560.72

발 간 등 록 번 호
11-1550011-000276-10

GOVP1201213565
560.72 -12-1



www.nhc.go.kr

2011 천연기념물 화석산지 모니터링 조사 보고서

2011.12.

국립문화재연구소
National Research Institute of Cultural Heritage

발 간 사

천연기념물(Natural Monument)이란 지질, 동물, 식물, 생물학적 생성물 및 자연 현상 중에서 역사적, 문화적, 과학적 가치가 있거나 경관이 특별히 아름답고 학술적 가치가 큰 대상을 문화재보호법에 의거하여 지정한 것을 말합니다. 이중 지질분야 천연기념물에는 화석, 암석, 지형 · 지질 및 천연동굴 등이 있으며, 2011년 11월말 기준으로 74건이 지정, 관리되고 있습니다.

지구가 생성된 이후 40억년이 넘는 기나긴 지질시대를 거치면서 지구에는 다양한 생명체가 출현하여 번성하였으며 또한 멸종하였습니다. 이처럼 지질시대에 살았던 생명체와 그들의 흔적이 지층에 그대로 보존되어 있는 것을 화석(化石, fossil)이라고 합니다. 화석은 생물체의 발생과 진화 과정, 그리고 생물이 살던 당시의 고환경 등을 알 수 있는 과학적인 가치와 학술적 가치를 지니고 있습니다. 이에 과학적 · 학술적 가치가 크고 보존할 만한 가치가 있는 화석산지를 천연기념물로 지정, 관리하고 있습니다.

그러나 대부분의 화석산지는 바닷가 근처 혹은 도로 절개지 등에 분포하고 있어 자연적 훼손(풍화, 침식, 생물의 침해 등)과 인위적 훼손의 위험에 노출되어 있습니다. 이러한 화석산지는 한번 훼손 또는 멸실되면 더 이상 원형 복원이 불가능하기에 화석산지의 관리와 보존 방안에 대한 연구가 시급한 실정입니다.

따라서 국립문화재연구소는 천연기념물 화석산지에 대한 모니터링을 통해 화석산지의 위험 인자를 사전에 파악하여 그 피해를 최소화 할 수 있는 보존 방안을 마련하고자 「천연기념물 화석산지 모니터링 보고서」를 발간하게 되었습니다. 이 책이 우리나라 화석산지의 보존과 관리방안을 수립하는 기초 자료로 활용될 수 있기를 기대합니다.

2011년 12월

국립문화재연구소 소장 **김 영 원**

목차 Contents

Ⅰ 서 론 7

1. 조사 배경 및 목적 8
2. 조사 내용 및 방법 12

Ⅱ 천연기념물 화석산지 모니터링 조사 19

1. 천연기념물 제195호 제주 서귀포층 패류 화석산지 20
2. 천연기념물 제499호 남해 가인리 화석산지 34
3. 천연기념물 제413호 영월 문곡리 스트로마톨라이트 50
4. 천연기념물 제416호 태백 장성 전기고생대 화석산지 73
5. 천연기념물 제373호 의성 제오리 공룡발자국 화석산지 88
6. 천연기념물 제394호 해남 우항리 공룡 · 익룡 · 새발자국 화석산지 120
7. 천연기념물 제418호 보성 비봉리 공룡알 화석산지 166
8. 천연기념물 제146호 칠곡 금무봉 나무고사리 화석산지 181
9. 천연기념물 제222호 함안 용산리 함안층의 새발자국 화석산지 210
10. 천연기념물 제474호 사천 아두섬 공룡 화석산지 234
11. 천연기념물 제477호 하동 중평리 장구섬 화석산지 271

Ⅲ 천연기념물 개방동굴 조사 289

1. 천연기념물 제260호 평창 백룡동굴 290
2. 천연기념물 제262호 단양 노동동굴 298
3. 천연기념물 제155호 성류굴 구아노의 안정동위원소 분석 306

Ⅳ 화석산지 모니터링 결과 317

참고 문헌 341





차례(표)

표 1 | 천연기념물 지정 현황 ····· 8
표 2 | 세계자연유산 등재 후보 지역: 한반도 백악기 공룡해안 ····· 10
표 3 | 2010년도 모니터링 대상 지역 ····· 13
표 4 | 2010년도 모니터링 대상 및 선정 기준 ····· 15
표 5 | 서귀포층 형성연대관련 연구자 및 결과 ····· 22
표 6 | 서귀포층에서 산출되는 화석과 퇴적환경 ····· 24
표 7 | 제주도 서귀포층의 연체동물 화석 ····· 25
표 8 | 제주 서귀포층 패류 화석산지 주요 훼손 원인 ····· 29
표 9 | 화석산지 모니터링 체크 리스트(천기195호) ····· 32
표 10 | 가인리 화석산지에서 산출되는 화석과 퇴적구조 ····· 37
표 11 | 남해 가인리 화석산지 주요 훼손 원인 ····· 43
표 12 | 화석산지 모니터링 체크 리스트(천기499호_2011) ····· 46
표 13 | 화석산지 모니터링 체크 리스트(천기499호_2010) ····· 48
표 14 | 화석산지 모니터링 체크 리스트(천기413호_2011) ····· 67
표 15 | 화석산지 모니터링 체크 리스트(천기413호_2010) ····· 69
표 16 | 화석산지 모니터링 체크 리스트(천기413호_2009) ····· 71
표 17 | 태백지역의 초기 삼엽충 연구자와 기재 화석 ····· 77
표 18 | 화석산지 모니터링 체크 리스트(천기416호_2011) ····· 82
표 19 | 화석산지 모니터링 체크 리스트(천기416호_2010) ····· 84
표 20 | 화석산지 모니터링 체크 리스트(천기416호_2009) ····· 86
표 21 | 의성 제오리 공룡발자국 화석산지 주요 훼손 원인 ····· 92
표 22 | 화석산지 모니터링 체크 리스트(천기373호_2011) ····· 105
표 23 | 화석산지 모니터링 체크 리스트(천기373호_2010) ····· 107
표 24 | 화석산지 모니터링 체크 리스트(천기373호_2009) ····· 109
표 25 | 중점 관리 대상 표본 체크 리스트(천기373호_2009) ····· 111
표 26 | 화석산지 모니터링 체크 리스트(천기373호_2008) ····· 114
표 27 | 중점관리대상표본 체크 리스트(천기373호_2008) ····· 116
표 28 | 해남 공룡화석산지 보존 학술연구 용역 과업내용 요약 ····· 125
표 29 | 흔적화석 생성의 원리 ····· 127
표 30 | 흔적화석의 행동학적 분류 ····· 128
표 31 | 생흔상에 따른 나타나는 흔적화석의 특징 및 환경 ····· 131
표 32 | 중앙에 끌린 흔적의 유무에 따른 폭의 넓이 ····· 135
표 33 | 절지동물 흔적화석 폭 측정 평균 ····· 136
표 34 | 화석산지 모니터링 체크 리스트(천기394호_2011) ····· 137
표 35 | 화석산지 모니터링 체크 리스트(천기391호_2010) ····· 139
표 36 | 중점 관리 대상 표본 체크 리스트(천기394호_2010) ····· 141
표 37 | 화석산지 모니터링 체크 리스트(천기394호_2009) ····· 144
표 38 | 중점 관리 대상 표본 체크 리스트(천기394호_2009) ····· 146
표 39 | 중점 관리 대상 표본 체크 리스트(천기394호_2009) ····· 149
표 40 | 중점 관리 대상 표본 체크 리스트(천기394호_2009) ····· 152
표 41 | 화석산지 모니터링 체크 리스트(천기394호_2008) ····· 155
표 42 | 중점 관리 대상 표본 체크 리스트(천기394호_2008) ····· 157
표 43 | 중점 관리 대상 표본 체크 리스트(천기394호_2008) ····· 160
표 44 | 중점 관리 대상 표본 체크 리스트(천기394호_2008) ····· 163
표 45 | 화석산지 모니터링 체크 리스트(천기418호_2011) ····· 173

목차 Contents

표 46 | 화석산지 모니터링 체크 리스트(천기418호_2010) ····· 175
표 47 | 화석산지 모니터링 체크 리스트(천기418호_2009) ····· 177
표 48 | 화석산지 모니터링 체크 리스트(천기418호_2008) ····· 179
표 49 | 금무봉 나무고사리 화석산지 설명문안(참고용) ····· 199
표 50 | 화석산지 모니터링 체크 리스트(천기146호_2011) ····· 200
표 51 | 화석산지 모니터링 체크 리스트(천기146호_2010) ····· 202
표 52 | 화석산지 모니터링 체크 리스트(천기146호_2009) ····· 204
표 53 | 화석산지 모니터링 체크 리스트(천기146호_2008) ····· 206
표 54 | 화석산지 모니터링 체크 리스트(천기146호_2007) ····· 208
표 55 | 현생 새발자국과 함안 용산리 새발자국 비교 ····· 216
표 56 | Koreanaornis hamanensis와 새로 발견된 물갈퀴 새발자국 ····· 219
표 57 | 화석산지 모니터링 체크 리스트(천기222호_2011) ····· 224
표 58 | 화석산지 모니터링 체크 리스트(천기222호_2010) ····· 226
표 59 | 화석산지 모니터링 체크 리스트(천기222호_2009) ····· 228
표 60 | 화석산지 모니터링 체크 리스트(천기222호_2008) ····· 230
표 61 | 화석산지 모니터링 체크 리스트(천기222호_2007) ····· 232
표 62 | 아두섬 화석산지 소형 육식공룡 발자국 측정값 ····· 241
표 63 | 화석산지 모니터링 체크 리스트(천기474호_2011) ····· 243
표 64 | 중점 관리 대상 표본 체크 리스트(천기474호_2011) ····· 245
표 65 | 중점 관리 대상 표본 체크 리스트(천기474호_2011) ····· 247
표 66 | 화석산지 모니터링 체크 리스트(천기474호_2010) ····· 249
표 67 | 중점 관리 대상 표본 체크 리스트(천기474호_2010) ····· 251
표 68 | 중점 관리 대상 표본 체크 리스트(천기474호_2010) ····· 253
표 69 | 화석산지 모니터링 체크 리스트(천기474호_2009) ····· 255
표 70 | 중점 관리 대상 표본 체크 리스트(천기474호_2009) ····· 257
표 71 | 중점 관리 대상 표본 체크 리스트(천기474호_2009) ····· 259
표 72 | 화석산지 모니터링 체크 리스트(천기474호_2008) ····· 261
표 73 | 중점 관리 대상 표본 체크 리스트(천기474호_2008) ····· 263
표 74 | 중점 관리 대상 표본 체크 리스트(천기474호_2008) ····· 265
표 75 | 화석산지 모니터링 체크 리스트(천기474호_2007) ····· 267
표 76 | 중점 관리 대상 표본 체크 리스트(천기474호_2007) ····· 269
표 77 | 장구섬 화석산지에서 발견된 화석 ····· 274
표 78 | 화석산지 모니터링 체크 리스트(천기477호_2011) ····· 278
표 79 | 화석산지 모니터링 체크 리스트(천기477호_2010) ····· 280
표 80 | 화석산지 모니터링 체크 리스트(천기477호_2009) ····· 282
표 81 | 화석산지 모니터링 체크 리스트(천기477호_2008) ····· 284
표 82 | 화석산지 모니터링 체크 리스트(천기477호_2007) ····· 286
표 83 | 백룡동굴의 대기 환경 월평균 변화값 비교 ····· 291
표 84 | 백룡동굴의 지점별 월평균 대기환경 측정값 ····· 293
표 85 | 백룡동굴의 측정 지점별 월평균 온도 변화값 비교 ····· 294
표 86 | 백룡동굴의 측정 지점별 월 상대습도 변화값 비교 ····· 296
표 87 | 이산화탄소 변화값 ····· 297
표 88 | 노동동굴의 대기 환경 월평균 변화값 비교 ····· 299
표 89 | 노동동굴의 측정 지점별 월평균 온도 변화값 비교 ····· 301
표 90 | 노동동굴의 측정 지점별 월평균 상대습도 변화값 비교 ····· 302
표 91 | 이산화탄소 변화값 ····· 302
표 92 | 성류동굴 박쥐 구아노의 방사선 탄소 동위원소 연대 결과 ····· 309





