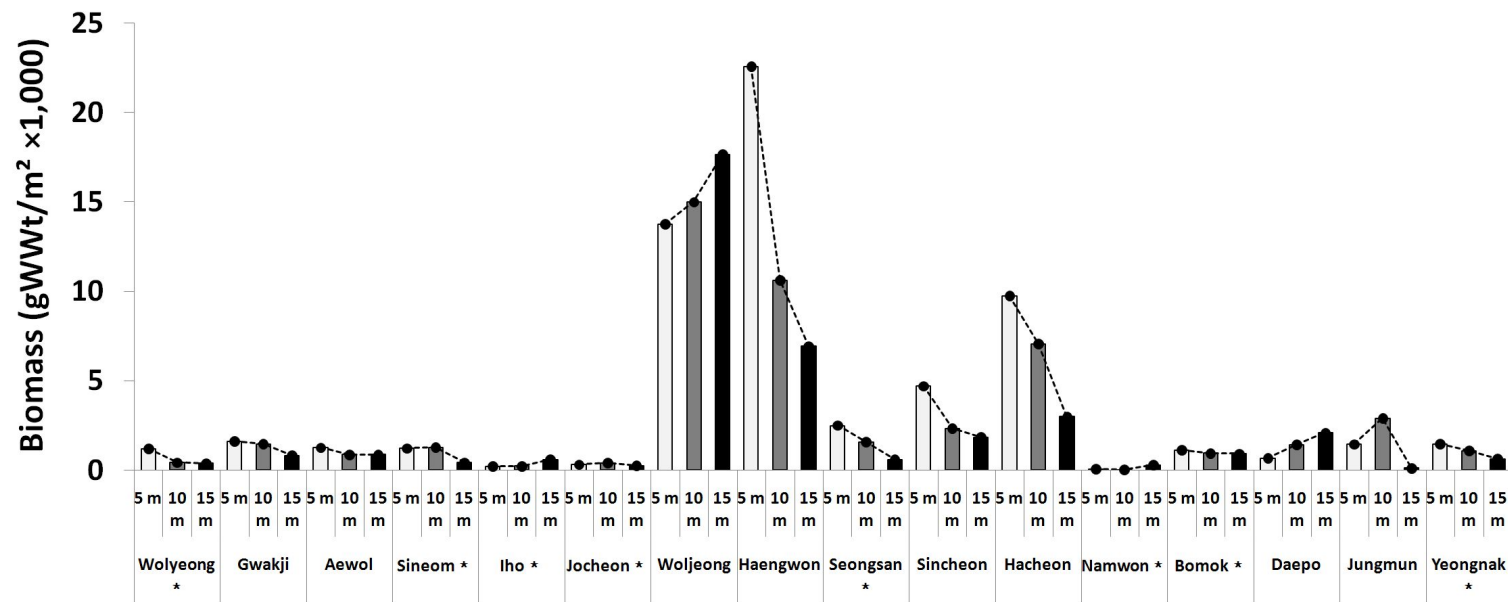


Fig. 17. Comparison of biomass of benthic algae at each depths in sampling sites on the coastal zones of Jeju island.

## 2. 제주해역 해조류 생태학적 군집분석

### 가. 제주해역 해조상

조사지역에서 해조상의 특성을 비교할 수 있는 지표로 Segawa(1956)는 갈조식물에 대한 녹조식물의 비(C/P)를 사용하였으며, Feldmann(1937)은 갈조식물에 대한 홍조식물의 비(R/P)를 사용, 각각의 값을 비교하기 위하여 총 출현종수를 식물군별로 분석하였고, 제주연안 정점별 조사된 C/P ratio, R/P ratio, (R+C)/P ratio는 Table 4와 같다. C/P ratio는 남동해역에 위치한 신천에서 0.25로 최소값을, 남서해역에 위치한 영락에서 7.00으로 최대값을 나타내었으며, 평균 1.92의 값을 보였다. R/P ratio는 북서해역에 위치한 신업에서 0.83으로 최소값을, 남동해역에 위치한 신천과 북서해역에 위치한 애월에서 15.00으로 최대값을 나타내었으며, 평균 4.19의 값을 보였다. (R+C)/P ratio는 남동해역에 위치한 보목에서 0.89로 최소값을, 북서해역에 위치한 애월에서 22.00으로 최대값을 나타내었으며, 평균 5.59의 값을 보였다(Table 4).

수심별 해조상 조사 결과는 Table 5와 같다. 수심 5 m의 C/P ratio는 북서부해역에 위치한 애월에서 0.25로 최소값을, 북동해역에 위치한 행원에서 6.00으로 최대값을 나타내었으며, 평균 1.99의 값을 보였다. R/P ratio는 남서해역에 위치한 영락에서 0.25로 최소값을, 북서해역에 위치한 애월에서 12.00으로 최대값을 나타내었으며, 평균 3.97의 값을 보였다. (R+C)/P는 남서해역에서 위치한 영락에서 0.25로 최소값을, 북서해역에 위치한 애월에서 16.00으로 최대값을 나타내었으며, 평균 4.74의 값을 보였다. 수심 10 m의 C/P ratio는 북서해역에 위치한 애월에서 0.20로 최소값을, 남동해역에 위치한 보목에서 6.00으로 최대값을 나타내었으며, 평균 1.62의 값을 보였다. R/P ratio는 남동해역에 위치한 보목에서 0.33으로 최소값을, 북서해역에 위치한 애월과 남동해역에 위치한 신천에서 10.00으로 최대값을 나타내었으며, 평균 4.06의 값을 보였다. (R+C)/P는 북서해역에서 위치한 월령과 남동해역에 위치한 보목에서 0.50로 최소값을, 북서해역에 위치한 애월에서 15.00으로 최대값을 나타내었으며, 평균 5.38의 값을 보였다. 수심 15 m의 C/P ratio는 북서해역에 위치한 애월에서 0.25로 최소값을, 북동해역에 위치한 행원에서 2.50으로 최대값을 나타내었으며, 평균 1.06의 값을 보였다. R/P ratio는 북서해역에 위치한 월령에서 0.33으로 최소값을, 북서해역에 위치한 애월에서 8.00으로 최대값을 나타내었으며, 평균 2.43의 값을 보였다. (R+C)/P는 북서해역에서 위치한 월령에서

0.33로 최소값을, 북서해역에 위치한 애월에서 12.00으로 최대값을 나타내었으며, 평균 3.36의 값을 보였다(Table 5).

2008년 해역별 해조상 조사 결과과 C/P ratio는 북서해역에서 0.25로 최소값을, 북동해역에서 1.80으로 최대값을 나타내었으며, 평균 0.88의 값을 보였다. R/P ratio는 남동해역에서 1.78로 최소값을, 북서해역에서 9.00으로 최대값을 나타내었으며, 평균 5.51의 값을 보였다. (R+C)/P는 북동해역에서 2.33으로 최소값을, 북서해역에서 13.00으로 최대값을 나타내었으며, 평균 7.33의 값을 보였다.

Table 4. C/P, R/P and (R+C)/P index of sampling sites.

| Region       | Sampling sites | C/P  | R/P  | (R+C)/P |
|--------------|----------------|------|------|---------|
| Northwestern | Wolyeong *     | 3    | 1.67 | 2       |
|              | Gwakji         | 1    | 2.5  | 3.5     |
|              | Aewol          | 0.14 | 15   | 22      |
|              | Sineom *       | 3    | 0.83 | 1.17    |
|              | Iho *          | 2    | 1.75 | 2.25    |
| Northeastern | Jocheon *      | 1.5  | 1.17 | 1.83    |
|              | Woljeong       | 0.8  | 3.5  | 4.75    |
|              | Haengwon       | 4    | 1.75 | 2       |
|              | Seongsan *     | 2    | 1.5  | 2       |
| Southeastern | Sincheon       | 0.25 | 15   | 19      |
|              | Hacheon        | 1    | 2.25 | 3.25    |
|              | Namwon *       | 0.5  | 3.5  | 5.5     |
|              | Bomok *        | 3    | 0.56 | 0.89    |
| Southwestern | Daepo          | 1    | 6    | 7       |
|              | Jungmun        | 0.5  | 9    | 11      |
|              | Yeongnak *     | 7    | 1.14 | 1.29    |

Table 5. C/P, R/P and (R+C)/P index of each depth at sampling sites.

| Depths | Index   | Sampling sites |     |      |      |      |      |      |      |     |     |      |    |      |    |     |      |
|--------|---------|----------------|-----|------|------|------|------|------|------|-----|-----|------|----|------|----|-----|------|
|        |         | WY             | GJ  | AW   | SE   | IH   | JC   | WS   | HW   | SS  | SC  | HC   | NW | BM   | DP | JM  | YN   |
| 5 m    | C/P     | 1              | 1   | 0.25 | 4    | 1.5  | 1.67 | 2    | 6    | 2.5 | —   | 3    | 1  | 2    | 1  | 1   | —    |
|        | R/P     | 5              | 3   | 12   | 1    | 1.83 | 0.8  | 6.5  | 2    | 2   | 10  | 2.33 | 2  | 0.75 | 7  | 7   | 0.25 |
|        | (R+C)/P | 6              | 4   | 16   | 1.25 | 2.5  | 1.4  | 7    | 2.17 | 2.4 | 10  | 2.67 | 3  | 1.25 | 8  | 8   | 0.25 |
| 10 m   | C/P     | —              | —   | 0.2  | 1.5  | 0.67 | 2    | 0.5  | 3    | 2.5 | 0.5 | 0.25 | 0  | 6    | 1  | 0.5 | 4    |
|        | R/P     | 0.5            | 3   | 10   | 0.67 | 2.5  | 0.5  | 5.5  | 3.33 | 2   | 10  | 6    | —  | 0.33 | 8  | 7   | 1.5  |
|        | (R+C)/P | 0.5            | 3   | 15   | 1.33 | 4    | 1    | 7.5  | 3.67 | 2.4 | 12  | 10   | —  | 0.5  | 9  | 9   | 1.75 |
| 15 m   | C/P     | —              | 2   | 0.25 | —    | 2    | 0.5  | 1.5  | 2.5  | 1   | —   | 1    | 1  | 1    | 1  | —   | —    |
|        | R/P     | 0.33           | 0.5 | 8    | 2    | 1.25 | 2.5  | 3    | 1.8  | 1.4 | —   | 2.5  | 4  | 1    | 4  | —   | 1.75 |
|        | (R+C)/P | 0.33           | 1   | 12   | 2    | 1.75 | 4.5  | 3.67 | 2.2  | 2.4 | —   | 3.5  | 5  | 2    | 5  | —   | 1.75 |

## 나. 제주해역 해조류 출현양상을 이용한 생태학적 제지수

제주연안 해조류 출현양상을 이용하여 생태학적 제지수를 분석한 결과, 정점별 종 풍부도는 이호에서 5.84로 가장 높았으며, 성산 5.81, 애월 4.37, 월정 3.98 그리고 행원 3.96으로 다른 정점에 비해 상대적으로 높았다. 정점 수심별 종 풍부도는 정점 수심별 해조류 종 조성 연구결과와 동일하게 정점 수심별 출현 종수와 상관관계가 있었다(Spearman correlation;  $R^2 > 0.5$ ,  $p < 0.05$ )(Table 6).

정점별 종 균등도는 애월에서 0.92로 가장 높았으며, 조천 0.91, 이호 0.90, 성산 0.87 그리고 남원 0.87로 다른 정점에 비해 상대적으로 높았다. 정점 수심별 종 균등도는 상대적으로 수심 10 m에서 가장 균등도가 낮고, 수심 5 m에서 가장 높은 양상이었다. 월령의 경우, 수심 5 m의 종 균등도는 0.90으로 상대적으로 높았으나, 수심 10 m에서 갈조류 중 *Coralline* sp.의 대량출현에 의해 0.35로 급격하게 감소하였다가 수심 15 m에서 다시 0.73으로 증가하는 양상이었다. 이외에도 괄지와 월정에서도 수심 별로 우점종 대량출현으로 인해 종 균등도가 감소하는 양상이었다(Table 6).

정점별 종 다양도는 성산에서 2.96으로 가장 높았다. 이외에 애월(2.84), 이호(2.95), 월정(2.57), 행원(2.59) 그리고 신천(2.52)에서 다양도 지수 2.5 이상으로 상대적으로 높은 종 다양도이었다. 반면, 해조류 출현 종수가 적은 월령(1.78), 괄지(1.47) 그리고 중문(1.78)에서는 낮은 종 다양도이었다. 정점 수심별 종 다양도는 수심 5m에서는 이호에서 2.88로 가장 높았고, 수심 10 m와 15 m에서는 성산에서 각각 2.56과 2.49로 가장 높았다. 하지만 전반적으로 수심이 증감함에 따라서 종 다양도는 감소하는 양상이었지만 통계학적으로는 상관관계가 없었다(Spearman correlation;  $R^2 > 0.5$ ,  $p < 0.05$ )(Table 6).

Table 6. Species richness, species evenness and species diversity of benthic algae of sampling sites at different depths.

| Sampling sites | Species richness (d) |      |      |      | Species evenness (J') |      |      |      | Species diversity (H') |      |      |      |
|----------------|----------------------|------|------|------|-----------------------|------|------|------|------------------------|------|------|------|
|                | Total                | 5 m  | 10 m | 15 m | Total                 | 5 m  | 10 m | 15 m | Total                  | 5 m  | 10 m | 15 m |
| Wolyeong *     | 1.99                 | 1.38 | 0.64 | 0.89 | 0.81                  | 0.90 | 0.35 | 0.73 | 1.78                   | 1.75 | 0.38 | 1.01 |
| Gwakji         | 1.94                 | 0.95 | 0.79 | 0.82 | 0.67                  | 0.76 | 0.46 | 0.64 | 1.47                   | 1.23 | 0.64 | 0.88 |
| Aewol          | 4.37                 | 3.33 | 3.32 | 2.73 | 0.92                  | 0.92 | 0.88 | 0.87 | 2.84                   | 2.61 | 2.45 | 2.24 |
| Sineom *       | 2.75                 | 1.86 | 1.41 | 0.61 | 0.82                  | 0.81 | 0.80 | 0.63 | 2.11                   | 1.78 | 1.55 | 0.70 |
| Iho *          | 5.84                 | 4.90 | 2.41 | 2.43 | 0.90                  | 0.95 | 0.93 | 0.87 | 2.95                   | 2.88 | 2.15 | 2.08 |
| Jocheon *      | 3.91                 | 2.79 | 1.83 | 2.68 | 0.91                  | 0.91 | 0.87 | 0.89 | 2.57                   | 2.25 | 1.81 | 2.13 |
| Woljeong       | 3.98                 | 2.78 | 2.90 | 2.45 | 0.70                  | 0.67 | 0.73 | 0.55 | 2.19                   | 1.87 | 2.05 | 1.46 |
| Haengwon       | 3.96                 | 2.97 | 2.45 | 2.87 | 0.81                  | 0.83 | 0.73 | 0.76 | 2.59                   | 2.43 | 1.92 | 2.12 |
| Seongsan *     | 5.81                 | 3.27 | 3.29 | 3.70 | 0.87                  | 0.82 | 0.90 | 0.88 | 2.96                   | 2.33 | 2.56 | 2.49 |
| Sincheon       | 3.72                 | 1.97 | 2.48 | 2.53 | 0.84                  | 0.80 | 0.85 | 0.86 | 2.52                   | 1.92 | 2.18 | 2.20 |
| Hacheon        | 3.08                 | 1.93 | 1.95 | 1.70 | 0.73                  | 0.69 | 0.71 | 0.75 | 2.08                   | 1.65 | 1.70 | 1.65 |
| Namwon *       | 3.49                 | 2.43 | 1.01 | 1.38 | 0.87                  | 0.91 | 0.86 | 0.90 | 2.23                   | 1.90 | 0.95 | 1.62 |
| Bomok *        | 3.54                 | 1.80 | 1.95 | 1.89 | 0.86                  | 0.91 | 0.78 | 0.84 | 2.44                   | 2.00 | 1.71 | 1.85 |
| Daepo          | 3.32                 | 1.97 | 2.09 | 2.42 | 0.81                  | 0.84 | 0.76 | 0.78 | 2.24                   | 1.85 | 1.74 | 1.93 |
| Jungmun        | 2.55                 | 1.88 | 1.97 | 1.00 | 0.72                  | 0.72 | 0.70 | 0.96 | 1.78                   | 1.58 | 1.61 | 1.33 |
| Yeongnak *     | 3.35                 | 0.94 | 2.32 | 2.39 | 0.86                  | 0.84 | 0.84 | 0.88 | 2.37                   | 1.35 | 2.02 | 2.11 |

### 다. 제주해역 해조류 출현양상을 이용한 유사도 분석

제주연안 정점별 해조류 출현양상을 이용하여 Sorensen(Barbour *et al.*, 1987) 유사도 분석한 결과, 35% 수준에서 시간적인 차이에 따른 집단 A(남원, 성산, 이호, 신엄, 월령, 영락, 조천 그리고 보목), 집단 B(신천, 애월, 하천, 중문, 대포, 행원 그리고 월정) 그리고 출현 종수와 생체량이 적은 집단 C(곽지)로 구분되었다. 유사도 수준 50% 에서는 집단 A과 집단 B에서 공간적 및 위치적으로 인접한 정점간에 군집을 형성하였으며, 특히 신천과 애월 그리고 행원과 월정은 유사도 75% 이상의 수준에서 군집을 형성하였다 (Fig. 18).

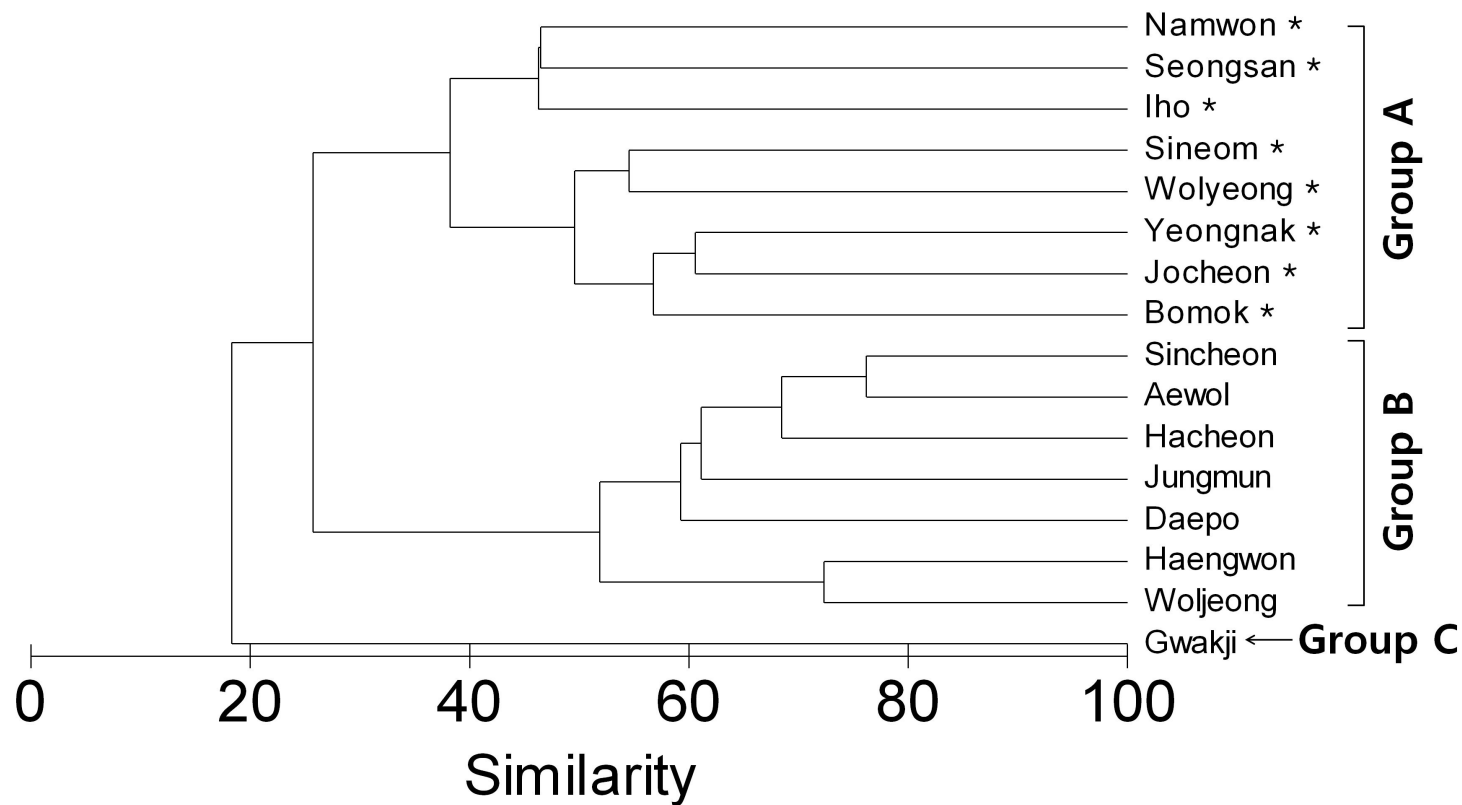


Fig. 18. Dendrogram of similarity index at each sampling sites on the coastal zones of Jeju island.

### 3. 제주해역 유용해조류 분포

제주해역 출현 해조류 중 유용해조류는 총 17종으로 녹조류 4종, 갈조류 8종 그리고 홍조류 5종이었다. 출현 유용해조류 중 갈조류인 *E. cava*가 2036.02 gWWt/m<sup>2</sup>로 월령을 제외한 모든 정점에서 출현하였으며, 최우점하였다. 이후 갈조류 *E. kurume* 94.26 gWWt/m<sup>2</sup>, 갈조류 *U. pinnatifida* 34.57 gWWt/m<sup>2</sup> 그리고 녹조류 *C. contractum* 24.05 gWWt/m<sup>2</sup> 순으로 우점하였다. 정점별로 유용해조류 생물량은 월령에서 14,173 gWWt/m<sup>2</sup>로 가장 많았고, 이후 행원(10,435 gWWt/m<sup>2</sup>), 하천(5,104 gWWt/m<sup>2</sup>), 중문(1,219 gWWt/m<sup>2</sup>) 그리고 성산(1,009 gWWt/m<sup>2</sup>)에서 1,000 gWWt/m<sup>2</sup> 이상으로 다른 정점에 비해 상대적으로 생물량이 높았다(Table 7; Fig. 19; 20; 21; 22; 23; 24).

Table 7. List of useful benthic algae in sampling sites on the coastal zones of Jeju island.

| Clasicfication                 | Species name                        | Sampling sites |       |     |     |     |     |        |        |       |     |       |    |     |       |       |    |
|--------------------------------|-------------------------------------|----------------|-------|-----|-----|-----|-----|--------|--------|-------|-----|-------|----|-----|-------|-------|----|
|                                |                                     | WY             | GJ    | AW  | SE  | IH  | JC  | WS     | HW     | SS    | SC  | HC    | NW | BM  | DP    | JM    | YN |
| Chlorophyta                    | <i>Codium contractum</i>            |                |       | 90  |     |     | 16  | 9      |        |       | 270 |       |    |     |       |       |    |
|                                | <i>Codium fragile</i>               |                |       | 96  |     |     |     | 25     |        |       |     | 81    |    | 0   |       |       |    |
|                                | <i>Enteromorpha linza</i>           |                |       |     |     | 0   |     |        |        |       |     |       |    |     |       |       |    |
|                                | <i>Ulva pertusa</i>                 |                | 54    |     |     | 2   |     |        |        | 0     |     |       | 1  |     |       |       |    |
| Phaeophyta                     | <i>Dictyota dichotoma</i>           |                |       |     |     | 4   |     |        |        | 1     |     |       |    |     |       |       | 1  |
|                                | <i>Ecklonia cava</i>                |                | 1,122 | 80  | 216 | 42  | 49  | 14,137 | 8,762  | 692   | 92  | 5,023 | 46 | 72  | 999   | 1,219 | 25 |
|                                | <i>Ecklonia kurome</i>              | 1              |       |     | 53  |     | 24  |        | 1,344  |       |     |       |    | 67  |       |       | 20 |
|                                | <i>Sargassum fulvellum</i>          |                |       |     |     |     |     |        | 41     |       |     |       |    |     |       |       |    |
|                                | <i>Sargassum fusiform</i>           |                |       |     |     | 1   |     |        |        |       |     |       |    |     |       |       |    |
|                                | <i>Sargassum horneri</i>            |                |       |     |     |     |     |        | 137    | 9     |     |       |    |     |       |       |    |
|                                | <i>Sargassum serratifolium</i>      |                |       |     |     |     |     |        | 149    |       |     | 0     |    |     |       |       |    |
|                                | <i>Undaria pinnatifida</i>          | 2              |       |     | 109 | 64  | 36  |        |        | 246   |     |       |    | 56  |       |       | 40 |
| Rhodophyta                     | <i>Ahnfeltiopsis flabelliformis</i> |                |       |     |     | 2   |     |        |        |       |     |       |    |     | 1     |       |    |
|                                | <i>Gelidium amansii</i>             |                |       |     |     |     |     | 3      |        |       |     |       |    |     |       |       |    |
|                                | <i>Gelidium elegans</i>             |                |       |     |     | 3   |     |        |        | 34    |     |       | 0  |     |       |       |    |
|                                | <i>Grateloupia elliptica</i>        |                |       |     |     |     |     |        |        | 27    |     |       |    |     |       |       |    |
|                                | <i>Lomentaria catenata</i>          |                |       |     |     | 1   |     |        |        |       |     |       |    |     |       |       |    |
| Total (gWWt / m <sup>2</sup> ) |                                     | 2              | 1,175 | 266 | 378 | 118 | 125 | 14,173 | 10,435 | 1,009 | 362 | 5,104 | 47 | 195 | 1,000 | 1,219 | 86 |

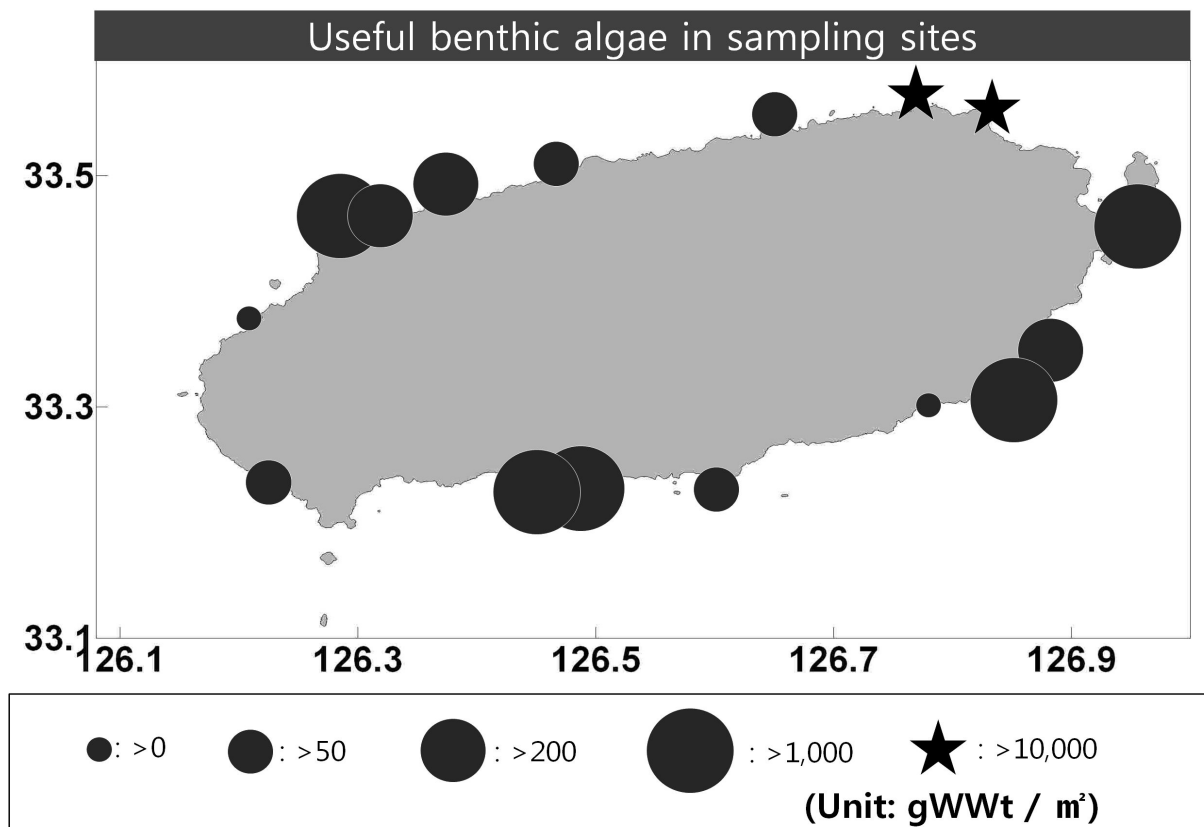


Fig. 19. Distribution of useful algae in sampling sites on the coastal zones of Jeju island.

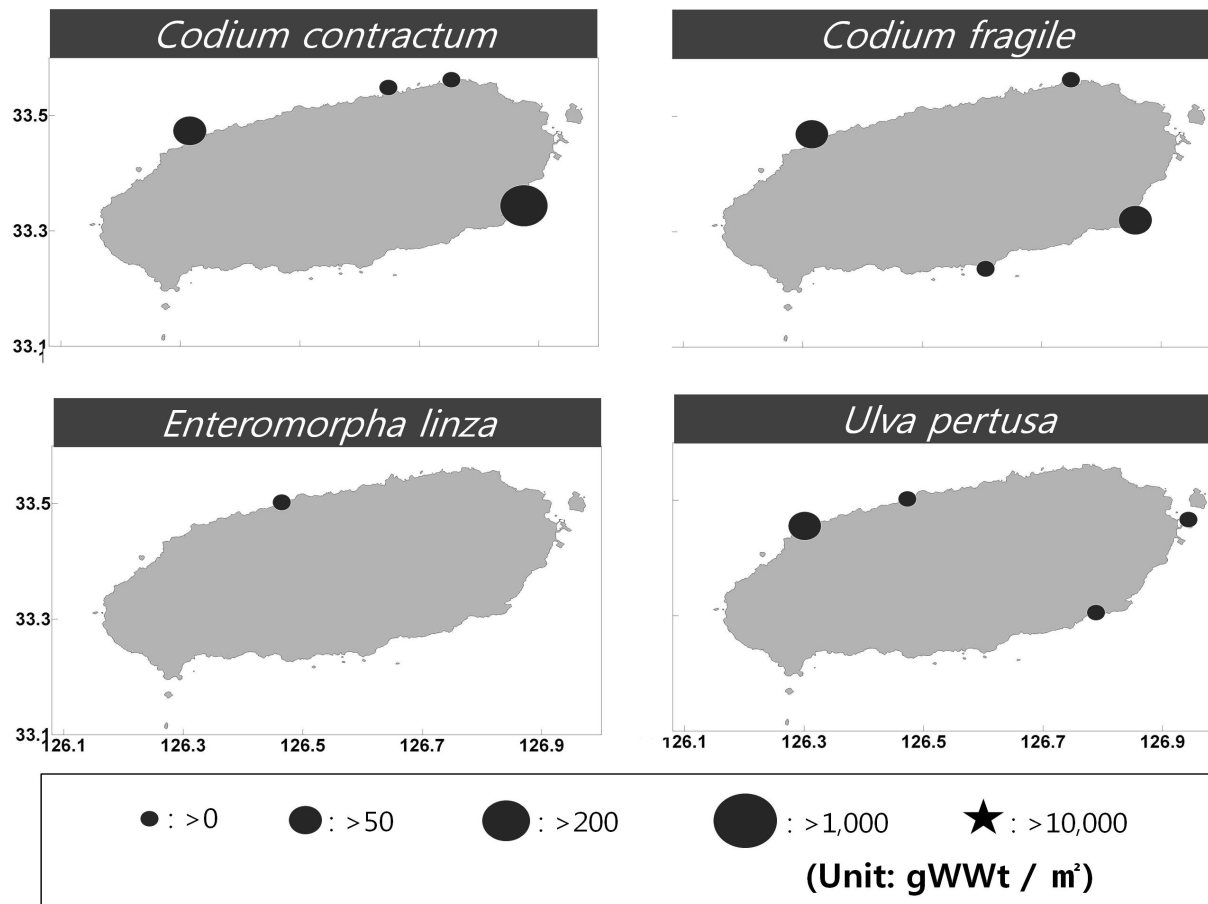


Fig. 20. Distribution of *Codium contractum*, *C. fragile*, *Enteromorpha linza* and *Ulva pertusa* in sampling sites on the coastal zones of Jeju island.

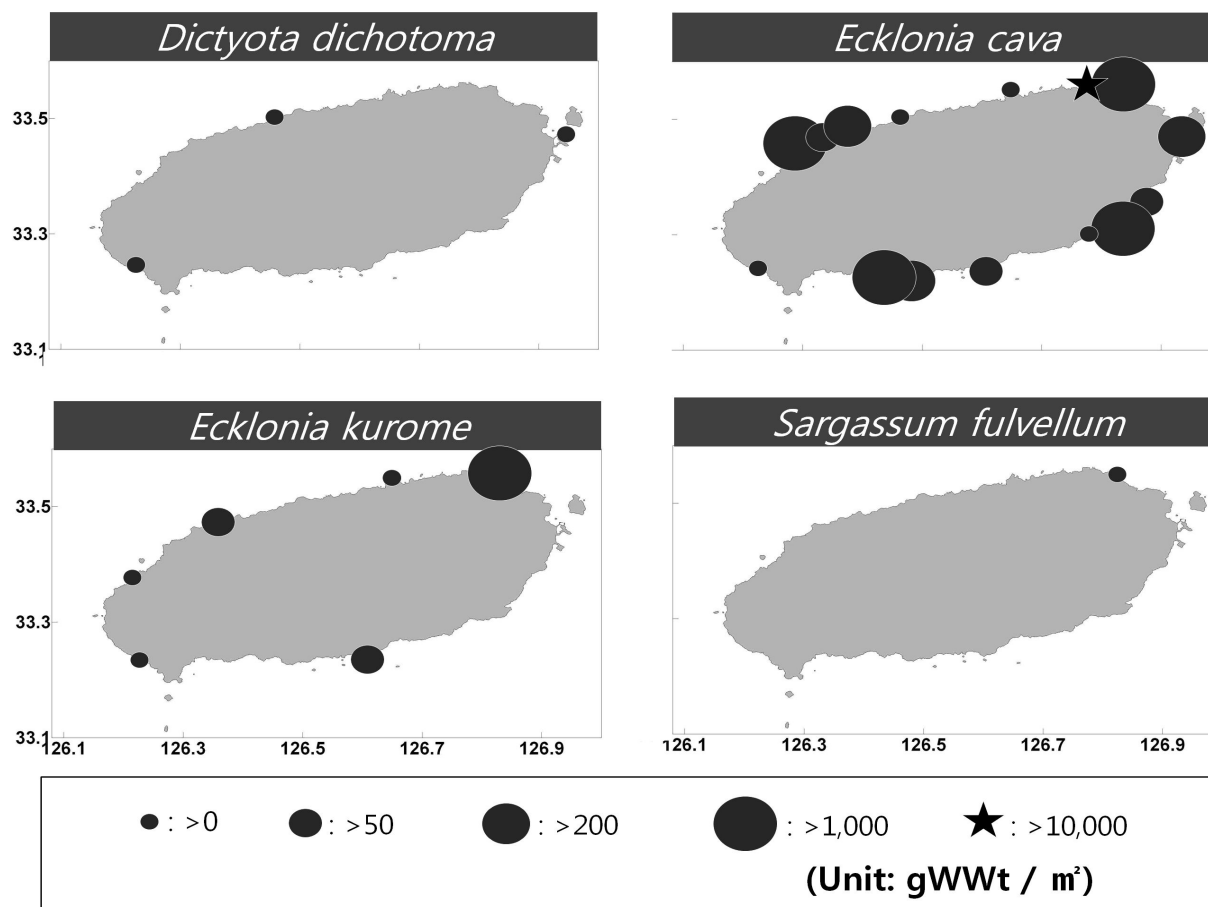


Fig. 21. Distribution of *Dictyota dichotoma*, *Ecklonia cava*, *E. kurome* and *Sargassum fulvellum* in sampling sites on the coastal zones of Jeju island.