차례(그림)

그림 1 | 지질분야의 시대별 지정 건수 변화 ····· 9
그림 2 | 연도별 지정 건수의 변화 ····· 9
그림 3 | 지질분야의 분야별 지정 현황 ····· 11
그림 4 | 천연기념물 모니터링 대상 지역 ····· 14
그림 5 | 모니터링 조사 지역 및 연구 지역 위치도 ····· 20
그림 6 | 조사지역 및 주변지역의 지질도 ····· 21
그림 7 | 서귀포층 패류 화석산지에서 관찰되는 연체동물화석 ····· 23
그림 8 | 서귀포층 패류 화석산지에서 관찰되는 완족류화석 ····· 26
그림 9 | 서귀포층 패류 화석산지에서 관찰되는 성게류화석 ····· 27
그림 10 | 서귀포층 패류 화석산지에서 관찰되는 생흔화석 ····· 27
그림 11 | 돌맛조개가 만들어 놓은 사관들 ····· 28
그림 12 | 서귀포층 패류 화석산지 지정 지역 ····· 30
그림 13 | 서귀포층 패류 화석산지의 모습 ····· 31
그림 14 | 모니터링 조사 지역 및 연구 지역 위치도 ····· 35
그림 15 | 조사지역 및 주변지역의 지질도 ····· 36
그림 16 | 가인리 공룡 및 익룡발자국 화석산지(SI) 모식도 ····· 38
그림 17 | 화석산지에서 관찰되는 공룡발자국 ····· 38
그림 18 | 화석산지에서 관찰되는 익룡발자국 ····· 39
그림 19 | 소형 육식공룡(Minisauripus) 발자국 ····· 41
그림 20 | 이그노토르니스(Ignotornis) 새발자국 화석 ····· 42
그림 21 | 화석산지 입구에 자리한 세심사 및 화석산지 전경 ····· 44
그림 22 | 화석산지까지 설치된 안내 표지판과 위치 ····· 45
그림 23 | 모니터링 조사 지역 및 연구 지역 위치도 ····· 50
그림 24 | 연구지역인 조선누층군의 지질도 ····· 53
그림 25 | 문곡리 스트로마톨라이트 화석산지 모습 ····· 54
그림 26 | 문곡리 스트로마톨라이트의 단면 모습 ····· 55
그림 27 | 문곡리 스트로마톨라이트의 표면 형태 ····· 56
그림 28 | 문곡리 스트로마톨라이트의 수직단면 박편 모습 ····· 58
그림 29 | 캐나다 Flowers Cove에서 관찰되는 쓰롬볼라이트 ····· 59
그림 30 | 스트로마톨라이트와 함께 관찰되는 여러 형태의 건열 ····· 60
그림 31 | Pseudomorph fan ····· 61
그림 32 | 영월 문곡리 건열 및 화석산지 모습 ····· 64
그림 33 | 문곡리 화석산지 노두에 자라는 식생모습 ····· 66
그림 34 | 태백 장성 하부고생대 화석산지 위치도 ····· 73
그림 35 | 조사지역 및 주변 지역 지질도 ····· 75

목차 Contents

그림 36 | 천연기념물 지역의 작은 전석에서 발견되는 다양한 화석들 ····· 78
그림 37 | 화석산지 입구에서 화석산지까지 이어진 숲길 ····· 79
그림 38 | 화석산지에 설치된 문화재관련 안내판들 ····· 80
그림 39 | 화석산지에 설치되어 있는 철제 울타리 모습 ····· 81
그림 40 | 모니터링 조사 지역 및 인근 공룡 화석산지 ····· 88
그림 41 | 조사지역 및 주변 지역 지질도 ····· 89
그림 42 | 의성 제오리 공룡발자국 분포도 ····· 91
그림 43 | 제오리 화석산지 페인트성 물질 모습 ····· 93
그림 44 | 제오리 화석산지 발견당시 용각류 발자국 모습 ····· 94
그림 45 | 콜로라도에 위치한 "Dinosaur Ridge" 모습 ····· 95
그림 46 | 제오리 화석산지 내 생물 침해로 인한 2차 피해 발생 ····· 97
그림 47 | 공룡화석산지 화석노두 및 배수로 설치 단면도 ····· 98
그림 48 | 생물 침해의 발생 유형별 모습 ····· 99
그림 49 | 모니터링 조사 지역 위치도 ····· 121
그림 50 | 조사지역 및 그 주변 지역의 지질도 ····· 123
그림 51 | 해남 우항리 공룡박물관 전경 ····· 124
그림 52 | 해남 우항리 화석산지 야외에서 관찰되는 흔적화석 ····· 126
그림 53 | 흔적화석의 행동학적 범주 ····· 128
그림 54 | 흔적화석의 보존적 분류 ····· 129
그림 55 | 환경에 따른 생흔상 ····· 130
그림 56 | 우항리 화석산지 내 흔적화석 노두 모습 ····· 132
그림 57 | 우항리 화석산지에서 관찰되는 절지동물 흔적화석 ····· 133
그림 58 | 2가지 타입의 보행열 ····· 134
그림 59 | 모니터링 조사 지역 위치도 ····· 166
그림 60 | 보성에서 발견된 Koreanosaurus boseongensis의 복원도 ····· 167
그림 61 | 조사지역 및 그 주변 지역의 지질도 ····· 168
그림 62 | 비봉리 선소마을 해안의 공룡알 화석산지 위치도 ····· 169
그림 63 | 화석산지 주변에 설치된 시설물의 다양한 훼손 사례 ····· 171
그림 64 | 비봉리 화석산지에 산재되어 있는 해양 쓰레기 ····· 172
그림 65 | 칠곡 금무봉 나무고사리 화석산지 위치도 ····· 181
그림 66 | 조사지역 및 그 주변 지역의 지질도 ····· 183
그림 67 | 표본 X01의 외형 사진 ····· 185
그림 68 | 표본 X01의 횡단면 관찰 지점 ····· 185
그림 69 | 표본 X01에서 순차적으로 마련된 세 개의 횡단면 ····· 186
그림 70 | 표본 X01 나무고사리 줄기 화석의 일반적인 단면 형태 ····· 187
그림 71 | 금무봉 나무고사리 화석산지 안내 표지판과 안내 설명판 ····· 198
그림 72 | 함안 용산리 함안층의 새발자국 화석산지 위치도 ····· 210
그림 73 | 조사 지역의 지질도 ····· 212



그림 74 | 새발자국 화석산지 분포 면적 ····· 214
그림 75 | 새발자국 화석 분포도 ····· 215
그림 76 | 현생 물떼새 발자국 도안 ····· 216
그림 77 | 현생 새발자국과 함안 용산리 새발자국 ····· 217
그림 78 | 용산리 화석산지에서 발견된 물갈퀴 새발자국 화석 ····· 217
그림 79 | 용산리 화석산지에서 새로 발견된 새발자국과 보행렬 ····· 219
그림 80 | 새로 발견된 용각류 발자국의 랜더링 이미지 ····· 220
그림 81 | 화석산지 입구에서 화석산지까지 발달한 진입로 전경 ····· 221
그림 82 | 함안 용산리 화석산지 모습 ····· 222
그림 83 | 화석산지에 설치되어 있는 안내 설명판 ····· 223
그림 84 | 용산리 화석산지 보호각 모습 ····· 223
그림 85 | 사천 아두섬 공룡 화석산지 위치도 ····· 235
그림 86 | 조사지역 및 주변지역 지질도 ····· 236
그림 87 | 공룡과 익룡발자국의 3D 스캔 데이터 랜더링 이미지 ····· 237
그림 88 | 아두섬에서 관찰되는 특이한 형태의 공룡발자국 ····· 238
그림 89 | 특이 공룡발자국의 3D 컬러램프 및 평면도와 단면도 ····· 239
그림 90 | 아두섬 화석산지에서 산출되는 소형 육식공룡 발자국 ····· 240
그림 91 | 아두섬 화석산지에 설치된 접안 시설 ····· 242
그림 92 | 하동 장구섬 화석산지 위치도 ····· 272
그림 93 | 장구섬과 그 주변지역의 지질도 ····· 273
그림 94 | 화석산지에서 산출되는 대표 화석 ····· 275
그림 95 | 장구섬 화석산지 전경 ····· 276
그림 96 | 백룡동굴의 대기환경측정 지점 ····· 292
그림 97 | 백룡동굴의 월평균 온도 변화값 ····· 294
그림 98 | 백룡동굴의 월평균 상대습도 변화값 ····· 295
그림 99 | 손에 묻은 진흙에 의해 동굴생성물이 피복된 모습 ····· 297
그림 100 | 노동동굴의 대기환경 측정지점 ····· 300
그림 101 | 흑색오염물질 제거하기 위한 예비 약물실험 ····· 303
그림 102 | 녹색오염물질 제거하기 위한 약물처리 모습 ····· 303
그림 103 | 폐쇄된 후 변화되는 동굴생성물의 모습 ····· 304
그림 104 | 성류굴 주변 지역의 3D 지형 ····· 306
그림 105 | 성류굴의 측량도 및 박쥐 구아노의 시료 채취 지점 ····· 307
그림 106 | 박쥐 구아노 채취 지점 및 단면 사진 ····· 308
그림 107 | 구아노 단면의 심도에 따른 연대 그래프 ····· 309
그림 108 | C_3 식물과 C_4 식물의 탄소 안정동위원소비 ····· 311
그림 109 | 성류굴 구아노의 심도에 따른 탄소 안정동위원소비 변화 ····· 312
그림 110 | 성류굴 구아노의 심도에 따른 질소 안정동위원소비 변화 ····· 313
그림 111 | 성류굴 주변 지역의 C4 식물의 우점도 복원 ····· 315
그림 112 | 성류굴 박쥐 구아노의 탄소와 질소 안정동위원소비 ····· 315

2011 천연기념물 화석산지 모니터링 조사 보고서

National Research Institute of Cultural Heritage
Natural Heritage Center

| 일러두기 |

2011년도 천연기념물 화석산지 모니터링 조사 보고서의 내용은 신규 모니터링 지역(1곳)을 제외한 기존 모니터링 지역(10곳)의 경우, 2007년~2010년 조사 보고서와 일부 내용이 중복됨을 미리 밝혀둔다. 천연기념물 화석산지 모니터링의 연구 의도는 동일한 지역을 최소 5년 이상 연속적인 모니터링을 실시하여 각 화석산지의 위험(훼손)인자를 밝혀내고 해결 방안을 제시하려는데 있다. 천연기념물 화석산지 모니터링 조사, 연구는 2007년부터 시작되었다



I

서 론

National Research Institute of Cultural Heritage Natural Heritage Center

1. 조사 배경 및 목적 8

2. 조사 내용 및 방법 12

Ⅰ. 서 론

| 1 | 조사 배경 및 목적

천연기념물(Natural Monument)이란 지질, 동물, 식물, 생물학적 생성물, 자연현상 중에서 역사적, 문화적, 과학적으로 가치가 있거나 경관이 특별히 아름답고 학술적 가치가 큰 것으로서 보존할 만한 가치가 있는 것을 문화재보호법에 의거하여 지정한 것을 말한다. 현재 문화재보호법에 의해 지정된 천연기념물은 지질 분야, 동물 분야, 식물 분야 및 천연보호구역 등이 있다.

천연기념물의 지정 건수는 2011년 9월 기준으로 총 421건이 지정되었다. 그 중 지질 분야가 73건, 동물 분야 78건, 식물 분야 259건, 천연보호구역 11건 등이다(표 1). 1962년 12월 3일, 천연기념물 제69호 「상주 운평리 구상화강암」과 제146호 「칠곡 금무봉 나무고사리 화석 산지」가 지질 분야 중 처음으로 천연기념물로 지정된 이후 지질 분야 천연기념물의 지정 건수는 해마다 빠른 속도로 증가하고 있다(공달용 외, 2007).

표 1 | 천연기념물 지정 현황(2010. 10.)