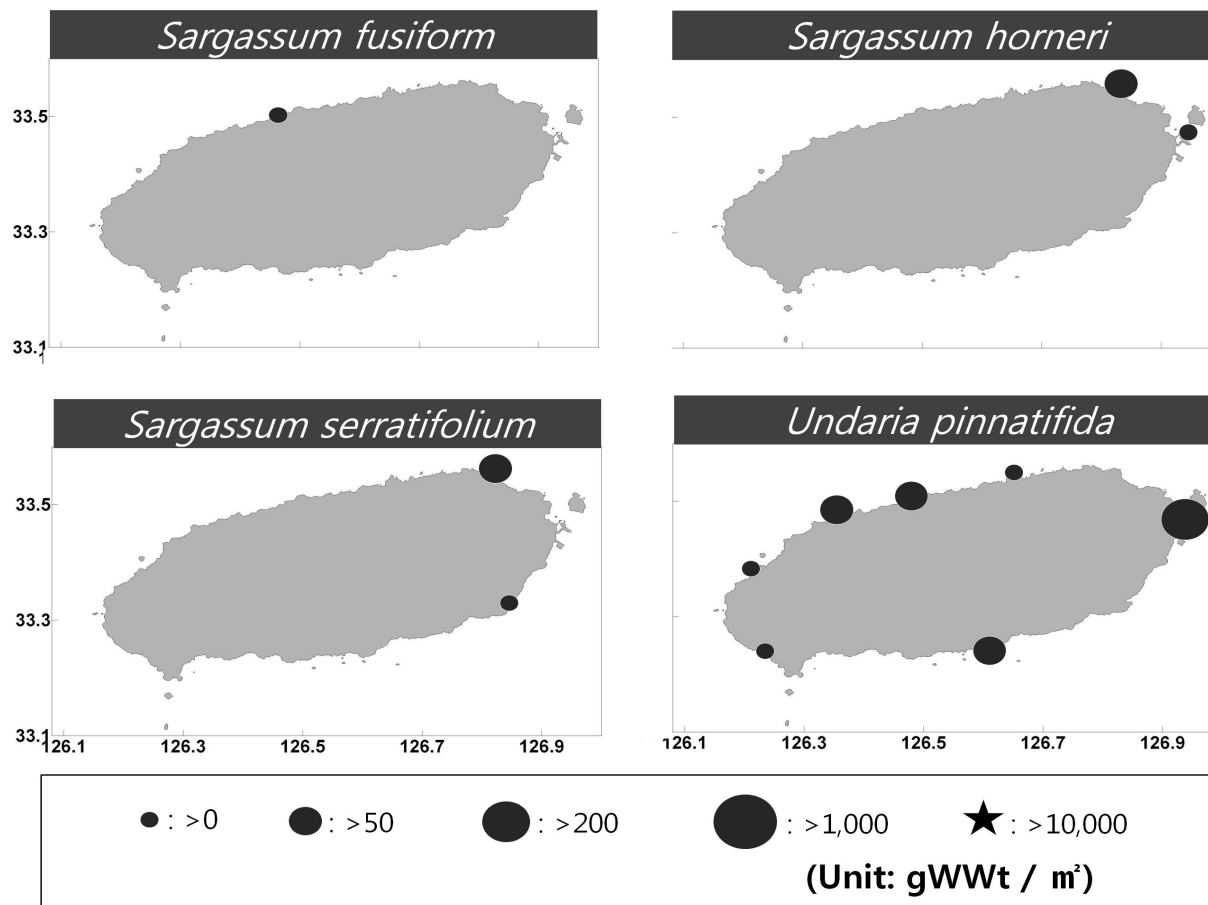


Fig. 22. Distribution of *Sargassum fusiform*, *S. horneri*, *S. serratifolium* and *Undaria pinnatifida* in sampling sites on the coastal zones of Jeju island.

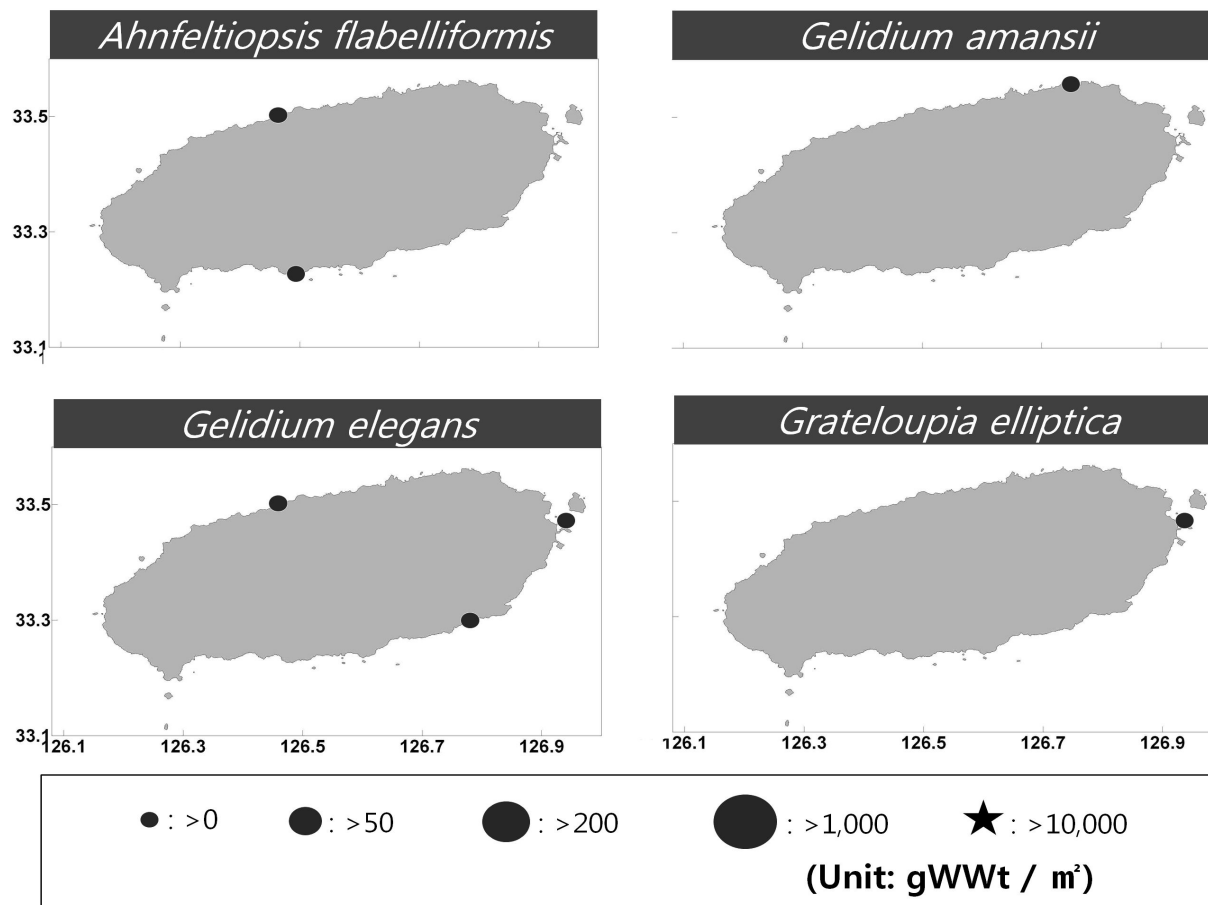


Fig. 23. Distribution of *Ahnfeltiopsis flabelliformis*, *Gelidium amansii*, *G. elegans* and *Grateloupia elliptica* in sampling sites on the coastal zones of Jeju island.

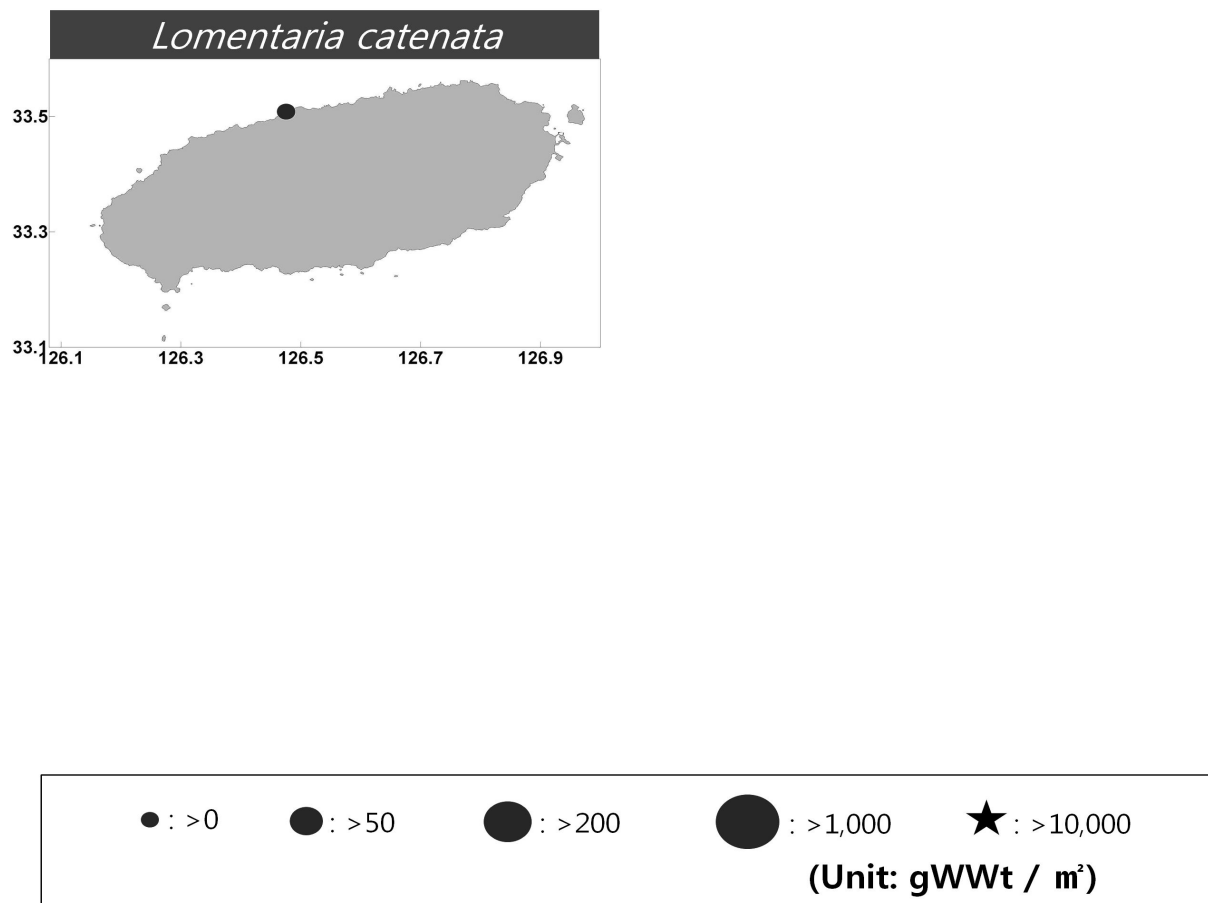


Fig. 24. Distribution of *Lomentaria catenata* in sampling sites on the coastal zones of Jeju island.

## 제4절 고찰

제주도는 해안에 다양한 기질이 존재하고 지리적으로 제주 남쪽해역에서 북상하는 대마난류, 제주 북쪽의 남해안 연안수 및 중국대륙연안수 등 여러 수괴의 영향을 동시에 받고 있어 생물다양성이 높은 여건을 갖추고 있으며, 온대와 아열대, 열대 생물이 공존하는 곳으로 동·서·남해 해안과는 다른 종조성을 가지고 있다. 김(1991)과 이와 부(1993)는 이러한 특성으로 인해 제주도 해역을 해조류의 독립적 분포구로 단정하고 있다. 제주도의 해안생태계의 중요성과 특이성 때문에 상대적으로 많은 연구 조사가 시도 되었지만 이러한 연구들은 대부분 서귀포 주변의 바위섬에 편중되어왔다.

본 조사지역인 제주도 16개 정점에서 채집 동정된 해조류는 총 89종으로 녹조류 12종(13.5%), 갈조류 24종(27.0%), 홍조류 53종(59.6%)이었으며, 정점별 출현 종수의 범위는 9~30종으로 정점에 따라 편차를 나타냈다. 김 등(2008)은 제주 추자도 예초와 후포 해안에서 녹조류 15종, 갈조류 47종, 홍조류 100종 총 162종이 출현하였으며, 본 조사 결과와 상당한 차이를 보이는 것으로 분석되었다. 이와 같은 결과는 조사지역의 계절별 채집으로 종수가 다양하게 출현한 것으로 계절별 출현 결과로는 가을 66종, 겨울 75종, 봄 100종, 여름 113종으로 본 조사 결과와 비슷한 출현 경향을 보였다. 서해 태안반도 꽃지 80종(Lee *et al.*, 2007), 고군산군도 지역 58종(김 등, 2011), 남해 도초군도 53종(박 등, 2007), 마산만 조간대 42종(Kwak and Huh, 2009), 동해 사천 81종(Kim *et al.*, 2011), 대진과 죽변 연안 84종(신 등, 2008) 등 본 연구와 출현 종이 현저히 적거나 비슷한 출현 경향을 보였다. 수심별 출현 종수는 수심 5 m 71종, 10 m 52종, 15 m 56종이 출현하였으며, 해역별 출현 종수는 북서부해역 28종, 북동부해역 30종, 남동부해역 24종, 남서부해역 20종으로 남서부해역의 경우 전체 출현 종수와 분류군별 출현밀도가 다른 해역에 비해 상대적으로 낮았다. 이는 조사해역의 수온이 타 해역에 비해 상대적으로 높고, 해저 지형이 주로 사질대(58.0%)로 이루어져 있어 해조류가 부착할 수 있는 기질인 암반대의 부족 등 복합적 환경 요인에 의한 것으로 사료된다.

제주연안 정점별 해조류 출현 생체량과 출현빈도를 기초로 Le Bris index 방법으로 우점종 분석 결과, 상위 20종 중 녹조류 11종, 갈조류 5종, 홍조류 4종순으로

출현하였으며, 분류군별 Le Bris 지수값은 갈조류 63,7%, 홍조류 25,7%, 녹조류 8.9% 순이었다. 제주연안 상위 20종은 전체의 98.4%로 기타 출현 종에 비해 상대적으로 우점하였으며, 감태(*E. cava*)가 54.5%로 최우점하였다. 종 다양도 지수( $H'$ )는 군집 안정도 및 환경상태의 평가 방법으로 활용되고 있는데(Park et al., 2006; Lee et al., 2007; Kang et al., 2008; Choi and Rho, 2010), 종 다양도 지수가 1~2인 경우 군집안정도가 불안정하고 환경상태도 나쁜 것으로 평가하고, 2.0~3.0의 경우 군집안정도는 불안정하고 환경상태는 다소 양호한 것으로 평가하였다. 생태학적 제지수 분석 결과, 북서부해역에 위치한 애월과 이호에서 종 풍부도( $d$ )와 종 균등도( $J'$ )가 타 정점에 비해 높았으며, 종 다양도 지수( $H'$ )를 이용하여 평가한 결과 월령(1.78), 괄지(1.47), 중문(1.78)은 군집 안정도는 “불안정”하고 환경상태는 “나쁜”것으로 평가되며, 그 외 13개 정점에서는 2.08~2.95로 군집 안정도는 “불안정”하고 환경상태는 “다소양호”한 것으로 평가되었다.

제주 연안 해조류의 생태학적 분포를 비교·분석한 결과, 대마난류 및 양자강 저염수와 같은 해류 및 해저 지형 부착기질(암반대) 분포의 영향을 받고 있으며, 아열대·열대 종의 유입 및 토착화가 진행되고 있기 때문에 향후 제주 연안 해조류의 생태학적 분포에 대한 연구는 지속적이고 대표성을 가질 수 있는 범위에서의 다양한 연구가 필요한 것으로 사료된다.

## 제4장 제주해역 저서무척추동물의 분포 및 생태

### 제1절 서론

해양생물 중 저서 무척추동물은 어류나 플랑크톤에 비해 이동 능력이 매우 작아 일시적인 환경변화에 쉽게 적응하지 않고 조사 시기에 영향을 받지 않아 연안 환경을 평가하는 데 유용하게 이용된다(Warwick and Clarke, 1993; Burd *et al.*, 2008). 이러한 저서동물은 복잡한 시·공간적 패턴을 보이며, 생물다양성 측면에서 매우 높은 가치를 가지고 있어(van der Maarel, 1990), 해양생태계 내 상위단계로의 에너지 전달원으로서 매우 중요한 부분을 차지하고 하고 있다(Pearson and Rosenberg, 1978; Cohen *et al.*, 1982; Thouzeau *et al.*, 1991). 이들 군집의 다양도와 개체수는 생태계의 건강도를 측정하는 중요한 요소로 알려져 있다.

제주도의 지리적·생태적 특이성과 중요성 때문에 제주도 저서 무척추동물에 대한 조사는 많은 연구진에 의해 수행되어왔다. Adams and Reeve(1848)가 제주도 최초로 연체동물과 완족동물에 대해 보고하였으며, 우리 학자들에 의한 연구는 1960년대부터 본격적으로 시작되었는데, 제주 연안해역의 조간대 및 항구를 대상으로 저서무척추동물의 군집구조를 밝히는 많은 연구들이 진행되어져왔다(Lee and Jwa, 1988). 그러나 이러한 대부분의 연구들은 서귀포 주변의 바위섬이나 일부 해역에 편중되었으며, 주로 조간대나 항구에서 어민들에 의해 채취된 재료를 주로 이용하였고 서식지를 중심으로 조사되지 않았다.

현재 수온상승 등으로 인해 국내외적으로 해양환경에 대한 관심이 고조되고 있으며, 이에 따른 제주도의 아열대성 해역으로의 변화가 가속화 되고 있는 시점에서 제주 연안 정점별 저서무척추동물의 생태적 분포특성 및 시·공간적 개체 밀도와 해역별 주요구성 생물군에 대한 연구는 미진한 수준이라 할 수 있다.

따라서 본 연구는 제주도 연안 8개 정점의 물리·화학적인 환경요인 및 일반현황을 측정하고, 수심별·정점별 출현 저서 무척추동물의 비교 분석을 통해 연안 생태계 변화 규명 및 분포 특성을 파악하고, 향후 제주 연안 저서생태계 변동 파악에 기초 자료를 제공하는데 기여하고자 한다.

## 제2절 재료 및 방법

### 1. 표본채집

제주해역에 서식하는 저서무척추동물의 분포와 생태를 연구하기 위해 2008년 춘계시기에 북서해역인 곶지와 애월, 북동해역 월정과 행원, 남동해역 신천과 하천 그리고 남서해역 대포와 중문 8개 정점을 선정하여 저서무척추동물 표본을 채집 하였다 (Fig. 25).

제주해역 저서무척추동물은 해조류 표본과 동일하게 정점별로 가상의 조사선을 설정한 후 Line-transect 방법으로 실시하였다. 사전 준비한 조사선의 좌표를 확인하고 도착 지점의 방향을 설정한 후 수중에 잠수를 하여 목표방향으로 진행 하면서 정량 채집과 각 조사선의 특성에 대한 필요한 자료를 취득하였다.

Line-transect 기준은 수심 5 m, 10 m, 15 m로 선정하였으며, 이를 중심으로 50 cm × 50 cm의 방형구를 설치하여 방형구내 시료를 전량 채집하는 방법인 방형구법(Quadrat method)을 이용하여 채취하였다. 채집된 시료는 중성포르말린 30%에 고정 후 아이스박스에 넣고 실험실로 운반하였으며, 해부현미경(Olympus SZ-51) 하에서 종(species)까지 분류 하였으며, 종으로 분류가 안 되는 것은 속(family)으로 분류하였다. 이후 비교 및 분석을 위해 종 분류, 계수 및 생체량을 측정하였다. 측정된 자료를 면적당 1m<sup>2</sup>로 환산하였다. 동정된 저서동물의 학명과 목록 정리는 Shen(1932), 김(1973, 1977), Yang and Sun(1988), Nishimura (1992, 1995), Okutani(1994, 2000), 김(1998), 손과 홍(2003) 및 민 등(2004)을 참고하였으며, 각 종에 대한 국명은 해양무척추 동물도감(2006)을 근거로 하였다.

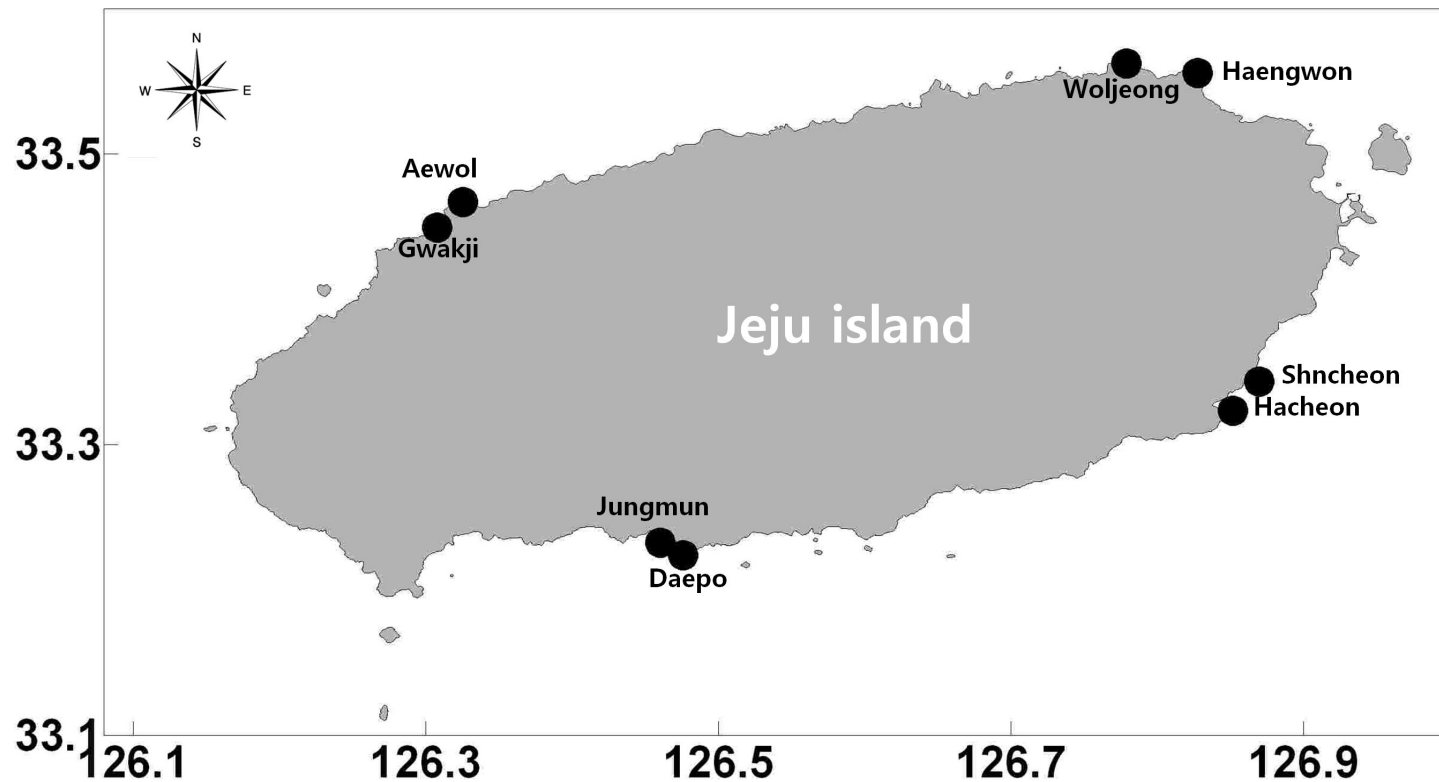


Fig. 25. Sampling sites of benthic invertebrates on the coastal zones of Jeju island from 2008 to 2010.

## 2. 저서무척추동물 군집분석

제주연안 정점 및 수심별 출현 저서무척추동물 생태학적 특징을 파악하기 위하여 출현종수, 출현 밀도, 생체량 그리고 우점종을 비교 분석하였다. 우점종은 출현 저서무척추동물의 출현 밀도와 출현빈도를 이용한 Le Bris(1988)<sup>(1)</sup>의 방법을 사용하였다.

정점별 저서무척추동물 생태학적 제지수를 비교 및 분석하기 위하여 Shannon and Weaver(1949)의 종 다양성지수(Diversity index,  $H'$ )와 Pielou(1975)의 종 균등도(Evenness index  $J'$ ) 그리고 Marglef(1958)의 종 풍부도를 해조류 생태학적 제지수 산출 방법과 동일하게 Table 1에 나타난 식에 의하여 산출하여 정점 및 수심별로 비교 분석하였다. 분석시 우점종의 대량출현에 따른 편중을 막기 위해 전체 출현밀도와 생체량을 대수변환(Square root)을 실시하였다.

정점 상호간의 유사도 분석은 Bray and Curtis의 방법을 사용하였다. 점간의 유사도(SI)는 Bray and Curtis(1957) 공통계수를 사용하여 아래식<sup>(3)</sup> 같이 산출하였다(Primer V.6.0, Primer-E Ltd.).

$$BC_{ij} = \sum \frac{|n_{ik} - n_{jk}|}{(n_{ik} + n_{jk})} \text{-----} (3)$$

## 3. 제주해역 저서무척추동물 K-dominance curve

제주연안 저서무척추동물 출현양상을 통해 저서생태계를 간접적으로 파악하기 위해 K-dominance curve를 분석하였다. 분석방법은 Warwick(1986)의 방법을 따라서 정량 채집된 모든 개체의 밀도와 생체량을 이용하여 Accumulative biomass curve와 Accumulative abundance curve의 상대적 위치를 고려한 K-dominance curve 분석결과로 저서생태계를 간접적으로 파악하였다(Fig. 26).

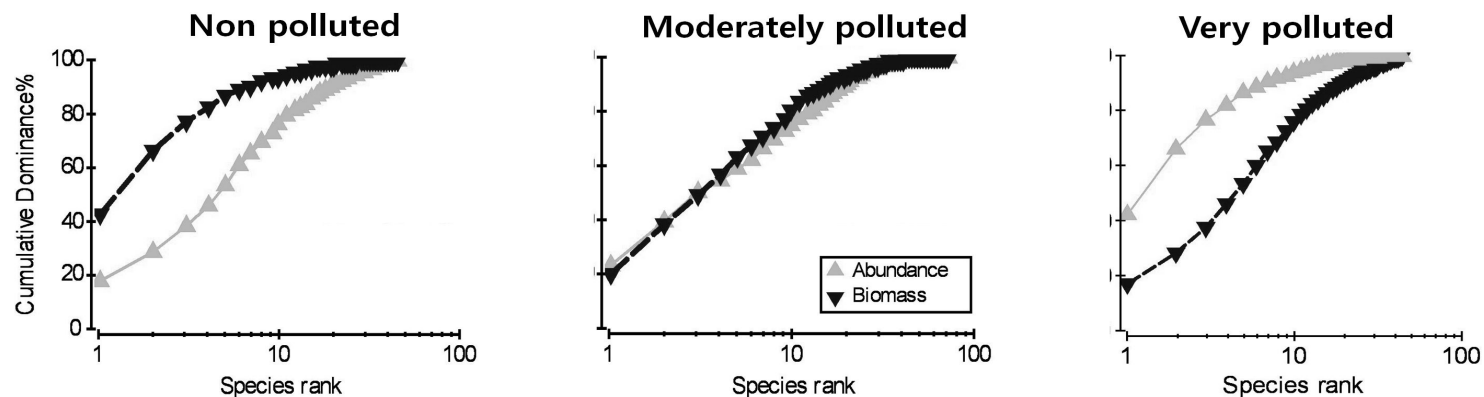


Fig. 26. Hypothetical K-dominance curves for species biomass and number, showing unpolluted, moderately polluted and heavily polluted conditions. On the horizontal X-axis, the species are ranked by decreasing order of importance, using a log scale(Warwick, 1986).

#### 4. 통계분석

제주해역 정점별 출현종수, 출현밀도, 생체량, 우점종 그리고 생태학적 제지수 등 요인간의 비교는 정규성 검증(Normality) 및 분산 동질성 검증을 실시하고, 정규성 분포를 가지는 요인은 두 개 집단 비교 분석시는 T-test를 사용하였고, 두 개 집단 이상일 경우에는 일원배치 분산분석(ANOVA)를 사용하였다. 비정규성 분포를 가지는 요인은 두 개 집단 비교 분석 시는 Wilcoxon sign rank test를 사용하였고, 두 개 집단 이상일 경우에는 Kruskal-Wallis test를 사용하였다.

제주연안 정점 및 해역별 저서무척추동물과 환경요인간 상관관계 분석은 정규성 검증 후 정규성일 때에는 Pearson's correlation 방법을 사용하였고, 비정규성 시에는 Spearman correlation 방법을 사용하였다. 상관관계 규명은 유의수준 95% 이하의  $R^2$ 값이 0.5 이상을 기준으로 하였다.

## 제3절 결과

### 1. 제주해역 저서무척추동물의 분포

#### 가. 제주해역 저서무척추동물 종 조성

##### (1). 해역별 저서무척추동물 종 조성

제주연안 해역을 정점 광지와 애월은 북서부해역, 월정과 행원은 북동부해역, 신천과 하천은 남동부해역 그리고 대포와 중문은 남서부해역으로 구분하였다. 해역별 출현종수는 북동부해역에서 125종으로 가장 높았으며, 이후 남동부해역 107종, 북서부해역 84종, 남서부해역 76종으로 출현하였다. 해역별 분류군에 따른 종 조성은 북서부해역에서 환형동물문 5종, 절지동물문 16종, 극피동물문 8종, 연체동물문 40종, 기타동물문 15종이었고, 북동부해역에서는 환형동물문 16종, 절지동물문 24종, 극피동물문 7종, 연체동물문 52종, 기타동물문 26종이 출현하였다. 남동부해역에서 환형동물문 8종, 절지동물문 21종, 극피동물문 5종, 연체동물문 51종, 기타동물문 22종이었고, 남서부해역에서는 환형동물문 2종, 절지동물문 14종, 극피동물문 7종, 연체동물문 33종, 기타동물문 20종이 출현하였다. 북동부해역에서 극피동물문을 제외한 환형동물문(51.6%), 절지동물문(32.0%), 연체동물문(29.5%), 기타동물문(31.3%)에서 다른 해역에 비해 상대적으로 높은 출현 종수를 보였으며, 극피동물문은 북서부해역(29.6%)에서 높게 나타났고, 남서부해역의 경우, 전체 출현종수가 다른 해역에 비해 상대적으로 낮은 경향을 보였다(Fig. 27).

##### (2) 정점별 저서무척추동물 종 조성

제주연안 정점별 저서무척추동물 출현 종수는 행원에서 91종으로 가장 많은 종수가 출현하였으며, 신천과 애월(84종), 월정(74종), 하천(59종), 대포(53종), 중문(45종), 광지(20종) 순으로 출현하였다. 분류군별 출현 종수는 환형동물문의 경우 행원에서 13종으로 가장 높은 종수를 보였으며, 월정(8종), 하천(7종), 애월(5종) 순으로 출현하였고, 중문에서는 발견되지 않았다. 절지동물문은 신천에서 20종으로 가장 높은 종수를 보였으며, 행원(17종), 애월(16종), 월정(14종) 순으로 출현하였고, 광지에서 4종이 출현하여 가장 적게 나타났다. 극피동물문은 애월에서 8종으로 가장 높은 종수를 보였으며, 중문(7종), 월정·행원(6종), 하천(5종) 순으로 출현하였고, 광지·대포에서 3종으로 가장 적은 종수를 보였다. 연체동물문은 신천

과 애월에서 각 40종으로 가장 많은 종수를 보였으며, 행원(37종), 월정(29종), 하천(26종), 대포(23종) 순으로 출현하였고, 광지에서는 9종으로 가장 적은 종수가 출현하였다. 기타동물문은 행원에서 18종으로 가장 많은 종수를 보였으며, 신천·월정(17종), 대포·애월(15종), 하천(14종) 순으로 출현하였고, 광지에서 3종으로 가장 적은 종수가 출현하였다(Fig. 28).

### (3) 정점 수심별 저서무척추동물 종 조성

제주해역 정점 수심 5 m에 서식하는 저서무척추동물의 종 조성은 행원에서 60종으로 가장 많은 종이 출현하였고, 신천(52종), 월정(50종), 애월(45종), 중문·하천(30종) 순으로 출현 종수가 많았다. 반면 광지에서는 12종으로 가장 적은 수의 종이 출현하였다. 정점별 수심 5 m 저서무척추동물 분류군별 종 조성은 환형동물문의 경우, 환형동물문이 출현하지 않은 중문과 하천을 제외한 정점에서 1~7종의 범위로 행원에서 7종으로 가장 많은 종이 출현하였다. 절지동물은 정점별 2~17종이 출현하였으며, 신천에서 17종으로 다른 정점에 비해 상대적으로 많은 종수가 출현하였고, 월정(11종), 행원(9종), 애월(8종) 순으로 출현하였다. 반면 하천·대포와 광지에서는 각각 3종과 2종이 출현하여 상대적으로 적은 종수가 관찰되었다. 극피동물문은 1~7종의 범위로 중문(7종)에서 가장 많은 종수가 출현하였으며, 광지·신천에서 2종, 대포에서 1종으로 상대적으로 적은 종수가 관찰되었다. 연체동물문은 6~30종의 범위로 행원(30종)에서 가장 많은 종수가 출현하였으며, 신천(27종), 월정(25종), 애월(21종) 순으로 나타났고, 광지에서는 6종으로 가장 적은 종수가 관찰되었다. 기타동물문은 1~8종의 범위로 행원에서 10종으로 가장 많은 종수가 관찰되었으며, 대포·애월(8종), 중문(6종), 신천·월정(5종) 순으로 나타났고, 광지에서 1종으로 가장 적은 종수가 관찰되었다(Fig. 29).

제주해역 정점 수심 10 m에 서식하는 저서무척추동물의 종 조성은 행원에서 49종으로 가장 많은 종이 출현하였으며, 애월(48종), 신천(47종), 월정(28종) 순으로 나타났고, 광지에서는 5종으로 가장 적은 수의 종이 출현하였다. 분류군별 종 조성은 환형동물문의 경우, 환형동물문이 출현하지 않은 광지와 중문을 제외한 정점에서 1~2종의 범위로 애월, 하천에서 각 2종, 대포·신천·월정·행원에서 1종이 출현하였다. 절지동물문은 절지동물문이 출현하지 않은 광지를 제외한 정점에서 3~12종의 범위로 애월(12종)에서 가장 많은 종수가 출현하였으며, 행원(10종), 신천(9종), 월정(5종) 순으로 나타났

고, 대포와 중문에서 3종으로 가장 적은 종수가 관찰되었다. 극피동물문은 극피동물문이 출현하지 않은 광지를 제외한 정점에서 1~5종의 범위로 애월(5종)에서 가장 많은 종수가 출현하였으며, 신천(3종), 대포·월정·하천·행원에서 2종이 나타났고, 중문에서 1종으로 가장 적은 종수가 관찰되었다. 연체동물문은 정점별 3~23종의 범위로 신천과 행원에서 23종으로 가장 많은 종수가 출현하였으며, 애월(21종), 하천(12종), 대포(11종) 순으로 나타났고, 광지에서 3종이 출현하여 가장 적은 종수가 관찰되었다. 기타동물문은 정점별 2~13종의 범위로 행원(13종)에서 가장 많은 종수가 출현하였으며, 월정(12종), 신천(11종), 대포·애월(8종) 순으로 나타났고, 광지에서 2종이 출현하여 가장 적은 종수가 관찰되었다(Fig. 30).

제주해역 정점 수심 15 m에 서식하는 저서무척추동물의 종 조성은 행원에서 48종으로 가장 많은 종이 출현하였으며, 신천(41종), 대포(38종), 애월·하천(28종), 월정(26종) 순으로 나타났고, 중문과 광지에서 각각 11종, 10종으로 가장 적은 종수가 출현하였다. 분류군별 종 조성은 환형동물문의 경우 환형동물이 출현하지 않은 광지와 중문을 제외한 정점에서 1~12종의 범위로 행원(12종)에서 가장 많은 종수가 출현하였으며, 하천(5종), 대포·신천(2종), 애월·월정(1종) 순으로 관찰되었다. 절지동물문은 2~8종의 범위로 행원(8종)에서 가장 많은 종수가 출현하였으며, 신천(7종), 대포(6종), 애월(5종), 광지·월정·하천(4종) 순으로 나타났고, 중문에서 2종으로 가장 적은 종수가 관찰되었다. 극피동물문은 1~4종의 범위로 월정(4종)에서 가장 많은 종수가 출현하였으며, 대포·하천·행원(3종), 중문(2종), 광지·신천·애월(1종) 순으로 관찰되었다. 연체동물문은 3~21종의 범위로 신천(21종)에서 가장 많은 종수가 출현하였으며, 대포(17종), 애월(15종), 행원(14종) 순으로 나타났고, 광지와 중문에서 3종으로 가장 적은 종수가 관찰되었다. 기타동물문은 2~13종의 범위로 월정(13종)에서 가장 많은 종수가 출현하였으며, 행원(11종), 대포·신천·하천(10종), 애월(6종) 순으로 나타났고, 광지에서 2종으로 가장 적은 종수가 출현하였다(Fig. 31; 32).

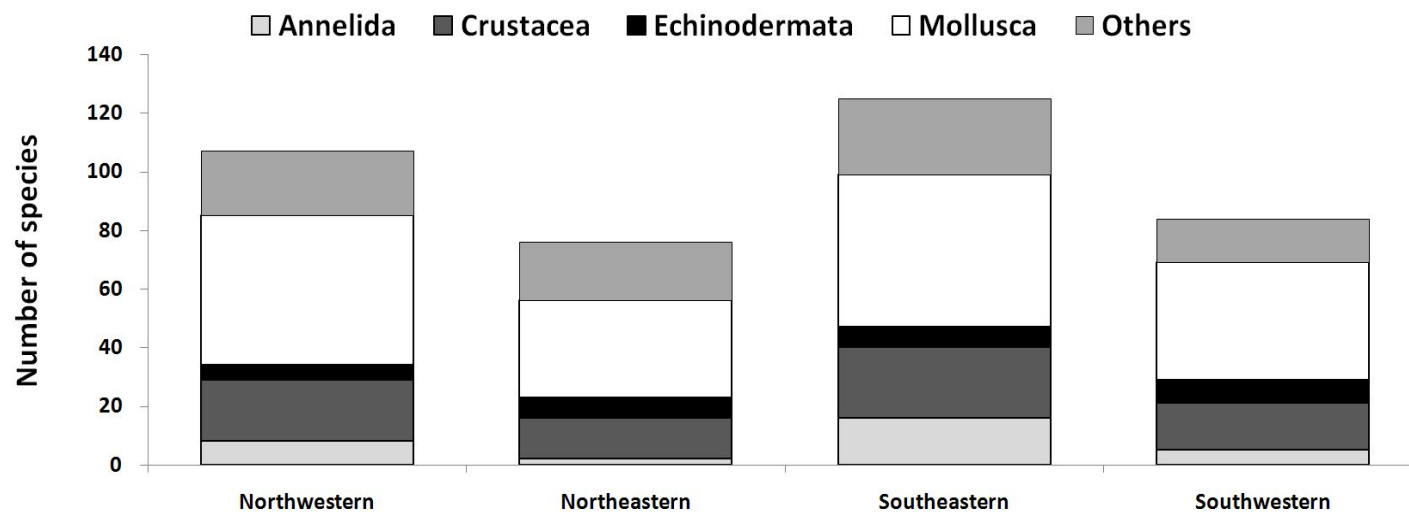


Fig. 27. Comparison of number of species of benthic invertebrates in each region on the coastal zones of Jeju island.

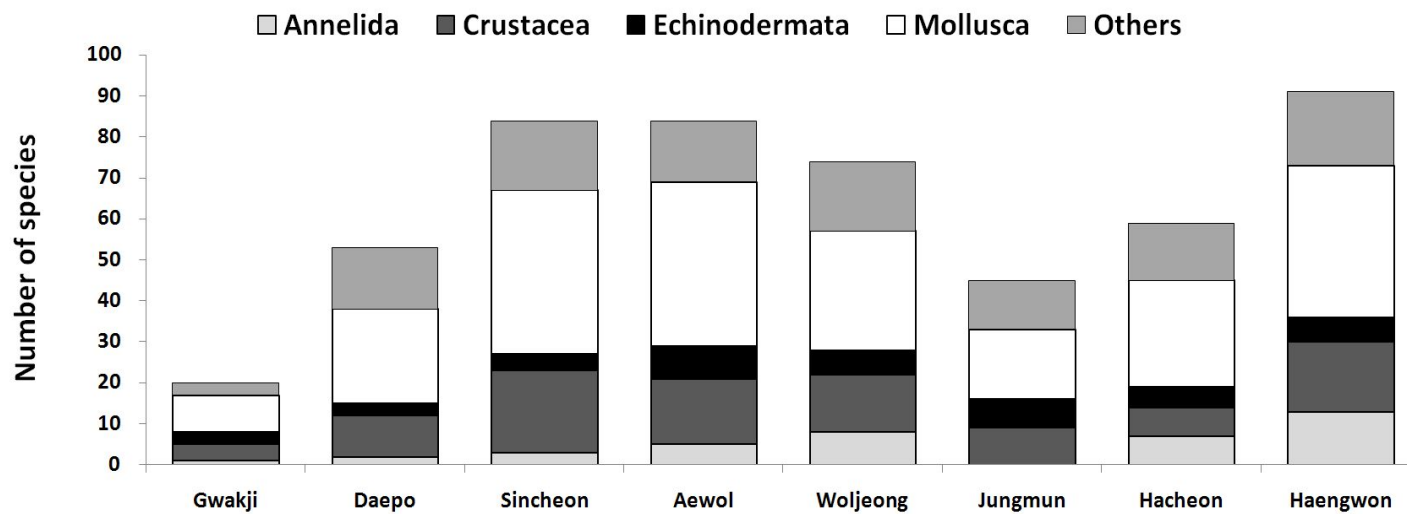


Fig. 28. Comparison of number of species of benthic invertebrates in sampling sites on the coastal zones of Jeju island.

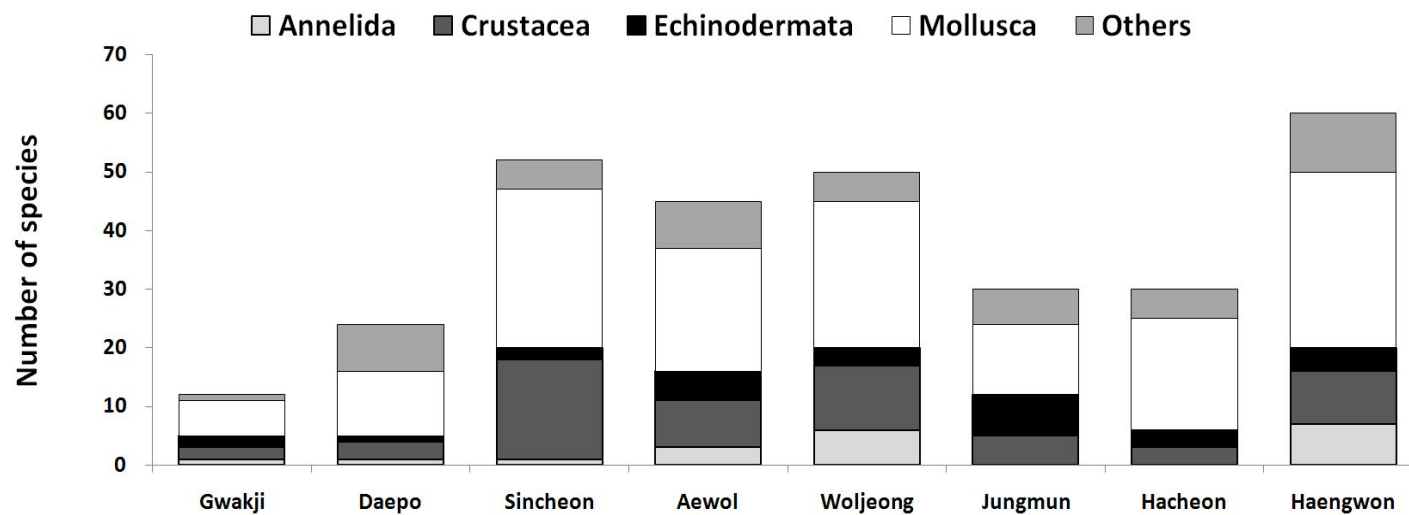


Fig. 29. Comparison of number of species of benthic invertebrates at 5 m depth in sampling sites on the coastal zones of Jeju island.

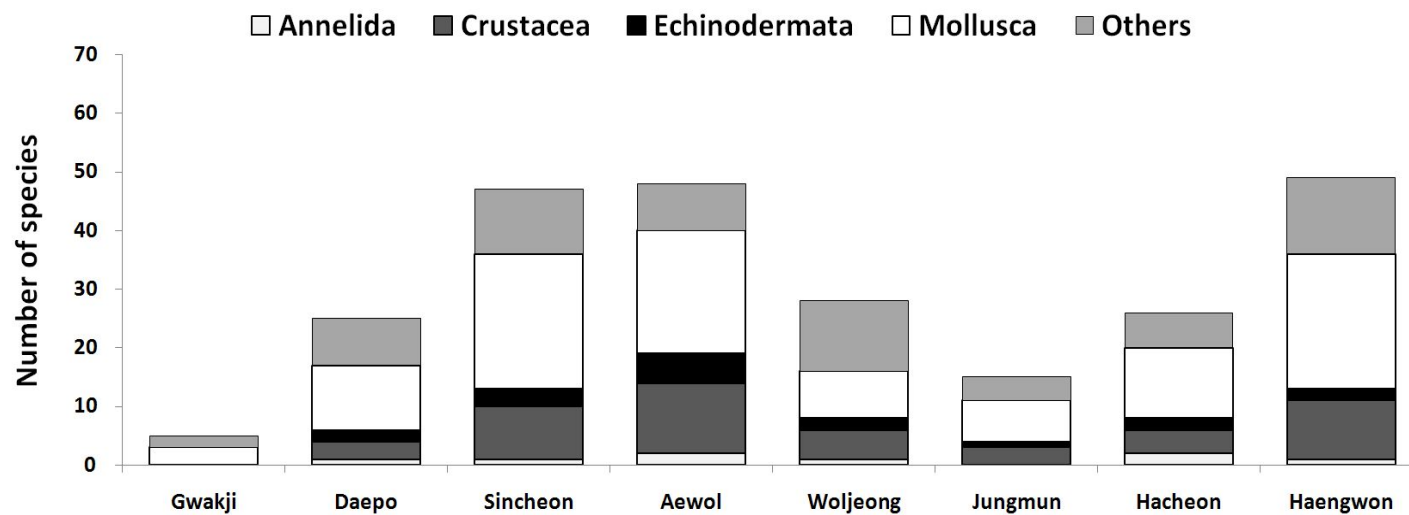


Fig. 30. Comparison of number of species of benthic invertebrates at 10 m depth in sampling sites on the coastal zones of Jeju island.

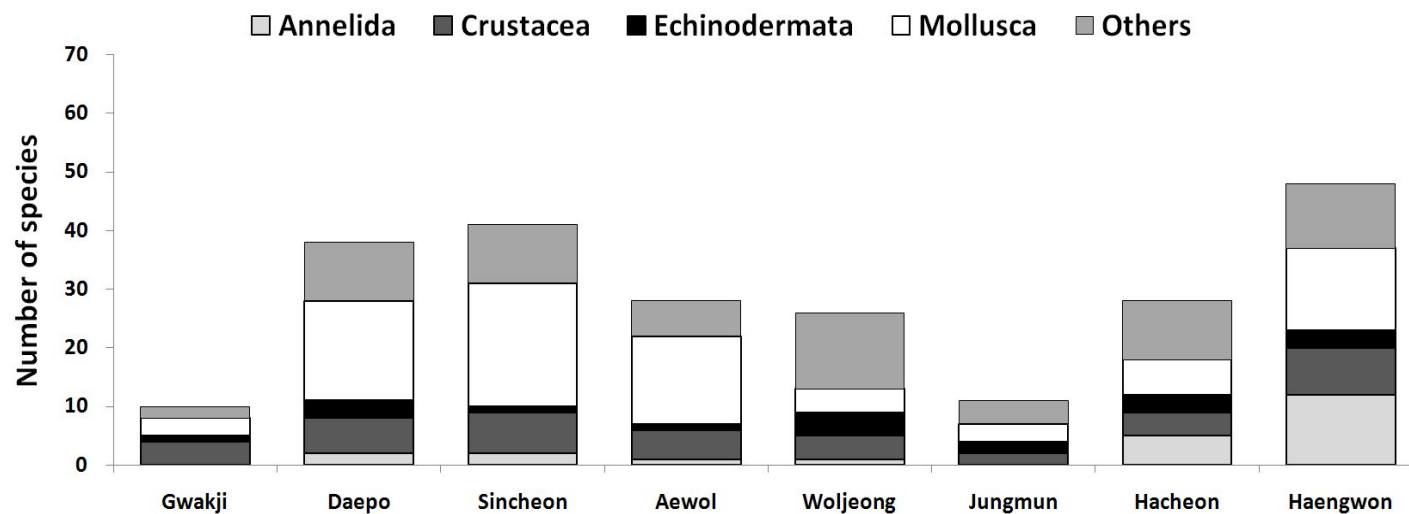


Fig. 31. Comparison of number of species of benthic invertebrates at 15 m depth in sampling sites on the coastal zones of Jeju island.

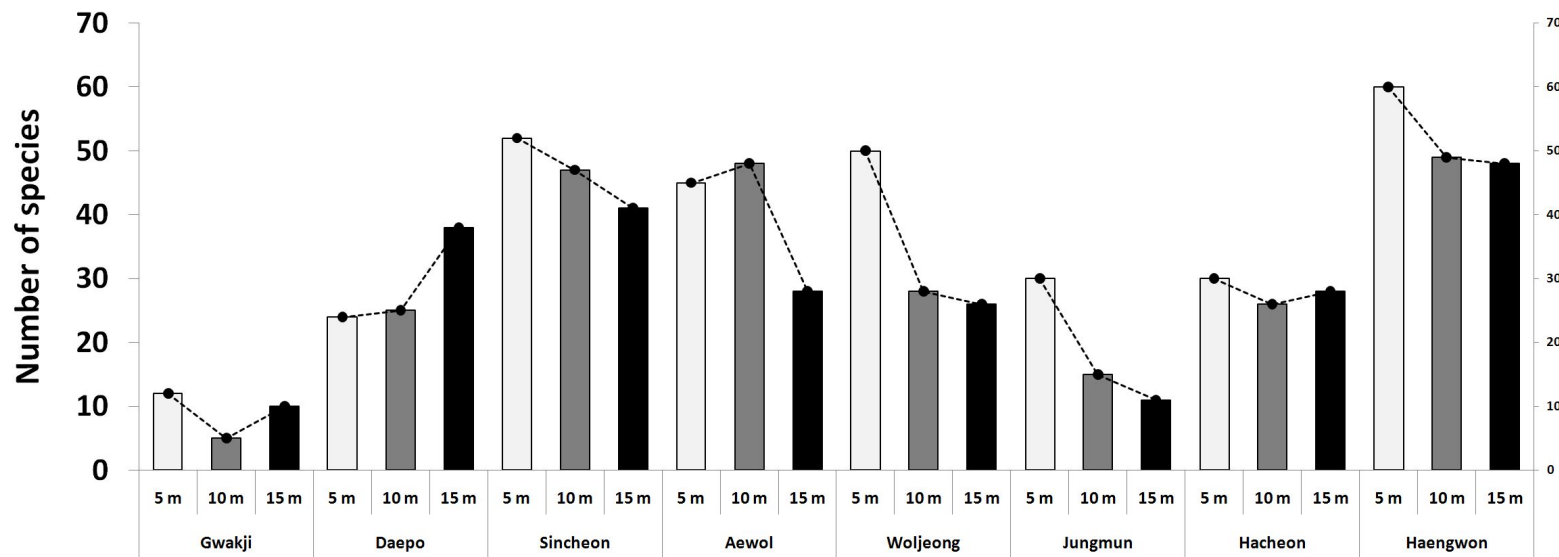


Fig. 32. Comparison of number of species of benthic invertebrates at each depths in sampling sites on the coastal zones of Jeju island.

## 나. 제주해역 저서무척추동물 출현밀도

### (1) 해역별 저서무척추동물 출현밀도

제주연안 해역을 정점 광지와 애월은 북서부해역, 월정과 행원은 북동부해역, 신천과 하천은 남동부해역 그리고 대포와 중문은 남서부해역으로 구분하였다. 해역별 출현밀도는 북동부해역에서 517.1 inds./m<sup>2</sup>가 가장 많았으며, 남동부해역 212.0 inds./m<sup>2</sup>, 북서부해역 156.1 inds./m<sup>2</sup>, 남서부해역 110.9 inds./m<sup>2</sup>이 출현하였다. 해역별 분류군에 따른 개체수는 북서부해역에서 환형동물문 1.9 inds./m<sup>2</sup>, 절지동물문 9.0 inds./m<sup>2</sup>, 극피동물문 5.8 inds./m<sup>2</sup>, 연체동물문 93.0 inds./m<sup>2</sup>, 기타동물문 46.3 inds./m<sup>2</sup>이었고, 북동부해역에서는 환형동물문 8.2 inds./m<sup>2</sup>, 절지동물문 16.0 inds./m<sup>2</sup>, 극피동물문 6.0 inds./m<sup>2</sup>, 연체동물문 89.0 inds./m<sup>2</sup>, 기타동물문 398.0 inds./m<sup>2</sup>이 출현하였다. 남동부해역에서 환형동물문 3.2 inds./m<sup>2</sup>, 절지동물문 12.0 inds./m<sup>2</sup>, 극피동물문 8.7 inds./m<sup>2</sup>, 연체동물문 119.4 inds./m<sup>2</sup>, 기타동물문 68.8 inds./m<sup>2</sup>였고, 남서부해역에서는 환형동물문 5.5 inds./m<sup>2</sup>, 절지동물문 7.1 inds./m<sup>2</sup>, 극피동물문 6.4 inds./m<sup>2</sup>, 연체동물문 70.7 inds./m<sup>2</sup>, 기타동물문 21.2 inds./m<sup>2</sup>이 출현하였다. 북동부해역의 기타동물문에서 가장 많은 개체수가 출현하였으며, 제주연안 전체 해역에서 환형동물문의 개체수가 가장 적게 출현하였다(Fig. 33).

### (2) 정점별 저서무척추동물 출현밀도

제주연안 정점별 저서무척추동물 출현밀도는 행원에서 479.7 inds./m<sup>2</sup>로 가장 많은 개체수가 출현하였으며, 월정(374.8 inds./m<sup>2</sup>), 신천(331.2 inds./m<sup>2</sup>), 애월(312.2 inds./m<sup>2</sup>), 대포(180.7 inds./m<sup>2</sup>), 광지 (179.8 inds./m<sup>2</sup>) 순으로 나타났고, 중문에서 41.1 inds./m<sup>2</sup>로 가장 적은 개체수가 관찰되었다. 분류군별 개체수는 환형동물문의 경우 행원과 대포에서 11.0 inds./m<sup>2</sup>로 가장 많은 개체수를 보였으며, 출현 종이 나타나지 않은 중문을 제외한 신천에서 1.6 inds./m<sup>2</sup>로 가장 적은 개체수가 관찰되었다. 절지동물문은 행원에서 18.3 inds./m<sup>2</sup>로 가장 많은 개체수가 출현하였으며, 애월(18.1 inds./m<sup>2</sup>), 신천(16.6 inds./m<sup>2</sup>), 월정(9.3 inds./m<sup>2</sup>), 대포(8.1 inds./m<sup>2</sup>) 순으로 나타났고, 광지에서 4.3 inds./m<sup>2</sup>로 가장 적은 개체수를 보였다. 극피동물문은 신천에서 12.8 inds./m<sup>2</sup>로 가장 많은 개체수가 출현하였으며, 애월(11.6 inds./m<sup>2</sup>), 중문(6.9 inds./m<sup>2</sup>), 대포(5.9 inds./m<sup>2</sup>), 행원(4.9 inds./m<sup>2</sup>) 순으로 나타났고, 광지에서 3.0

inds./m<sup>2</sup>로 가장 적은 개체수가 관찰되었다. 연체동물문은 애월에서 186.0 inds./m<sup>2</sup>로 가장 많은 개체수가 출현하였으며, 신천(178.7 inds./m<sup>2</sup>), 대포(124.6 inds./m<sup>2</sup>), 행원(78.1 inds./m<sup>2</sup>), 월정(75.5 inds./m<sup>2</sup>) 순으로 나타났고, 중문에서 16.9 inds./m<sup>2</sup>로 가장 적은 개체수가 관찰되었다. 기타동물문은 행원에서 367.4 inds./m<sup>2</sup>로 가장 많은 개체수가 출현하였으며, 월정(283.3 inds./m<sup>2</sup>), 광지(145.3 inds./m<sup>2</sup>), 신천(121.5 inds./m<sup>2</sup>), 애월(92.6 inds./m<sup>2</sup>) 순으로 나타났고, 중문에서 11.3 inds./m<sup>2</sup>로 가장 적은 개체수가 관찰되었다(Fig. 34).

### (3) 정점 수심별 저서무척추동물 출현밀도

제주해역 정점 수심 5 m에 서식하는 저서무척추동물의 밀도는 행원에서 754.2 inds./m<sup>2</sup>로 가장 많은 개체수가 출현하였으며, 신천(562.3 inds./m<sup>2</sup>), 애월(479.9 inds./m<sup>2</sup>), 월정(428.4 inds./m<sup>2</sup>), 광지(362.3 inds./m<sup>2</sup>), 대포(213.7 inds./m<sup>2</sup>) 순으로 나타났고, 중문에서 72.1 inds./m<sup>2</sup>로 가장 적은 개체수가 출현하였다. 정점별 수심 5 m 저서무척추동물 분류군별 개체수는 환형동물문의 경우 대포에서 16.0 inds./m<sup>2</sup>로 가장 많은 개체수가 출현하였으며, 행원(12.7 inds./m<sup>2</sup>), 광지(8.0 inds./m<sup>2</sup>), 월정(6.0 inds./m<sup>2</sup>) 순으로 나타났고, 환형동물이 출현하지 않은 중문과 하천을 제외한 신천에서 1.3 inds./m<sup>2</sup>로 가장 적은 개체수가 관찰되었다. 절지동물문은 신천에서 28.5 inds./m<sup>2</sup>로 가장 많은 개체수가 출현하였으며, 애월(18.4 inds./m<sup>2</sup>), 월정(15.0 inds./m<sup>2</sup>), 행원(12.3 inds./m<sup>2</sup>), 중문(10.0 inds./m<sup>2</sup>) 순으로 나타났고, 광지에서 5.0 inds./m<sup>2</sup>로 가장 적은 개체수가 관찰되었다. 극피동물문은 신천에서 27.5 inds./m<sup>2</sup>로 가장 많은 개체수가 출현하였으며, 애월(23.9 inds./m<sup>2</sup>), 중문(16.8 inds./m<sup>2</sup>), 광지(8.1 inds./m<sup>2</sup>) 순으로 나타났고, 월정에서 4.0 inds./m<sup>2</sup>로 가장 적은 개체수가 관찰되었다. 연체동물문은 애월에서 276.3 inds./m<sup>2</sup>로 가장 많은 개체수가 출현하였으며, 신천(211.4 inds./m<sup>2</sup>), 월정(199.8 inds./m<sup>2</sup>), 대포(153.0 inds./m<sup>2</sup>), 행원(119.6 inds./m<sup>2</sup>), 하천(116.6 inds./m<sup>2</sup>) 순으로 나타났고, 중문에서 27.3 inds./m<sup>2</sup>로 가장 적은 개체수가 관찰되었다. 기타동물문은 행원에서 602.7 inds./m<sup>2</sup>로 가장 많은 개체수가 관찰되었으며, 신천(293.6 inds./m<sup>2</sup>), 광지(292.0 inds./m<sup>2</sup>), 월정(203.6 inds./m<sup>2</sup>), 애월(158.2 inds./m<sup>2</sup>) 순으로 나타났고, 하천에서 9.0 inds./m<sup>2</sup>로 가장 적은 개체수가 관찰되었다(Table 8; Fig. 35).

제주해역 정점 수심 10 m에 서식하는 저서무척추동물의 출현밀도는 월정에서

462.7 inds./m<sup>2</sup>로 가장 많은 개체수가 출현하였으며, 행원(308.5 inds./m<sup>2</sup>), 애월(248.2 inds./m<sup>2</sup>), 신천(245.8 inds./m<sup>2</sup>), 대포(121.2 inds./m<sup>2</sup>)순으로 나타났고, 중문에서 37.8 inds./m<sup>2</sup>로 가장 적은 개체수가 관찰되었다. 분류군별 개체수는 환형동물문의 경우, 하천에서 8.7 inds./m<sup>2</sup>로 가장 많은 개체수가 관찰되었으며, 대포(8.0 inds./m<sup>2</sup>), 행원(4.0 inds./m<sup>2</sup>) 순으로 나타났고, 환형동물이 출현하지 않은 광지, 중문을 제외한 신천과 월정에서 1.3 inds./m<sup>2</sup>로 가장 적은 개체수가 관찰되었다. 절지동물문은 애월에서 29.2 inds./m<sup>2</sup>로 가장 많은 개체수가 출현하였으며, 행원(23.7 inds./m<sup>2</sup>), 신천(12.3 inds./m<sup>2</sup>), 월정(6.9 inds./m<sup>2</sup>), 대포(6.3 inds./m<sup>2</sup>), 중문(6.0 inds./m<sup>2</sup>), 하천(5.0 inds./m<sup>2</sup>) 순으로 나타났고, 광지에서는 절지동물이 관찰되지 않았다. 극피동물문은 애월에서 10.0 inds./m<sup>2</sup>로 가장 많은 개체수가 출현하였으며, 신천(6.0 inds./m<sup>2</sup>), 행원(4.8 inds./m<sup>2</sup>), 대포(4.1 inds./m<sup>2</sup>) 순으로 나타났고, 극피동물이 출현하지 않은 광지를 제외한 월정과 중문에서 2.0 inds./m<sup>2</sup>로 가장 적은 개체수가 관찰되었다. 연체동물문은 신천에서 184.2 inds./m<sup>2</sup>로 가장 많은 개체수가 출현하였으며, 애월(166.3 inds./m<sup>2</sup>), 행원(78.9 inds./m<sup>2</sup>), 대포(73.3 inds./m<sup>2</sup>), 하천(51.3 inds./m<sup>2</sup>) 순으로 나타났고, 광지에서 8.0 inds./m<sup>2</sup>로 가장 적은 개체수가 관찰되었다. 기타동물문은 월정에서 434.1 inds./m<sup>2</sup>로 가장 많은 개체수가 출현하였으며, 행원(197.1 inds./m<sup>2</sup>), 광지(70.0 inds./m<sup>2</sup>), 신천(41.9 inds./m<sup>2</sup>), 애월(40.6 inds./m<sup>2</sup>) 순으로 나타났고, 중문에서 10.4 inds./m<sup>2</sup>로 가장 적은 개체수가 관찰되었다(Fig. 36; 37; 38).

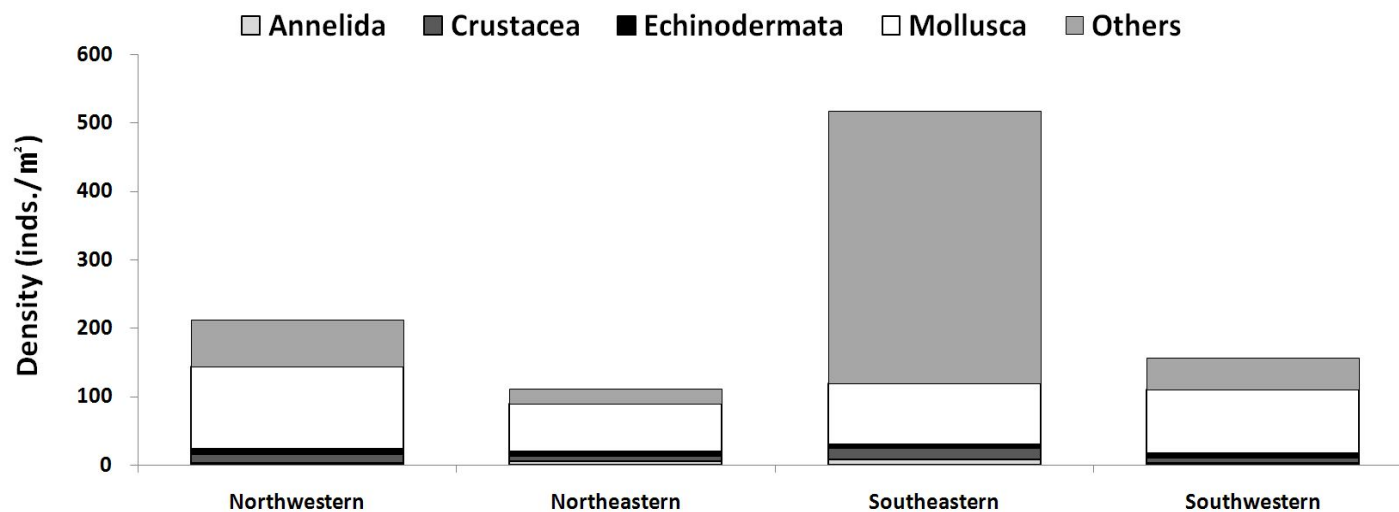


Fig. 33. Comparison of density of benthic invertebrates in each region on the coastal zones of Jeju island.

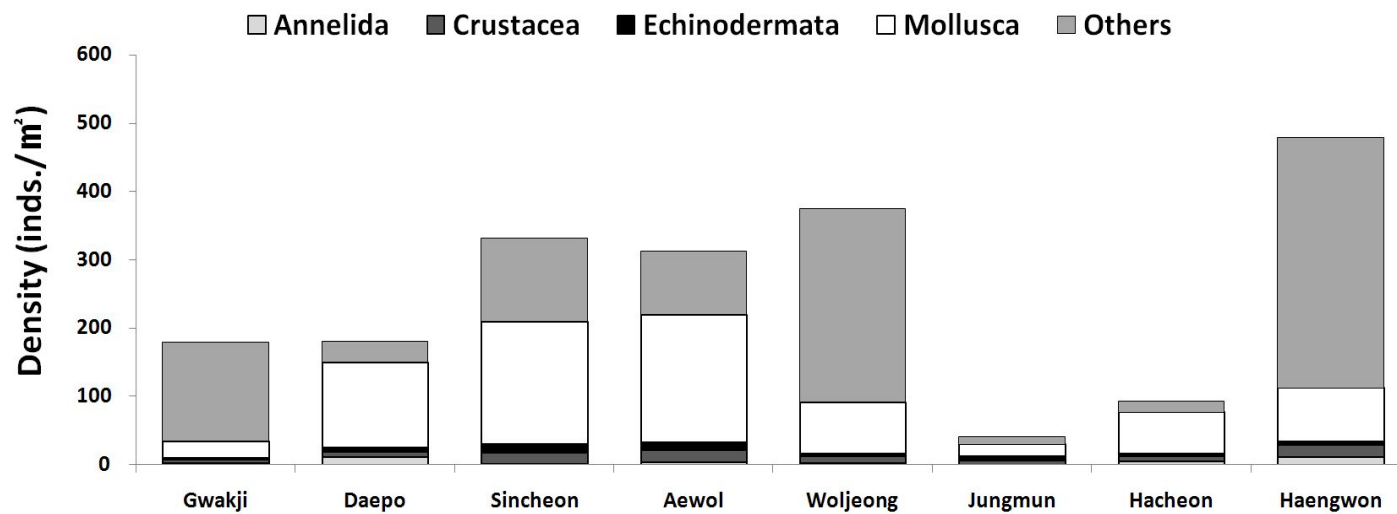


Fig. 34. Comparison of density of benthic invertebrates in sampling sites on the coastal zones of Jeju island.

Table 8. List of dominance species of benthic invertebrates by Le Bris index method in sampling sites.

| Ranks | Classifications        | Species name                         | le bris Index ( $\times 10^4$ ) | percentage (%) |
|-------|------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|----------------|
| 1     | O                      | <i>Herdmania momus momus</i>         | 10.94                           | 43.5%          |
| 2     | M                      | <i>Astraliu haematragum</i>          | 8.92                            | 35.5%          |
| 3     | M                      | <i>Batillus cornutus</i>             | 2.22                            | 8.8%           |
| 4     | M                      | <i>Ergalatax contracta</i>           | 1.27                            | 5.0%           |
| 5     | M                      | <i>Lithophaga curta</i>              | 1.15                            | 4.6%           |
| 6     | E                      | <i>Anthocidaris crassispina</i>      | 0.89                            | 3.5%           |
| 7     | C                      | Polychaeta unid.                     | 0.67                            | 2.7%           |
| 8     | O                      | <i>Alveopora japonica</i>            | 0.60                            | 2.4%           |
| 9     | M                      | <i>Pyrene testudinaria</i>           | 0.51                            | 2.0%           |
| 10    | C                      | <i>Macromedaeus distinguendus</i>    | 0.42                            | 1.7%           |
| 11    | E                      | <i>Certonardoa semiregularis</i>     | 0.41                            | 1.6%           |
| 12    | M                      | <i>Omphalius pfeifferi pfeifferi</i> | 0.35                            | 1.4%           |
| 13    | C                      | <i>Amphipoda</i> spp.                | 0.34                            | 1.4%           |
| 14    | C                      | <i>Paguristes ortmanni</i>           | 0.32                            | 1.3%           |
| 15    | M                      | <i>Cryptoplax japonica</i>           | 0.32                            | 1.3%           |
| 16    | M                      | <i>Arca avellana</i>                 | 0.31                            | 1.2%           |
| 17    | O                      | <i>Callyspongia elegans</i>          | 0.26                            | 1.0%           |
| 18    | O                      | <i>Halichondria</i> sp.              | 0.26                            | 1.0%           |
| 19    | O                      | <i>Spirastrella insignis</i>         | 0.26                            | 1.0%           |
| 20    | M                      | <i>Ophiothrix exigua</i>             | 0.25                            | 1.0%           |
| Total | C: 4, E: 2, M: 9, O: 5 |                                      | 132.26                          | 98.4%          |

※ C: Crustacea; E: Echinodermata; M: Mollusca; O: Others

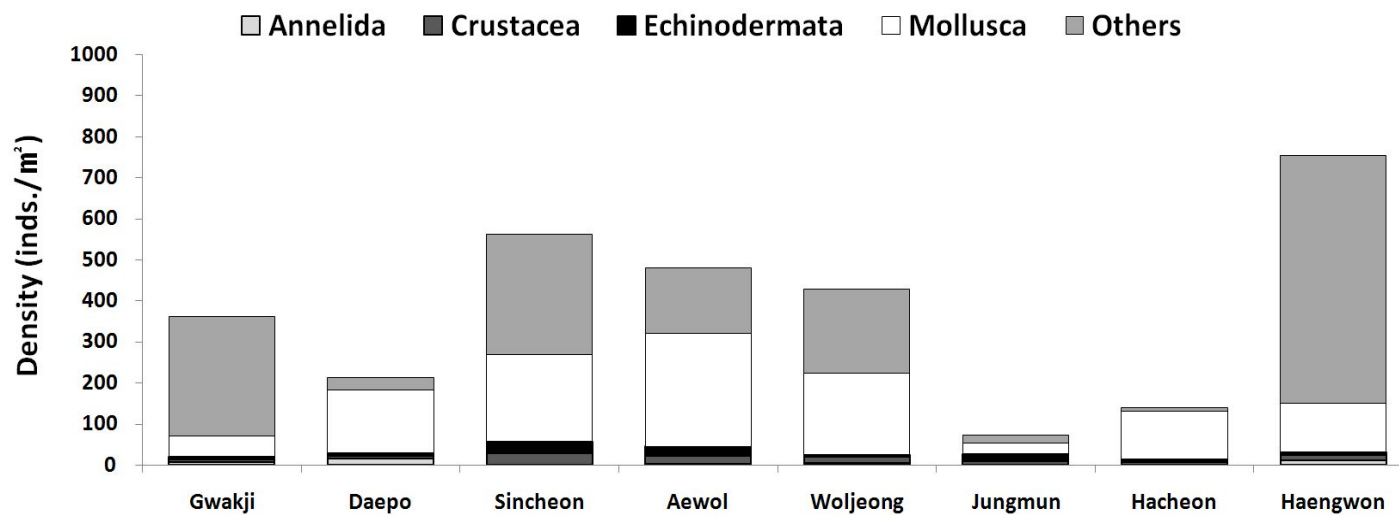


Fig. 35. Comparison of density of benthic invertebrates at 5 m depth in sampling sites on the coastal zones of Jeju island.