구 분	지정 건수	비 고
지 질	73건	4곳 → 세계자연유산 포함
동 물	78건	
식 물	259건	
천연보호구역	11건	2곳 → 세계자연유산 포함
계	421건	

지질 분야 천연기념물은 총 73건이 지정되었으며(2011년 9월 기준), 그 중 43건(59%)이 2000년 이후 지정되었다(그림 1).

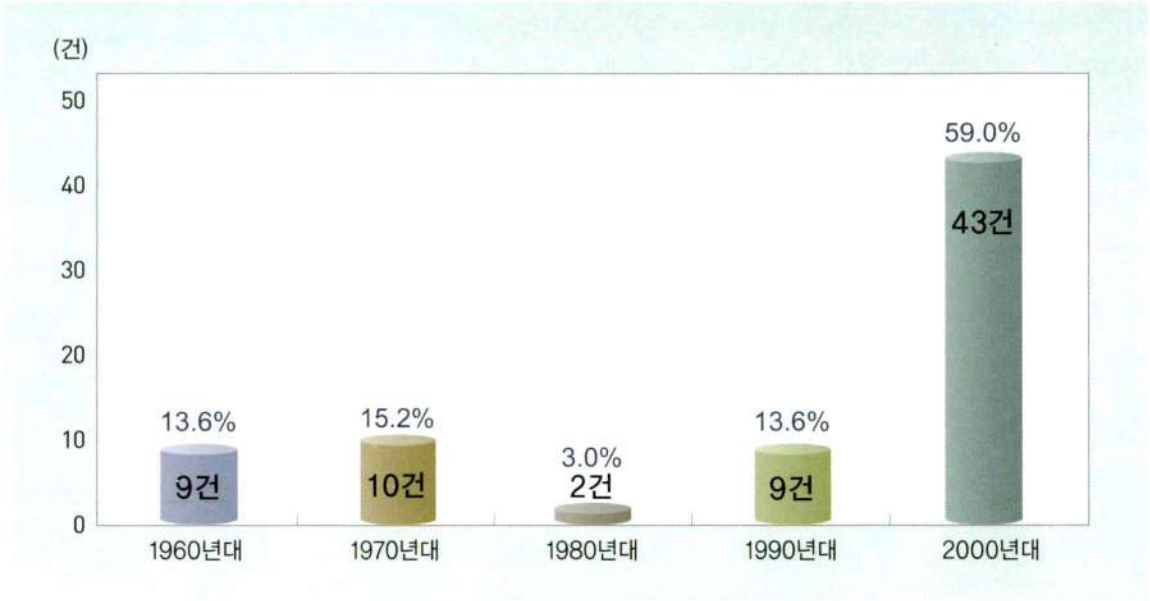


그림 1 | 지질 분야의 시대별 지정 건수 변화.

따라서 2000년 이전까지는 매년 0.8건이 지정되었다면 2000년 이후로는 매년 3.6건이 지정된 것으로 이 수치는 당분간 증가 할 것으로 보인다(그림 2).

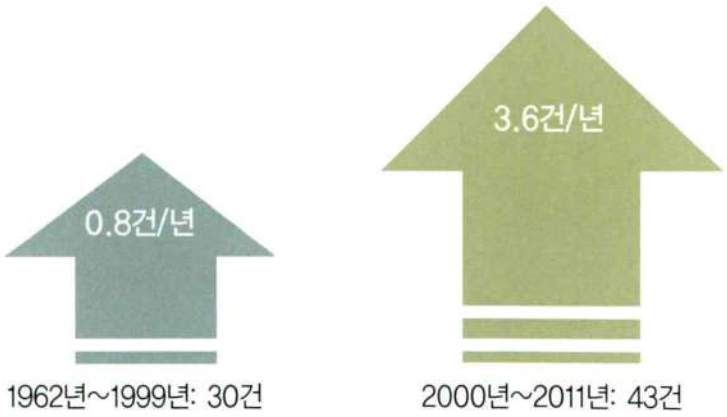


그림 2 | 연도별 지정 건수의 변화.

또한, 2007년 6월 27일, 「제주 화산섬과 용암 동굴(Jeju Volcanic Island and Lava Tubes)」이 우리나라 첫 세계자연유산으로 등재되어 우리 자연유산의 국가경쟁력을 높이는 계기가 되었으며, 현재는 남해안 지역의 천연기념물 화석산지 5곳(경남 고성, 전남 해남, 보성, 여수, 화순)을 묶어 「한반도 백악기 공룡해안(Korean Cretaceous Dinosaur Coast)」이라는 이름으로 두 번째 세계자연유산에 등재되기 위해 노력 중이다(표 2). 이 외에도 제주도의 9개 지질 명소(천연기념물 제98호 만장굴, 제443호 대포 해안 주상절리 등)가 유네스코 세계지질공원으로 인증 받았으며 다수의 지자체(예: 울릉군, 영월군, 서울 노원구 등)들이 UNESCO 세계지질공원 네트워크(Global Geopark Network)에 가입하기 위해 준비 중에 있다.

천연기념물의 지정이나 세계자연유산으로 등재는 해당 유산을 보호하고 보전하겠다는 우리 스스로의 약속이자 세계와의 약속이다. 또한, 천연기념물과 세계자연유산으로 지정되거나 등재하는 것도 중요하지만 이보다 더 중요한 것이 해당 유산을 보존하는 것이다. 이를 위해서는 해당 자연유산의 정기적인 모니터링과 환경친화적인 정책 추진이 필요하다. 오늘날 자연유산 관리 정책은 지정과 등재보다 자연유산의 보존과 관리, 그리고 활용의 방향으로 그 패러다임이 빠르게 변화하고 있다.

표 2 | 세계자연유산 등재 후보 지역: 한반도 백악기 공룡해안(KCDC)

지정 번호	지정 명칭
천연기념물 제394호	해남 우항리 공룡 · 익룡 · 새발자국 화석산지
천연기념물 제411호	고성 덕명리 공룡 · 새발자국 화석산지
천연기념물 제418호	보성 비봉리 공룡알 화석산지
천연기념물 제434호	여수 낭도리 공룡발자국 화석산지
천연기념물 제487호	화순 서유리 공룡발자국 화석산지

지질분야 천연기념물 중 화석 분야는 21건(29%)으로 다른 분야에 비해 상당히 높은 편이다(그림 3). 또한, 화석 분야는 외부 환경에 직접적으로 노출되어 있어 자연적 훼손이 매우 심하고 많은 화석산지가 바닷가 근처 혹은 절개지 등에 많이 분포하여 이에 대한 관리와 보존 방안이 시급하다(공달용 외, 2008). 특히, 지층에 노출된 화석들은 자연적 훼손(풍화, 침식, 생물 침해 등)과 인위적 훼손의 위험으로 멸실 될 가능성이 매우 높다. 이러한 화석들은 한번 훼손 · 멸실되면 더 이상 원형 복원이 불가능하다. 따라서 천연기념물 화석산지의 학술적 가치를 유지 · 계승시키고 훼손 등의 위험 인자를 사전에 인지하여 그 피해를 최소화 할 수 있는 보존방법에 대한 연구를 위해 지속적인 천연기념물 화석산지 모니터링이 필요하다.

이번 조사 · 연구는 천연기념물 화석산지 모니터링을 통해 화석산지의 보존 · 관리를 위한 기초 자료를 축적하고 이를 통해 효율적인 보존 · 관리방안을 수립하는 한편, 국내 화석산지 중 국제적인 연구 경쟁력을 가진 자원(개별 화석 혹은 화석산지)을 적극 발굴하여 연구하는데 그 목적이 있다.

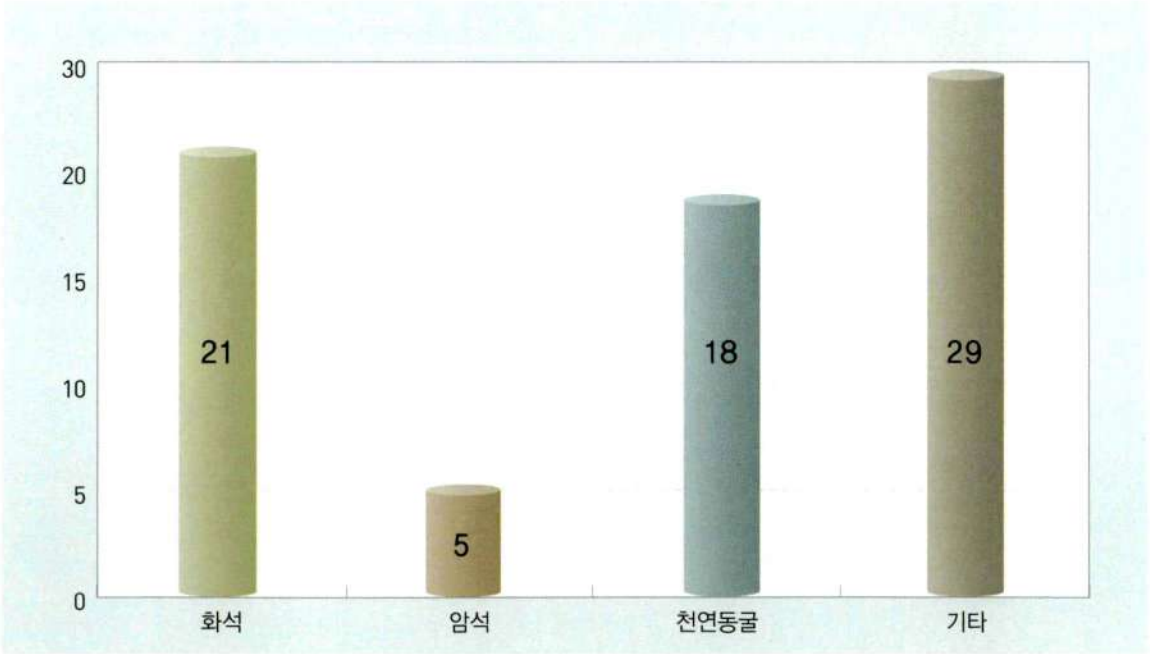


그림 3 | 지질 분야의 분야별 지정 현황.

| 2 | 조사 내용 및 방법

2.1. 조사 내용

이번 화석산지 조사 · 연구는 2007년도 1차 화석산지 모니터링 대상 4개 지역과 2008년 실시한 7개 지역(2007년 4개 지역+추가 3개 지역) 및 2009년 실시한 9개 지역(2008년 7개 지역+추가 2개 지역), 그리고 2010년 실시한 10개 지역(2009년 9개 지역+추가 1개 지역) 외에 신규로 1개 지역이 추가된 총 11개 지역의 천연기념물 화석산지를 대상으로 모니터링 및 화석산지의 조사 · 연구가 실시되었다(표 3).

2011년 천연기념물 화석산지 모니터링 대상 지역은 ① 천연기념물 제195호 제주 서귀포층 패류 화석산지 ② 천연기념물 제146호 칠곡 금무봉 나무고사리 화석산지 ③ 천연기념물 제222호 함안 용산리 함안층의 새발자국 화석산지 ④ 천연기념물 제373호 의성 제오리 공룡발자국 화석산지 ⑤ 천연기념물 제394호 해남 우항리 공룡 · 익룡 · 새발자국 화석산지 ⑥ 천연기념물 제413호 영월 문곡리 건열 구조 및 스트로마톨라이트 ⑦ 천연기념물 제416호 태백 장성 전기 고생대 화석산지 ⑧ 천연기념물 제418호 보성 비봉리 공룡알 화석산지 ⑨ 천연기념물 제474호 사천 아두섬 공룡 화석산지 ⑩ 천연기념물 제477호 하동 중평리 장구섬 화석산지 ⑪ 천연기념물 제499호 남해 가인리 화석산지 등 11개 지역이다(표 3). 이들 모니터링 대상 지역들은 2007년~2008년까지의 모니터링 자료와 관계 전문가 논의, 논문 발표 등을 거쳐 개발한 「천연기념물 화석산지 모니터링 대장」을 이용하여 모니터링 조사가 실시되었다. 「천연기념물 화석산지 모니터링 대장」에서 사용한 방법은 해당 유산의 사이트 환경, 풍화 · 훼손 현황, 생물 침해 등의 물리적 파손 여부를 검토하는 미식적 접근 방법이다. 이와 같은 모니터링 방법은 구체적이고 객관적인 지표를 통해 화석산지 훼손을 야기하는 위험 인자를 사전에 예방하고, 효과적인 보존 방안을 수립하는 데 목적이 있다(공달용 외, 2008).