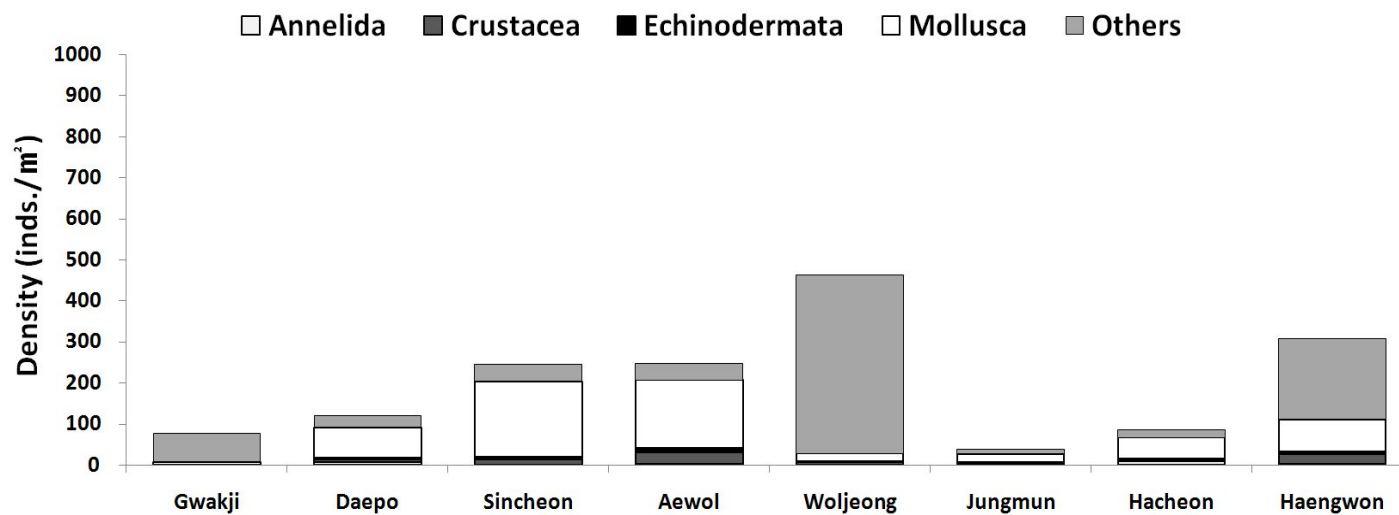


Fig. 36. Comparison of density of benthic invertebrates at 10 m depth in sampling sites on the coastal zones of Jeju island.

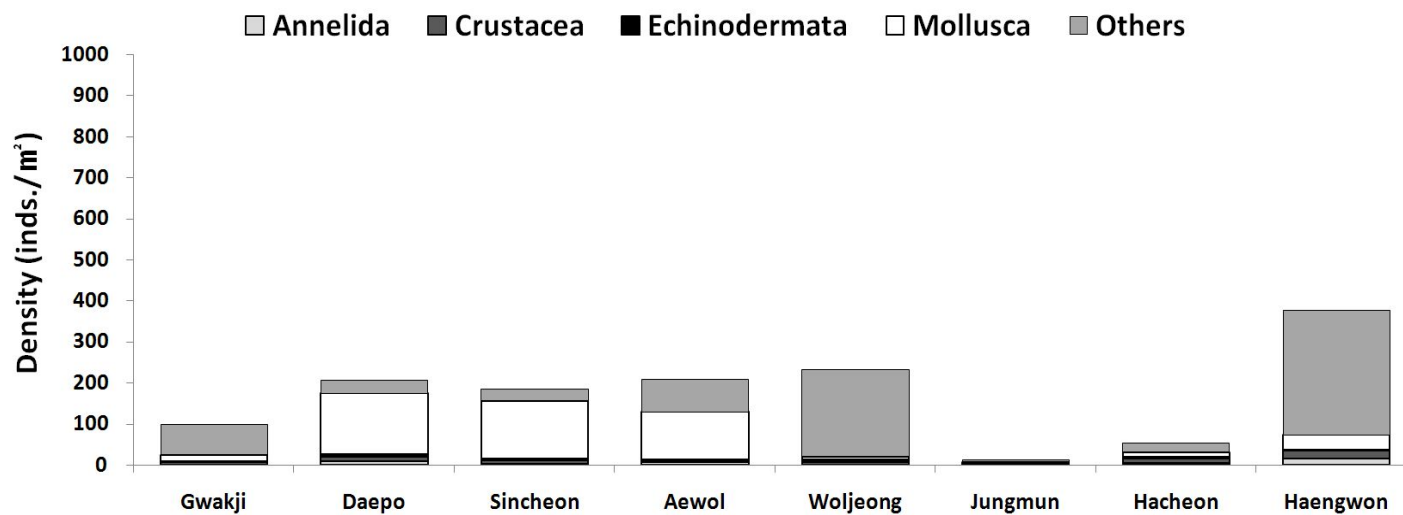


Fig. 37. Comparison of density of benthic invertebrates at 15 m depth in sampling sites on the coastal zones of Jeju island.

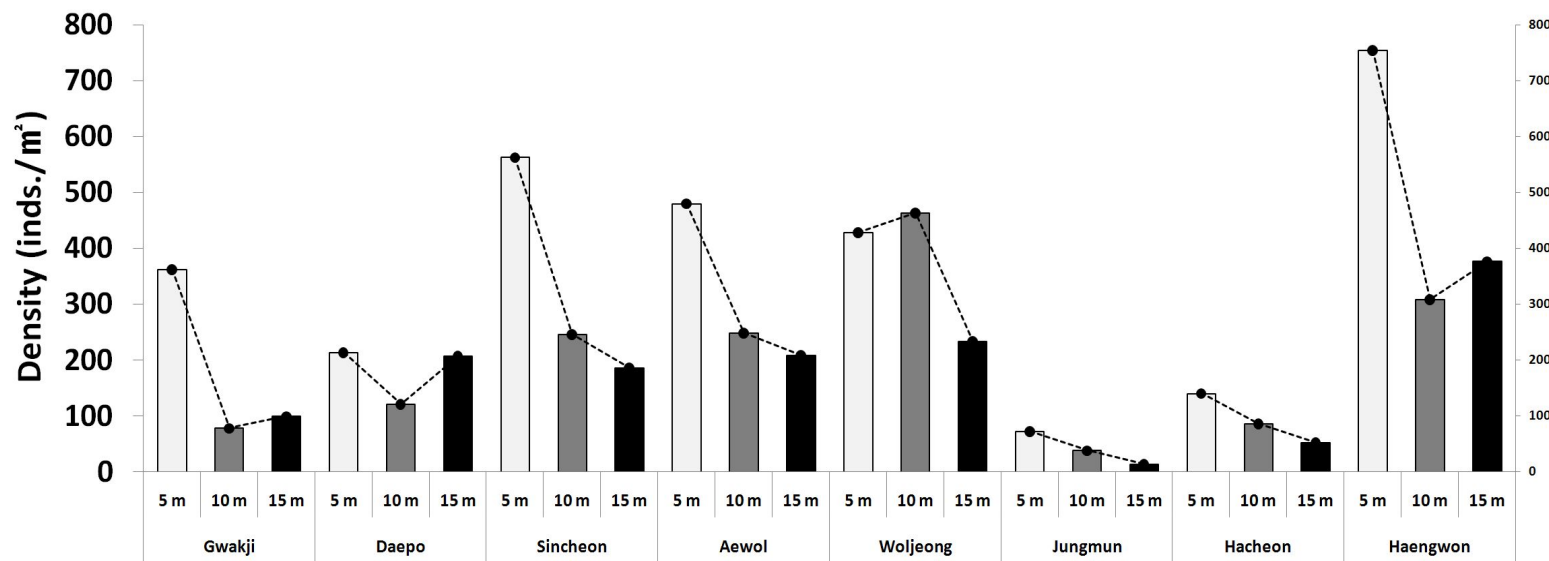


Fig. 38. Comparison of density of benthic invertebrates at each depths in sampling sites on the coastal zones of Jeju island.

## 다. 제주해역 저서무척추동물 생물량

### (1) 해역별 저서무척추동물 생물량

제주연안 해역을 정점 광지와 애월은 북서부해역, 월정과 행원은 북동부해역, 신천과 하천은 남동부해역 그리고 대포와 중문은 남서부해역으로 구분하였다. 해역별 생물량은 북동부해역에서 4,353.1 gWWt/m<sup>2</sup>으로 가장 많았으며, 남서부해역 4,078.5 gWWt/m<sup>2</sup>, 북서부해역 2,594.9 gWWt/m<sup>2</sup>, 남동부해역 1,935.4 gWWt/m<sup>2</sup>가 출현하였다. 해역별 분류군에 따른 생체량은 북서부해역에서 환형동물문 0.3 gWWt/m<sup>2</sup>, 절지동물문 4.3 gWWt/m<sup>2</sup>, 극피동물문 119.0 gWWt/m<sup>2</sup>, 연체동물문 820.9 gWWt/m<sup>2</sup>, 기타동물문 1,650.4 gWWt/m<sup>2</sup>이었고, 북동부해역에서는 환형동물문 4.7gWWt/m<sup>2</sup>, 절지동물문 7.1 gWWt/m<sup>2</sup>, 극피동물문 120.7 gWWt/m<sup>2</sup>, 연체동물문 803.8 gWWt/m<sup>2</sup>, 기타동물문 3,416.7 gWWt/m<sup>2</sup>이 출현하였다. 남동부해역에서 환형동물문 1.8 gWWt/m<sup>2</sup>, 절지동물문 12.4 gWWt/m<sup>2</sup>, 극피동물문 254.8 gWWt/m<sup>2</sup>, 연체동물문 875.7 gWWt/m<sup>2</sup>, 기타동물문 790.7 gWWt/m<sup>2</sup>이었고, 남서부해역에서는 환형동물문 1.2 gWWt/m<sup>2</sup>, 절지동물문 10.0 gWWt/m<sup>2</sup>, 극피동물문 197.8 gWWt/m<sup>2</sup>, 연체동물문 2,686.9 gWWt/m<sup>2</sup>, 기타동물문 1,182.5 gWWt/m<sup>2</sup>이 출현하였다. 남서부해역에서 연체동물문은 전체 해역 중 51.8%로, 북동부해역에서는 기타동물문이 전체 출현 기타동물문 중 48.5%가 나타나 다른 해역에 비해 높은 생물량을 보였다(Fig. 39).

### (2) 정점별 저서무척추동물 생물량

제주연안 정점별 저서무척추동물 생물량은 대포에서 7,325.2 gWWt/m<sup>2</sup>으로 가장 많은 생물량을 보였으며, 애월(5,189.7 gWWt/m<sup>2</sup>), 행원(4,009.8 gWWt/m<sup>2</sup>), 월정(2,754.2 gWWt/m<sup>2</sup>), 신천(2,604.5 gWWt/m<sup>2</sup>), 광지(1,942.3 gWWt/m<sup>2</sup>) 순으로 출현하였다. 분류군별 생물량은 환형동물문의 경우 행원에서 8.8 gWWt/m<sup>2</sup>로 가장 많은 생체량이 출현하였으며, 하천(3.5 gWWt/m<sup>2</sup>), 대포(2.5 gWWt/m<sup>2</sup>) 순으로 나타났고, 환형동물문이 출현하지 않은 중문을 제외한 신천에서 0.1 gWWt/m<sup>2</sup>로 가장 적은 생물량이 관찰되었다. 절지동물문은 신천에서 13.9 gWWt/m<sup>2</sup>로 가장 많은 생물량이 출현하였으며, 대포(12.0 gWWt/m<sup>2</sup>), 하천(10.9 gWWt/m<sup>2</sup>), 애월(8.6 gWWt/m<sup>2</sup>), 중문(8.0 gWWt/m<sup>2</sup>) 순으로 나타났고, 월정에서 2.5 gWWt/m<sup>2</sup>로 가장 적은 생물량

이 관찰되었다. 극피동물문은 신천에서  $395.1 \text{ gWWt/m}^2$ 로 가장 많은 생물량이 출현하였으며, 대포( $300.7 \text{ gWWt/m}^2$ ), 애월( $237.9 \text{ gWWt/m}^2$ ), 광지( $138.4 \text{ gWWt/m}^2$ ), 하천( $114.4 \text{ gWWt/m}^2$ ) 순으로 나타났고, 행원에서  $49.4 \text{ gWWt/m}^2$ 로 가장 적은 생물량이 관찰되었다. 연체동물문은 대포에서  $5,188.6 \text{ gWWt/m}^2$ 으로 가장 많은 생물이 출현하였으며, 애월( $1,641.9 \text{ gWWt/m}^2$ ), 월정( $656.2 \text{ gWWt/m}^2$ ), 행원( $609.7 \text{ gWWt/m}^2$ ), 하천( $528.9 \text{ gWWt/m}^2$ ) 순으로 출현하였으며, 중문에서  $185.2 \text{ gWWt/m}^2$ 으로 가장 적은 생체량을 보였다. 기타동물문은 행원에서  $3,336.3 \text{ gWWt/m}^2$ 로 가장 많은 생물량이 관찰되었으며, 애월( $3,300.8 \text{ gWWt/m}^2$ ), 월정( $2,041.4 \text{ gWWt/m}^2$ ), 대포( $1,821.4 \text{ gWWt/m}^2$ ), 광지( $1,455.7 \text{ gWWt/m}^2$ ) 순으로 나타났고, 중문에서  $831.7 \text{ gWWt/m}^2$ 으로 가장 적은 생물량이 관찰되었다(Fig. 40).

### (3) 정점 수심별 저서무척추동물 생물량

제주해역 정점 수심 5 m에 서식하는 저서무척추동물의 생물량은 대포에서  $4,456.2 \text{ gWWt/m}^2$ 으로 가장 많은 생물량을 보였으며, 애월( $3,481.9 \text{ gWWt/m}^2$ ), 신천( $2,960.6 \text{ gWWt/m}^2$ ), 월정( $2,600.6 \text{ gWWt/m}^2$ ), 행원( $2,101.2 \text{ gWWt/m}^2$ ), 광지( $1,577.2 \text{ gWWt/m}^2$ ) 순으로 나타났고, 중문에서  $1,200.7 \text{ gWWt/m}^2$ 으로 가장 적은 생물량이 관찰되었다. 정점별 수심 5 m 저서무척추동물 분류군별 생물량은 환형동물의 경우 대포에서  $3.6 \text{ gWWt/m}^2$ 으로 가장 많은 생물량이 출현하였으며, 환형동물이 출현하지 않은 중문과 하천을 제외한 신천에서  $0.1 \text{ gWWt/m}^2$ 으로 가장 적은 생물량이 출현하였다. 절지동물문은 신천에서  $32.2 \text{ gWWt/m}^2$ 으로 가장 많은 생물량이 출현하였으며, 중문( $20.0 \text{ gWWt/m}^2$ ), 하천( $17.4 \text{ gWWt/m}^2$ ), 대포( $14.4 \text{ gWWt/m}^2$ ) 순으로 나타났고, 월정에서  $2.8 \text{ gWWt/m}^2$ 으로 가장 적은 생물량이 출현하였다. 극피동물문은 신천에서  $886.0 \text{ gWWt/m}^2$ 으로 가장 많은 생물량이 출현하였으며, 애월( $630.5 \text{ gWWt/m}^2$ ), 광지( $415.2 \text{ gWWt/m}^2$ ), 대포( $310.2 \text{ gWWt/m}^2$ ), 중문( $218.1 \text{ gWWt/m}^2$ ) 순으로 나타났고, 월정에서  $70.5 \text{ gWWt/m}^2$ 으로 가장 적은 생물량을 보였다. 연체동물문은 대포에서  $2,886.8 \text{ gWWt/m}^2$ 으로 가장 많은 생물량이 출현하였으며, 월정( $1,677.4 \text{ gWWt/m}^2$ ), 애월( $1,510.4 \text{ gWWt/m}^2$ ), 신천( $1,441.4 \text{ gWWt/m}^2$ ) 순으로 나타났고, 중문에서  $391.6 \text{ gWWt/m}^2$ 로 가장 적은 생물량이 관찰되었다. 기타동물문은 애월에서  $1,333.2 \text{ gWWt/m}^2$ 으로 가장 많은 생물량이 출현하였으며, 행원( $1,293.4 \text{ gWWt/m}^2$ ),

대포(1,241.1 gWWt/m<sup>2</sup>), 월정(849.7 gWWt/m<sup>2</sup>), 광지(661.2 gWWt/m<sup>2</sup>) 순으로 나타났고, 하천에서 215.1 gWWt/m<sup>2</sup>으로 가장 적은 생물량이 관찰되었다(Fig. 41).

제주해역 정점 수심 10 m에 서식하는 저서무척추동물의 생물량은 대포에서 8,359.9 gWWt/m<sup>2</sup>으로 가장 많은 생물량을 보였으며, 행원(4,404.7 gWWt/m<sup>2</sup>), 애월(4,152.4 gWWt/m<sup>2</sup>), 광지(3,340.4 gWWt/m<sup>2</sup>), 신천(2,254.8 gWWt/m<sup>2</sup>), 월정(2,217.8gWWt/m<sup>2</sup>) 순으로 나타났고, 중문에서 1,047.0 gWWt/m<sup>2</sup>으로 가장 적은 생물량이 관찰되었다. 정점별 수심 10 m 저서무척추동물 분류군별 생물량은 환형동물의 경우 하천에서 9.3 gWWt/m<sup>2</sup>으로 가장 많은 생물량이 출현하였으며, 환형동물이 출현하지 않은 광지, 애월, 중문을 제외한 신천과 행원에서 0.1 gWWt/m<sup>2</sup>으로 가장 적은 생물량이 출현하였다. 절지동물문은 애월에서 14.4 gWWt/m<sup>2</sup>으로 가장 많은 생물량이 출현하였으며, 신천(8.5 gWWt/m<sup>2</sup>), 대포(6.4 gWWt/m<sup>2</sup>), 월정(4.2gWWt/m<sup>2</sup>) 순으로 나타났고, 절지동물문이 출현하지 않은 광지를 제외한 하천에서 0.3 gWWt/m<sup>2</sup>으로 가장 적은 생물량이 출현하였다. 극피동물문은 대포에서 160.0 gWWt/m<sup>2</sup>으로 가장 많은 생물량이 출현하였으며, 신천(149.1 gWWt/m<sup>2</sup>), 하천(129.7 gWWt/m<sup>2</sup>), 애월(57.0 gWWt/m<sup>2</sup>), 중문(45.2 gWWt/m<sup>2</sup>) 순으로 나타났고, 극피동물이 출현하지 않은 광지를 제외한 월정에서 18.1 gWWt/m<sup>2</sup>으로 가장 적은 생물량을 보였다. 연체동물문은 대포에서 5,614.7 gWWt/m<sup>2</sup>으로 가장 많은 생물량이 출현하였으며, 애월(1,776.4 gWWt/m<sup>2</sup>), 신천(1,140.1 gWWt/m<sup>2</sup>), 하천(606.8 gWWt/m<sup>2</sup>), 행원(561.5 gWWt/m<sup>2</sup>) 순으로 나타났고, 월정에서 48.8 gWWt/m<sup>2</sup>로 가장 적은 생물량이 관찰되었다. 기타동물문은 행원에서 3,807.2 gWWt/m<sup>2</sup>으로 가장 많은 생물량이 출현하였으며, 광지(3,131.2 gWWt/m<sup>2</sup>), 대포(2,576.0 gWWt/m<sup>2</sup>), 애월(2,304.6 gWWt/m<sup>2</sup>), 월정(2,145.9 gWWt/m<sup>2</sup>) 순으로 나타났고, 하천에서 463.4 gWWt/m<sup>2</sup>으로 가장 적은 생물량이 관찰되었다(Fig. 42).

제주해역 정점 수심 15 m에 서식하는 저서무척추동물의 생물량은 대포에서 9,159.6 gWWt/m<sup>2</sup>으로 가장 많은 생물량을 보였으며, 애월(7,934.9 gWWt/m<sup>2</sup>), 행원(5,523.5 gWWt/m<sup>2</sup>), 월정(3,444.1 gWWt/m<sup>2</sup>), 신천(2,598.0 gWWt/m<sup>2</sup>), 하천(1,250.8gWWt/m<sup>2</sup>) 순으로 나타났고, 중문에서 247.4 gWWt/m<sup>2</sup>으로 가장 적은 생물량이 관찰되었다. 정점별 수심 15 m 저서무척추동물 분류군별 생물량은 환형동물의 경우 행원에서 25.2 gWWt/m<sup>2</sup>으로 가장 많은 생물량이 출현하였으며, 환형동물이 출현하지 않은 광지와 중문을 제외한 신천에서 0.1 gWWt/m<sup>2</sup>으로 가장 적은 생

물량이 출현하였다. 절지동물문은 광지에서  $15.3 \text{ gWWt/m}^2$ 으로 가장 많은 생물량이 출현하였으며, 대포( $15.1 \text{ gWWt/m}^2$ ), 하천( $15.0 \text{ gWWt/m}^2$ ), 행원( $9.5 \text{ gWWt/m}^2$ ) 순으로 나타났고, 절지동물문이 출현하지 않은 중문을 제외한 월정에서  $0.4 \text{ gWWt/m}^2$ 으로 가장 적은 생물량이 출현하였다. 극피동물문은 대포에서  $432.0 \text{ gWWt/m}^2$ 으로 가장 많은 생물량이 출현하였으며, 신천( $150.3 \text{ gWWt/m}^2$ ), 월정( $72.5 \text{ gWWt/m}^2$ ), 하천( $55.4 \text{ gWWt/m}^2$ ) 순으로 나타났고, 극피동물이 출현하지 않은 광지를 제외한 행원에서  $1.6 \text{ gWWt/m}^2$ 으로 가장 적은 생물량을 보였다. 연체동물문은 대포에서  $7,064.4 \text{ gWWt/m}^2$ 으로 가장 많은 생물량이 출현하였으며, 애월( $1,638.8 \text{ gWWt/m}^2$ ), 신천( $1,086.1 \text{ gWWt/m}^2$ ), 행원( $578.7 \text{ gWWt/m}^2$ ), 광지( $319.2 \text{ gWWt/m}^2$ ) 순으로 나타났고, 중문에서  $3.5 \text{ gWWt/m}^2$ 로 가장 적은 생물량이 관찰되었다. 기타동물문은 애월에서  $6,264.5 \text{ gWWt/m}^2$ 으로 가장 많은 생물량이 출현하였으며, 행원( $4,908.5 \text{ gWWt/m}^2$ ), 월정( $3,128.6 \text{ gWWt/m}^2$ ), 대포( $1,647.0 \text{ gWWt/m}^2$ ), 신천( $1,360.5 \text{ gWWt/m}^2$ ) 순으로 나타났고, 중문에서  $222.5 \text{ gWWt/m}^2$ 으로 가장 적은 생물량이 관찰되었다(Fig. 43; 44).

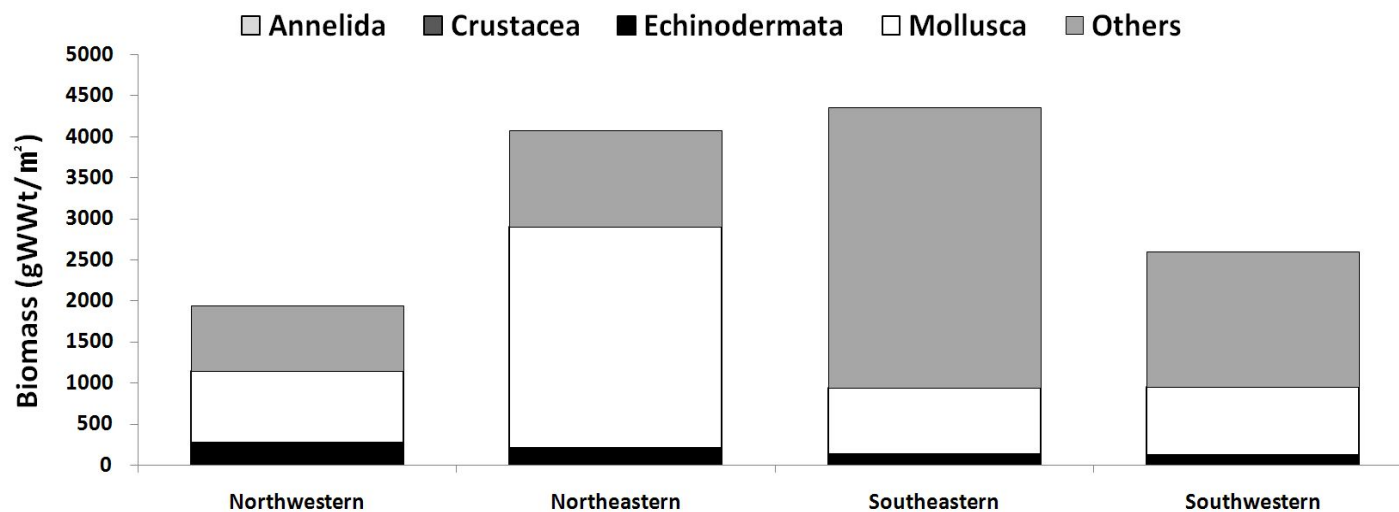


Fig. 39. Comparison of biomass of benthic invertebrates in each region on the coastal zones of Jeju island.

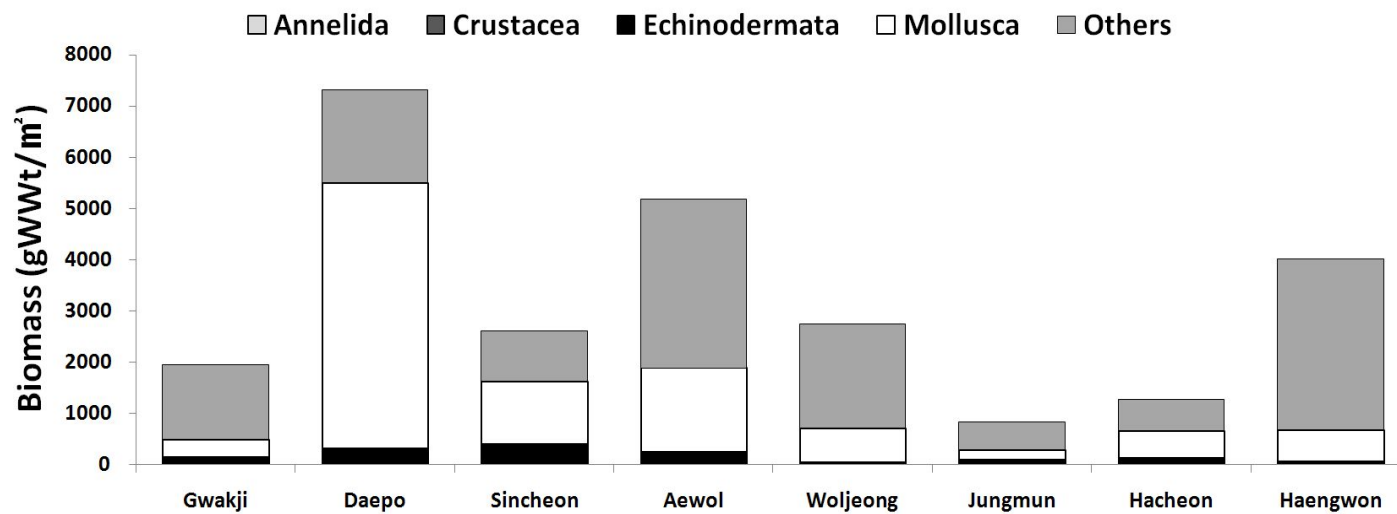


Fig. 40. Comparison of biomass of benthic invertebrates in sampling sites on the coastal zones of Jeju island.

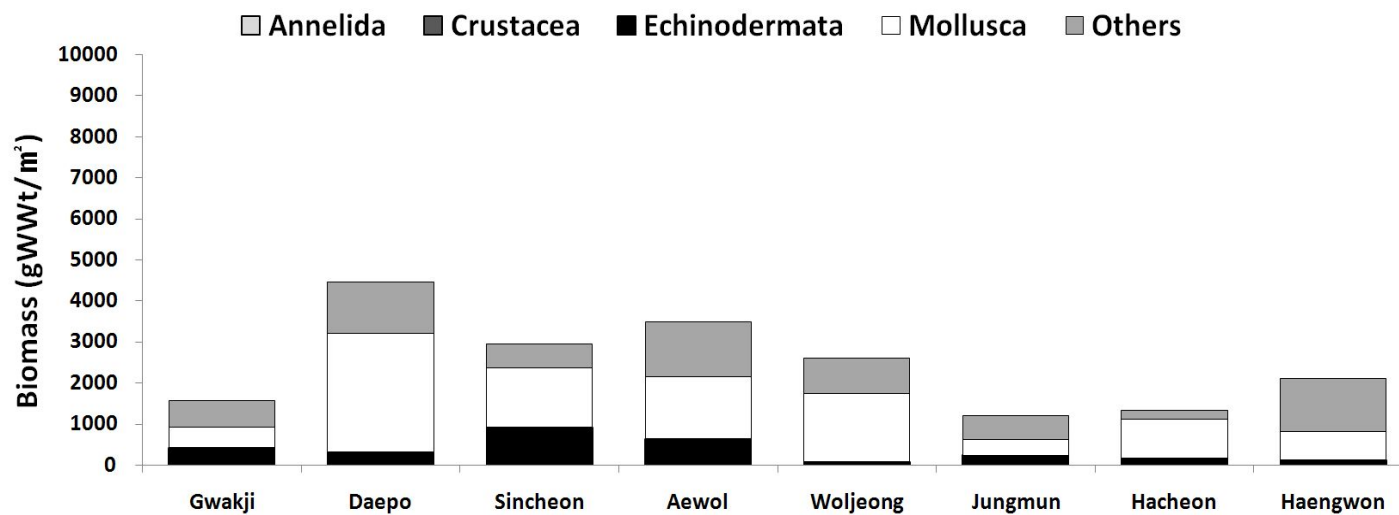


Fig. 41. Comparison of biomass of benthic invertebrates at 5 m depth in sampling sites on the coastal zones of Jeju island.

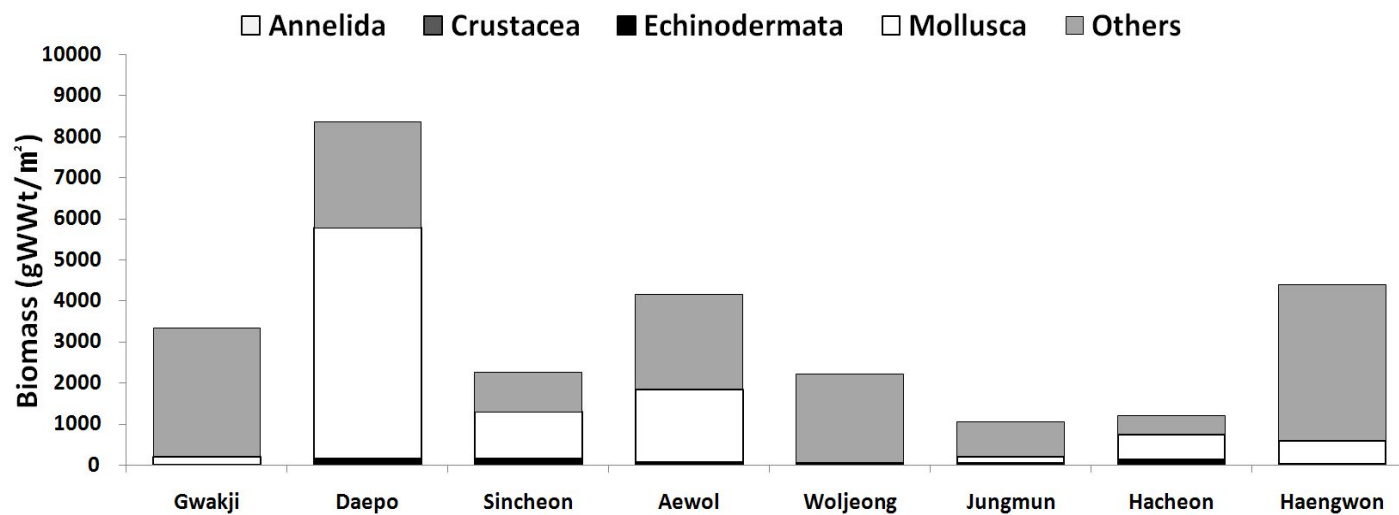


Fig. 42. Comparison of biomass of benthic invertebrates at 10 m depth in sampling sites on the coastal zones of Jeju island.

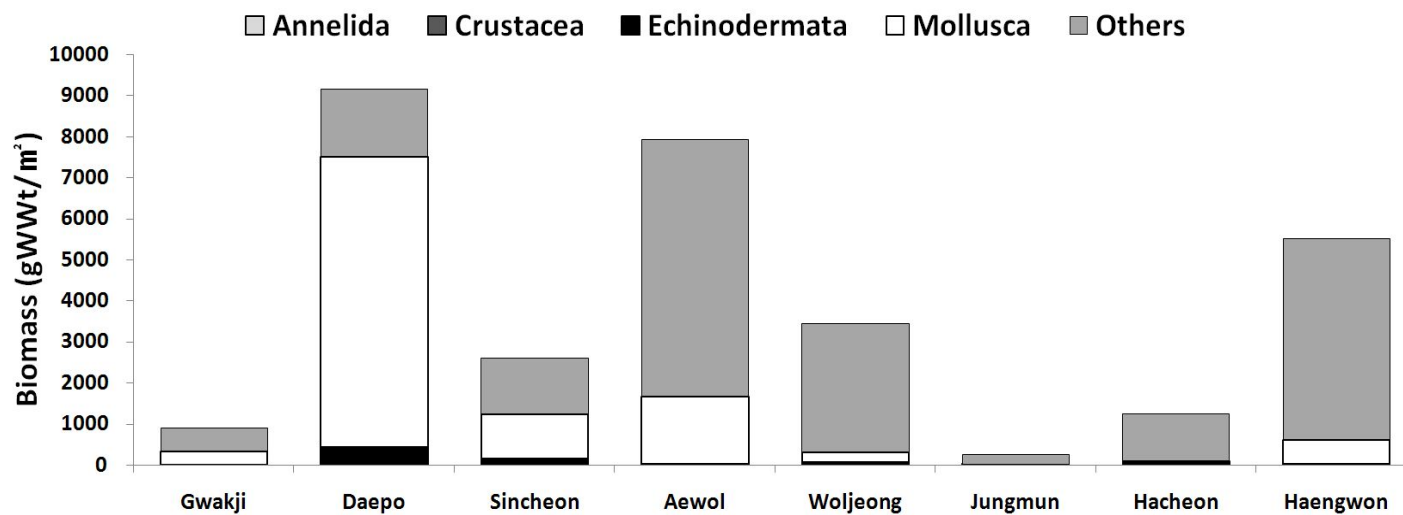


Fig. 43. Comparison of biomass of benthic invertebrates at 15 m depth in sampling sites on the coastal zones of Jeju island.