표 3 | 2011년도 모니터링 대상 지역

지정 번호	지정 명칭	비고
146	칠곡 금무봉 나무고사리 화석 산지	2007, 2008, 2009, 2010, 2011
222	함안 용산리 함안층의 새발자국 화석 산지	2007
474	사천 아두섬 공룡 화석산지	2007
477	하동 중평리 장구섬 화석산지	2007, 2008
373	의성 제오리 공룡발자국 화석산지	2008, 2009, 2010, 2011
394	해남 우항리 공룡 · 익룡 · 새발자국 화석산지	2008, 2009, 2010, 2011
418	보성 비봉리 공룡알 화석산지	2008, 2009, 2010, 2011
413	영월 문곡리 건열 구조 및 스트로마톨라이트	2009, 2010, 2011
416	태백 장성 전기 고생대 화석산지	2009, 2010, 2011
499	남해 가인리 화석산지	2010, 2011
195	제주 서귀포층 패류 화석산지	2011

천연기념물 화석산지 모니터링 Data sheet는 천연기념물로 지정된 화석산지의 전반적인 내용을 점검하는 「화석산지 모니터링 체크 리스트」와 화석산지 모니터링 체크 리스트를 통해 확인된 표본 중 훼손이나 멸실 등의 위험이 높은 표본을 점검, 기록하는 「중점 관리 대상 표본 체크 리스트」의 두 가지 양식이 있다.

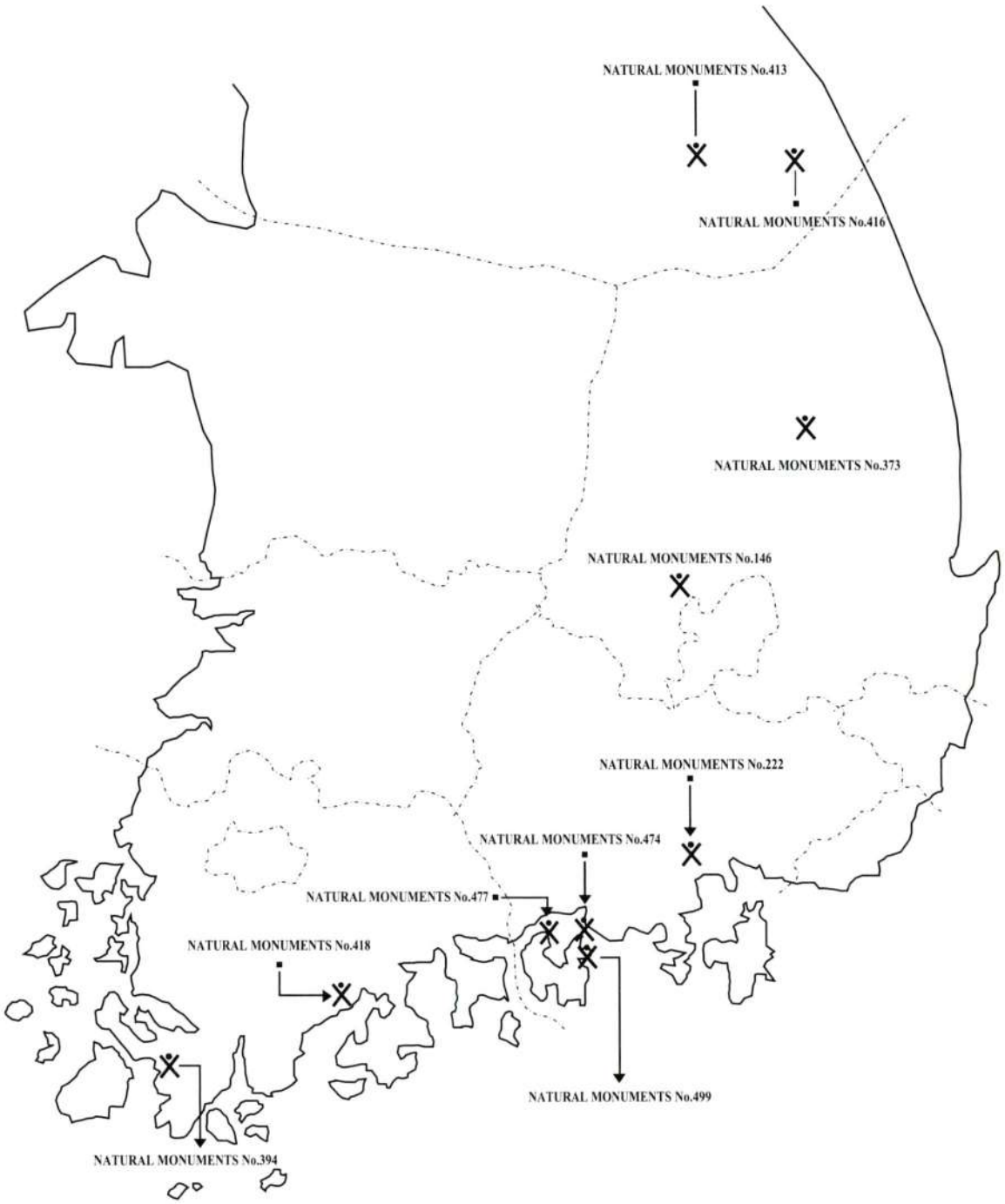


그림 4 | 천연기념물 모니터링 대상 지역.

표 4 | 2011년도 모니터링 대상 및 선정 기준

지정 번호	지정 명칭	선정 기준
146	칠곡 금무봉 나무고사리 화석산지	○ 지질 분야 천연기념물 중 지정 시기가 가장 빠른 1962년에 지정된 곳. ○ 46년 전 지정, 화석지 관련 정보의 부족.
195	제주 서귀포층 패류 화석산지	○ 신생대 대표적 화석산지. 1968년 지정. ○ 해안가에 위치하고 있어 훼손 속도 빠름.
222	함안 용산리 함안층의 새발자국 화석산지	○ 1969년 우리나라에서 처음 발견된 중생대 새발자국 화석산지. ○ 발견 당시 보다 화석지의 훼손이 많이 진행 됨.
373	의성 제오리 공룡발자국 화석산지	○ 문화재청 천연기념물과 및 의성군 요청. ○ 페인트성 물질로인해 화석지 오염이 심각함.
394	해남 우항리 공룡 · 익룡 · 새발자국 화석산지	○ 세계자연유산 등재 후보지 (한반도 백악기 공룡 해안 5개 지역 중 한 곳). ○ 제3 보호각(대형 용각류 발자국) 내 물의 유입으로 인한 화석지 훼손 발생.
413	영월 문곡리 건열 구조 및 스트로마톨라이트	○ 스트로마톨라이트 진위에 대한 논란 지역.
416	태백 장성 전기 고생대 화석산지	○ 화석산지 훼손 상태 점검.
418	보성 비봉리 공룡알 화석산지	○ 세계자연유산 등재 후보지 (한반도 백악기 공룡 해안 5개 지역 중 한 곳). ○ 보존상태가 양호한 원시 조각류인 힙실로포돈류 (Hypsilophodontidae) 골격 발견.
474	사천 아두섬 공룡 화석산지	○ 2007년 모니터링 조사 계획 당시 기준으로 최근에 지정된 화석산지.
477	하동 중평리 장구섬 화석산지	○ 2007년 모니터링 조사 계획 당시 기준으로 가장 최근에 지정된 화석산지.
499	남해 가인리 화석산지	○ 2010년 모니터링 조사 당시 기준으로 가장 최근에 지정된 화석산지.

2.2. 모니터링 대상 지역 및 선정 기준

천연기념물(지질) 73건 중 화석산지는 21건이다(2011년 9월 기준). 따라서 지질 분야 모니터링 대상 지역은 지정 건수와 중요성이 높고 자연적 훼손에 매우 민감한 화석 분야를 대상으로 삼았으며 조사 대상 지역(그림 4)과 선정 기준은 다음과 같다(표 4).

2.3. 조사 방법

① 모니터링 대상지에 대한 연구 보고서, 논문 자료 등 문헌 자료를 수집하여 각 대상지에 대한 기초 연구 자료를 확보하였다.

② 차량, 선박 및 도보로 문화재 지정 구역 전체를 조사하였다.

③ 현장 조사에는 1/25,000과 1/50,000 축적의 지형도를 사용하였으며 화석산지 및 중점 관리 대상 표본 모니터링 Data sheet에 들어갈 좌표는 Garmin 60CSx GPS 장치를 사용하여 기록하였다.

④ 각각의 모니터링 대상 지역은 2~3회 이상의 현장 조사를 실시하였다.

⑤ 지정문화재의 경우 「화석산지 모니터링 체크 리스트」와 「중점 관리 대상 표본 체크 리스트」를 사용하여 각 항목별 조사가 이루어 졌으며 비지정문화재는 해당 지역 및 표본에 대한 정밀 조사를 실시하였다.

⑥ 현장 조사 시 필요한 경우 시험 시료를 채취하였으며 채취된 시료는 관련 연구 기관에 의뢰하여 시료 분석을 실시하였다.

⑦ 모니터링 조사 시 멸실의 위험이 높은 경우에는 문화재위원회 심의를 거쳐 발굴을 실시하였으며 발굴된 표본은 국립문화재연구소 천연기념물센터 화석표본처리실에서 처리하였다.

⑧ 모니터링 대상 지역 중 주요 표본의 경우 3D 정밀 실측도면을 작성하였으며 3D 정밀 기록화 작업은 한국과학기술연구원(KAIST)에서 실시하였다.

⑨ 필요에 따라 관련 분야 전문가와 함께 현지 조사를 실시하였으며 학술적 검토를 진행하였다.

⑩ 모니터링 조사를 통해 연구된 내용들은 국내외 학술 대회 및 논문에 게재하여 학술 결과를 도출하였다.

⑪ 기존 문헌 및 현지 조사에서 수집된 자료를 정리, 검토하여 보고서를 작성하였다.

2.4. 조사 기간: 2011년 1월~10월(10개월)

2011 천연기념물 화석산지 모니터링 조사 보고서

National Research Institute of Cultural Heritage
Natural Heritage Center

Ⅱ



천연기념물 화석산지 모니터링 조사

National Research Institute of Cultural Heritage Natural Heritage Center

1. 천연기념물 제195호 제주 서귀포층 패류 화석산지 20
2. 천연기념물 제499호 남해 가인리 화석산지 34
3. 천연기념물 제413호 영월 문곡리 스트로마톨라이트 50
4. 천연기념물 제416호 태백 장성 전기고생대 화석산지 73
5. 천연기념물 제373호 의성 제오리 공룡발자국 화석산지 88
6. 천연기념물 제394호 해남 우항리 공룡 · 익룡 · 새발자국 화석산지 120
7. 천연기념물 제418호 보성 비봉리 공룡알 화석산지 166
8. 천연기념물 제146호 칠곡 금무봉 나무고사리 화석산지 181
9. 천연기념물 제222호 함안 용산리 함안층의 새발자국 화석산지 210
10. 천연기념물 제474호 사천 아두섬 공룡 화석산지 234
11. 천연기념물 제477호 하동 중평리 장구섬 화석산지 271

Ⅱ. 천연기념물 화석산지 모니터링 조사

1 천연기념물 제195호 제주 서귀포층 패류 화석산지 2011 신규

| 1 | 화석산지 현황

1.1. 화석산지 개요

제주 서귀포층 패류 화석산지는 제주 서귀포시 서홍동 해안가에 위치하고 있다(그림 5). 화석산지는 서귀포시 서홍동 천지연 폭포 인근 해안가에 노출되어 있으며 약 200m 구간에 걸쳐 해안을 따라 높이 20~30m 절벽을 이루며 분포하고 있다. 화석이 산출되는 지층(서귀포층)은 외돌개 동편의 삼매봉 기슭까지 연장되어 있다. 천연기념물로 지정되어 있는 이곳은 서귀포층의 유일한 표식지(type locality)로 알려져 있으며 다양한 암상 변화가 특징이다. 이곳에서는 가리비와 같은 이매패류가 주를 이루고 있으며, 이외에도 완족류, 성게, 산호, 유공충 등의 해양 생물 화석이 다량 산출되고 있다. 이곳은 신생대 후기 한반도 남부 해역의 고해양환경을 파악하는 데 매우 중요한 장소이다(윤석훈과 조성권, 2006).

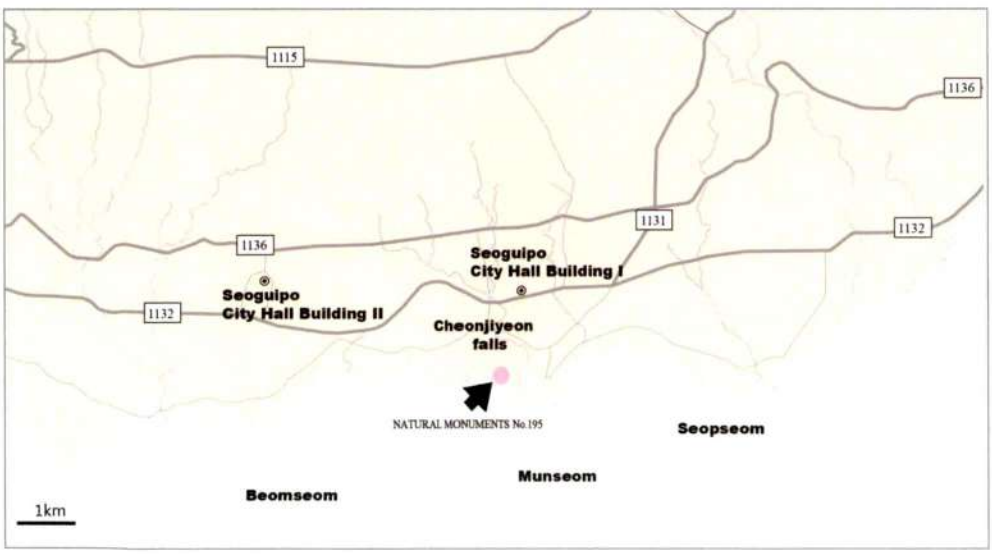
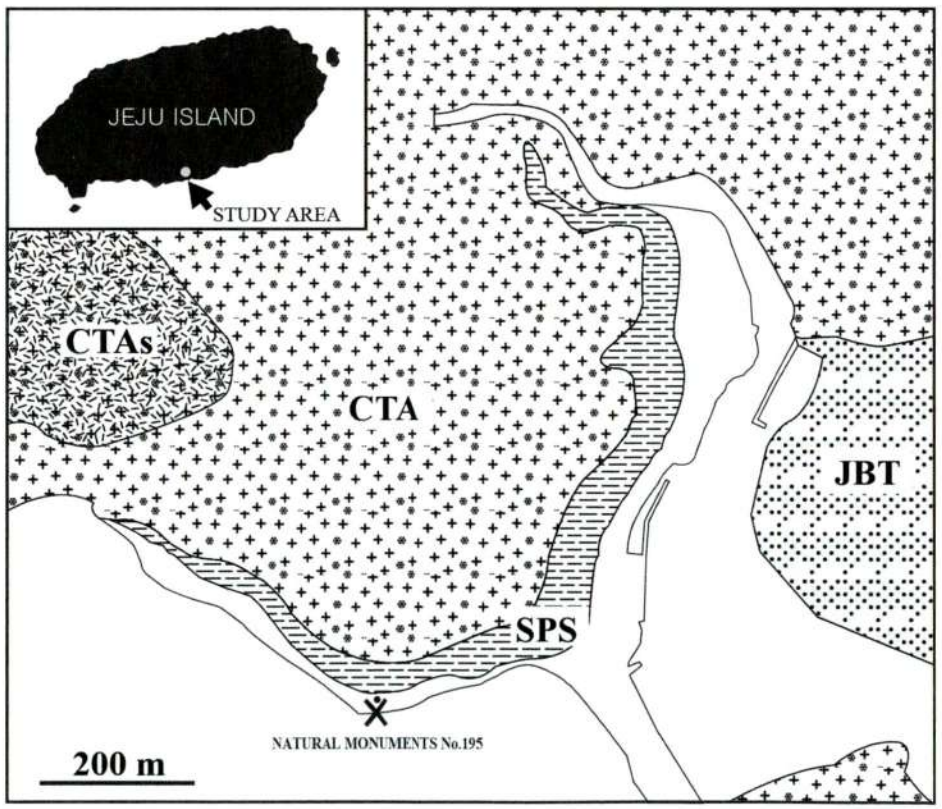


그림 5 | 모니터링 조사 지역 및 연구 지역 위치도.

1.2. 조사 지역의 지질

본 조사 지역은 신생대 제3기 플라이오세말에서 제4기 플라이스토세에 형성된 것으로 추정되는 서귀포층에 해당한다(그림 6). 서귀포층은 주로 제주도 중부와 서부 지역의 지하에 분포하고 있으며(고기원, 1997), 그 일부가 제주도의 남서해안을 따라 약 1.5km 거리에 걸쳐 지상에 노출되어 있다(그림 6). 서귀포층의 주향과 경사는 각각 N10°E와 3°~8°NW이다. 서귀포층은 주로 역질사암, 사암, 사질이암 및 이암 등으로 이루어져 있으며 다양한 종류의 체 화석(body fossil)과 흔적 화석(trace fossil)이 산출되고 있다. 이와 함께 연흔, 점이층리, 사층리 등의 퇴적구조가 관찰된다. 서귀포층의 상부에는 약 30m 두께의 화산 쇄설성 이암과 각력암(혹은 집괴암)이 나타나며, 그 위를 제4기 화산암류인 천지연조면안산암(혹은 서귀포조면암)이 피복하고 있다(고기원, 1997; 제주도, 2000).



CTA(s): Cheongiyeon trachyandesite or scoria
JBT: Jeongbangdon trachyandesite / SPS: Seoguipo Formation

그림 6 | 조사지역 및 주변 지역의 지질도(제주도, 2000).

1.3. 서귀포층의 형성 연대

서귀포층의 형성 연대는 신생대 제3기 플라이오세말에서 제4기 플라이스토세에 형성된 것으로 추정되고 있다. 그러나 형성 연대는 산출되는 화석의 대비 혹은 고지자기 연구 등을 통해 제시되었는데, 연구자들에 의해 상이한 형성 연대 값을 보이고 있다(표 5).

표 5 | 서귀포층 형성 연대 관련 연구자 및 결과

연구자	연구 방법	형성 연대
Yokoyama(1923)	연체동물 연구(27종)	상부 플라이오세
黑田德米(1931?)	연체동굴 연구(60여 종)	플라이스토세
김봉균(1965, 1972)	유공충 연구	플라이오세
김봉균(1984)	완족동물 연구(14종)	플라이오세
Yoon(1981, 1988)	연체동물 연구	
PaiK and Lee(1986)	개형충 연구	플라이오세~플라이스토세
박근배 외(1986)	개형충 연구	플라이오세~플라이스토세
Lee(1990)		
Yi *et al.*(1998)	석회질 초미 화석	플라이오세 후기~플라이스토세 초기 (180만년 전~85만년 전)
Li *et al.*(1999)	유공충 연구	플라이스토세(40만년 전~61만년 전)
민경덕 외(1986)	고지자기 연구	플라이오세 후기~플라이스토세 초기
윤상규 외(1986)	고지자기 연구	플라이스토세 중기
김인수와 이동호(2000) ǂ	초미 화석+고지자기	플라이스토세(최고 188만년 전)

ǂ 2009년 IUGS는 플라이스토세의 시작 시기를 기존의 180만년에서 258.8만년으로 정정하였음. 이에 따라 기존 논문에서 제시되었던 시기와 상이할 수 있음.

1.4. 화석 산출 현황

서귀포층은 1923년 일본학자 Yokoyama에 의해 처음으로 지질 조사가 진행되었으며, 본 층에서 27종의 연체동물 화석을 채취하여 서귀포층의 지질시대를 상부 플라이오세로 추정하였다. 1931년 Haraguchi는 제주도 전역에 대한 지질조사를 실시하여 서귀포층이라 명명하고, 서귀포층에 포함되어 있는 60여종의 연체동물 화석을 채취하여 이를 黑田德米가 감정하여 그 시대를 플라이스토세에 해당할 것이라 주장하였다(표 5). 일본학자들의 연구 이후, 최근까지 많은 고생물학적인 연구가 수행되었다(김봉균, 1972; Kim, 1984; Paik and Lee, 1984, 1986; 박근배 외, 1986; 유환수 외, 1986, 1987; Yoon, 1981, 1988; Lee, 1990; Kang, 1995; Yi *et al.*, 1998; Li *et al.*, 1999).

서귀포층에서는 패류 화석, 완족류 화석, 복족류 화석, 성게, 유공충 화석 등 동물 화석 만이 산출되고 있으며 식물 화석은 보고된 적이 없다. 이를 통해 다양한 퇴적환경이 제기되었다(표 6). 윤선(1988)은 서귀포층에서 산출되는 화석군집을 서귀포층 패류 화석군이라고 명명하였으며 일본의 옴마 동물군(Omma fauna)과 카케가와 동물군(KaKegawa fauna)과 같은 동(同)시대의 동물군이라 하였다(표 7).

1.4.1. 연체동물 화석

지금까지의 연구에서 서귀포층에서는 총 54종의 연체동물 화석이 산출되었으며, 그 중에서도 지질시대를 알려주는 표준 화석(index fossil)은 「제주송곳고둥」 *Turritella (Neohaustator) saishuensis* 과 「북륙가리비」 *Mizuhopecten tokyoensis hokurikuensis* 이다(그림 7; 윤선, 1988).

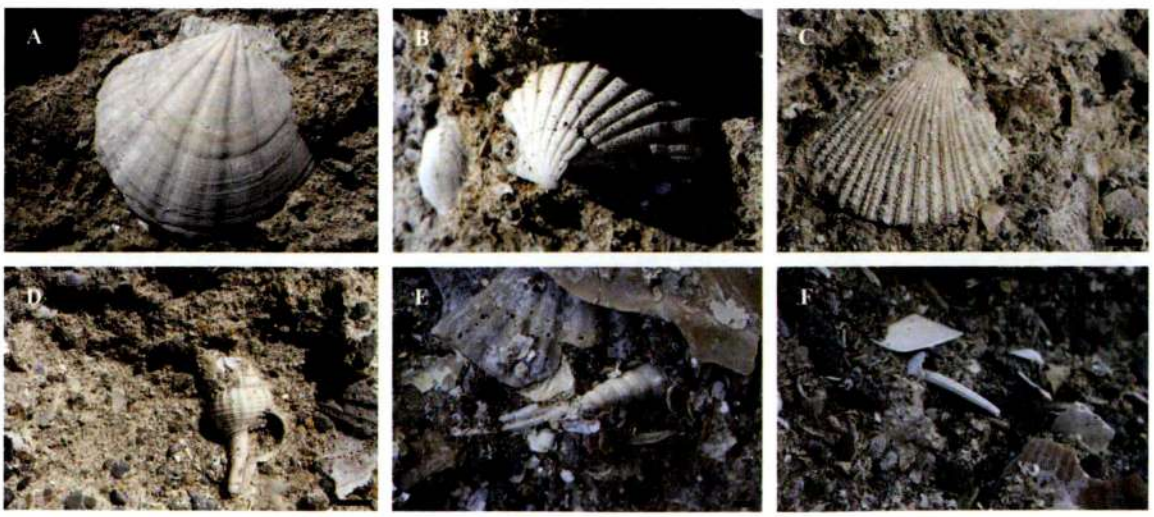


그림 7 | 서귀포층 패류 화석산지에서 산출되는 연체동물 화석(축척 1cm).