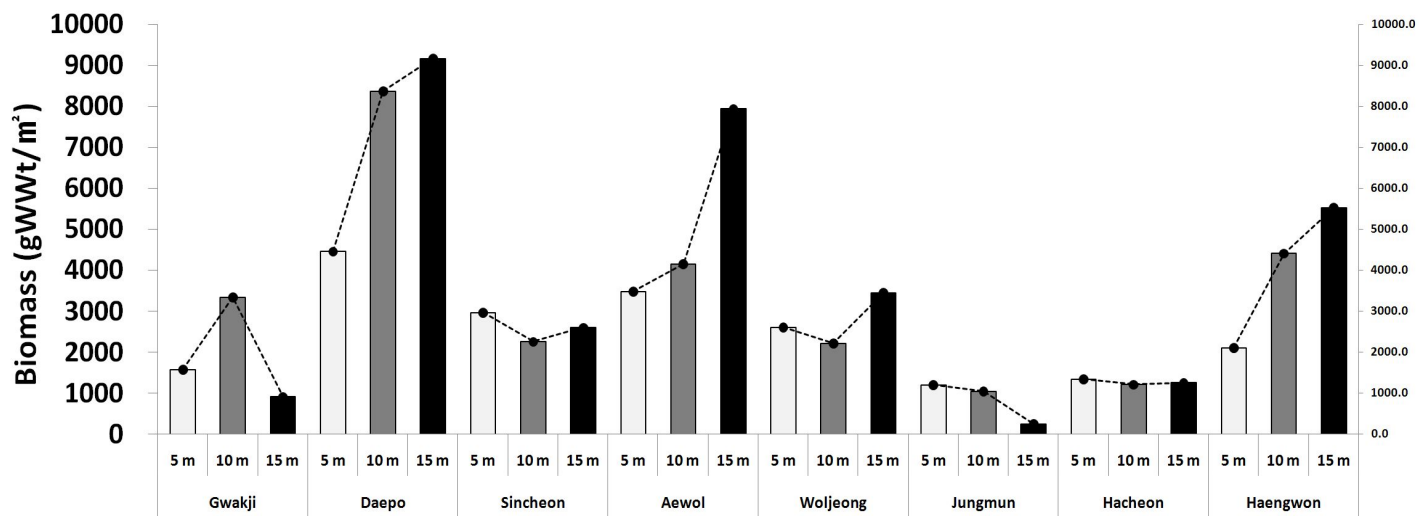


Fig. 44. Comparison of biomass of benthic invertebrates at each depths in sampling sites on the coastal zones of Jeju island.

## 2. 제주해역 저서무척추동물 생태학적 군집분석

### 가. 제주해역 저서무척추동물 출현양상을 이용한 생태학적 제지수

제주연안 저서무척추동물 출현양상을 이용하여 생태학적 제지수를 분석한 결과, 정점별 종 풍부도는 행원에서 18.95로 가장 높았다. 이후 애월 17.93, 신천 17.72, 월정 16.23 그리고 하천 14.12으로 다른 정점에 비해 상대적으로 높았다. 정점 수심별 종 풍부도는 정점 수심별 저서무척추동물 종 조성 연구결과와 동일하게 정점 수심별 출현 종수와 상관관계가 있었다(Spearman correlation;  $R^2 > 0.5$ ,  $p < 0.05$ )(Table 9).

정점별 종 균등도는 중문에서 0.98로 가장 높았다. 이후 하천 0.96, 대포 0.94, 애월 0.92 그리고 신천 0.91로 다른 정점에 비해 상대적으로 높았다. 정점 수심별 종 균등도는 상대적으로 수심 10 m에서 가장 균등도가 낮고, 수심 15 m에서 가장 높은 양상이었다. 이러한 양상은 정점별로 우점종의 대량 출현에 의한 것으로 괄지와 월정에서 수심 별로 *H. momus*, *A. haematragun* 와 *B. cornutus* 등 우점종 대량출현으로 인해 종 균등도가 감소하는 양상이었다(Table 9).

정점별 종 다양도는 행원에서 4.09로 가장 높았다. 이외에 신천(4.09)과 애월(4.06)에서 다양도 지수 4.0 이상으로 종 다양도가 상대적으로 높았으며, 저서무척추동물 출현 종수가 적은 괄지(2.52)에서는 낮은 종 다양도이었지만, 상대적으로 종 다양도가 안정적이라는 지수값 2.5 이상이었다. 정점 수심별 종 다양도는 수심 5m에서는 행원에서 3.63으로 가장 높았고, 수심 10 m에서는 애월(3.64) 그리고 15 m에서 애월에서 3.55로 가장 높았다. 하지만 전반적으로 수심이 증감함에 따라서 종 다양도는 감소하는 양상이었지만 통계학적으로는 상관관계가 없었다(Spearman correlation;  $R^2 > 0.5$ ,  $p < 0.05$ )(Table 9).

Table 9. Species richness, species evenness and species diversity of benthic invertebrates in sampling sites and depths.

| Sampling sites | Species richness (d) |       |       |       | Species evenness (J') |      |      |      | Species diversity (H') |      |      |      |
|----------------|----------------------|-------|-------|-------|-----------------------|------|------|------|------------------------|------|------|------|
|                | Total                | 5 m   | 10 m  | 15 m  | Total                 | 5 m  | 10 m | 15 m | Total                  | 5 m  | 10 m | 15 m |
| Gwakji         | 5.31                 | 2.92  | 1.49  | 2.87  | 0.84                  | 0.84 | 0.79 | 0.87 | 2.52                   | 2.09 | 1.28 | 2.01 |
| Daepo          | 11.99                | 5.57  | 6.15  | 8.61  | 0.94                  | 0.95 | 0.96 | 0.95 | 3.73                   | 3.03 | 3.10 | 3.46 |
| Sincheon       | 17.72                | 10.90 | 10.50 | 9.50  | 0.92                  | 0.90 | 0.93 | 0.94 | 4.08                   | 3.57 | 3.60 | 3.50 |
| Aewol          | 17.93                | 9.73  | 10.65 | 6.76  | 0.92                  | 0.89 | 0.94 | 0.90 | 4.06                   | 3.40 | 3.64 | 3.01 |
| Woljeong       | 16.23                | 10.74 | 6.77  | 6.39  | 0.89                  | 0.91 | 0.81 | 0.89 | 3.84                   | 3.55 | 2.69 | 2.89 |
| Jungmun        | 11.95                | 7.68  | 4.56  | 4.02  | 0.98                  | 0.98 | 0.97 | 1.00 | 3.73                   | 3.34 | 2.61 | 2.39 |
| Hacheon        | 14.12                | 7.31  | 6.65  | 7.53  | 0.96                  | 0.95 | 0.97 | 0.98 | 3.91                   | 3.22 | 3.16 | 3.27 |
| Haengwon       | 18.95                | 12.52 | 10.81 | 10.51 | 0.91                  | 0.89 | 0.93 | 0.92 | 4.09                   | 3.63 | 3.61 | 3.55 |

## 나. 제주해역 저서무척추동물 출현양상을 이용한 유사도 분석

제주연안 정점별 저서무척추동물 출현양상을 이용하여 Bray and Curtis 유사도 분석한 결과, 약 40% 수준에서 집단 A(하천과 대포), 집단 B(애월, 신천, 행원 그리고 월정) 그리고 출현 종수와 생체량이 적은 집단 C(곽지와 중문)로 구분되었다. 유사도 수준 50% 에서는 애월과 신천 그리고 행원과 월정으로 집단이 나뉘었으나, 행원과 월정만이 공간적 동질성으로 집단이 형성되었다. 정점 간에 유사도를 결정짓는 요인을 분석한 결과, 출현종수와 출현밀도가 적은 곽지를 제외한 정점에서는 우점종 조성 출현밀도에 따라서 집단이 형성되는 것으로 나타났다. 중문의 경우는 제주연안 저서무척추동물 상위 20위 우점종중에 10개종만이 포함이 되어서 상대적으로 낮은 유사도가 나왔다(Fig. 45).

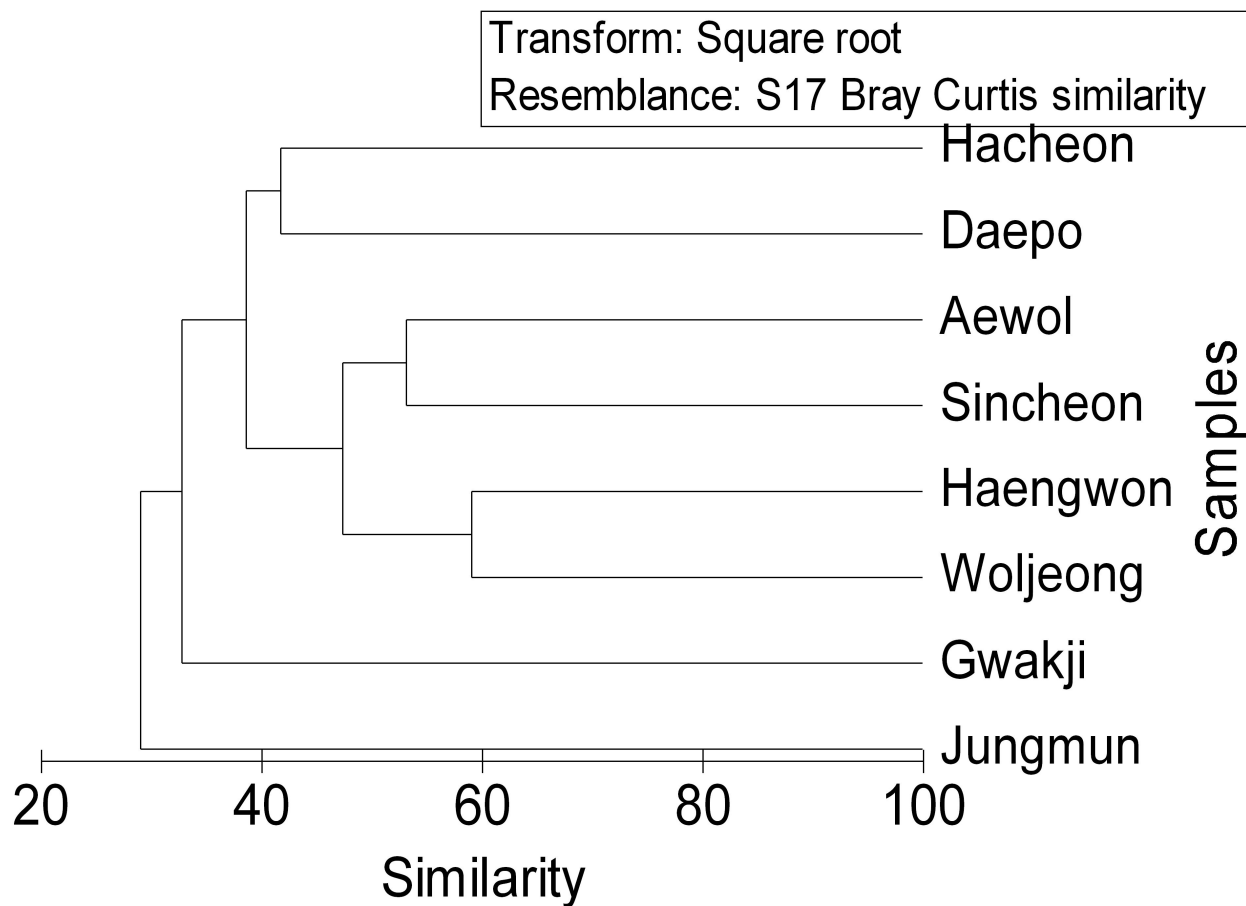


Fig. 45. Dendrogram of similarity index at each sampling sites on the coastal zones of Jeju island.

### 3. 제주해역 저서무척추동물 K-dominance curve

제주해역 저서무척추동물 정점별 출현밀도와 생체량을 통해 K-dominance curve를 분석한 결과, 애월( $W=0.11$ ), 하천( $W=0.253$ ), 대포( $W=0.194$ ) 그리고 중문( $W=0.329$ )에서 안정적인 생태계가 유지되고 있는 것으로 나타났다. 반면, 괏지( $W=-0.03$ ), 월정( $W=0.018$ ), 행원( $W=0.056$ ) 그리고 신천( $W=0.088$ )로 저서무척추동물 저서환경 오염이 진행되었거나, 진행 중인 것으로 나타났다. 특히 괏지와 월정의 경우는 저서환경 오염정도가 심화된 것으로 나타났다. 공간적인 측면에서는 상대적으로 북부해역보다는 남부해역이 저서환경이 안정적인 것으로 나타났다. 제주연안 저서무척추동물 상위 5위 우점종은 전체 점유율의 97.4%를 차지하고, 연체동물 4종, 기타동물문 1종으로 다른 저서무척추동물에 비교해 개체당 생체량이 높다는 점에서 K-dominance curve 분석결과는 저서환경 오염이 심화된 것으로 판단되는 결과였다(Fig. 46; 47).

### 4. 제주해역 유용 저서무척추동물 분포

제주해역 출현 해조류 중 유용 저서무척추동물은 총 18종으로 극피동물 2종, 연체동물 17종 그리고 기타동물문이 1종이었다. 정점별로 유용 저서무척추동물 출현 종은 신천, 애월 그리고 행원에서 각각 10종으로 가장 많이 출현하였으며, 이후 월정(9종), 하천(9종), 대포(6종), 중문(6종) 그리고 괏지(5종) 순으로 출현하였다. 정점별 유용 저서무척추동물 출현밀도는 애월에서 482 inds./m<sup>2</sup>로 가장 많은 개체가 출현하였으며, 이후 신천(371 inds./m<sup>2</sup>), 대포(194 inds./m<sup>2</sup>), 행원(14 inds./m<sup>2</sup>), 월정(110 inds./m<sup>2</sup>), 하천(105 inds./m<sup>2</sup>), 괏지 (44 inds./m<sup>2</sup>) 그리고 중문(22 inds./m<sup>2</sup>) 순으로 출현하였다. 출현 유용 저서무척추동물 중 극피동물인 *A. crassispina* (8.98 inds./m<sup>2</sup>), 연체동물인 *A. haematregum*(123.17 inds./m<sup>2</sup>) 그리고 *B. cornutus*(27 inds./m<sup>2</sup>)가 모든 정점에서 출현하였다. 이후 *O. pfeifferi*(8.86 inds./m<sup>2</sup>), *R. bronni*(3.5 inds./m<sup>2</sup>), *C. fourrieri*(2 inds./m<sup>2</sup>), *T. unicus*(1.83 inds./m<sup>2</sup>), *T. luteostoma*(1.75 inds./m<sup>2</sup>), *C. farreei*(1.24 inds./m<sup>2</sup>) 그리고 *O. rusticus*(1.13 inds./m<sup>2</sup>)가 1 inds./m<sup>2</sup> 이상으로 출현하였다(Table 10; Fig. 48; 49; 50; 51; 52; 53).

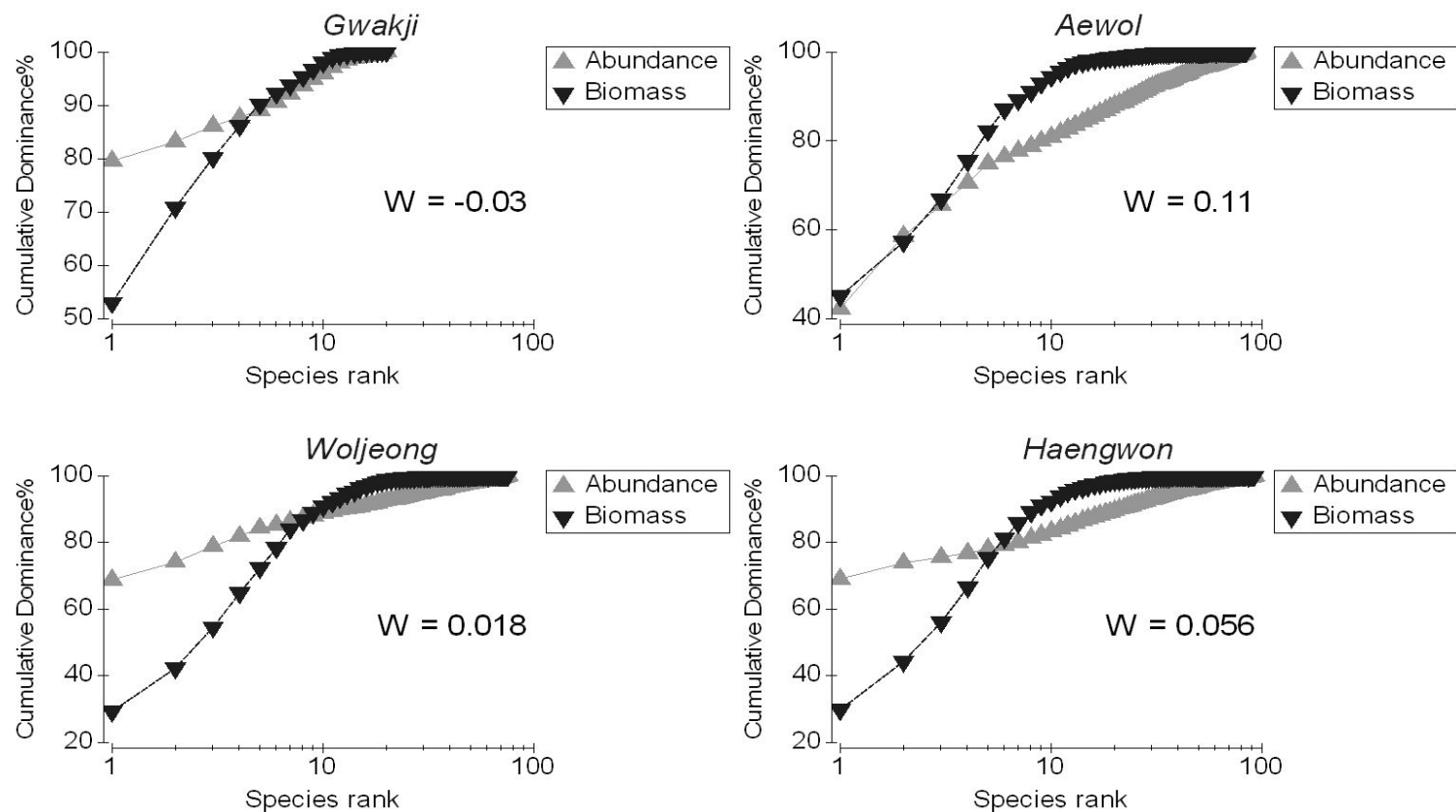


Fig. 46. K-dominance curve results of Gwakji, Aewol, Woljeong and Haengwon on the coastal zones of Jeju island.

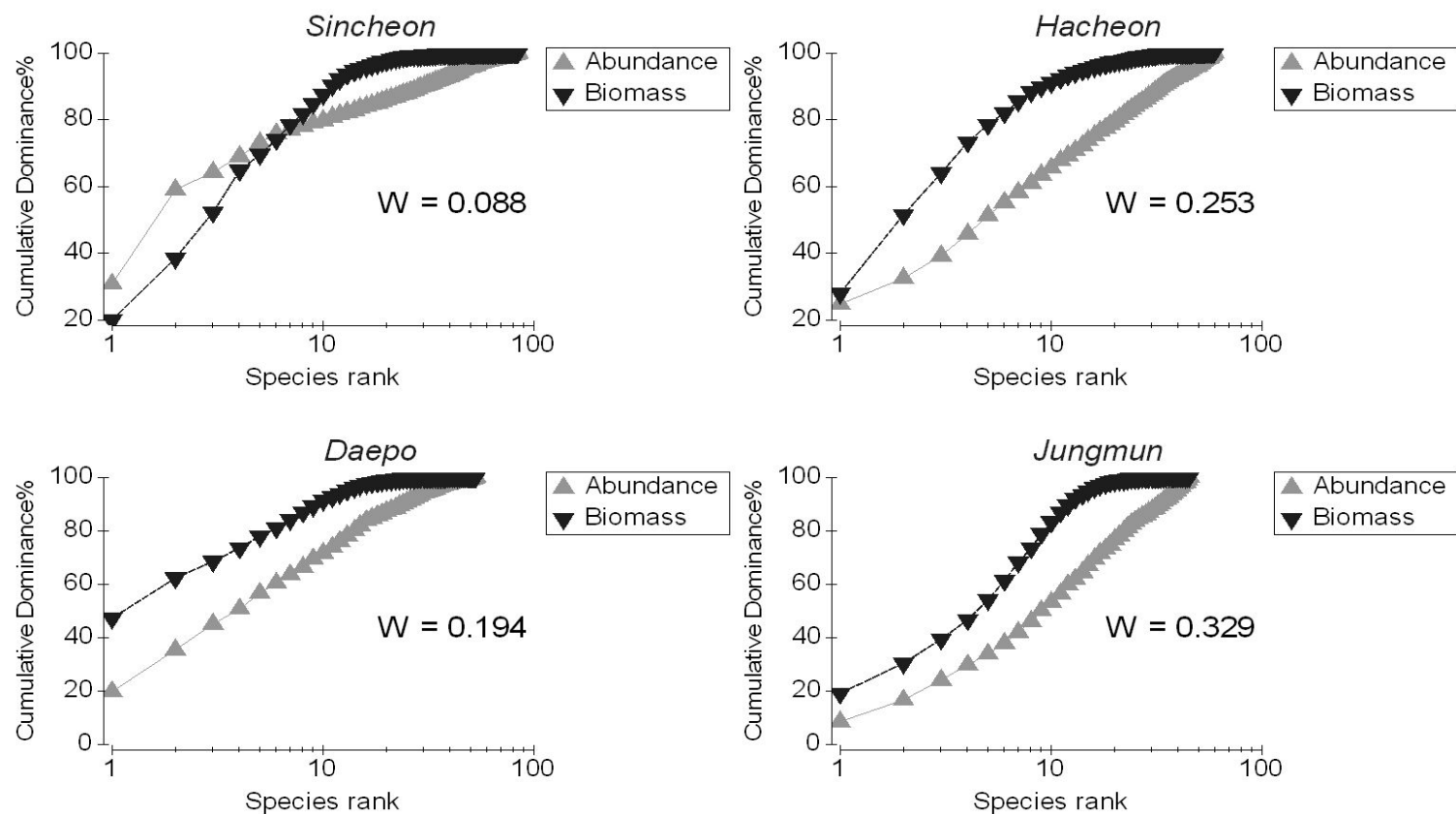


Fig. 47. K-dominance curve results of Sincheon, Hacheon, Daepo and Jungmun on the coastal zones of Jeju island.

Table 10. List of useful benthic invertebrates in sampling sites on the coastal zone of Jeju island.

| Classification | Species name                          | Sampling sites (inds./m <sup>2</sup> ) |       |          |       |          |         |         |          |
|----------------|---------------------------------------|----------------------------------------|-------|----------|-------|----------|---------|---------|----------|
|                |                                       | Gwakji                                 | Daepo | Sincheon | Aewol | Woljeong | Jungmun | Hacheon | Haengwon |
| E              | <i>Anthocardaris crassispina</i>      | 7                                      | 13    | 28       | 12    | 1        | 5       | 4       | 2        |
| M              | <i>Astraliium haematragum</i>         | 16                                     | 108   | 280      | 397   | 35       | 11      | 69      | 69       |
| M              | <i>Batillus cornutus</i>              | 8                                      | 52    | 49       | 47    | 11       | 3       | 21      | 25       |
| M              | <i>Omphalius pfeifferi pfeifferi</i>  | 5                                      |       |          |       | 53       | 2       | 1       | 10       |
| M              | <i>Reishia bronni</i>                 | 8                                      | 16    |          |       | 1        |         | 3       |          |
| M              | <i>Ceratostoma fournieri</i>          |                                        |       | 1        | 6     | 4        |         | 2       | 3        |
| M              | <i>Tristichotrochus unicus</i>        |                                        |       | 3        | 8     | 1        |         |         | 3        |
| M              | <i>Thais luteostoma</i>               |                                        | 1     | 1        | 4     |          |         | 2       | 6        |
| M              | <i>Chlamys farreri farreri</i>        |                                        |       | 3        | 1     | 2        |         |         | 4        |
| M              | <i>Omphalius rusticus rusticus</i>    |                                        | 4     |          | 4     |          |         |         | 1        |
| M              | <i>Thais bronni</i>                   |                                        |       | 3        |       | 3        | 1       | 1       |          |
| M              | <i>Trochus sacellum rota</i>          |                                        |       | 3        |       |          |         |         |          |
| M              | <i>Polia subrubiginosus</i>           |                                        |       |          |       |          |         |         | 1        |
| M              | <i>Trochus</i> sp.                    |                                        |       |          | 1     |          |         |         |          |
| M              | <i>Calliostoma unicum</i>             |                                        |       | 1        |       |          |         |         |          |
| M              | <i>Chlorostoma turbinatum</i>         |                                        |       |          |       |          |         | 1       |          |
| E              | <i>Strongylocentrotus intermedius</i> |                                        |       |          |       |          | 1       |         |          |
| O              | <i>Styela clava clava</i>             |                                        |       |          | 1     |          |         |         |          |

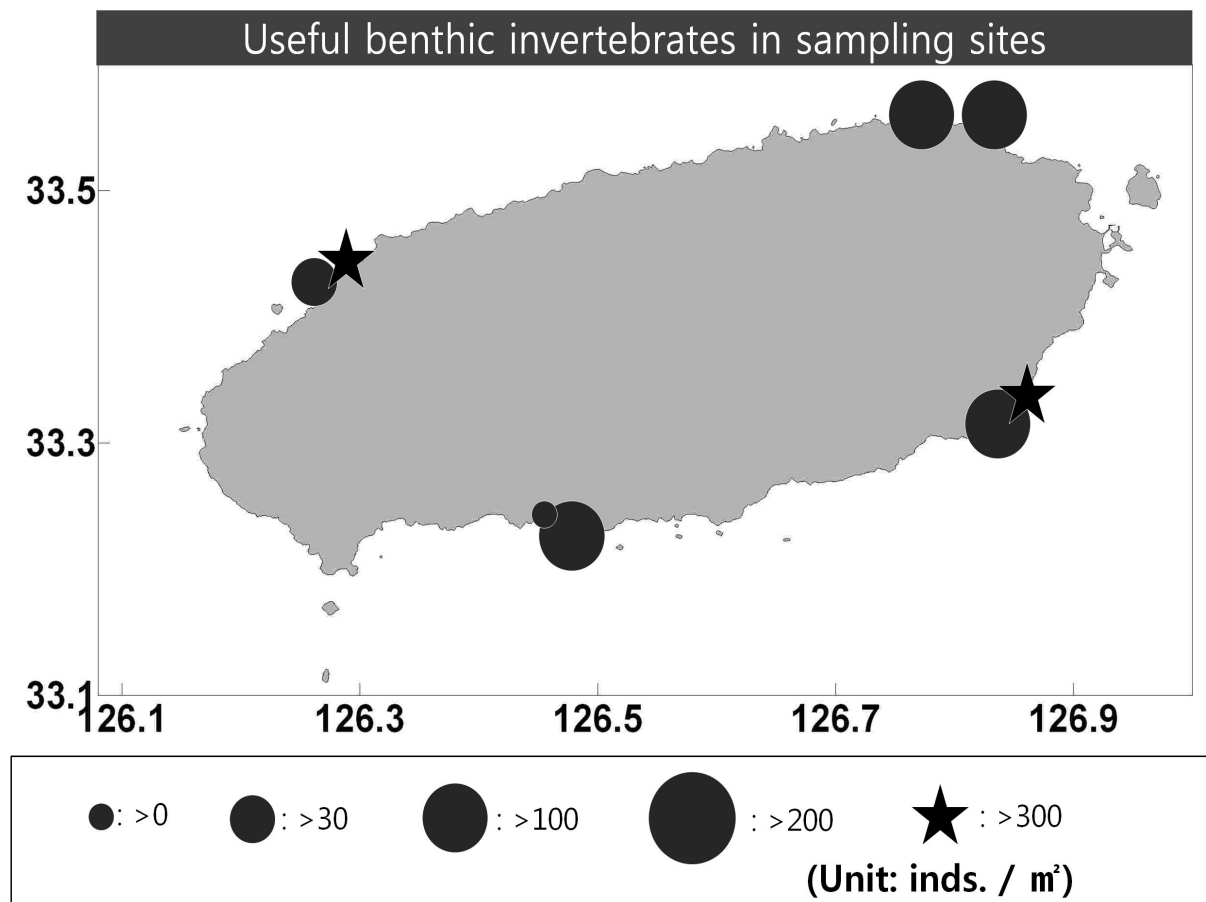


Fig. 48. Distribution of useful benthic invertebrates in sampling sites on the coastal zones of Jeju island.

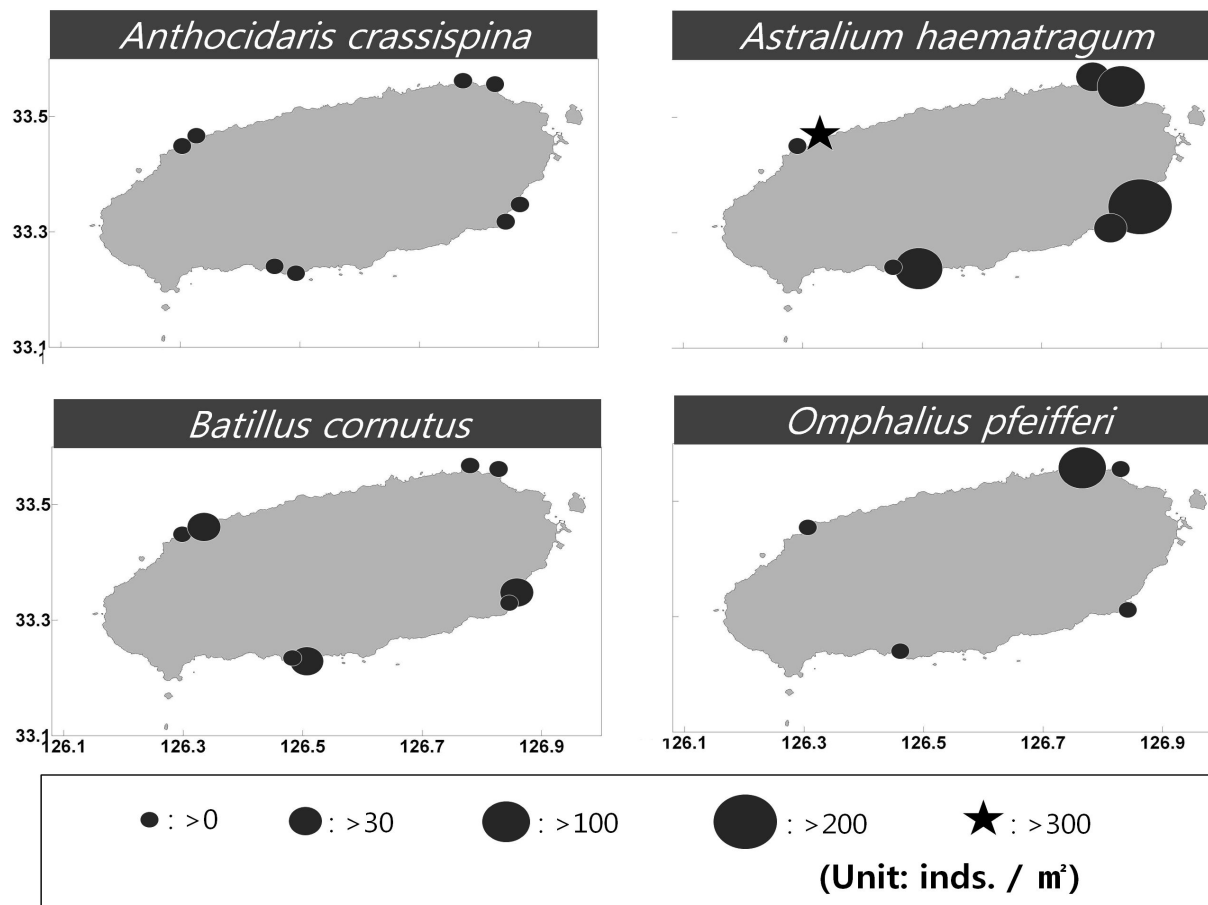


Fig. 49. Distribution of *Anthocardaris crassispina*, *Astralium haematragum*, *Batillus cornutus* and *Omphalius pfeifferi* in sampling sites on the coastal zones of Jeju island.

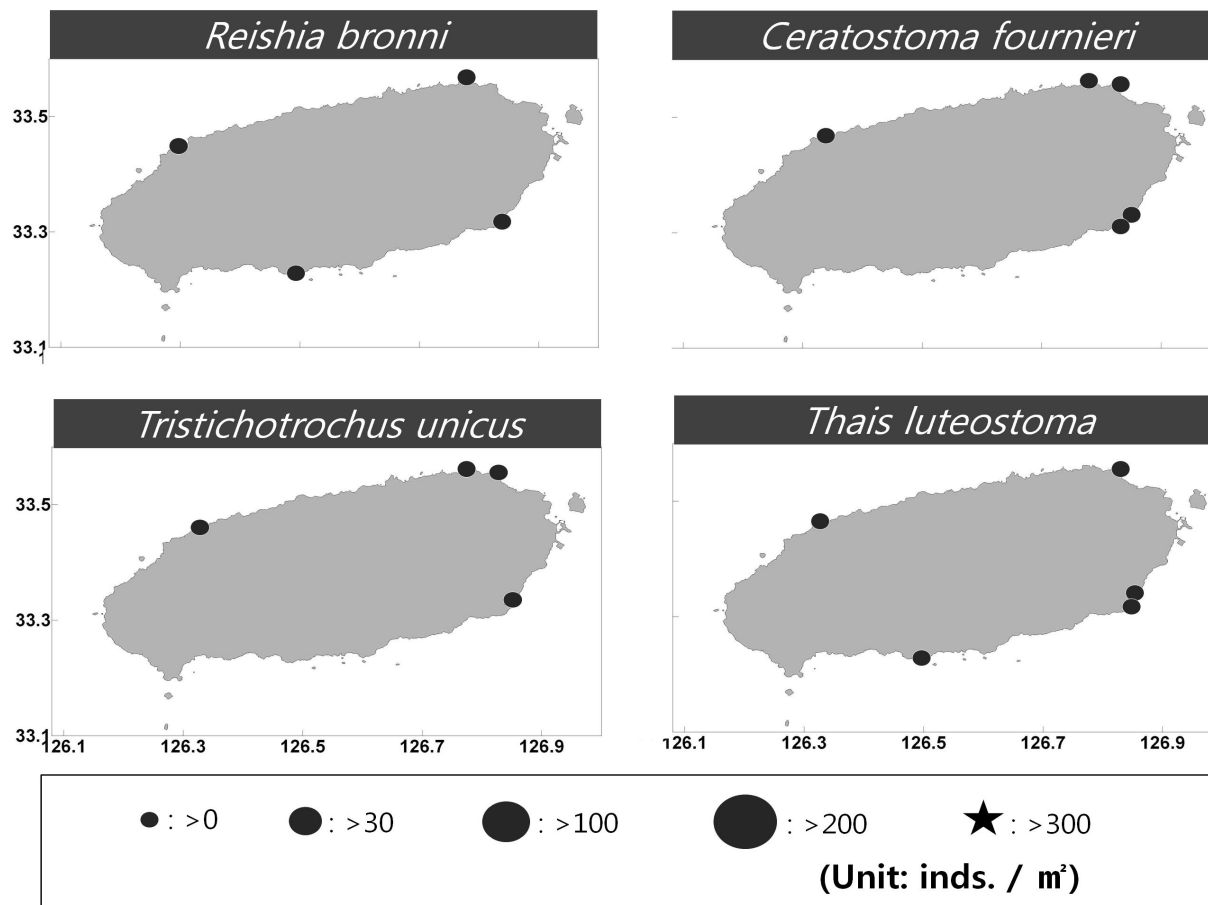


Fig. 50. Distribution of *Reishia bronni*, *Ceratostoma fournieri*, *Tristichotrochus unicus* and *Thais luteostoma* in sampling sites on the coastal zones of Jeju island.