표 6 | 서귀포층에서 산출되는 화석과 퇴적 환경

분류					설명	퇴적 환경
화석	동물화석	체화석	연체동물	이매패류	54종의 패류 화석(윤선, 1988) 북륙가리비 *Mizuhopecten tokyoensis hokuensis*	일본 옴마 동물군과 카케가와 동물군 대비. 옴마 동물군: 한계류 동물군(공통종 26종). 카케가와 동물군: 난류계 동물군(공통종 5종).
				복족류	제주 송곳 고동 *Turritella* (Neohaustator) *saishueensis*	온난수 및 냉수의 영향을 혼합적으로 받는 연안의 천해 환경.
				굴족류	*Striodentalium rhabdotum*	연안의 천해 환경.
			완족동물	완족류	신종 2종 포함 14종 (김봉균, 1984)	온난한 천해 환경.
			극피동물	성게	최소 2종 이상	
			자포동물	산호	산호 골격(Haraguchi,1931)	
			척추동물	상어	상어 이빨(Haraguchi,1931)	
		미화석	유공충		73종 저서성 유공충과 18종 부유성 유공충 (김봉균, 1965, 1972)	온난한 외해(open sea)와 접한 연안(littoral) 환경.
			석회질 초미 화석		Nannofossil Zone NN19 Yi *et al.*, 1998)	서귀포층의 하부: 한류의 영향이 강한 환경에서 퇴적. 서귀포층의 중부: 한류의 영향이 다소 약화된 환경. 서귀포층의 상부: 한류의 환경이 감소된 난류 환경.
			개형충		개형충(Paik and Lee, 1986) 개형충(박근배 외, 1986)	온난해류의 영향을 강하게 받는 만에서부터 외해 환경까지 다양한 환경에서 퇴적.
			기타 미 화석		11종의 미화석 (윤환수 외, 1987)	천해 및 외해 환경에서 퇴적.
	생흔화석	10속 12종(Kim and Heo, 1995)				간혹 폭풍의 영향을 받는 전안(foreshore)에서 외안(offshore)에 걸친 환경에서 퇴적.

표 7 | 제주도 서귀포층의 연체동물 화석(김봉균 외, 1991 변형)

Classification	Species	OM	KA
BIVALVIA	*Arila* (s.s) *submirablilis* Makiyam	★	
	A. (Truncacila) *insingnis* (Gould)	★	
	Nuculana (Thestyleda) *ykoamai arai* Habe		
	Saccella sematensis (Suzki & shizuka)		
	Porterius dalli (Smith)	★	
	Glycymeris (s.s) *rotunda* (Dunker)		☆
	G. (s.s) cf. *yessoensis* (Sowerby)		
	Limopsis tokaiensis Yokoyama	★	☆
	Crenulilimopsis oblonga (Adams)	★	
	Modiolus (s.s) *kotakai* Yoon		
	Chlamys (s.s) *cosibensis* (Yokoyama)	★	
	C. (s.s) *erythrocomatus* (Dall)		
	C. (s.s) *nipponensis* Kuroda	★	
	Cryptopecten vesiculosus (Dunker)		
	Pecten (Notovola) *albicans* (Schroter)	★	
	P. (N.) *naganumanus* Yokoyama		
	Mizuhopecten tokyoensis hokurikuensis (Akama)	★	☆
	Monia umbonata (Gould)	★	
	Lima zushiensis Yokoyama		
	Wallucina lamyi (Chavan)	★	
	Lucinoma annulata (Reeve)	★	
	Felaniella (s.s) *usta* (Gould)	★	
	Megacardita coreensis (Deshyes)		
	M. ferruginosa (Adams & Reeve)		
	Cyclocardia ferruginea (Clessin)	★	
	Nipponocrassatella nana (Adams & Reeve)		
	Nemocardium (Keenaea) *samarangae* (Makiyama)	★	
	Fulria cf. mutica (Reeve)		
	Mactra sp.		
	Gobraeus kazusensis (Yokoyama)		
	Siliqua alta (Broderip) *& Sowerby*	★	
	Merocaedia sp.		
	Venus (Ventricoloidea) *foveolata* (Sowerby)		
	Mercenaria stimpsoni (Gould)	★	
	Dosinia (Phacosoma) *japonica* (Reeve)	★	
	Paphia amabilis (Philippi)	★	
	Ezocallista brevisiphonata (Carpenter)		
	Anisocorbula venusta (Gould)		
	Panopea japonica Adams	★	
	Barnea (s.s) *seoguipoensis* Yoon		
	Barnea (Anchomasa) *manilensis* (Philippi)		
	Myadora japonica Habe	★	
	M. reeveana Yokoyama		☆
	Thracia itoi Have		
	T. kakumana Yokoyama	★	
	Poromya castanea Habe		

표 7 | 계속

Classification	Species	OM	KA
SCAPHOPODA	*Striodentalium rhabdotum*	★	
GASTROPODA	*Calliostoma sp.* (cf. akoyan Kuroda)		
	Turritella (Neohaustator) *saishuensis* Yokoyama	★	
	Cryptonatica janthostomoides Kuroda & Habe	★	
	Siphnalia sp.		
	Ancilla okawai Yokoyama		☆
	Olirella fulgurata (Adems & Reeve)		
	Epitonium (Boreosala) sp.		

OM: Omma Fauna, KA: Kakegawa Fauna

1.4.2. 완족동물 화석

완족동물(brachiopoda)은 고생대 초에 나타나 현재까지 살고 있는 무척추동물로서, 패각의 모양이 이매패류(조개)와 유사하다. 서귀포층에서는 총 14종의 완족동물 화석이 산출되었으나(김봉균, 1984), 현재는 많은 종을 관찰하기 어렵다(그림 8).



그림 8 | 서귀포층 패류 화석산지에서 산출되는 완족류 화석(축척 1cm).

1.4.3. 극피동물 화석

서귀포층에서는 최소 2종류의 성게 화석이 산출되고 있다(그림 9).



그림 9 | 서귀포층 패류 화석산지에서 산출되는 성게류 화석(축척1cm).

1.4.4. 생흔 화석

서귀포층에서는 새우류에 의해 만들어진 것으로 추정되는 *Thalassinoides suevicus*와 *T. paradoxica* 및 「돌맛조개」 *Barnea*(Anchomasa) *manilensis*에 의해 만들어진 *Gastrochaenolites* 등 총 10속 12종의 흔적화석이 보고되었다(그림 10).



그림 10 | 서귀포층 패류 화석산지에서 산출되는 생흔 화석들(촉척 1cm).

이 중 돌맛조개에 의해 만들어진 생흔 화석이 특징적으로 많이 관찰된다(그림 11). 돌맛조개 *Barnea* (Anchomasa) *manilensis* 의 각은 가늘고 긴 난형이다. 각정은 전방 가까이에 위치하며 전연은 둥글고 후방으로 갈수록 좁아지며 표면에는 성장선이 관찰된다. 돌맛조개의 생흔 화석들은 사암과 이암의 경계 부분에서 관찰되며 이암의 최상부에 돌맛조개 *Barnea* (Anchomasa) *manilensis* 가 만들어 놓은 작은 사관이 무수히 관찰되고 있다(그림 11). 돌맛조개의 생흔 화석이 관찰된다는 것은 생흔 화석의 상부층과 하부층 사이에 퇴적의 중단이 있었던 것을 의미하며 이를 퇴적소극(diastem)이라한다.

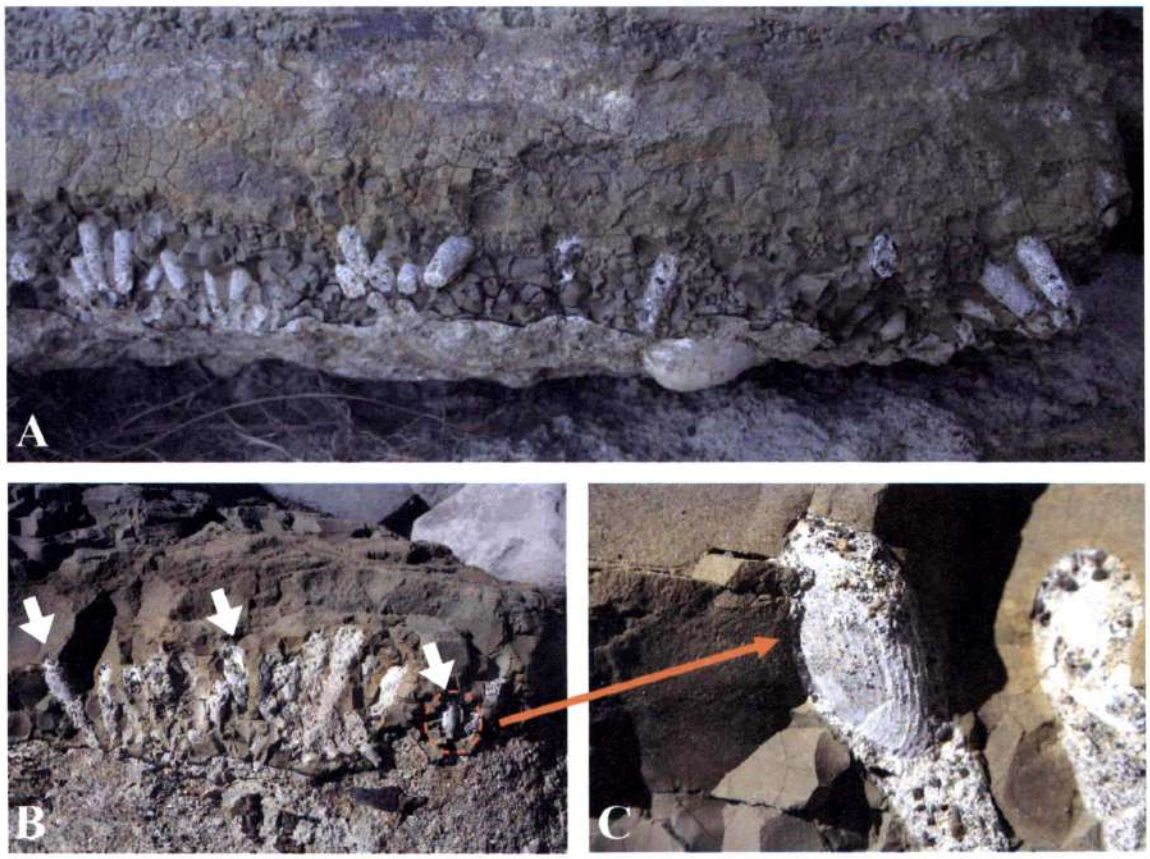


그림 11 | 돌맛조개 *Barnea* (Anchomasa) *manilensis* 가 만들어 놓은 사관들.

| 2 | 화석산지 관리 실태

제주 서귀포 패류 화석산지는 해안가에 위치하고 있어 자연적 훼손 인자를 태생적으로 갖고 있으며 이와 함께 서귀포 최대 관광지 중 하나에 자리하고 있어 관람객에 의한 훼손이 발생될 소지가 높다. 파도와 태풍 등과 같은 큰 에너지에 의해 많은 훼손과 변형이 발생하고 있으며, 화석층이 분포하는 해안 절벽의 식생의 성장과 우수의 지속적인 유입은 해안 절벽의 붕괴를 유발시키고 있다. 서귀포층 패류 화석산지에서 나타나는 훼손 원인은 ①해수에 의한 화학적 풍화, ②파도 · 태풍에 의한 물리적 풍화, ③생물 침해(목본식물) ④관람객(낚시꾼 포함)에 의한 화석산지 오염, ⑤수집 및 연구용 화석 채취 행위 등이다(표 8). 특히, 해수에 의한 화학적 풍화와 파도 · 태풍에 의한 물리적 풍화, 그리고 목본식물의 성장과 우수의 지속적 유입으로 인한 지반의 붕괴는 이곳 화석산지의 가장 위험한 훼손 인자이다.