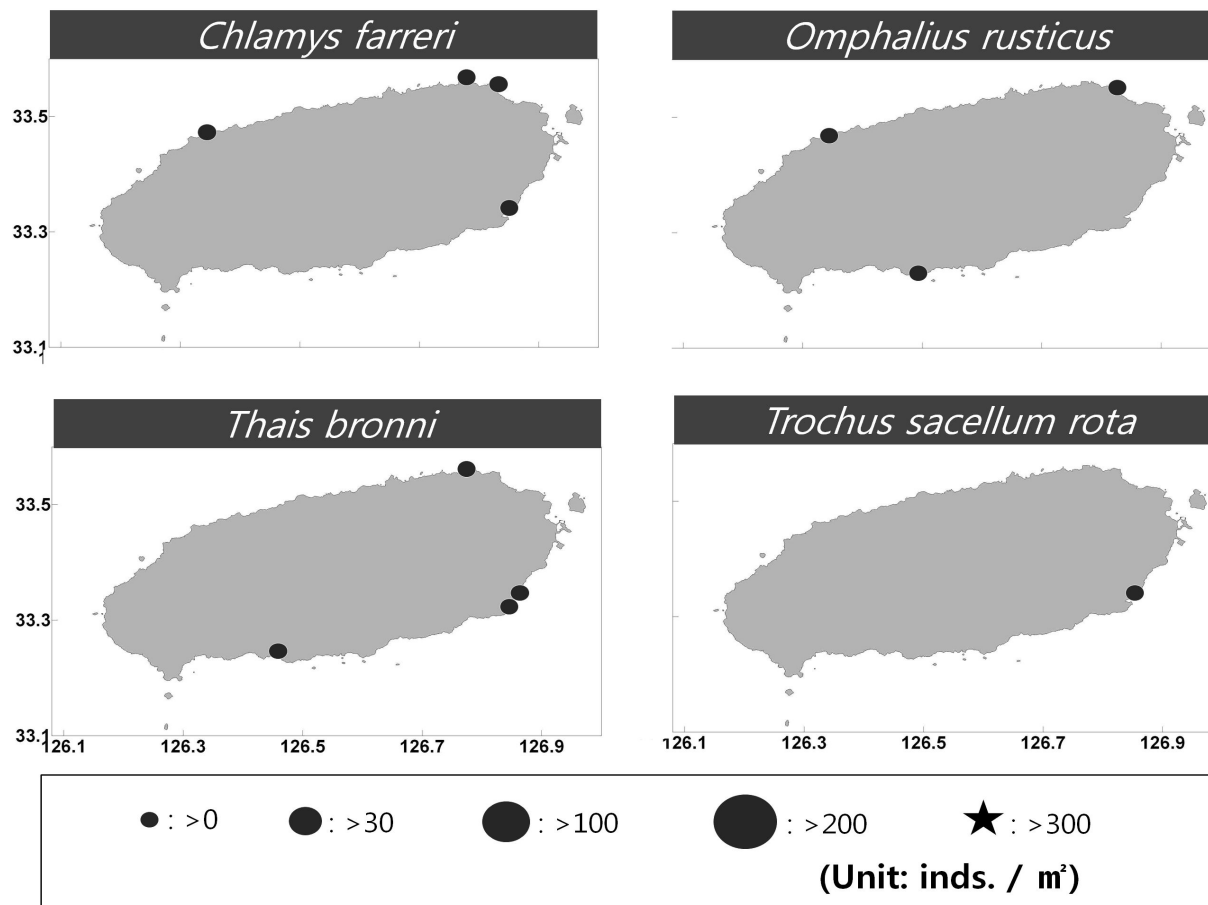


Fig. 51. Distribution of *Chlamys farreri*, *Omphalius rusticus*, *Thais bronni* and *Trochus sacellum rota* in sampling sites on the coastal zones of Jeju island.

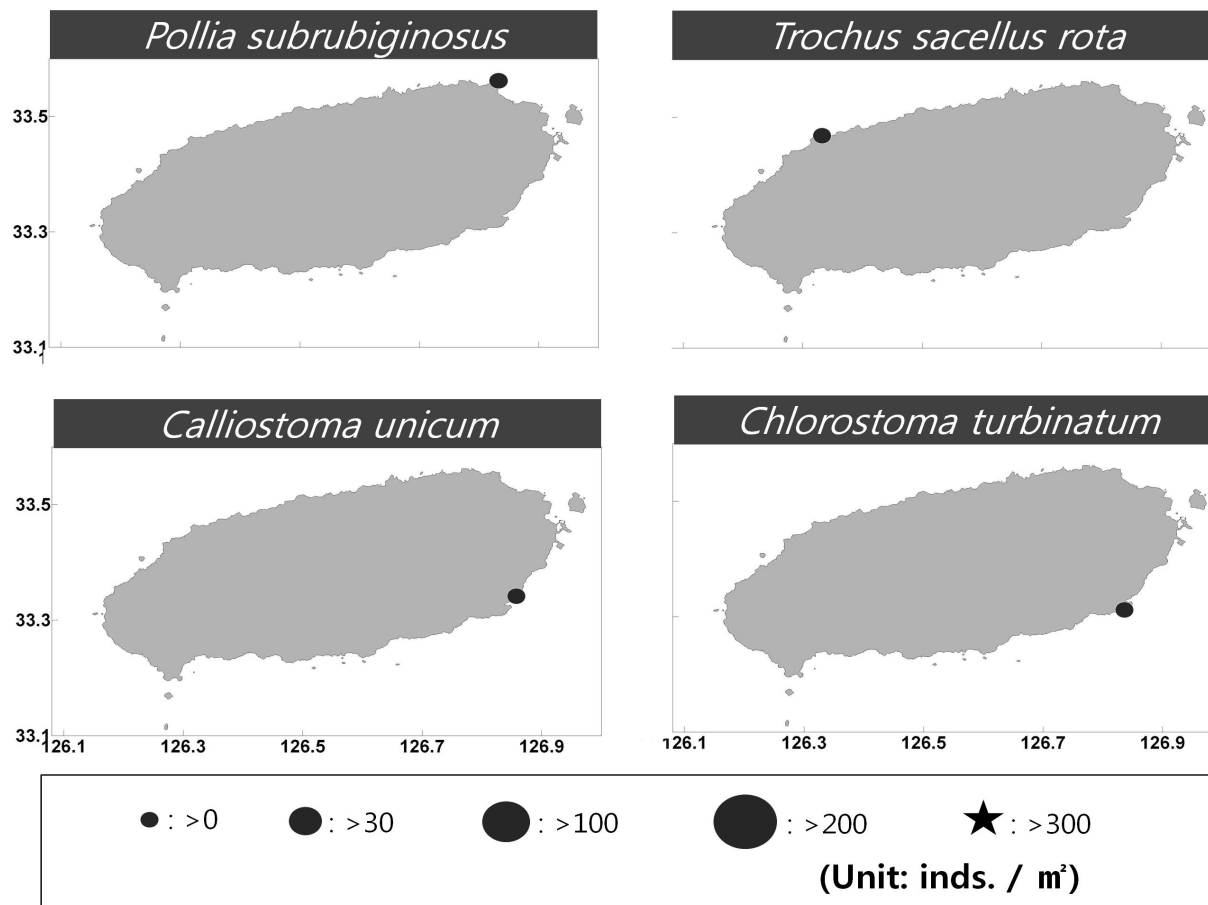


Fig. 52. Distribution of *Pollia subrubiginosus*, *Trochus sacellus rota*, *Calliostoma unicum* and *Chlorostoma tubinatum* in sampling sites on the coastal zones of Jeju island.

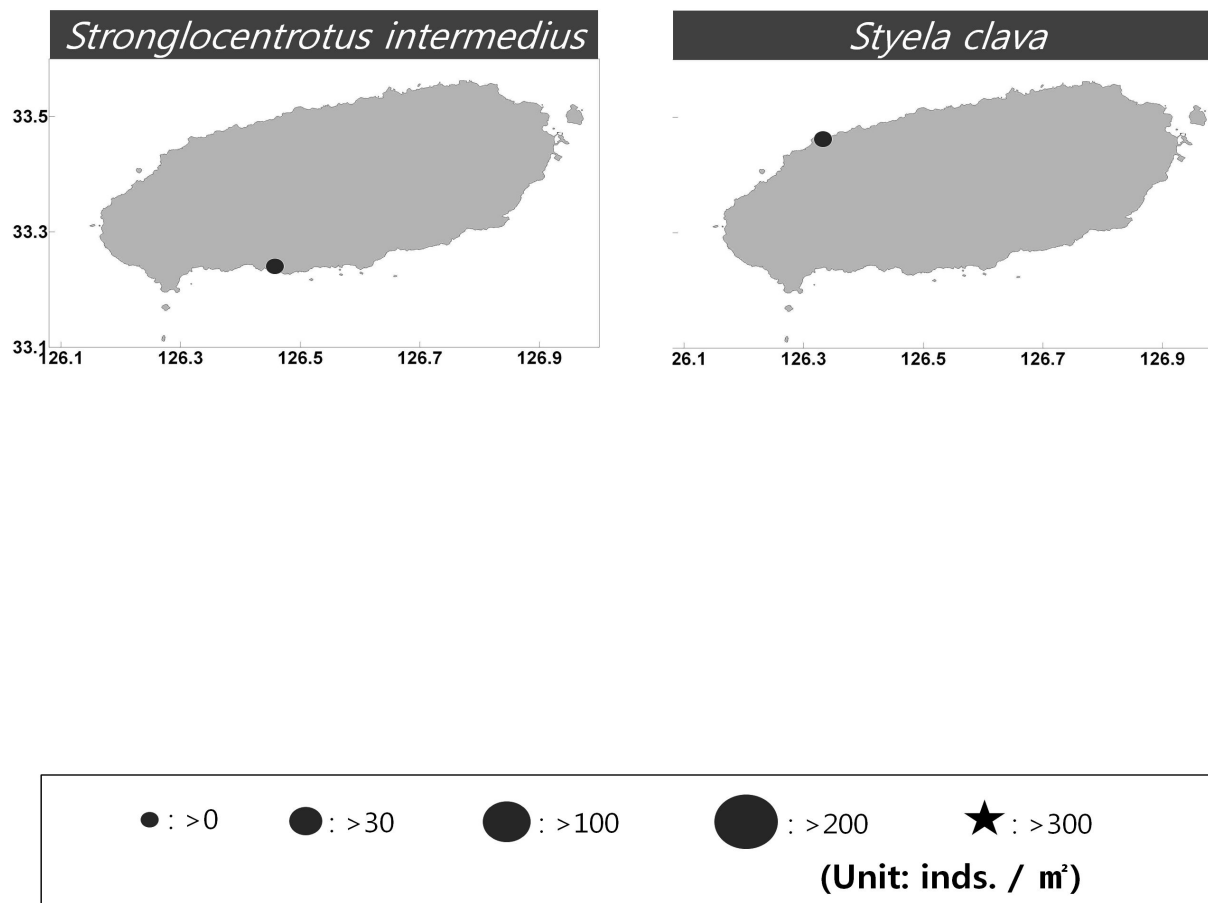


Fig. 53. Distribution of *Stronglocentrotus intermedius* and *Styela clava* in sampling sites on the coastal zones of Jeju island.

## 제4절 고찰

제주해역은 저질이 대부분 수직 암반으로 이루어져있어 해양생물 중 부착기질이 발달된 연체동물, 해면동물, 자포동물 그리고 척삭동물 등이 서식하기에 유리하다(Ko *et al.*, 2008). 본 연구결과도 기타동물문이 1,068 inds./m<sup>2</sup>로 가장 높은 출현밀도이었지만, 이는 척삭동물, 자포동물 그리고 해면동물 등이 포함되어있기 때문에 단일분류군으로는 과거 Lee(1990)와 Lee and Hyun(1992)의 연구결과와 동일하게 연체동물이 전체 199종 중 90종으로 약 절반을 차지하고, 출현밀도도 1,992 inds./m<sup>2</sup> 중에 744 inds./m<sup>2</sup>으로 가장 우점한 분류군이었다. 제주해역 저서무척추동물의 출현 종 조성은 총 199종으로 과거 선행연구 중 Lee and Hyun(1992)의 연구를 제외하고 가장 많은 종이 출현하였다. 이는 과거 제주해역 저서무척추동물에 대한 연구가 북부연안(Lee, 1990), 남부연안(Lee and Hyun, 1992) 그리고 주변 유인도와 무인도 등 국지적인 범위에서의 연구되었기 때문에 출현 종수가 상대적으로 적은 것이라 사료된다. 제주해역 저서무척추동물 출현밀도는 1,992 inds./m<sup>2</sup>로 출현 종수와 동일하게 선행연구 중 가장 높았다. 제주해역에 서식하는 저서무척추동물 중에 최우점종은 분홍멍게(*H. monus*)로 단위면적당 110.8 inds./m<sup>2</sup>이었다. 선행연구 결과가 없어 증감 양상을 파악할 수는 없지만, 최근 제주해역의 수온은 지속적으로 증가한다는 Kwon *et al.*(2007)의 연구결과와 *H. monus*를 포함하는 척삭동물류(Chordata)의 유생은 고수온에서 유생 부착 및 생존율이 낮다는 이 등(2009)의 연구결과를 종합하여 본다면 향후 *H. monus*의 개체수는 수온과 반대로 지속적으로 감소할 것으로 판단된다.

제주해역별 종 조성은 남동해역 107종, 남서해역 76종, 북동해역 125종 그리고 북서해역 84종이었고, 해역별 우점분류군은 모든 해역에서 연체동물이었다. 하지만 연체동물을 제외한 해역별 분류군별 출현 종 조성은 남서해역과 남동해역을 포함한 남부해역에서는 기타동물문이 우점하였고, 북동해역과 북서해역을 포함한 북부해역에서는 절지동물이 우세한 것으로 나타났다. 해역별 출현밀도는 종 조성 분포양상과 동일하게 연체동물이 우점하였으나, 북동해역의 경우는 해면동물, 척삭동물 그리고 자포동물 등이 우점하는 양상이었다. 이와 같이 제주해역은 매우 다양한 생태적 군집특성을 가지고 있으며, 해류의 영향을 통해 외래종과 토착종간의 생물교

란 작용이 진행되었거나, 진행 중인 것으로 사료된다. 생태학적 제지수 분석 결과, 남동해역에 위치한 신천에서 종 다양도( $H'$ )와 종 균등도( $J'$ )가 다른 정점에 비해서 높기 때문에 저서무척추동물이 서식하기에는 제주해역 중에 가장 안정적인 것으로 판단되었다. 반면, 북서해역에 위치한 정점 광지의 경우는 제주해역 정점 중 가장 낮은 것으로 나타났다. 이결과는 광지가 위치적으로 채집시기인 춘계에서 하계로 넘어가는 시기에는 인근정점인 애월을 포함하는 다른 정점에 비해 상대적으로 황해해류와 쿠로시오해류가 혼합되어 직접적으로 영향을 주는 곳이기 때문이라 사료된다. 제주해역 저서무척추동물 군집은 출현 종수와 생체량이 적은 광지와 중문을 제외한 정점에서는 공간적인 동질성을 기준으로 하여 집단이 형성되었다.

제주해역 저서무척추동물 생태학적 분포를 비교 및 분석한 결과, 최근 제주해역은 태평양 기원의 고수온 해류의 영향을 받고 있으며, 외래기원 저서무척추동물이 유입되어 기존의 토착종과 혼합 및 융합되고 있는 시점이기 때문에 앞으로의 제주해역 저서무척추동물 생태학적 분포에 대한 연구는 국지적인 범위에서 제주해역을 대표할 수 있을 정도의 범위에서의 분포 및 종 다양성 모니터링을 실시하여 환경변화에 따른 제주해역 생태계를 명확하게 평가할 수 있는 연구가 필요할 것으로 사료된다.

최근 지구온난화에 의한 수온상승은 제주도 해역을 포함하는 국내외적으로 해양환경의 변화를 가져오며, 이러한 영향으로 해조류 군집의 감소 및 종 변화를 야기해 간접적 혹은 직접적으로 저서무척추동물 및 어류 등 이곳에 서식하는 해양생물의 생태학적 분포에 영향을 준다(Chung *et al.*, 1998; Ichiki *et al.*, 2000). 이에 본 연구에서는 제주해역의 환경요인, 해조류 및 저서무척추동물 출현 양상간 상관관계를 비교분석하여 환경요인이 해조류와 저서무척추동물에게 미치는 영향을 간접적으로 파악하려 하였으며, 더 나아가 현재 제주해역에 서식하는 생물상을 이해하고자 하였다(Table 11; 12; 13).

제주해역 환경요인 중 수온의 증가는 해조류 생물량을 감소시키는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 제주연안에 최우점하는 갈조류 *E. cava*가 수온이 증가하면 생물량이 감소하는 음의 상관관계를 가지 있기 때문이며, 이러한 결과는 Serisawa *et al.* (2004)의 Tasa만에 분포하는 *E. cava*는 수온 증가에 따라서 감소하였다는 연구결과와 동일하였다. 또한 *E. cava*는 극피동물 출현밀도와 음의 상관관계가 있다. 이결과는 극피동물은 성게류(Echinoidea)를 포함하는 분류군으로 유 등(2007)에

의한 동해안 해조류와 무척추동물간의 섭이연구 결과에서 성게류는 다른 무척추 동물보다 해조류 섭이율이 높아 연안 해조류 군집에 지대한 영향을 미친다는 연구결과와 김 등(2007)의 성게류는 해조류 중에서 *E. cava*와 동일 속(genus)인 *E. stolonifera*를 먹이생물로써 선호한다는 연구결과와 동일하였다. *E. cava*는 제주연안에서 전체 해조류 생물량의 72% 이상을 차지하는 종으로 제주해역의 지속적인 수온의 증가와 극피동물인 성게류의 증식은 *E. cava*의 생물량을 감소시키며, 동시에 제주해역 해조류 생물량을 감소시킬 것으로 사료된다. 또한 제주해역 수온은 저서무척추동물 중 기타동물문인 *H. momus*와 음의 상관관계가 있었고, *H. monus*는 최우점한 종으로 수온과 기타동물문 출현밀도간 음의 상관관계를 가지고 있다. *H. momus*를 포함하는 척삭동물류(Chordata)의 유생은 고수온에서 유생 부착 및 생존율이 낮다는 이 등(2009)의 연구결과와 본 연구결과를 종합하여 보면, 향후 제주해역의 수온이 지속적으로 증가한다면, 이에 따라서 *H. monus*를 포함하는 척삭동물의 분포를 감소시킬 것으로 판단된다.

환경요인 중 DIP 증가는 홍조류 중 우점종인 *Caralline* spp. 그리고 연체동물인 *A. haematragum*와 양의 상관관계가 있고, *Caralline* spp.와 *A. haematragum*간 양의 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 반면, *A. haematragum*의 증가는 *E. cava*와 음의 상관관계가 있는 것으로 나타났다. Chapman(2006)의 연구결과에 따르면, *A. haematragum*와 동일 속인 *A. tentiformis*는 연안역에서 갈조류 섭이를 선호한다고 보고하였다. 이에 육상기원의 DIP의 증가는 *Coralline* sp.을 증식시키며, 이는 *A. haematragum*에게 먹이와 서식처를 제공하고, *A. haematragum*는 제주해역에 서식하는 해조류 중에 *E. cava*를 주로 섭이 할 것으로 사료된다.

제주해역 환경요인 중에 해조류와 저서무척추동물의 생태학적 분포에 영향을 주는 것은 수온으로 밝혀졌으며, 현재 제주해역 수온은 점진적으로 증가하는 추세이기 때문에 향후 우점종인 갈조류 *E. cava*의 생물량을 감소시켜 전반적인 제주해역 해조류 생물량이 감소할 것으로 사료된다. 더욱이 해조류와 저서무척추동물간 음의 상관관계가 성립되었고, 최근 제주해역에서 성게류 등 해조섭이 저서무척추동물이 증가한다는 연구보고가 증가하고 있기 때문에 앞으로 제주해역 해조류 감소 추세는 가속도가 붙을 것으로 사료된다. 결론적으로 환경요인 중에 수온, 해조류와 저서무척추동물의 생태학적 분포는 중상관계(Multiple correlation)로 상호요인 간 음의 상관관계와 양의 상관관계가 체계적으로 작용과 반작용할 것으로 사료 된다.

Table 11. Spearman rank correlation between physical factors and benthic algae.

|                       |                                     | Salinity | COD  | DIN   | DIP   | Chl-a | EC    | CU    | GA    | CW    | CP    | BOC   | BOP   | BOR   | TBA   |
|-----------------------|-------------------------------------|----------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Environmental factors | Water temperature                   | -0.48    | 0.60 | -0.46 | -0.43 | 0.86  | -0.64 | 0.26  | -0.50 | 0.73  | -0.33 | -0.26 | -0.64 | -0.36 | -0.62 |
|                       | Salinity                            |          | 0.12 | 0.79  | 0.45  | -0.02 | -0.02 | 0.19  | 0.07  | -0.68 | -0.14 | 0.19  | -0.02 | -0.10 | -0.24 |
|                       | COD                                 |          |      | -0.11 | -0.45 | 0.81  | -0.29 | -0.03 | -0.67 | 0.46  | -0.62 | -0.62 | -0.29 | -0.74 | -0.69 |
|                       | DIN                                 |          |      |       | 0.74  | -0.01 | 0.02  | 0.33  | 0.54  | -0.48 | 0.18  | 0.61  | 0.02  | 0.25  | 0.00  |
|                       | DIP                                 |          |      |       |       | -0.24 | -0.14 | 0.65  | 0.52  | -0.36 | 0.69  | 0.60  | -0.14 | 0.74  | 0.12  |
|                       | Chl-a                               |          |      |       |       |       | -0.64 | 0.33  | -0.45 | 0.57  | -0.48 | -0.19 | -0.64 | -0.50 | -0.79 |
| Dominance species     | EC: <i>Ecklonia cava</i>            |          |      |       |       |       |       | -0.76 | 0.48  | -0.35 | 0.21  | 0.02  | 0.99  | 0.12  | 0.83  |
|                       | CU: <i>Coralline (U. K)</i>         |          |      |       |       |       |       |       | -0.02 | 0.16  | 0.34  | 0.23  | -0.76 | 0.45  | -0.44 |
|                       | GA: <i>Grateloupia angusta</i>      |          |      |       |       |       |       |       |       | -0.34 | 0.57  | 0.83  | 0.48  | 0.67  | 0.74  |
|                       | CW: <i>Cladophora wrightiana</i>    |          |      |       |       |       |       |       |       |       | -0.18 | -0.40 | -0.35 | -0.22 | -0.30 |
|                       | CP: <i>Corallina pilulifera</i>     |          |      |       |       |       |       |       |       |       |       | 0.40  | 0.21  | 0.95  | 0.57  |
|                       | BOC: Biomass of Chlorophyta         |          |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 0.02  | 0.55  | 0.33  |
|                       | BOP: Biomass of Phaeophyta          |          |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 0.12  | 0.83  |
|                       | BOR: Biomass of Rhodophyta          |          |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 0.57  |
|                       | TBA: Total biomass of benthic algae |          |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |

Table 12. Spearman rank correlation between physical factors and benthic invertebrates.

|                       |                                             | Salinity | COD   | DIN   | DIP   | DOA   | DOC   | DOE   | DOM   | DOO   | TDI   | TBI   | HM    | AH    | BC    | ER    | LC   |
|-----------------------|---------------------------------------------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| Environmental factors | Water temperature                           | -0.48    | 0.60  | -0.46 | -0.43 | -0.23 | -0.24 | 0.67  | 0.07  | -0.83 | -0.62 | -0.05 | -0.83 | 0.17  | 0.19  | 0.45  | 0.27 |
|                       | Salinity                                    | 0.12     | 0.79  | 0.45  | 0.05  | -0.02 | -0.43 | -0.05 | 0.33  | 0.02  | -0.12 | 0.37  | 0.01  | -0.29 | -0.55 | -0.39 |      |
|                       | COD                                         |          | -0.11 | -0.45 | -0.25 | -0.52 | 0.00  | -0.36 | -0.60 | -0.71 | -0.19 | -0.54 | -0.31 | -0.43 | -0.36 | -0.46 |      |
|                       | DIN                                         |          |       | 0.74  | 0.45  | 0.43  | -0.18 | 0.34  | 0.30  | 0.29  | 0.22  | 0.28  | 0.41  | 0.11  | -0.25 | -0.02 |      |
|                       | DIP                                         |          |       |       | 0.28  | 0.86  | 0.26  | 0.71  | 0.57  | 0.74  | 0.45  | 0.56  | 0.66  | 0.40  | -0.10 | 0.12  |      |
|                       | Chl-a                                       |          |       |       | -0.07 | -0.24 | 0.45  | 0.07  | -0.79 | -0.67 | 0.00  | -0.78 | 0.20  | 0.07  | 0.14  | 0.07  |      |
|                       | DOA: Density of Annelida                    |          |       |       |       | 0.43  | -0.20 | 0.37  | 0.23  | 0.36  | 0.67  | 0.07  | 0.40  | 0.54  | 0.05  | 0.53  |      |
|                       | DOC: Density of Crustacea                   |          |       |       |       |       | 0.45  | 0.79  | 0.50  | 0.83  | 0.64  | 0.46  | 0.68  | 0.60  | 0.12  | 0.34  |      |
|                       | DOE: Density of Echinodermata               |          |       |       |       |       |       | 0.60  | -0.36 | 0.05  | 0.19  | -0.34 | 0.61  | 0.52  | 0.60  | 0.44  |      |
|                       | DOM: Density of Mollusca                    |          |       |       |       |       |       |       | 0.24  | 0.60  | 0.79  | 0.12  | 0.96  | 0.88  | 0.24  | 0.59  |      |
| Dominance species     | DOO: Density of The other phylums           |          |       |       |       |       |       |       |       | 0.86  | 0.38  | 0.98  | 0.05  | 0.07  | -0.50 | -0.17 |      |
|                       | TDI: Total density of benthic invertebrates |          |       |       |       |       |       |       |       |       | 0.62  | 0.81  | 0.41  | 0.43  | -0.17 | 0.15  |      |
|                       | TBI: Total biomass of benthic invertebrates |          |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 0.22  | 0.67  | 0.76  | -0.12 | 0.44  |      |
|                       | HM: <i>Herdmania momus momus</i>            |          |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | -0.07 | -0.10 | -0.54 | -0.33 |      |
|                       | AH: <i>Astralium haematragum</i>            |          |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 0.90  | 0.40  | 0.70  |      |
|                       | BC: <i>Batillus cornutus</i>                |          |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 0.50  | 0.88  |      |
|                       | ER: <i>Ergalatax contracta</i>              |          |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 0.78  |      |
|                       | LC: <i>Lithophaga curta</i>                 |          |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |

Table 13. Spearman rank correlation between benthic algae and invertebrates.

|                   |                                             | CU    | GA    | CW    | CP    | BOC   | BOP   | BOR   | TBA   | DOA   | DOC   | DOE   | DOM   | DOO   | TDI   | TBI   | HM    | AH    | BC    | ER    | LC    |
|-------------------|---------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Dominance species | EC: <i>Ecklonia cava</i>                    | -0.76 | 0.48  | -0.35 | 0.21  | 0.02  | 1.00  | 0.12  | 0.83  | 0.17  | -0.07 | -0.67 | -0.57 | 0.33  | 0.19  | -0.29 | 0.39  | -0.63 | -0.52 | -0.24 | -0.37 |
|                   | CU: <i>Coralline (U. K)</i>                 |       | -0.02 | 0.16  | 0.34  | 0.23  | -0.76 | 0.45  | -0.44 | -0.20 | 0.51  | 0.73  | 0.76  | -0.02 | 0.23  | 0.30  | -0.02 | 0.77  | 0.48  | 0.17  | 0.21  |
|                   | GA: <i>Grateloupia angusta</i>              |       |       | -0.34 | 0.57  | 0.83  | 0.48  | 0.67  | 0.74  | 0.48  | 0.55  | -0.05 | 0.24  | 0.24  | 0.45  | 0.07  | 0.22  | 0.30  | 0.24  | 0.36  | 0.34  |
|                   | CW: <i>Cladophora wrightiana</i>            |       |       |       | -0.18 | -0.40 | -0.35 | -0.22 | -0.30 | -0.08 | -0.06 | 0.49  | 0.20  | -0.60 | -0.28 | 0.28  | -0.64 | 0.17  | 0.25  | 0.23  | 0.16  |
|                   | CP: <i>Corallina pilulifera</i>             |       |       |       |       | 0.40  | 0.21  | 0.95  | 0.57  | 0.02  | 0.83  | 0.40  | 0.43  | 0.50  | 0.76  | 0.19  | 0.56  | 0.30  | 0.21  | 0.17  | 0.07  |
|                   | BOC: Biomass of Chlorophyta                 |       |       |       |       |       | 0.02  | 0.55  | 0.33  | 0.59  | 0.57  | 0.17  | 0.48  | 0.14  | 0.36  | 0.21  | 0.07  | 0.61  | 0.55  | 0.52  | 0.66  |
|                   | BOP: Biomass of Phaeophyta                  |       |       |       |       |       |       | 0.12  | 0.83  | 0.17  | -0.07 | -0.67 | -0.57 | 0.33  | 0.19  | -0.29 | 0.39  | -0.63 | -0.52 | -0.24 | -0.37 |
|                   | BOR: Biomass of Rhodophyta                  |       |       |       |       |       |       |       | 0.57  | 0.01  | 0.81  | 0.43  | 0.52  | 0.45  | 0.74  | 0.17  | 0.49  | 0.44  | 0.33  | 0.31  | 0.22  |
|                   | TBA: Total biomass of benthic algae         |       |       |       |       |       |       |       |       | 0.14  | 0.26  | -0.29 | -0.19 | 0.38  | 0.45  | -0.17 | 0.41  | -0.25 | -0.14 | 0.17  | 0.00  |
|                   | DOA: Density of Annelida                    |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 0.43  | -0.20 | 0.37  | 0.23  | 0.36  | 0.67  | 0.07  | 0.40  | 0.54  | 0.05  | 0.53  |
|                   | DOC: Density of Crustacea                   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 0.45  | 0.79  | 0.50  | 0.83  | 0.64  | 0.46  | 0.68  | 0.60  | 0.12  | 0.34  |
|                   | DOE: Density of Echinodermata               |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 0.60  | -0.36 | 0.05  | 0.19  | -0.34 | 0.61  | 0.52  | 0.60  | 0.44  |
|                   | DOM: Density of Mollusca                    |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 0.24  | 0.60  | 0.79  | 0.12  | 0.96  | 0.88  | 0.24  | 0.59  |
|                   | DOO: Density of The other phylums           |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 0.86  | 0.38  | 0.98  | 0.05  | 0.07  | -0.50 | -0.17 |
|                   | TDI: Total density of benthic invertebrates |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 0.62  | 0.81  | 0.41  | 0.43  | -0.17 | 0.15  |
| Dominance species | TBI: Total biomass of benthic invertebrates |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 0.22  | 0.67  | 0.76  | -0.12 | 0.44  |
|                   | HM: <i>Herdmania momus momus</i>            |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | -0.07 | -0.10 | -0.54 | -0.33 |
|                   | AH: <i>Astrarium haematragum</i>            |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 0.90  | 0.40  | 0.70  |
|                   | BC: <i>Batillus cornutus</i>                |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 0.50  | 0.88  |
|                   | ER: <i>Ergalatax contracta</i>              |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 0.78  |
|                   | LC: <i>Lithophaga curta</i>                 |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |

## 제5장 종합 고찰 및 결론

- (1) 제주도는 지리적으로 제주 남쪽해역에서 북상하는 대마난류, 제주 북쪽의 남해안 연안수 및 중국대륙연안수 등 여러 수괴의 영향을 동시에 받고 있으며, 온대와 아열대, 열대 생물이 공존하는 곳으로 동·서·남해 해안과는 다른 종조성을 가지고 있음
- (2) 조사해역 해조류 총 출현 종수는 89종이었으며, 녹조류 13.5%, 갈조류 27.0%, 홍조류 59.6%로 이는 동·서·남해의 해조류 군집 조사결과와 유사한 경향을 보였다.(Kim *et al.*, 2011; Lee *et al.*, 2007) 수심별로는 수심 5 m에서 가장 많은 출현 종수를 보였으며, 수심이 깊어질수록 해조류의 종 다양성이 감소하는 일반적인 추세와 비슷한 양상을 보였다(Choi *et al.*, 2006; Kim *et al.*, 2010).
- (3) 해조류의 지리적 분포 양상을 나타내는 척도로 각 분류군의 출현종수에 근거하여  $(R+C)/P$ (Cheney, 1977)의 지수가 사용되고 있다.  $(R+C)/P$ 의 값이 3보다 작을 때는 온대성 혹은 한대성 해조상을 나타내며, 6 이상이면 열대성 해조사이며, 그 중간 값이면 혼합층(mixed flora)으로 규정하고 있다. 정점별  $(R+C)/P$ 의 결과 월정과 남원(3.5)이 혼합층으로, 대포(6), 중문(9), 애월(15)에서 열대성 해조상으로 나타났고, 그 외 정점은 0.56~2.5로 온대성 혹은 한대성 해조상을 보였다.
- (4) 제주해역은 대부분 수직 암반이 주로 이루고 있기 때문에 부착기질이 발달된 연체동물, 해면동물, 자포동물 그리고 척삭동물 등이 서식하기에 유리하다(Ko *et al.*, 2008). 본 연구에서 출현한 저서무척추동물의 종 조성은 총 199종으로 과거 선행연구 중 Lee and Hyun(1992)의 연구를 제외하고 가장 많은 종이 출현하였다. 이는 과거 제주해역 저서무척추동물에 대한 연구는 북부연안(Lee, 1990), 남부연안(Lee and Hyun, 1991) 그리고 주변 유인도와 무인도 등 국지적인 범위에서의 연구이기 때문에 출현 종수가 상대적으로 적은 것이라 사료된다.

- (5) 생태학적 제지수 분석 결과, 남동해역에 위치한 신천에서 종 다양도( $H'$ )와 종 균등도( $J'$ )가 다른 정점에 비해서 높기 때문에 저서무척추동물이 서식하기에는 제주해역 중에 가장 안정적인 것으로 판단되었다. 반면, 북서해역에 위치한 정점 광지의 경우는 제주해역 정점 중 가장 낮은 것으로 나타났다.
- (6) 제주해역 환경요인 중에 해조류와 저서무척추동물의 생태학적 분포에 영향을 주는 것은 수온으로 밝혀졌으며, 현재 제주해역 수온은 점진적으로 증가하는 추세이기 때문에 향후 우점종인 갈조류 *E. cava*의 생물량을 감소시켜 전반적인 제주해역 해조류 생물량이 감소할 것으로 사료된다.
- (7) 환경요인 중에 수온, 해조류와 저서무척추동물의 생태학적 분포는 중상관계(Multiple correlation)로 상호 요인간 음의 상관관계와 양의 상관관계가 체계적으로 작용과 반작용할 것으로 사료된다.
- (8) 제주 연안 해조류의 생태학적 분포를 비교·분석한 결과, 대마난류 및 양자강 저염수와 같은 해류 및 해저 지형 부착기질(암반대) 분포의 영향을 받고 있으며, 아열대·열대 종의 유입 및 토착화가 진행되고 있기 때문에 향후 제주 연안 해조류의 생태학적 분포에 대한 연구는 지속적이고 대표성을 가질 수 있는 범위에서의 다양한 연구가 필요한 것으로 사료된다.

## 제6장 참고문헌

- Barbour M.G., J.H. Burk and W.D. Pitts. 1987. Terrestrial plant ecology. *The Benjamin / Cumming Pub Co. Inc.* 216 pp.
- Bray, J.R. and J.T. Curtis. 1957. An ordination of the upland forest communities of shouthern Wisconsin. *Ecol. Monogr.*, 27: 325–349.
- Burd B.J., P.A.G. Barner, C.A. Wright and R.E. Thomson. 2008. A review of subtidal benthic habitats and invertebrate biota of the strait of Georgia, Britich Columbia. *Mar. Envrion. Res.*, 66: S3–S38.
- Byeon, C.I. 1981. Study on the ocean ographic condition characteristic of the coastal water in Jeju Island around Seong San. *MS Thesis, Cheju Nat'l. Univ.*, 27 pp.
- Choi, C.G. and H.S. Rho. 2010. Marien algal community of Ulsan, on the eastern coast of Korea. *Kor. J. Fish. Aquat. Sci.*, 43: 246–253.
- Choi, C.M. 1989. A study on the origin of coastal waters in the southwestern seas of Korea. *MS Thesis, Cheju Net'l. Univ.*, 44 pp.
- Chung, H., K.W. Cho, K.Y. Chung, J.H. Kim, J. Shin, Y. Seo, J.S. Kang and J.K. Lee. 1998. Ecological characteristics of algal whitening in coastal zone of Seogwipo area, Cheju Island. *Algae*. 13: 361–374.
- Cohen, E.B., M.D. Grosslein, , M.P. Sissenwine, , F.W. Steimle and W.R. Wright. 1982. An energy budget of Georges Bank. In: Mercer, M. C.(ed.) Multi–species approaches to fisheries management advice. *Can. Spec. Pub. Fish. Aquat. Sci.*, 59: 95–107.

- Ferreira, M.A. and F. Andrade. 2003. Intertidal communities as indicators of environmental change and their potencial use in biomonitoring: The Troia Resort (Portugal), a large-scale tourist development, as a case study. *Bol. Inst. Esp. Oceanogr.*, 19(1): 253–264.
- Gaston, G.R. and J.C. Nasci. 1988. Trophic structure of macrobenthic communities In the Calcasieu estuary. *Louisiana. Estuaries*, 11: 210–211.
- Gee, J.M and R.M. Warwick. 1996. A study of global biodiversity patterns in the marine motile fauna of hard substrata. *J. Mar. Biol. Ass. U.K*, 76: 177–184.
- Gray, J. S., M. Aschan, M.R. Carr, K.R. Clarke, R.H. Green, T.H. Pearson, R. Rosenberg and R.M. Warwick. 1988. Analysis of community attributes of the benthic macrofauna of frierfjord langesundfjord and in a mesocosm experiment. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 46: 151–165.
- Haglund, K., M. Bjorklund, S. Gunnare, A. Sandberg, U. Olander and M. Pedersen. 1996. New method for toxicity assessment in marine and brackish environments using the macroalga *Gracilaira tenuistipitata*(Gracilariales, Rhodophyta). *Hydrobiologia*, 326/327: 317–325.
- Ichiki, S., H. Misuta and H. Yamamoto. 2000. Effects of irradiance, water temperature and nutrients on the growth of sporelings of the crustose coralline alga *Lithophyllum yesoense* Foslie. *Phycol. Res.*, 48: 115–120,
- Kang J. M., 1966. On the Geographical distribution of marine algae in Korea. *Bulle. Pusan Fish. coll.*, 7: 1–125.
- Kang, P.J., Y.S. Kim and K.W. Nam. 2008. Flora and community structure of benthic marine algae in Ilkwang Bay, Korea. *Algae*. 23: 1–10.

- Kim, I.O. and H.K. Rho. 1994. A study on China coastal water appeared in the neighbouring seas of Cheju Island. *J. Kor. Fish. Soc.*, 27(5): 515–528.
- Kim, K. and S.H. Lee. 1982. Vertically homogeneous waters along the west coast of Cheju Island. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 17(2): 59–68.
- Kim, Y.D., M.S. Park, T.S. Moon, J.K. Ahn, S.J. Kim and Y.H. Kim, 2011. An analysis of subtidal macroalgal community structure using a modified photo quadrat method. *Kor. J. Fish. Aquat. Sci.*, 44(3): 298–307.
- Ko, J.C., J.H. Koo and M.H. Yang, 2008. Characteristics of ocean environmental factors and community structure of macrobenthos around Munseon, *Jeju Island, Korea*. *Kor. J. Mal.*, 24: 215–228.
- Kröncke, I., 1995. Long-term changes in North Sea benthos. *Senckenbergiana Maritima* 26: 73–80
- Kwak, S.N. and S.H. Huh, 2009. Species composition and distributional patterns of marine benthic algae at intertidal zone in masan bay. *J. Kor. Soc. Mar. Environ. Safety*, 15(3): 179–185.
- Kwon, Y.A., W.T. Kwon, K.O. Boo and Y.E. Choi. 2007. Future projections on subtropical climate regions over South Korea Using SRES A1B data. *J Kor. Geo. Soc.*, 42: 355–367.
- Le Bris H. 1988. Fonctionnement des ecosystems benthiques cotiers au contact d'estuaires: l'arade de Lorient et la baie de Vilaine. These doc., Univ. Bretagne Occidental, Brest.
- Lee, G.H., H.I. Yoo and H.G. Choi. 2007. Seasonal community structure and

- vertical distribution of medicinal seaweeds at Kkotji in Taean peninsula, Korea. *Algae*. 22: 209–219.
- Lee, J.J. and J.M. Hyun. 1992. Bioecological study of the eastern coastal area in Cheju Island. Seasonal change of macroinvertebrate community on the intertidal rocky shores. *Kor. J. Mal.*, 8: 1–20.
- Lee, J.J. and Y.W. Jwa. 1988. Ecological study on the intertidal zone around Cheju Island–1. Estimation of plankton production and community structure of marine shells–Community structure of molluscan shells. *Kor. J. Mal.*, 4: 17–29.
- Lee, J.J. 1990. Bioecological study of the northern coastal area in Cheju Island. *Kor. J. Mal.*, 6: 33–44.
- Levine, H.G. 1984. The use of seaweeds for monitoring coastal waters. In algae as ecological indicators, L.E. Shubert(ed.). Academic Press, New York, 189–210.
- Lindstrom, S.C. 2009. The biogeography of seaweeds in southcast Alaska. *J. Biogeogr.*, 36: 401–409.
- Marglef, R. 1958. Information theory in ecology. *Gen. Syst.* 3:36–71.
- Masao, O. 1993. Succession seaweed communities on the artificial reefs in Ashizuri, Tosa Bay, Japan. *Kor. J. Phyco.*, 8(2): 191~198.
- Mooraki N., S.A. Esmaeli, M. Soltani and T. Valinassab. 2009. Spatial distribution and assemblage structure of macrobenthos in a tidal creek in relation to industrial activities. *Int. J. Environ. Sci. Tech.*, 6: 651–662.

- Okamura K. 1892. On the marine algae of Chosen. Rep. Imp. Bur. Fish Sci., 3: 114–127
- Okutani, T., 2000. Marine Mollusks in Japan. Tokai Univ. Pre., Tokyo, 1173pp.
- Okutani, T. 1994. Field Books, Vol. 8. Yama-kei Publishers Co., Ltd., Tokyo, 367pp.
- Park, Y.K., K.S. Seo and C.K. Choi. 2006. Environmental biology. Daehakseolim.
- Pearson, T.H. and R. Rosenberg. 1978. Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 16: 229–311.
- Pielou, E.C. 1975. Ecological diversity. Wiley, New York.
- Rho, H.K. 1985. Studies on marine environmental of fishing ground in the waters around Jeju Island. Ph D Thesis. *Tokyo Univ.*, 215 pp.
- Rho, H.K. and K.H. Chung. 1976. Studies on the fluctuation of temperature and salinity in the cost of Jeju Island( I ) The characteristics of general fluctuation. *Cheju Nat'l. Univ. J.*, 8: 115–122
- Rho, H.K. and K.H. Chung. 1997. Studies on the fluctuation of temperature and salinity in the cost of Jeju Island( II ) The characteristics of general fluctuation. *Cheju Nat'l. Univ. J.*, 9: 131–136.
- Rho, H.K. and T. Hirano. 1983. Tongue-like warm water appeared in the east entrance of the Jeju Strai. *Bull. Korean Fish Soc.*, 16(4): 299–304.

- Ruschmann, D. 1993. Impactos ambientais turismo ecológico no Brasil. Turismo em Análise, São Paulo, 4(1): 56-68.
- Serisawa Y., Y. Yokohama, Y. Aruga and J. Tanaka. 2004. Dark respiration of the stipe of *Ecklonia cava* (Laminariales, Phaeophyta) in relation to temperature. *Phycological Research* 52: 174-179.
- Serisawa, Y., Z. Imoto, T. Ishikawa and M. Ohno. 2004. Decline of the *Ecklonia cava* population associated with increased seawater temperatures in Tosa Bay, southern. *Japan. J Fish. Sci.*, 70: 189-191.
- Shannon, C.E. and W. Weaver, 1949. The mathematical theory of communication. Univ. of Illinois Press, Urbana Illinois.
- Shen, C.J. 1932. The Brachyuran Crustacea of North China—Series A. Invertebrates of china. The Fan Memorial Institute of Biology, *Peiping, China*, 321 pp.
- Silva, J.N. and N.P. Ghilardi-Lopes. 2012. Indicators of the impacts of tourism on hard-bottom benthic communities of Ilha do Cardoso State Park (Cananeia) and Sonho Beach (Itanhaem), two southern coastal areas of Sao Paulo State (Brazil). *Ocean Coast. Manage.*, 58: 1-8.
- Underwood A.J. 1996. Detection, interpretation, prediction and management of environmental disturbances: some roles for experimental marine ecology. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 200: 1-27.
- Stevenson, R.J. 1997. Scale-dependent determinants and consequences of benthic algal heterogeneity. *J. N. Am. Benthol. Soc.* 16:248-262.
- van der Maarel, E. 1990. Ecotones and ecoclines are different. *J. Veg. Sci.*, 1:

135-138

- Ward. J.A. and J.A. Stanford. 1979. 'Ecological factors controlling stream zoobenthos with emphasis on thermal modification of regulated streams', in Ward, J. A. and J. A. Stanford (Eds), *The Ecology of Regulated Streams*, Plenum Press, *New York*, 35-55.
- Warwick R.M. and K.R. Clarke. 1993. Comparing the severity of disturbance. A meta-analysis of marine macrobenthic community data. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 92: 221-231
- Warwick R.M. 1993. Environmental impact studies on marine communities: pragmatical considerations. *Aus J. Eco.l.*, 18: 63-80.
- Warwick, R.M. 1986. A new method for detecting pollution effects on marine macrobenthic communities. *Mar. Biol.*, 92: 557-562.
- Worm, B., H. K. Lotze and U. Sommer. 2000. Coastal food web structure, carbon storage, and nitrogen retention regulated by consumer pressure and nutrient loading. *Limnol. Oceanogr.*, 45: 339-349
- Yang, D. and R. Sun. 1988. Polychaetous Annelids commonly seen from the Chines Waters, 352 pp.
- Yang M.H., T.S. Moon, J.T. Yu, J.C. Ko and D.S. Chang. 2007. Species Appearance and Seasonal Variation of Macrobenthic Invertebrate in the Coastal Water of Chagwi-do, Jeju-Island. *Korea Journal of Malacology*. 23(2): 235-243.
- 고유봉, 노홍길, 방익찬, 오봉철, 윤석훈, 윤정수, 이준백, 최영찬. 1998, *제주의 바다*, 제주도 해양수산개발협의회, 196pp.

- 국립수산물과학원 동해수산물연구소. 2006. 2002~2004 동해안 해조장 조성 연구( I ). 291pp.
- 국립수산물과학원. 2001. 한국해양편람. 4: 53-80.
- 국토해양부. 2008. 해양생태계 교란생물 관리방안. 219 pp.
- 김광훈. 1990. 한국산 홍조 비단풀과 식물 14종에 대한 분류학적 연구. 서울대학교 박사학위논문, 359 pp.
- 김대권. 2006. 제주 갯녹음 해역에서 인공어초를 이용한 해중림 조성. 제주대학교 대학원 박사학위 논문.
- 김명숙, 김미량, 정미희, 김정하, 정익교. 2008. 추자도 조간대 해조류의 종조성과 생물량. *Algae*, 23(4): 301-310.
- 김상규, 허철구, 이민규. 2011. 제주도 제주항내 퇴적물 중의 부틸주석화합물의 오염. *한국환경과학회지*. 20(5): 655-665.
- 김수경, 김영대, 전창영, 공용근, 김동삼, 김진희, 김명래, 한형균. 2007. 둥근성게, 북쪽말뚝성게 및 참전복의 일일 먹이소비량 및 해조류 먹이선택성. *한국수산과학회지* 40(3):133-140.
- 김영환. 1991. 제주도의 해양식물자원, 해양식물자원의 보물섬 제주도. *제주도 연구*, 8: 137-156.
- 김익수, 최윤, 이충렬, 이용주, 김병식, 김지현. 2005, *한국어류대도감*, 교학사, 615 pp.
- 김일희. 1998. *한국동식물도감*, 제38권 동물편(따개비류, 공생성 요각류, 바다거미류). 교육부 국정교과서주식회사, 서울, 1038 pp.

- 김주희, 고용덕, 김영식, 남기완. 2011. 새만금 방조제 외측 고군산군도 지역의 해조상 및 군집구조. 한국환경생태학회지. 25(2): 156-165.
- 민덕기, 이준상, 고동범, 제종길. 2004. 한국패류도감. 도서출판 한글, 서울, 566 pp.
- 박찬선, 위미영, 황은경. 2007. 한국 남서해안 도초군도 무인도서의 하계 해조상. Algae. 22(4): 305-311.
- 손민호, 홍성윤. 2003. 바위해변에 사는 해양생물. 풍등출판사, 서울, 143 pp.
- 신재덕, 안중관, 김영환, 이승복, 김정하, 정익교. 2008. 동해 중부 대진과 죽변 연안의 저서해조류 군집구조. Algae. 23(3): 231-240.
- 유재원, 김효진, 이현정, 이창근, 김창수, 홍재상, 홍정표, 김동삼. 2007. 동해안 조식성 무척추동물과 해조류 간 상호작용. 한국해양학회지 12(3):125-132.
- 이용필. 2008. 제주의 바닷말. 아카데미서적
- 이인규, 부성민. 1993. 해조류를 중심으로 한 제주도의 해양식물상. 생물과학 심포지움, 14: 132-149.
- 이주, 박민우, 이채성, 김수경, 김완기. 2009. 붉은명게 *Halocynthia aurantium* 발생에 관한 수온 및 염분의 영향. 한국환경과학회지. 18(10): 1171-1179.
- 정호성, 조기웅, 정경호, 김지희, 신종현, 서영완, 강재신, 이인규. 1998. 제주도 서귀포 연안의 백화현상에 대한 생태학적 특성. Algae. 13(3), 361-374.
- 제주도. 1995. 제주 자연생태계 조사 연구보고서. 207-305
- 최창근, 김형근, 손철현. 2002. 순간접착제를 이용한 곶피(*Ecklonia srolonifera*

Okamura)의 이식효과. 한국수산학회지 35: 608-613.

한국동물분류학회. 1997. 한국동물명집. 아카데미서적, 489 pp.

해양수산부, 2006. 해양생태계 기본조사 -37°아산만~38° 최북단-, 687pp.

## ABSTRACT

### Ecological distribution of benthic algae and invertebrates on the coastal zones of Jeju island

Chi-Young Lim

Department of biology  
Graduate School, Soonchunhyang University  
Asan, Korea

(Supervised by Professor Hyun-Woung Shin)

Jeju island is located in the south part of Korea. Geographically, south area of Jeju island is impacted by Tsushima current and north area is impacted by the south coastal current and china coastal waters. These various environmental effects give a high biodiversity and form a temperate, subtropical and tropical zone to this area. In addition, species diversity is different from the east, west and south coast in Korea and this is sensory area with environmental changes.

In present study, bentic organisms's distribution and community were analyzed to predict the ecosystem changes affected by climate and global warming. On environmental changes, especially, a benthic algal community responds very fast in coastal ecosystems, which can be easily recognized and provides useful information as biological indicators. But benthic invertebrates do not migrate, it is very important to evaluate the environment impact assessment. To evaluate the distribution of the benthic algae and invertebrates inhabiting in

Jeju coast, the physiological factors were investigated and these benthic algae and invertebrates were collected in quadret that placed on a depthwise from 16 different stations from 2008 to 2010. The water temperature of Jeju island ranged from 19 to 26 degrees and the eastern waters were higher than western. The salinity and COD were similar to temperature aspects, but it is not significant statistically. The DIN and DIP at all stations were evaluated with the national water quality criteria I and II grade, western waters was higher than the Eastern in Chl-a. The total species diversity of benthic algae were 89 species, in which green algae were 12(13.5%), brown algae were 24(27.0%) and red algae were 53(59.6%). On the depthwise, 71 species were collected above the depth of 5m, 52 were above 10m, and 56 were above 15m, in which 28 species of northwestern area were observed. (Southeastern and southwestern areas were observed of 24 and 20 species respectively. The C/P ratio of stations ranged from 0.14 to 7 values, which mean ratio was 1.92. The species richness and evenness of Aewol and Iho station were higher than others. The species diversity of Wolyeong, Gwakji and Jungmun station were 1.78, 1.47 and 1.78 respectively, in where the community stability was “Unstable” and environmental condition was “Bad”. In other 13 stations, the ration ranged from 2.08 to 2.95 values, stability was “Unstable” and environmental condition was “Good”. In northeastern area, the species diversity and biomass of algae was the highest and southwestern area was lower comparably. The total diversity of benthic invertebrates was 199 species, in which annelida was 17 species, Arthropoda was 37, Echinodermata was 11, Mollusca was 90, and other class was 44. Total 142 species were observed above the depth of 5m, 112 and 116 species were observed above 10m and 15m respectively. In coastal, northwestern area was 84 species and southeastern and southwestern were 107 and 76 respectively. All station exhibited a high density of Molluscan species and the most dominant species was “*Herdmania momus*” which mean biomass of 110.8 inds./m<sup>2</sup> was estimated. As species diversity (H') and evenness (J') of Sincheon in southeastern area were higher than other stations, the results showed the

most suitable for inhabiting benthic invertebrates. The distribution of benthic algae and invertebrates were mainly affected by water temperature, which following a density of dominant benthic organisms.

In this study, the biological distribution of benthic algae and invertebrates investigated their changes affecting physiological factors in Jeju Island. Therefore, these results are expected that it can be useful to estimate of east, west and south coastal area followed by environmental changes.

## 제8장 부록

Appendix 1. Species list showing biomass (gWWt/m<sup>2</sup>) of benthic algae at Sampling sites on the coastal zones of Jeju island (Gwakji, Aewol, Woljeong, Haengwon, Sincheon, Hacheon, Daepo and Jungmun).

| Classification | Species name                   | Sampling sites |       |          |          |          |         |       |         |
|----------------|--------------------------------|----------------|-------|----------|----------|----------|---------|-------|---------|
|                |                                | Gwakji         | Aewol | Woljeong | Haengwon | Sincheon | Hacheon | Daepo | Jungmun |
| Chlorophyta    |                                |                |       |          |          |          |         |       |         |
|                | <i>Bryopsis plumosa</i>        |                | 0.6   |          |          |          |         |       |         |
|                | <i>Cladophora meridionalis</i> |                |       |          |          |          |         |       |         |
|                | <i>Cladophora wrightiana</i>   |                | 16.8  | 12.6     |          | 3.8      | 2.5     | 157.1 | 21.3    |
|                | <i>Cladophoro herpestica</i>   |                | 2.1   |          |          | 3.1      | 3.1     |       | 1.6     |
|                | <i>Cladophoropsis javanica</i> |                |       |          |          |          |         |       |         |
|                | <i>Codium arabicum</i>         | 5.0            | 0.7   |          |          |          |         |       |         |
|                | <i>Codium coactum</i>          |                | 45.1  | 47.2     | 334.8    | 20.0     | 722.3   |       |         |
|                | <i>Codium contractum</i>       |                | 90.3  | 8.6      |          | 269.6    |         |       |         |
|                | <i>Codium fragile</i>          |                | 95.6  | 24.7     |          |          | 80.7    |       |         |
|                | <i>Codium minus</i>            |                |       | 46.5     | 76.9     |          |         | 30.8  |         |
|                | <i>Enteromorpha linza</i>      |                |       |          |          |          |         |       |         |
|                | <i>Ulva pertusa</i>            | 53.5           |       |          |          |          |         |       |         |
| Phaeophyta     |                                |                |       |          |          |          |         |       |         |
|                | <i>Colpomenia expansa</i>      |                |       |          |          |          |         |       |         |
|                | <i>Colpomenia peregrina</i>    |                |       |          |          |          |         |       |         |
|                | <i>Colpomenia sinuosa</i>      |                |       |          |          |          |         |       |         |
|                | <i>Desmarestia tabacoides</i>  |                |       |          |          |          |         |       |         |

## Appendix 1. Continued

| Classification | Species name                   | Sampling sites |       |          |          |          |         |       |         |
|----------------|--------------------------------|----------------|-------|----------|----------|----------|---------|-------|---------|
|                |                                | Gwakji         | Aewol | Woljeong | Haengwon | Sincheon | Hacheon | Daepo | Jungmun |
| Phaeophyta     | <i>Dictyopteris prolifera</i>  |                |       | 16.5     |          |          |         |       |         |
|                | <i>Dictyopteris undulata</i>   |                |       |          |          |          |         |       |         |
|                | <i>Dictyota coriacea</i>       |                |       |          |          |          |         |       |         |
|                | <i>Dictyota dichotoma</i>      |                |       |          |          |          |         |       |         |
|                | <i>Dictyota okamurae</i>       | 1.2            |       |          |          |          |         |       |         |
|                | <i>Dictyopteris pacifica</i>   |                |       |          |          |          |         |       |         |
|                | <i>Ecklonia cava</i>           | 1,121.9        | 79.9  | 14,137.1 | 8,762.5  | 92.4     | 5,023.2 | 998.7 | 1,218.6 |
|                | <i>Ecklonia kurome</i>         |                |       |          | 1,344.3  |          |         |       |         |
|                | <i>Myagropsis myagroides</i>   |                |       |          |          |          |         |       |         |
|                | <i>Padina arborescens</i>      |                |       |          |          |          |         |       |         |
|                | <i>Sargassum coreanum</i>      |                |       |          | 28.6     |          |         | 15.4  |         |
|                | <i>Sargassum fulvellum</i>     |                |       |          | 41.5     |          |         |       |         |
|                | <i>Sargassum fusiform</i>      |                |       |          |          |          |         |       |         |
|                | <i>Sargassum horneri</i>       |                |       |          | 137.3    |          |         |       |         |
|                | <i>Sargassum macrocarpum</i>   |                |       | 10.3     | 11.6     |          | 123.8   |       |         |
|                | <i>Sargassum patens</i>        |                |       |          |          |          |         |       |         |
|                | <i>Sargassum serratifolium</i> |                |       |          | 149.4    |          | 0.3     |       |         |
|                | <i>Sargassum</i> sp.           |                |       | 74.0     | 33.6     |          | 105.8   |       |         |
|                | <i>Spatoglossum solieri</i>    |                |       |          |          |          |         |       |         |
|                | <i>Undaria pinnatifida</i>     |                |       |          |          |          |         |       |         |

## Appendix 1. Continued

| Classification | Species name                        | Sampling sites |       |          |          |          |         |       |         |
|----------------|-------------------------------------|----------------|-------|----------|----------|----------|---------|-------|---------|
|                |                                     | Gwakji         | Aewol | Woljeong | Haengwon | Sincheon | Hacheon | Daepo | Jungmun |
| Rhodophyta     |                                     |                |       |          |          |          |         |       |         |
|                | <i>Acanthopeltis longiramulosa</i>  |                |       |          |          |          |         |       |         |
|                | <i>Acanthopeltis</i> sp.            | 2.8            |       | 17.5     | 52.0     |          |         |       |         |
|                | <i>Acrosorium flabellatum</i>       |                |       |          |          |          |         |       |         |
|                | <i>Acrosorium polyneurum</i>        |                | 0.0   |          |          |          |         |       |         |
|                | <i>Acrosorium uncinatum</i>         |                |       |          |          |          |         |       |         |
|                | <i>Ahnfeltiopsis flabelliformis</i> |                |       |          |          |          |         | 1.0   |         |
|                | <i>Alatocladia modesta</i>          |                |       | 5.7      | 21.5     | 2.2      |         | 3.2   |         |
|                | <i>Amphiroa anceps</i>              |                | 41.4  | 33.1     | 243.6    | 838.6    | 52.2    | 57.7  | 79.4    |
|                | <i>Amphiroa beauvoisii</i>          |                |       |          |          | 20.3     |         |       |         |
|                | <i>Amphiroa ephedraea</i>           |                | 6.0   |          |          | 788.6    |         | 2.8   | 1.5     |
|                | <i>Amphiroa foliacea</i>            |                | 2.4   |          |          | 1.4      | 0.8     | 2.7   |         |
|                | <i>Amphiroa misakiensis</i>         |                | 60.7  |          |          | 52.9     |         |       |         |
|                | <i>Amphiroa pusilla</i>             |                |       |          |          | 12.7     | 3.6     | 2.7   |         |
|                | <i>Anotrichium yagii</i>            |                |       |          |          |          |         |       |         |
|                | <i>Asparagopsis taxiformis</i>      |                |       |          |          |          |         |       |         |
|                | <i>Callophyllis adhaerens</i>       |                |       |          |          |          |         |       |         |
|                | <i>Callophyllis crispata</i>        |                |       |          | 4.3      |          |         |       |         |
|                | <i>Callophyllis japonica</i>        |                |       | 176.5    | 0.2      |          |         |       |         |
|                | <i>Champia expansa</i>              |                |       |          |          |          |         |       |         |

## Appendix 1. Continued

| Classification | Species name                   | Sampling sites |       |          |          |          |         |       |         |
|----------------|--------------------------------|----------------|-------|----------|----------|----------|---------|-------|---------|
|                |                                | Gwakji         | Aewol | Woljeong | Haengwon | Sincheon | Hacheon | Daepo | Jungmun |
| Rhodophyta     | <i>Chondracanthus tenellus</i> |                |       |          |          |          |         |       |         |
|                | <i>Corallina elongata</i>      | 0.9            |       |          |          |          |         | 2.4   |         |
|                | <i>Corallina officinalis</i>   |                |       | 34.4     | 11.3     |          |         |       |         |
|                | <i>Corallina pilulifera</i>    | 15.2           | 198.8 | 547.6    | 1,451.9  | 648.4    | 115.3   | 70.7  | 120.0   |
|                | <i>Coralline</i> (U.K)         |                | 75.9  |          |          | 0.6      |         |       |         |
|                | <i>Dudresnaya japonica</i>     |                |       |          |          |          |         |       |         |
|                | <i>Galaxaura apiculata</i>     |                |       |          |          |          |         |       |         |
|                | <i>Galaxaura falcata</i>       |                |       |          |          |          |         |       |         |
|                | <i>Galaxaura hystrix</i>       |                |       |          |          |          |         |       |         |
|                | <i>Gelidium amansii</i>        |                |       | 2.7      |          |          |         |       |         |
|                | <i>Gelidium elegans</i>        |                |       |          |          |          |         |       |         |
|                | <i>Gracilaria textorii</i>     |                |       |          |          |          |         |       |         |
|                | <i>Grateloupia angusta</i>     |                | 100.9 | 170.5    | 267.5    | 108.3    | 333.3   | 28.1  | 23.9    |
|                | <i>Grateloupia elata</i>       | 103.5          |       |          |          |          |         |       |         |
|                | <i>Grateloupia elliptica</i>   |                |       |          |          |          |         |       |         |
|                | <i>Heterosiphonia japonica</i> |                |       |          |          |          |         |       |         |
|                | <i>Jania adhaerens</i>         |                |       |          |          |          |         |       | 13.2    |
|                | <i>Jania</i> sp.               |                | 51.4  |          |          |          |         |       |         |
|                | <i>Kallymenia harveyana</i>    |                |       |          |          |          |         |       |         |
|                | <i>Lithophyllum okamurae</i>   |                | 64.8  | 25.5     | 26.0     | 39.2     | 4.7     |       | 1.3     |

## Appendix 1. Continued

| Classification | Species name                      | Sampling sites |       |          |          |          |         |       |         |
|----------------|-----------------------------------|----------------|-------|----------|----------|----------|---------|-------|---------|
|                |                                   | Gwakji         | Aewol | Woljeong | Haengwon | Sincheon | Hacheon | Daepo | Jungmun |
| Rhodophyta     | <i>Lomentaria catenata</i>        |                |       |          |          |          |         |       |         |
|                | <i>Marginisporum aberrans</i>     |                |       |          | 2.0      | 6.6      |         |       |         |
|                | <i>Marginisporum crassissimum</i> |                |       | 12.0     | 28.7     |          |         |       | 2.9     |
|                | <i>Martensia albida</i>           |                |       |          |          |          |         |       |         |
|                | <i>Martensia denticulata</i>      |                | 0.5   |          |          |          |         |       |         |
|                | <i>Meristotheca papulosa</i>      |                | 11.9  |          |          |          |         |       |         |
|                | <i>Neosiphonia</i> sp.            |                |       |          |          |          |         |       |         |
|                | <i>Peyssonnelia capensis</i>      |                | 47.6  | 32.2     | 109.6    | 20.0     | 6.7     | 8.4   | 1.3     |
|                | <i>Plocamium telfairiae</i>       | 0.9            | 6.1   | 3.4      | 22.4     | 2.8      | 3.9     | 10.9  |         |
|                | <i>Plocamium uncinatum</i>        |                |       | 2.2      |          |          |         |       |         |
|                | <i>Portieria japonica</i>         |                |       |          |          |          |         |       |         |
|                | <i>Predaea tokidae</i>            |                |       |          |          |          |         |       |         |
|                | <i>Schizymenia dubyi</i>          |                |       |          |          |          |         |       |         |
|                | <i>Synarthrophyton chejuensis</i> |                | 1.0   | 16.5     | 209.1    | 31.2     | 11.9    | 2.0   | 0.6     |

Appendix 2. Species list showing biomass (gWWt/m<sup>2</sup>) of benthic algae at Sampling sites on the coastal zones of Jeju island (Wolyeong, Sineom, Iho, Jocheon, Seongsan, Namwon, Bomok and Weongnak).

| Classification | Species name                   | Sampling sites |        |      |         |          |        |       |          |
|----------------|--------------------------------|----------------|--------|------|---------|----------|--------|-------|----------|
|                |                                | Wolyeong       | Sineom | Iho  | Jocheon | Seongsan | Namwon | Bomok | Yeongnak |
| Chlorophyta    |                                |                |        |      |         |          |        |       |          |
|                | <i>Bryopsis plumosa</i>        |                |        |      |         | 1.2      |        |       |          |
|                | <i>Cladophora meridionalis</i> |                | 4.0    | 7.2  | 1.0     | 0.8      | 0.3    |       |          |
|                | <i>Cladophora wrightiana</i>   | 6.4            |        | 97.9 | 12.7    | 38.0     | 14.1   | 9.9   | 10.5     |
|                | <i>Cladophoro herpestica</i>   |                |        |      |         |          |        |       |          |
|                | <i>Cladophoropsis javanica</i> |                | 0.4    |      |         |          |        |       |          |
|                | <i>Codium arabicum</i>         |                |        |      |         |          | 0.6    |       |          |
|                | <i>Codium coactum</i>          |                |        |      | 126.8   | 101.6    |        | 16.7  |          |
|                | <i>Codium contractum</i>       |                |        |      | 16.4    |          |        |       |          |
|                | <i>Codium fragile</i>          |                |        |      |         |          |        | 0.3   |          |
|                | <i>Codium minus</i>            |                |        |      |         |          |        |       |          |
|                | <i>Enteromorpha linza</i>      |                |        | 0.3  |         |          |        |       |          |
|                | <i>Ulva pertusa</i>            |                |        | 1.7  |         | 0.5      | 0.6    |       |          |
| Phaeophyta     |                                |                |        |      |         |          |        |       |          |
|                | <i>Colpomenia expansa</i>      |                |        | 2.4  |         |          |        |       |          |
|                | <i>Colpomenia peregrina</i>    |                | 12.1   | 3.5  | 0.2     |          |        |       | 54.9     |
|                | <i>Colpomenia sinuosa</i>      | 197.3          | 10.5   | 27.6 | 5.8     | 8.4      | 7.8    | 69.4  | 81.2     |
|                | <i>Desmarestia tabacoides</i>  |                |        |      |         | 10.3     |        |       |          |

## Appendix 2. Continued

| Classification | Species name                   | Sampling sites |        |      |         |          |        |       |          |
|----------------|--------------------------------|----------------|--------|------|---------|----------|--------|-------|----------|
|                |                                | Wolyeong       | Sineom | Iho  | Jocheon | Seongsan | Namwon | Bomok | Yeongnak |
| Phaeophyta     | <i>Dictyopteris prolifera</i>  |                |        |      |         |          |        | 0.3   |          |
|                | <i>Dictyopteris undulata</i>   |                |        |      |         | 2.4      |        | 49.6  |          |
|                | <i>Dictyota coriacea</i>       |                |        | 13.3 | 9.8     |          |        | 2.7   | 31.7     |
|                | <i>Dictyota dichotoma</i>      |                |        | 4.1  |         | 0.5      |        |       | 0.7      |
|                | <i>Dictyota okamurae</i>       |                |        |      |         |          |        |       |          |
|                | <i>Dicyopteris pacifica</i>    |                |        |      |         |          |        | 15.8  |          |
|                | <i>Ecklonia cava</i>           |                | 216.3  | 41.6 | 49.2    | 691.9    | 45.9   | 72.1  | 25.1     |
|                | <i>Ecklonia kurome</i>         | 0.8            | 52.6   |      | 23.8    |          |        | 66.9  | 19.9     |
|                | <i>Myagropsis myagroides</i>   |                |        |      |         | 18.2     |        |       |          |
|                | <i>Padina arborescens</i>      |                |        |      |         |          |        | 19.0  |          |
|                | <i>Sargassum coreanum</i>      |                |        |      |         | 39.6     |        |       |          |
|                | <i>Sargassum fulvellum</i>     |                |        |      |         |          |        |       |          |
|                | <i>Sargassum fusiform</i>      |                |        | 0.6  |         |          |        |       |          |
|                | <i>Sargassum horneri</i>       |                |        |      |         | 8.8      |        |       |          |
|                | <i>Sargassum macrocarpum</i>   |                |        |      |         |          |        |       |          |
|                | <i>Sargassum patens</i>        |                | 30.0   |      |         |          |        |       |          |
|                | <i>Sargassum serratifolium</i> |                |        |      |         |          |        |       |          |
|                | <i>Sargassum</i> sp.           |                |        |      |         |          |        |       |          |
|                | <i>Spatoglossum solieri</i>    |                |        |      |         | 2.2      |        |       |          |
|                | <i>Undaria pinnatifida</i>     | 1.6            | 109.2  | 63.8 | 36.1    | 246.3    |        | 56.0  | 40.3     |

## Appendix 2. Continued

| Classification | Species name                        | Sampling sites |        |     |         |          |        |       |          |
|----------------|-------------------------------------|----------------|--------|-----|---------|----------|--------|-------|----------|
|                |                                     | Wolyeong       | Sineom | Iho | Jocheon | Seongsan | Namwon | Bomok | Yeongnak |
| Rhodophyta     |                                     |                |        |     |         |          |        |       |          |
|                | <i>Acanthopeltis longiramulosa</i>  |                |        |     |         | 16.1     |        |       |          |
|                | <i>Acanthopeltis</i> sp.            |                |        |     |         | 20.3     |        |       |          |
|                | <i>Acrosorium flabellatum</i>       |                |        | 3.0 |         |          |        |       |          |
|                | <i>Acrosorium polyneurum</i>        |                |        |     |         |          |        |       |          |
|                | <i>Acrosorium uncinatum</i>         |                |        | 6.6 |         |          |        |       |          |
|                | <i>Ahnfeltiopsis flabelliformis</i> |                |        | 1.5 |         |          |        |       |          |
|                | <i>Alatocladia modesta</i>          |                |        |     |         |          |        |       |          |
|                | <i>Amphiroa anceps</i>              |                |        | 0.5 |         |          |        |       | 2.3      |
|                | <i>Amphiroa beauvoisii</i>          |                |        |     |         |          |        |       |          |
|                | <i>Amphiroa ephedraea</i>           |                |        |     |         |          |        |       |          |
|                | <i>Amphiroa foliacea</i>            |                |        |     |         |          |        |       |          |
|                | <i>Amphiroa misakiensis</i>         |                |        |     |         |          |        |       |          |
|                | <i>Amphiroa pusilla</i>             |                |        |     |         |          |        |       |          |
|                | <i>Anotrichium yagii</i>            |                |        | 0.9 |         |          |        |       |          |
|                | <i>Asparagopsis taxiformis</i>      |                | 1.6    |     |         |          |        |       |          |
|                | <i>Callophyllis adhaerens</i>       |                |        |     |         |          | 0.2    |       |          |
|                | <i>Callophyllis crispata</i>        |                |        |     |         |          |        |       |          |
|                | <i>Callophyllis japonica</i>        |                |        |     |         |          |        |       |          |
|                | <i>Champia expansa</i>              |                |        |     |         |          |        | 7.3   |          |