표 8 | 제주 서귀포층 패류 화석산지 주요 훼손 원인

화석산지 훼손 위험 인자	
① 해수에 의한 화학적 풍화	높음
② 파도 · 태풍에 의한 물리적 풍화	높음
③ 생물 침해(목본식물)	높음
④ 관람객(낚시꾼 포함)에 의한 오염	보통
⑤ 화석 채취 행위	보통

| 3 | 화석산지 주요 훼손 원인 분석

3.1. 해수에 의한 화학적 풍화

화석산지에서 발생되는 해수에 의한 화학적 풍화는 차단이 불가능하다. 화석산지가 안고 있는 태생적 한계이다. 화석산지에 유입되는 해수를 근본적으로 차단하기 위해서는 매우 큰 경제적 비용이 발생한다. 그리고 서귀포층 패류 화석산지와 같은 곳에서는 해수의 차단을 위한 시설물 설치와 보존 약품 처리 등은 오히려 더 큰 부작용을 발생할 수 있다.

화석산지가 더 훼손되기 전에 원형복원 작업이 필요하다. 주기적인 사진(항공 사진 포함)이나 동영상 촬영 등의 기록과 함께, 3D 실측을 통한 원형보존 작업이 병행되어 제주도 형성사 연구에 매우 중요한 역할을 하고 있는 화석산지의 지사를 기록하는 작업이 이루어져야 할 것이다.

3.2. 파도에 의한 물리적 풍화

서귀포층 패류 화석산지는 전면이 바다와 맞닿아 있어 파도와 태풍의 영향을 직접적으로 받고 있다(그림 12). 따라서 해수에 의한 화학적 풍화와 함께 파도에 의한 물리적 풍화는 화석산지의 훼손과 지형 변형 등을 빠르게 촉진하는 촉매 역할을 한다. 특히, 태풍과 같은 강한 에너지가 발생하면 화석산지에 매우 치명적인 영향을 미친다.

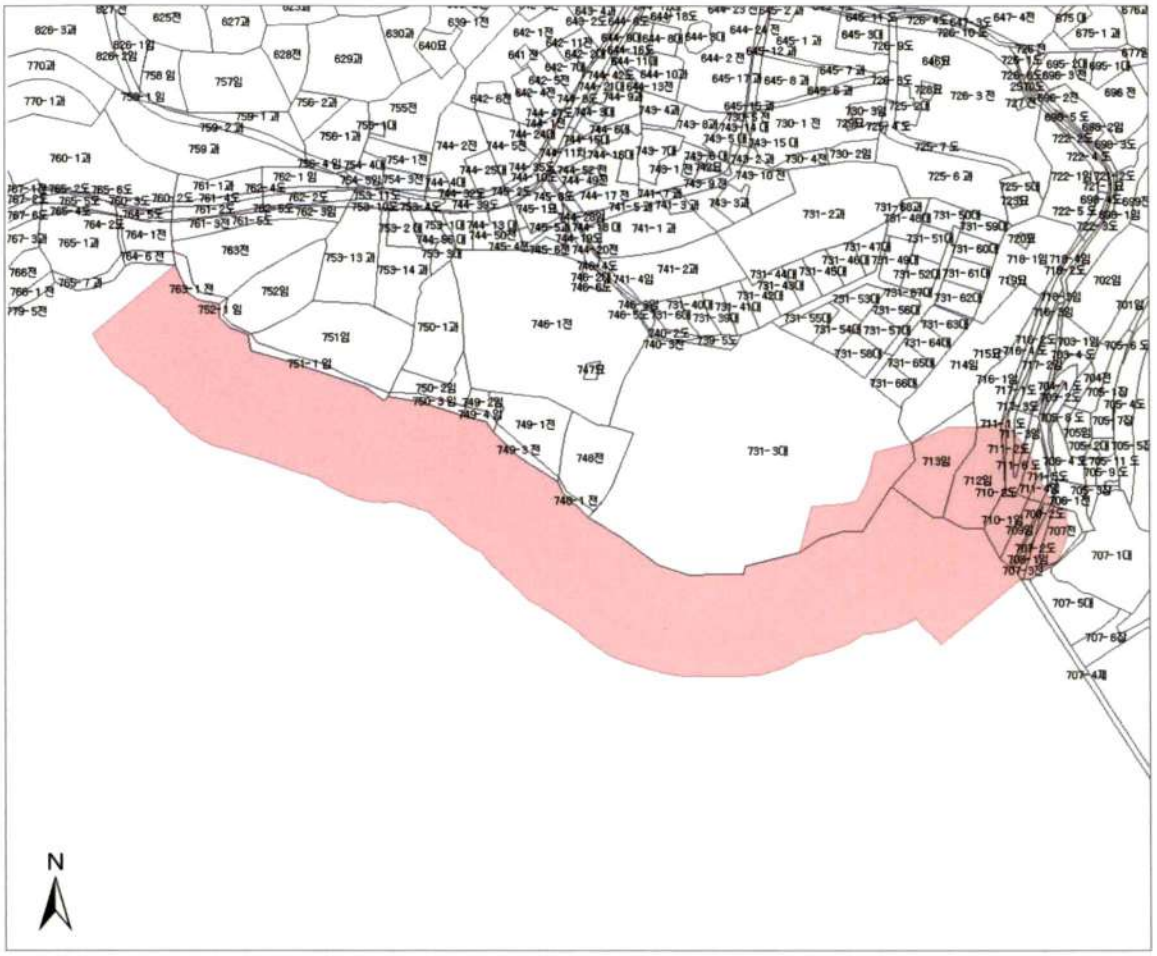


그림 12 | 서귀포층 패류 화석산지 지정 지역(분홍색, 1:3,000).

화석산지를 보호하기 위해 1992년 해식 방지용 방파제를 17.2m 구축하였으나 현재 방파제는 그 기능을 다 하지 못하고 있다. 방파제가 구축되어 있는 지점에는 화석 전석들이 거의 남아 있지 않다(그림 13). 파도나 태풍에 의해 훼손되고 멸실되는 것을 막기 위해서는 대규모 시설의 설치가 불가피하나, 화석산지의 지질학적 특성, 자연 경관, 경제적 비용대비 효율성 등을 고려한 종합적 판단이 필요하다. 영국의 세계자연유산인 「The Dorset and East Devon Coast」의 경우에는 화석산지의 자연적 붕괴를 그대로 허용하고 있다. 대신 주기적인 모니터링과 조사를 실시하여 화석산지의 변화 모습을 지속적으로 기록하고, 새롭게 발견되는 화석이나 중요한 화석들은 방문자센터 혹은 연구기관으로 옮겨 연구 · 전시하고 있다. 따라서 연약한 사암과 이암으로 구성된 지층 구조와 수직에 가까운 해안 절벽으로 이루어진 서귀포층 패류 화석산지 역시 「The Dorset and East Devon Coast」와 같은 관리 방안의 도입도 검토해 볼 필요가 있다.

3.3. 목본식물에 의한 해안 절벽 붕괴

화석산지의 해안 절벽 중 · 상부에는 목본식물들이 무성히 자라고 있다(그림 13). 이들 목본식물들이 성장하면서 식물 뿌리가 발달하여 절벽의 붕괴를 유발하고 있다. 특히, 여름철 우기에 내린 많은 빗물들은 퇴적층의 공극에 유입되어 결합력을 약화시켜 식물 뿌리에 의한 붕괴를 더욱 빠르게 촉진하게 된다. 이를 방지하기 위해서는 위험 범위에 들어가는 목본식물들의 주기적인 제거 작업이 필요하다. 주기적인 위험 범위에 들어가는 목본식물의 제거만으로도 절벽의 붕괴 시간을 지연시키는 효과가 있을 것으로 판단된다. 절벽의 붕괴는 또 다른 새로운 화석의 출현을 의미하는 것이기도 하다. 이때는 반드시 전문가를 통한 조사와 연구가 이루어질 수 있도록 하여야 하며, 이를 위해서는 주기적인 모니터링 체계의 구축이 선행되어야 한다.



그림 13 | 서귀포층 패류 화석산지의 모습(목본식물이 우세하게 자라고 있음).

| 4 | 모니터링 Data sheet 작성

표 9 | 화석산지 모니터링 체크 리스트: 천연기념물 제195호 제주 서귀포층 패류 화석산지(2011)

화석산지 모니터링 체크 리스트 조사일: 2011. 6. 30.

① 지정 번호	천기 499호	② 지정 명칭	제주 서귀포층 패류 화석산지
③ 소 재 지	제주 서귀포시 서홍동 707번지 등		

모니터링 항목		조 사 내 용
④ 사이트 환경		□산 ☑바닷가 □섬 □하천 □도로 □ 기타( )
⑤ 접근성	내륙(바닷가)	□진입 불가 □소형 차량 진입 가능 ☑모든 차량 진입 가능
	섬	□무인도 □유인도(여객선 운항 횟수 기재/일)
⑥ 관광지 개발 여부		□해당 없음 □준관광지 ☑관광지
⑦ 1일 방문자 수		□10명 미만 □10~30명 미만 □30~50명 미만 □50~100명 미만 ☑100명 이상
⑧ 문화재 구역 관리 실태		□부적합 ☑보통 □우수 □대단히 우수 • 화석산지는 서귀포 천지연폭포 남쪽 해안에 위치하여 파도나 태풍과 같은 자연적 풍화 · 침식으로 지속적인 훼손을 받고 있음. 또한, 유명 관광지들과 동일한 관람공간에 위치하고 있어 관광객에 의한 인위적 훼손 우려 높음. 관리인 상주 및 소규모 방문자센터 필요. • 화석산지 완충구역(buffer zone) 확보 필요. – 화석산지는 완충구역 없이 핵심구역으로 진입하기 때문에 관람객의 사전 지식부재와 문화재라는 사실 인식을 하지 못하게 됨. 이는 화석산지로의 무분별한 출입, 낚시꾼에 의한 오염, 노점상 설치, 쓰레기투기, 애완동물 등에 의한 배설물 오염과 같은 훼손 원인을 제공하고 있음.
⑨ 화석 현황		• 연체동물(이매패류, 복족류, 굴족류) • 완족동물(신종 2종 포함 14종) • 극피동물(성게) • 자포동물(산호) • 척추동물(상어) • 미화석(유공충, 개형충, 석회질 초미화석 등) • 생흔화석(10속 12종)

⑩ 훼손 현황	• 자연적 원인(파도, 태풍)에 의한 훼손이 빠르게 진행되고 있음. – 사암과 이암으로 구성된 미고결 전선들의 훼손 속도가 빠름. – 강한 파도와 태풍에 의해 화석산지 모습이 변형되고 있음. • 목본식물에 의한 해안 절벽 붕괴. – 목본식물의 성장과 여름철 우기 시, 지층 내부로의 빗물의 유입은 해안 절벽의 붕괴를 빠르게 일으키고 있음.
⑪ 생물(식생) 침해	• 해양 생물(따개비, 조류 등)에 의한 생물 침해 발생. • 초본 및 목본식물에 의한 생물 침해 발생.
⑫ 추가 확인된 화석	• 올해 태풍 후, 성게 화석이 많이 포함된 전석과 새우에 의해 만들어진 생흔화석 *Thalassinoides* sp. 전석이 새롭게 노출됨.
⑬ 조사자 의견	• 화석산지의 훼손 진행 상황 주기적 모니터링 필요. • 화석산지 내 위험 범위에 들어있는 목본류 제거작업 필요. • 화석산지 입구 주변 소규모 완충 지대(방문자 센터 등) 확보 필요. • 화석산지 관리인(해설사) 상주 및 노점상 등 주변 정비 필요.
⑭ 사진 촬영	전경 및 개별 화석, 위험사면 등 100여 장 촬영(Tiff 파일 및 JPEG 파일).



2 천연기념물 제499호 남해 가인리 화석산지 2010~2011

| 1 | 화석산지 현황

1.1. 화석산지 개요

남해 가인리 화석산지는 경남 남해군 창선면 가인리 해안가에 위치하고 있다(그림 14). 화석산지는 창선면 고두마을과 천포마을 사이의 작은 해안에 위치하며 입구에는 세심사라는 작은 절이 있다. 주변 지역은 경사가 높은 산들로 이루어져 있으며, 이곳에서는 대규모 식용 고사리 재배가 이루어지고 있다. 화석산지 주변으로는 연봉산(214m), 망치산(264m), 국사봉(216m) 등이 있으며 화석산지의 남서쪽에는 창선면에서 가장 높은 대방산(470m)이 있다.