## Appendix 2. Continued

| Classification | Species name                   | Sampling sites |        |      |         |          |        |       |          |
|----------------|--------------------------------|----------------|--------|------|---------|----------|--------|-------|----------|
|                |                                | Wolyeong       | Sineom | Iho  | Jocheon | Seongsan | Namwon | Bomok | Yeongnak |
| Rhodophyta     | <i>Chondracanthus tenellus</i> |                |        |      |         | 0.2      |        |       |          |
|                | <i>Corallina elongata</i>      |                |        |      |         |          |        |       |          |
|                | <i>Corallina officinalis</i>   |                |        |      |         |          |        |       |          |
|                | <i>Corallina pilulifera</i>    |                |        |      |         |          |        |       |          |
|                | <i>Coralline</i> (U.K)         | 382.2          | 510.6  |      |         |          |        | 580.3 | 720.0    |
|                | <i>Dudresnaya japonica</i>     |                |        |      |         |          |        |       | 0.8      |
|                | <i>Galaxaura apiculata</i>     |                |        |      |         | 31.3     |        |       |          |
|                | <i>Galaxaura falcata</i>       |                |        | 24.1 | 5.5     | 32.4     | 0.2    | 1.0   | 11.8     |
|                | <i>Galaxaura hystrix</i>       |                |        |      |         | 2.5      |        |       |          |
|                | <i>Gelidium amansii</i>        |                |        |      |         |          |        |       |          |
|                | <i>Gelidium elegans</i>        |                |        | 3.2  |         | 33.6     | 0.5    |       |          |
|                | <i>Gracilaria textorii</i>     |                |        | 7.8  | 3.0     | 1.0      | 6.1    |       |          |
|                | <i>Grateloupia angusta</i>     | 13.4           | 28.3   | 21.2 | 24.0    | 105.8    | 31.4   | 30.8  | 24.2     |
|                | <i>Grateloupia elata</i>       |                |        |      |         |          |        |       |          |
|                | <i>Grateloupia elliptica</i>   |                |        |      |         | 27.2     |        |       |          |
|                | <i>Heterosiphonia japonica</i> |                |        | 0.1  |         |          |        |       |          |
|                | <i>Jania adhaerens</i>         |                |        |      |         |          |        |       |          |
|                | <i>Jania</i> sp.               |                |        |      |         |          |        |       |          |
|                | <i>Kallymenia harveyana</i>    |                |        |      |         | 1.9      |        |       |          |
|                | <i>Lithophyllum okamurae</i>   | 33.3           |        |      |         |          |        |       |          |

## Appendix 2. Continued

| Classification | Species name                      | Sampling sites |        |      |         |          |        |       |          |
|----------------|-----------------------------------|----------------|--------|------|---------|----------|--------|-------|----------|
|                |                                   | Wolyeong       | Sineom | Iho  | Jocheon | Seongsan | Namwon | Bomok | Yeongnak |
| Rhodophyta     | <i>Lomentaria catenata</i>        |                |        | 1.2  |         |          |        |       |          |
|                | <i>Marginisporum aberrans</i>     |                |        |      |         |          |        |       |          |
|                | <i>Marginisporum crassissimum</i> |                |        |      |         |          |        |       |          |
|                | <i>Martensia albida</i>           |                |        |      | 0.7     |          |        |       |          |
|                | <i>Martensia denticulata</i>      |                |        |      |         |          |        |       |          |
|                | <i>Meristotheca papulosa</i>      |                |        |      |         |          | 11.5   |       |          |
|                | <i>Neosiphonia</i> sp.            |                |        | 1.0  |         |          |        |       |          |
|                | <i>Peyssonnelia capensis</i>      |                |        |      |         | 36.4     | 7.5    | 0.7   | 22.8     |
|                | <i>Plocamium telfairiae</i>       |                |        | 1.9  |         | 2.4      |        |       | 9.0      |
|                | <i>Plocamium uncinatum</i>        |                |        |      |         |          |        |       |          |
|                | <i>Portieria japonica</i>         | 4.8            |        |      | 1.3     | 0.6      |        |       | 1.0      |
|                | <i>Predaea tokidae</i>            | 28.9           | 0.9    | 10.1 | 2.7     | 76.4     |        |       |          |
|                | <i>Schizymenia dubyi</i>          |                |        |      | 11.0    |          |        |       |          |
|                | <i>Synarthrophyton chejuensis</i> |                | 1.2    |      |         |          |        |       |          |

Appendix 3. Species list showing density (inds./m<sup>2</sup>) of benthic invertebrates at Sampling sites on the coastal zones of Jeju island.

| Classification | Species name                      | Sampling sites |       |          |          |          |         |               |
|----------------|-----------------------------------|----------------|-------|----------|----------|----------|---------|---------------|
|                |                                   | Gwakji         | Aewol | Woljeong | Haengwon | Sincheon | Hacheon | Daepo Jungmun |
| Annelida       |                                   | 2.7            | 3.9   | 2.8      | 11.0     | 1.6      | 4.9     | 11.0          |
|                | <i>Amphinome rostrata</i>         |                | 0.3   |          | 0.7      |          |         |               |
|                | <i>Augeneria</i> sp.              |                |       | 0.3      |          |          | 0.3     |               |
|                | <i>Crysopetalum occidentale</i>   |                |       | 0.3      |          | 0.3      |         |               |
|                | <i>Eunice antennata</i>           |                |       | 0.3      | 0.7      | 0.3      | 0.7     | 0.3           |
|                | <i>Halosydna brevisetosa</i>      |                | 0.7   | 0.3      | 0.7      |          |         |               |
|                | Harmothoinae sp.                  |                |       | 0.3      | 0.3      |          |         |               |
|                | <i>Hermenia acantholepis</i>      |                |       |          | 0.3      |          |         |               |
|                | <i>Lepidonotus helotypus</i>      |                |       |          | 0.3      |          | 0.3     |               |
|                | <i>Lepidonotus squamatus</i>      |                |       | 0.3      | 0.7      |          |         |               |
|                | <i>Lysidice collaris</i>          |                | 0.3   |          | 0.3      |          |         |               |
|                | <i>Nereis multignatha</i>         |                |       |          | 0.3      |          |         |               |
|                | <i>Nereis pelagica</i>            |                |       |          |          |          | 0.3     |               |
|                | <i>Platynereis bicanaliculata</i> |                |       |          | 1.0      |          |         |               |
|                | Polychaeta unid.                  | 2.7            | 2.2   | 0.4      | 4.9      | 0.9      | 2.0     | 10.7          |
|                | <i>Serpula vermicularis</i>       |                |       |          | 0.4      |          | 0.9     |               |
|                | <i>Sthenelais fusca</i>           |                |       | 0.3      |          |          |         |               |
|                | Syllidae sp.                      |                | 0.3   |          | 0.3      |          | 0.3     |               |
| Crustacea      |                                   | 4.3            | 18.1  | 9.3      | 18.3     | 16.6     | 7.3     | 8.1 6.0       |
|                | <i>Actaea semblata</i>            |                |       | 0.3      | 0.3      | 0.3      |         | 0.7 1.0       |
|                | <i>Alpheus brevicristatus</i>     |                |       |          | 0.4      |          |         |               |
|                | <i>Alpheus</i> sp.                |                |       | 0.3      |          |          |         |               |
|                | Amphipoda spp.                    | 0.3            | 3.5   | 2.3      | 5.0      | 1.7      | 0.7     | 0.3 0.3       |
|                | <i>Atergatis reticulatus</i>      |                |       |          | 1.3      | 0.4      |         |               |
|                | <i>Athanas</i> sp.                |                |       |          | 0.3      |          |         |               |

### Appendix 3. Continued

| Classification | Species name                           | Sampling sites |       |          |          |          |         |       |         |
|----------------|----------------------------------------|----------------|-------|----------|----------|----------|---------|-------|---------|
|                |                                        | Gwakji         | Aewol | Woljeong | Haengwon | Sincheon | Hacheon | Daepo | Jungmun |
| Crustacea      | <i>Cancer</i> sp.                      |                |       |          |          | 1.6      |         |       |         |
|                | <i>Caprella</i> spp.                   |                | 0.3   | 0.7      | 0.3      |          |         |       |         |
|                | <i>Cleantiella</i> sp.                 |                |       | 0.3      |          |          |         |       |         |
|                | <i>Cleantis planicauda</i>             |                |       | 0.3      |          |          |         |       |         |
|                | <i>Cycloxanthops truncatus</i>         |                |       |          |          |          |         |       | 0.3     |
|                | <i>Galathea orientalis</i>             |                | 1.3   | 0.7      | 1.7      | 1.3      | 0.7     | 0.3   | 0.3     |
|                | <i>Harrovia elegans</i>                |                |       |          | 0.3      |          |         |       |         |
|                | <i>Heptacarpus futilirostris</i>       |                |       |          | 0.7      |          |         |       |         |
|                | <i>Heteropilumnus ciliatus</i>         |                | 1.2   |          |          |          |         |       |         |
|                | <i>Holotelson tuberculatus</i>         |                |       | 0.3      |          | 0.7      |         |       |         |
|                | <i>Leptodius exaratus</i>              |                | 0.9   |          |          |          |         | 1.3   |         |
|                | <i>Macromedaeus distinguendus</i>      | 0.3            | 1.2   | 1.0      | 0.7      | 1.5      | 0.7     | 0.4   | 1.6     |
|                | <i>Paguristes japonicus</i>            | 2.7            | 2.7   |          |          |          |         | 1.3   |         |
|                | <i>Paguristes ortmanni</i>             |                | 1.9   | 0.8      | 2.0      | 1.3      | 3.7     |       | 0.4     |
|                | <i>Paguristes</i> sp.                  |                | 0.3   | 0.8      | 3.0      | 1.0      |         | 0.3   |         |
|                | <i>Pagurus decimbrachiae</i>           |                |       |          |          | 0.7      |         |       | 0.3     |
|                | <i>Pagurus japonicus</i>               | 1.0            | 0.7   |          | 0.3      | 1.7      |         | 0.7   | 1.3     |
|                | <i>Pagurus pilosipes</i>               |                | 0.3   |          |          |          |         |       |         |
|                | <i>Pagurus rubrior</i>                 |                |       |          | 0.4      | 0.4      | 0.4     | 1.3   |         |
|                | <i>Petalomera japonica</i>             |                |       |          |          | 0.3      |         |       |         |
|                | <i>Pinnotheres</i> sp.                 |                | 1.3   |          |          | 0.3      |         |       |         |
|                | <i>Pisidia serratifrons</i>            |                |       |          | 0.3      |          |         |       |         |
|                | <i>Porcellanopagurus nihonkaiensis</i> |                | 0.3   |          | 0.8      | 0.3      |         |       |         |
|                | <i>Pugettia quadridens</i>             |                | 0.7   | 0.7      | 0.3      | 1.0      | 0.3     |       | 0.3     |
|                | <i>Pugettia</i> sp.                    |                |       |          |          | 1.0      |         |       |         |
|                | <i>Pycnogonida</i> unid.               |                | 0.7   | 0.3      |          | 0.3      |         |       |         |
|                | <i>Pyromaia</i> sp.                    |                |       |          |          |          |         | 1.3   |         |
|                | <i>Rhynchoplax messor</i>              |                |       | 0.3      |          | 0.3      |         |       |         |

### Appendix 3. Continued

| Classification | Species name                               | Sampling sites |       |          |          |          |         |       |         |
|----------------|--------------------------------------------|----------------|-------|----------|----------|----------|---------|-------|---------|
|                |                                            | Gwakji         | Aewol | Woljeong | Haengwon | Sincheon | Hacheon | Daepo | Jungmun |
| Crustacea      | <i>Synalpheus</i> sp.                      |                | 0.7   |          |          |          |         |       |         |
|                | <i>Thalamita sima</i>                      |                |       |          |          | 0.3      |         |       |         |
| Echinodermata  |                                            | 3.0            | 11.6  | 4.0      | 4.9      | 12.8     | 4.5     | 5.9   | 6.9     |
|                | <i>Anthocidaris crassispina</i>            | 2.4            | 4.1   | 0.3      | 0.7      | 9.2      | 1.4     | 4.3   | 1.6     |
|                | <i>Asterina batheri</i>                    |                |       |          | 0.3      |          |         |       |         |
|                | <i>Certanardoa semiregularis</i>           | 0.3            | 1.7   | 1.3      | 1.7      | 2.3      | 1.0     | 1.0   | 1.0     |
|                | <i>Cucumaria chronhjelmi</i>               |                | 0.3   |          |          |          |         |       |         |
|                | <i>Henricia nipponica</i>                  |                |       | 0.7      |          |          | 0.9     |       | 1.0     |
|                | <i>Ophiactis affinis</i>                   | 0.3            | 3.2   | 0.7      | 1.3      |          |         | 0.7   | 0.3     |
|                | <i>Ophiarachnella gorgonia</i>             |                | 0.7   | 0.7      | 0.3      | 0.3      | 0.9     |       |         |
|                | <i>Ophioplocus japonicus</i>               |                | 1.0   |          |          |          |         |       | 1.0     |
|                | <i>Ophiothrix exigua</i>                   |                | 0.3   | 0.3      | 0.7      | 1.0      | 0.3     |       | 1.7     |
|                | <i>Pseudocentrotus depressus</i>           |                | 0.3   |          |          |          |         |       |         |
|                | <i>Strongylocentrotus intermedius</i>      |                |       |          |          |          |         |       | 0.3     |
| Mollusca       |                                            | 24.4           | 186.0 | 75.5     | 78.1     | 178.7    | 60.1    | 124.6 | 16.9    |
|                | <i>Acar plicatum</i>                       |                |       |          |          |          | 0.4     |       |         |
|                | <i>Agriodesma navicula</i>                 |                |       |          | 0.7      |          |         |       |         |
|                | <i>Alvania ogasawarana</i>                 |                | 0.3   |          |          |          |         |       |         |
|                | <i>Anomia chinensis</i>                    |                |       |          |          | 1.0      |         |       |         |
|                | <i>Arca avellana</i>                       |                | 2.9   | 0.7      | 2.0      | 2.7      | 2.0     | 0.3   | 0.3     |
|                | <i>Arca boucardi</i>                       | 2.0            | 4.7   |          |          |          |         |       |         |
|                | <i>Astraliun haematragum</i>               | 5.3            | 132.4 | 11.6     | 23.1     | 93.3     | 23.1    | 36.0  | 3.6     |
|                | <i>Barbatia stearnsi</i>                   |                | 1.3   | 1.3      |          |          |         | 4.0   |         |
|                | <i>Batillus cornutus</i>                   | 2.7            | 15.6  | 3.6      | 8.4      | 16.4     | 7.1     | 17.3  | 0.9     |
|                | <i>Bittium alutaceum</i>                   |                |       |          |          |          |         | 0.3   |         |
|                | <i>Calliostoma unicum</i>                  |                |       |          |          | 0.3      |         |       |         |
|                | <i>Cantharidus bisbalteatus</i>            |                | 0.3   | 1.0      | 2.6      | 1.0      |         |       |         |
|                | <i>Cantharidus callichroa bisbalteatus</i> |                |       | 0.3      | 1.5      | 1.3      |         |       |         |

### Appendix 3. Continued

| Classification | Species name                             | Sampling sites |       |          |          |          |         |       |         |
|----------------|------------------------------------------|----------------|-------|----------|----------|----------|---------|-------|---------|
|                |                                          | Gwakji         | Aewol | Woljeong | Haengwon | Sincheon | Hacheon | Daepo | Jungmun |
| Mollusca       | <i>Cantharidus callichroa</i>            |                |       |          | 0.4      | 0.9      |         |       |         |
|                | <i>Cantharidus japonicus</i>             |                |       | 0.7      | 1.0      | 0.7      | 0.3     |       | 0.3     |
|                | <i>Cantharus cecillii</i>                |                |       |          | 0.3      | 1.3      |         |       |         |
|                | <i>Cardita leana</i>                     |                | 1.3   | 0.3      | 2.0      | 1.0      |         |       |         |
|                | <i>Ceratostoma fournieri</i>             |                | 2.0   | 1.3      | 1.0      | 0.3      | 0.7     |       |         |
|                | <i>Ceratostoma trilobatum</i>            |                | 0.3   |          |          |          |         |       |         |
|                | <i>Chama dunkeri</i>                     |                | 0.7   |          |          |          |         |       | 1.7     |
|                | <i>Chama fragum</i>                      |                |       |          | 0.3      |          |         |       |         |
|                | <i>Chama japonica</i>                    |                | 0.3   |          |          |          |         |       |         |
|                | <i>Chama limbula</i>                     | 0.3            |       |          |          | 0.3      |         | 0.7   | 0.3     |
|                | <i>Chama</i> sp.                         |                |       |          |          | 1.0      |         | 2.0   |         |
|                | <i>Chlamys farreri farreri</i>           |                | 0.3   | 0.5      | 1.3      | 1.1      |         |       |         |
|                | <i>Chlamys farreri nipponensis</i>       |                | 0.9   |          |          |          |         |       |         |
|                | <i>Chlamys irregularis</i>               |                | 0.4   | 0.4      | 1.3      | 2.2      |         |       |         |
|                | <i>Chlorostoma turbinatum</i>            |                |       |          |          |          | 0.3     |       |         |
|                | <i>Clanculus microdon</i>                |                |       |          |          |          | 0.3     |       |         |
|                | <i>Cryptoplax japonica</i>               |                | 0.7   | 3.7      | 5.2      | 1.0      | 2.8     |       | 0.3     |
|                | <i>Cymatium grandimaculatum</i>          |                | 0.3   |          |          |          |         |       |         |
|                | <i>Dendostrea crenulifera</i>            |                | 1.4   |          |          |          |         | 1.0   |         |
|                | <i>Diodora sieboldii</i>                 |                |       | 0.3      |          | 0.7      | 0.3     | 1.3   |         |
|                | <i>Ergalatax contracta</i>               |                | 2.1   | 1.2      | 3.0      | 12.9     | 6.2     | 4.0   | 3.1     |
|                | <i>Euplica scripta</i>                   |                | 0.7   |          | 0.3      | 0.9      |         |       | 1.7     |
|                | <i>Gastrochaena cuneiformis</i>          |                |       |          |          |          |         |       | 0.3     |
|                | <i>Hawaiarca uwaensis</i>                |                |       | 0.4      |          |          |         |       |         |
|                | <i>Hormomya mutabilis</i>                |                | 0.3   | 1.5      | 0.7      |          | 0.3     |       |         |
|                | <i>Hybochelus cancellatus orientalis</i> |                |       | 0.7      |          |          |         |       |         |
|                | <i>Hyotissa hyotis</i>                   | 0.3            | 0.7   |          |          |          |         | 10.6  |         |
|                | <i>Hypselodoris festiva</i>              |                |       | 0.7      |          | 0.3      | 1.3     |       |         |

### Appendix 3. Continued

| Classification | Species name                           | Sampling sites |       |          |          |          |         |       |         |
|----------------|----------------------------------------|----------------|-------|----------|----------|----------|---------|-------|---------|
|                |                                        | Gwakji         | Aewol | Woljeong | Haengwon | Sincheon | Hacheon | Daepo | Jungmun |
| Mollusca       | <i>Irus irus</i>                       |                |       |          |          |          |         | 0.3   |         |
|                | <i>Kelletia lischkei</i>               |                | 0.3   |          |          |          |         |       |         |
|                | <i>Komaitrochus pulcher</i>            |                |       |          | 0.3      |          |         |       |         |
|                | <i>Latitriphora multigyrata</i>        |                | 0.7   |          |          |          |         |       |         |
|                | <i>Lepidozona coreanica</i>            |                | 0.3   |          |          |          | 0.7     |       |         |
|                | <i>Liolophura japonica</i>             |                |       |          |          |          |         | 1.3   |         |
|                | <i>Lithophaga curta</i>                |                | 0.4   |          | 1.8      | 16.9     | 6.2     | 28.0  |         |
|                | <i>Maculotriton seriale</i>            |                |       |          | 0.3      |          |         |       |         |
|                | <i>Mancinella echinata</i>             |                |       |          |          |          | 1.3     |       |         |
|                | <i>Microfusius magnifica magnifica</i> |                |       |          | 0.9      |          |         |       |         |
|                | <i>Mitrella bicincta</i>               |                | 0.7   | 0.3      |          | 1.2      |         | 0.7   | 0.7     |
|                | <i>Mitrella nympha</i>                 |                |       |          |          | 0.9      |         |       |         |
|                | <i>Modiolus agripetus</i>              |                |       |          | 1.0      |          |         |       |         |
|                | <i>Modiolus kurilensis</i>             |                |       |          | 2.2      |          |         |       |         |
|                | <i>Modiolus</i> sp.                    |                |       | 1.3      | 0.9      | 1.3      | 0.4     |       |         |
|                | <i>Monoplex echo</i>                   |                |       | 0.3      |          |          |         |       |         |
|                | <i>Mopalia retifera</i>                |                |       |          |          |          |         |       | 0.7     |
|                | <i>Musculus viridulus</i>              |                | 0.3   |          | 0.3      | 0.3      |         |       |         |
|                | <i>Ocenebrellus inornatum</i>          |                |       |          | 0.4      |          |         |       |         |
|                | <i>Omphalius pfeifferi carpenteri</i>  | 2.7            |       | 20.0     |          |          |         |       |         |
|                | <i>Omphalius pfeifferi pfeifferi</i>   | 1.7            |       | 17.6     | 3.3      |          | 0.3     |       | 0.7     |
|                | <i>Omphalius rusticus rusticus</i>     |                | 1.3   |          | 0.3      |          |         | 1.3   |         |
|                | <i>Onithochiton hirasei</i>            |                |       |          |          | 0.3      |         |       |         |
|                | <i>Ophiothrix exigua</i>               |                | 0.4   |          |          | 0.4      |         |       |         |
|                | <i>Phasianella solida</i>              |                | 0.3   |          | 0.3      |          |         |       | 0.3     |
|                | <i>Phyllidiellapustuosa</i>            |                | 0.3   |          |          |          |         |       |         |
|                | <i>Pollia mollis</i>                   |                | 0.3   |          |          |          | 0.3     |       |         |
|                | <i>Pollia subrubiginosus</i>           |                |       |          | 0.4      |          |         |       |         |

### Appendix 3. Continued

| Classification | Species name                          | Sampling sites |       |          |          |          |         |       |         |
|----------------|---------------------------------------|----------------|-------|----------|----------|----------|---------|-------|---------|
|                |                                       | Gwakji         | Aewol | Woljeong | Haengwon | Sincheon | Hacheon | Daepo | Jungmun |
| Mollusca       | <i>Proterato callsa</i>               |                |       |          |          | 0.3      |         |       |         |
|                | <i>Pseudochama retroversa</i>         |                |       |          |          |          | 0.3     | 0.3   | 1.3     |
|                | <i>Pteria brevialeta</i>              |                |       |          |          |          |         | 1.3   |         |
|                | <i>Purpuradusta gracilis japonica</i> |                |       |          | 0.7      | 1.0      |         |       |         |
|                | <i>Pyrene testudinaria</i>            |                |       | 3.1      | 4.7      | 1.7      | 0.7     |       |         |
|                | <i>Pyrene</i> sp.                     | 6.7            | 3.6   |          |          | 4.4      | 2.2     | 6.7   |         |
|                | <i>Reishia bronni</i>                 | 2.7            |       | 0.4      |          |          | 0.9     | 5.3   |         |
|                | <i>Rhyssoplax kurodai</i>             |                |       |          |          |          |         |       | 0.3     |
|                | <i>Septifer keenae</i>                |                | 1.7   |          |          | 1.3      |         |       |         |
|                | <i>Serpulorbis imbricatus</i>         |                |       |          |          |          |         | 1.0   |         |
|                | <i>Spondylus varius</i>               |                |       |          |          | 3.1      |         |       |         |
|                | <i>Stomatolina rubra</i>              |                |       |          |          | 0.3      |         |       |         |
|                | <i>Striarca symmetrica</i>            |                |       |          | 0.3      |          |         |       |         |
|                | <i>Thais bronni</i>                   |                |       | 0.9      |          | 0.9      | 0.3     |       | 0.3     |
|                | <i>Thais luteostoma</i>               |                | 1.3   |          | 2.0      | 0.3      | 0.7     | 0.3   |         |
|                | <i>Tricomusculus semigranatus</i>     |                | 0.3   |          |          |          | 0.3     | 0.3   |         |
|                | <i>Tristichotrochus unicus</i>        |                | 2.7   | 0.4      | 0.9      | 0.9      |         |       |         |
|                | <i>Trochus sacellum rota</i>          |                |       |          |          | 0.9      |         |       |         |
|                | <i>Trochus</i> sp.                    |                | 0.4   |          |          |          |         |       |         |
|                | <i>Turbo excellans</i>                |                | 0.3   | 0.3      | 1.7      | 1.3      |         |       |         |
|                | <i>Umbonium costatum</i>              |                |       | 0.4      |          |          |         |       |         |
| Others         |                                       | 145.3          | 92.6  | 283.3    | 367.4    | 121.5    | 16.0    | 31.1  | 11.3    |
|                | <i>Adeonella</i> sp.                  |                | 0.3   | 0.7      | 1.5      | 0.3      | 1.2     | 1.0   |         |
|                | <i>Aglaophenia whiteleggei</i>        |                |       | 0.3      |          |          |         |       |         |
|                | <i>Alveopora japonica</i>             | 0.7            | 21.4  |          | 0.3      | 1.7      | 1.3     | 5.3   |         |
|                | <i>Anthoplexaura dimorpha</i>         |                |       |          |          |          |         | 1.3   |         |
|                | <i>Axinella rugosa</i>                |                |       |          | 0.3      |          |         |       |         |
|                | <i>Bellonella rigida</i>              |                |       | 0.3      |          |          |         |       |         |

### Appendix 3. Continued

| Classification | Species name                     | Sampling sites |       |          |          |          |         |       |         |
|----------------|----------------------------------|----------------|-------|----------|----------|----------|---------|-------|---------|
|                |                                  | Gwakji         | Aewol | Woljeong | Haengwon | Sincheon | Hacheon | Daepo | Jungmun |
| Others         | <i>Bellonella rubra</i>          |                |       | 0.3      |          |          |         |       |         |
|                | <i>Callyspongia confoederata</i> |                | 0.3   |          |          |          |         |       |         |
|                | <i>Callyspongia elegans</i>      |                | 13.6  | 1.3      | 5.6      | 0.3      | 0.3     |       |         |
|                | <i>Callyspongia</i> sp.          |                |       | 0.7      | 4.3      | 1.5      | 0.7     |       |         |
|                | <i>Coryne pusilla</i>            |                |       | 4.0      | 3.6      |          | 0.3     | 1.0   |         |
|                | <i>Dendronephthya castanea</i>   |                |       |          |          |          |         | 0.3   |         |
|                | <i>Dendronephthya gigantea</i>   |                |       | 2.0      | 6.0      |          |         | 5.6   | 0.7     |
|                | <i>Esperiopsis plumosa</i>       |                |       |          |          |          | 0.3     |       |         |
|                | <i>Eupl exauraabietina</i>       |                | 0.3   |          |          |          |         |       |         |
|                | <i>Halichondria okadai</i>       |                |       |          |          |          |         |       |         |
|                | <i>Halichondria panicea</i>      |                |       |          |          | 0.3      |         |       |         |
|                | <i>Halichondria</i> sp.          |                |       | 9.0      | 5.3      | 1.0      | 0.7     | 3.2   |         |
|                | <i>Herdmania momus momus</i>     | 143.0          | 50.9  | 258.2    | 331.6    | 102.7    |         |       |         |
|                | <i>Hymeniacidon sinapium</i>     |                |       |          | 0.3      |          | 5.0     |       |         |
|                | <i>Iodictyum axillare</i>        |                |       |          |          | 0.3      |         |       |         |
|                | <i>Melithaea flabellifera</i>    |                |       |          |          |          |         |       | 0.7     |
|                | <i>Membranipora tuberculata</i>  |                |       |          | 0.3      | 0.3      | 2.7     |       |         |
|                | <i>Montastrea</i> sp.            |                |       |          |          | 0.3      |         |       | 1.3     |
|                | <i>Montipora trabeculata</i>     |                |       |          |          | 0.3      |         | 1.4   | 0.5     |
|                | <i>Mycale plumosa</i>            |                |       |          | 0.3      |          |         |       |         |
|                | <i>Myxilla setoensis</i>         |                | 0.7   | 1.7      |          |          |         |       |         |
|                | Nemertinea unid.                 |                |       |          | 0.3      |          |         |       |         |
|                | <i>Petrosia corticata</i>        |                | 0.3   |          |          |          | 1.0     |       |         |
|                | <i>Phascolosoma scolops</i>      |                | 0.7   |          | 1.3      | 1.3      | 0.3     | 3.7   | 0.7     |
|                | <i>Plexauroides rigida</i>       |                |       |          |          |          |         | 0.3   |         |
|                | <i>Plumularia setacea</i>        |                | 0.3   |          |          |          |         | 3.7   |         |
|                | <i>Psammocora profundacella</i>  |                |       |          |          |          |         | 0.3   | 2.3     |
|                | <i>Pyura vittata</i>             |                |       |          | 0.3      | 3.0      |         |       | 3.3     |

## Appendix 3. Continued

| Classification | Species name                    | Sampling sites |       |          |          |          |         |       |         |
|----------------|---------------------------------|----------------|-------|----------|----------|----------|---------|-------|---------|
|                |                                 | Gwakji         | Aewol | Woljeong | Haengwon | Sincheon | Hacheon | Daepo | Jungmun |
| Others         | <i>Solanderia secunda</i>       |                |       | 1.3      |          |          |         | 3.3   | 0.3     |
|                | <i>Spirastrella insignis</i>    | 1.7            | 0.7   | 0.3      |          | 2.1      | 1.5     | 0.3   | 0.3     |
|                | <i>Spirastrella panis</i>       |                | 0.3   | 1.0      | 4.4      | 2.9      |         | 0.3   | 0.5     |
|                | <i>Spirobranchus tetraceros</i> |                |       |          |          | 0.3      |         |       |         |
|                | <i>Styela clava clava</i>       |                | 0.3   |          |          |          |         |       |         |
|                | <i>Tedania brevispiculata</i>   |                | 2.0   |          |          |          | 0.3     |       |         |
|                | <i>Tethya aurantium</i>         |                |       | 0.3      |          |          |         |       | 0.3     |
|                | <i>Tethya</i> sp.               |                |       | 1.0      |          |          |         |       |         |
|                | <i>Thecocarpus niger</i>        |                | 0.3   | 0.7      | 1.1      | 2.7      | 0.3     |       | 0.3     |
|                | <i>Verrucella umbraculum</i>    |                |       |          | 0.3      |          |         |       |         |

## 제9장 감사의 글

1998년 초임이셨던 신현웅 교수님의 해조류실험실에서 동기 신영, 회월과 시작했던 연구실 생활이 어느새 14년이라는 시간으로 다가왔습니다. 첫 인큐베이터를 보며 이제 정말 시작이라던 감정, 온양재래시장표 치킨으로 회식하던 작지만 소중한 기억들이 지금의 조그마한 결실을 맺는데 밑거름이 되었습니다. 작지만 저에게는 한없이 감사한 이 결실은 늘 곁에서 도움을 주신 분들이 있었기에 가능했던 일이며, 이 지면을 통해 감사의 마음을 전하고 싶습니다. 앞으로도 많은 조언 부탁드립니다. 더욱더 열심히 하는 모습 보여드리겠습니다.

지금까지 늘 한결같은 모습으로 바라봐 주시고 나가갈 방향을 제시해주신 신현웅 교수님께 머리숙여 감사드립니다. 언제나 큰 버팀목이셨고 때론 친근한 형님처럼 때론 큰 어른처럼 다가와 주신 교수님과의 추억 소중히 간직하며, 교수님의 제자로서 떳떳하게 나아가겠습니다. 학부 1학년부터 항상 반겨주시고 아낌없이 조언해주신 마채우 교수님께 감사의 말씀을 드립니다. 어디서나 힘이 되어주셨고 늘 앞에서 나가야 할 길을 보여주신 한만덕 교수님과 근래 자주 뵙진 못했지만 언제나 반겨주시는 조지영 교수님 감사드립니다. 앞으로 더 자주 찾아뵙고 조언 구하겠습니다. 논문심사를 위해 제주도에서 흔쾌히 와주신 조성환 박사님께 예전부터 제대로 말씀드리지 못한 고마움과 감사함을 담아 감사의 인사 말씀 드립니다. 또한 제가 성장하는데 있어 늘 격려와 도움을 주신 방인철 교수님과 박상용 박사님, 이용석 박사님께도 감사드립니다.

실험실 동기 신영, 회월, 혁준, 용훈, 한주와 학교에 있다는 이유로 자의반 타의반 도와준 후배 상목, 한성, 지현, 철수, 지웅, 대호, 민규, 웅진에게도 고맙다는 말을 전하고 싶습니다. 지금 대한민국에 있진 않지만 늘 힘이 되어주신 김용국 박사님과 Dr. Sid에게도 깊은 감사의 말씀을 전합니다. 이외에도 논문 완성을 위해 아낌없이 도와주었던 형섭과 졸업했지만 늘 응원해 주던 종춘이 형, 덕현이 형, 석원이 형, 관순이 형, 후배 강석과 함께 졸업 준비를 하느라 더 힘들었을 윤환이, 그 옆에서 힘이 되었을 숙화와 같이 많은 분들이 있었고 이 분들의 도움과 관심

이 있었기에 부족하나마 논문을 완성할 수 있었습니다. 또한 (재)금산국제인삼약초연구소 직원들의 배려가 없었다면 논문을 완성하는데 많은 어려움이 있었을 것으로 생각합니다. 성낙술 소장님과 조상원 실장님, 박경용 실장님께 이 자리를 들어 감사의 말씀을 전합니다. 또한 중민이의 도움이 없었다면 업무와 논문을 함께 할 수 없었을 것이란 말을 하고 싶습니다. 그리고 철이 형, 종욱이 형, 은미, 남희, 지현, 준영, 세철, 영순, 건희, 보람 그리고 룸메이트 키 큰 중민과 손미례 팀장님, 표미경 팀장님, 이승제 팀장님과 성덕환 선생님, 선이에게 감사의 말을 전합니다. 지금은 함께 근무를 하고 있지 않지만 늘 고마운 도움과 관심을 보여주시는 충남 테크노파크 한무호 단장님과 이상철 팀장님 그리고 최철훈 책임연구원님과 김대환 책임연구원님, 친구 류호 선임연구원, 최현정 연구원님에게 감사드립니다. 또한 제주에서 함께 근무하며 지금까지도 늘 힘이 되어준 기호형님과 은진이 형님 그리고 친구 정석에게도 고마움을 전합니다.

그리고 어린 시절부터 지금까지의 나와 함께한 친우 성제, 동민, 승철, 경오 그리고 아프리카에서 열심히 살고 있을 인호 앞으로도 건강하게 오랫동안 보면서 살자꾸나. 어느새 20여년이 다된 솔бет 동기 형권, 지혜, 정희, 미영, 주현, 상호 그리고 규원에게도 고마운 마음을 전하며, 내 미래의 주치의 동은과 은재, 재순, 효신, 수진에게도 감사의 말을 전합니다.

마지막으로 사랑하는 할머니, 아버지, 어머니, 매제 재희와 내 동생 미영, 세상에서 외삼촌이 제일 좋아하는 조카 은서와 희서, 늘 큰조카를 챙겨주시던 큰어머님과 군포, 문산 작은 아버님과 어머니, 내 동생들과 늘 응원해주시던 친지분들이 항상 버팀목이 되어주었고 그 힘으로 작은 성취를 할 수 있었던 것에 감사와 사랑한다는 말씀을 전하고 싶습니다. 그리고 졸업을 늘 기대하셨던, 지금은 어디서나 손주를 생각하고 바라보고 계실 할아버님과 큰조카를 사랑하셨던 큰아버님께 늦었지만 이제야 졸업했음을, 그리고 두 분 모두 정말 사랑한다는 말씀을 올립니다. 아버지 어머니 사랑합니다.