가인리 화석산지는 경상남도 기념물 제257호로 지정되어 있다가 2008년 12월 26일 「천연기념물 제499호 남해 가인리 화석산지」로 승격되었다. 화석산지는 조간대에 위치하여 만조시에는 화석산지 전체가 바닷물에 잠기게 되며, 파도와 해수에 의한 물리 · 화학적 풍화가 진행되고 있다. 특히, 화석산지는 작은 만(灣)을 사이에 두고 양쪽 측면에 위치하고 있어 비교적 파도에 의한 침식보다는 해수에 의한 화학적 풍화가 심할 것으로 보인다. 화석산지의 연간 강수량은 평균 1,500mm~1,800mm 사이로 우리나라 연평균 강수량인 1,245mm 보다 높으며 기온은 해안 지역에 위치하여 기온의 연교차가 크지는 않다(김경수, 2009).

가인리 화석산지는 1997년 동명정보대학교에 재학 중이던 장우진 학생(남해 가인리 출신)이 발견하여 진주교육대학교의 서승조 교수에 의해 기초 연구가 수행되었다(서승조, 1997; 서승조, 1998). 이후 화석산지에서는 다양한 화석들이 많이 발견되어 고생물학적 연구와 문화재 원형 기록화 연구 등이 많이 진행되었다(Kim *et al.*, 2006; 김정률 외 2007; Lockley *et al.*, 2008; 김경수, 2009).

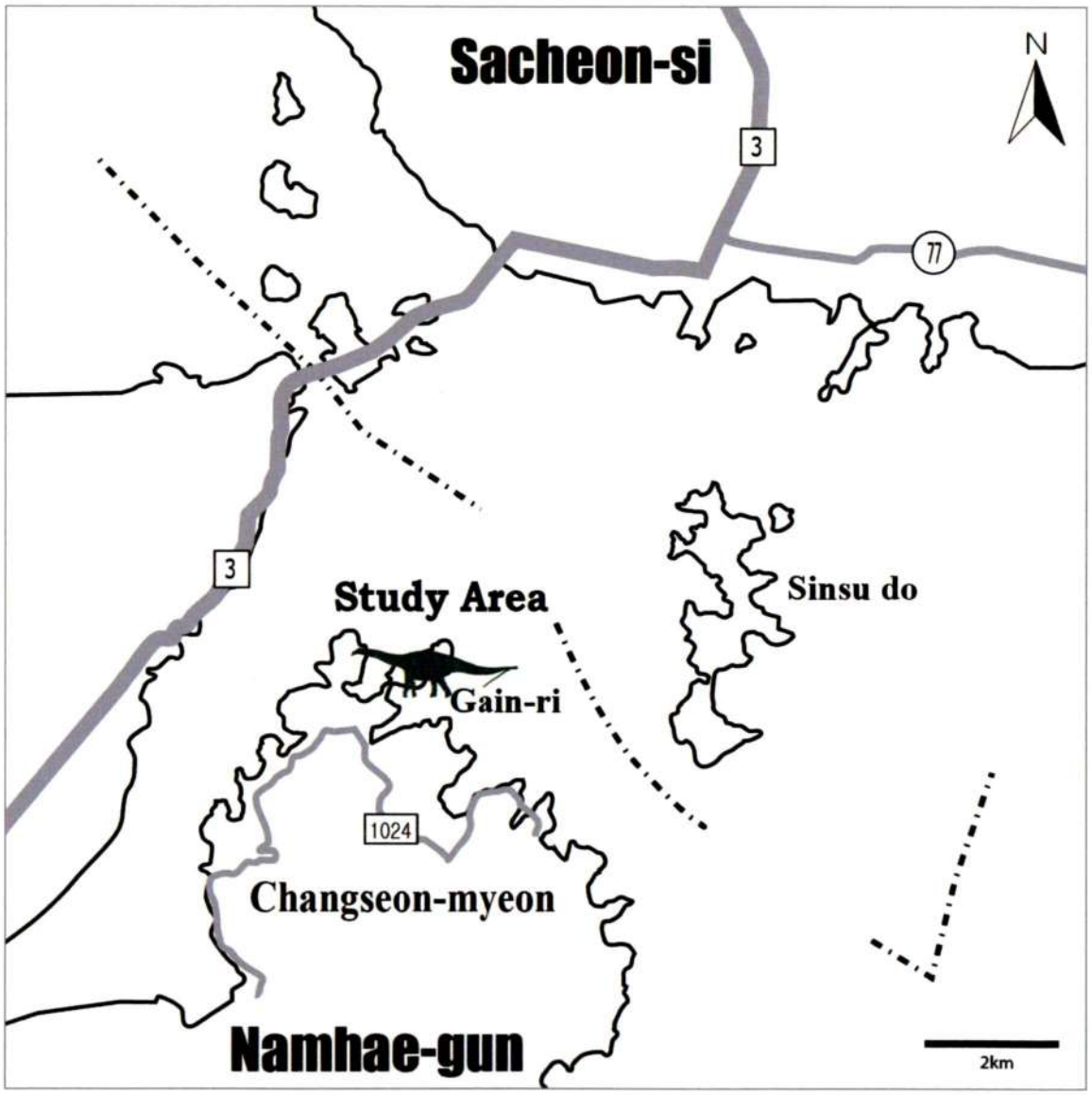


그림 14 | 모니터링 조사 지역 및 연구 지역 위치도(공달용 외, 2010).

1.2. 조사 지역의 지질

남해 창선면 가인리 지역은 중생대 백악기 함안층이 분포하며, 화석산지는 함안층의 중-상부에 해당하는 지역으로서 주로 실트질 미사암, 흑색 세일, 세립질 내지 조립질 사암, 세일과 사암의 교호층으로 구성되어 있고, 간혹 석회질 단괴가 관찰된다(그림 15). 화성 활동에 의한 관입암이 암상의 형태로 산출되며, 이로 인해 화석산지의 암석이 전반적으로 약한 접촉 변성작용을 받았다. 크고 작은 사층리와 층리가 잘 발달되며, 연흔, 건열, 빗방울 자국, 목재 화석 파편 등이 공룡발자국 및 새발자국 화석과 함께 흔하게 산출된다.

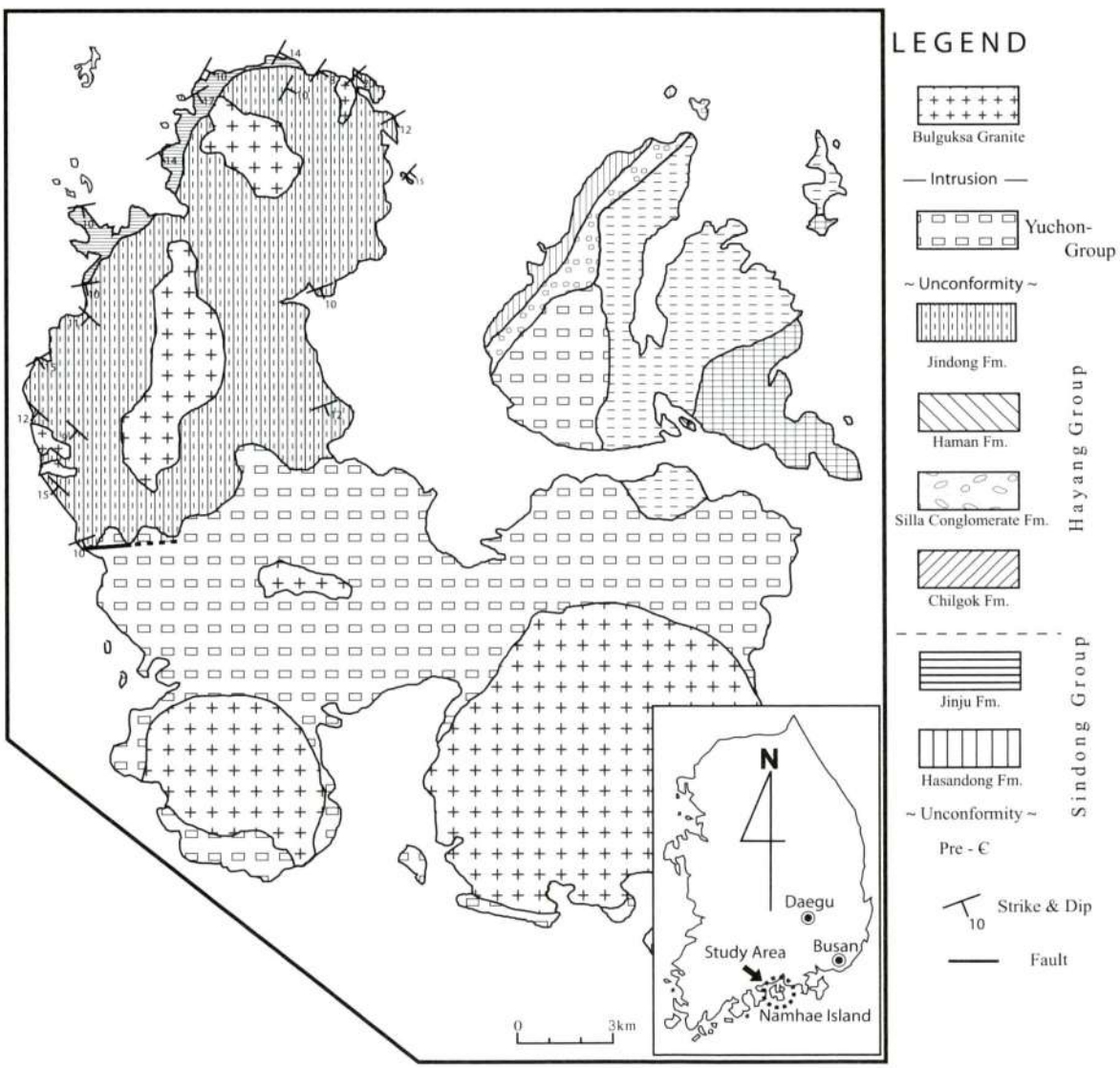


그림 15 | 조사지역 및 주변 지역의 지질도(공달용, 2004).

1.3. 화석 산출 현황

남해 가인리 화석산지에서는 용각류, 조각류, 수각류의 공룡발자국과 익룡발자국 화석이 발견되며(서승조, 1997; 서승조, 1998), 새발자국 화석으로 이그노토르니스(*Ignotornis yangi*)가 발견된다(Kim *et al.*, 2006). 또한, 소형 육식공룡(수각류) 발자국 화석인 *Minisauripus* ichnosp. 도 발견된다(Lockley *et al.*, 2008). 이 외에도 다양한 화석과 퇴적구조들이 발견되고 있다(표 10).

표 10 | 가인리 화석산지에서 산출되는 화석과 퇴적구조(김경수, 2009 변형)

분 류					설 명
화석	생흔 화석	척추동물 생흔 화석	공룡발자국	용각류	다양한 크기의 용각류 발자국. (20개, 보행렬 포함)
				수각류	미분류 수각류 발자국.
					Minisauripus cf. *zhenshuonani*.
					Grallator ichnosp.
				조각류	미분류 조각류 발자국.
			공룡 피부	공룡의 피부 인상 화석.	
			익룡발자국	익룡	사람 발자국과 유사한 형태를 보임. 보행렬 길이: 최대 9m.
			새발자국	*Ignotornis yangi* - 모식 표본지(Type locality).	
				Koreanaornis hamanensis.	
			파충류 발자국	미분류 파충류 발자국 화석.	
		무척추동물 생흔 화석	*Beaconites coronus, Paeophycus tubularis, Skolithos magnus, Cochlichnus anguineus, Diplocraterion* ichnosp.		
	실체 화석	규화목			파편의 형태로 산재됨.
		탄화목			직경 10cm 이상의 것들이 곳곳에 산재됨.
퇴적 구조	빗방울 자국, 물결 자국, 사층리, 건열				

1.3.1. 공룡발자국

공룡 및 익룡발자국은 약 54㎡의 면적의 암반에 약 100여 개의 발자국이 남겨져 있으며(그림 16), 공룡발자국은 3종류(용각류, 조각류, 수각류)가 관찰된다(그림 17). 이 중 용각류의 발자국이 20개로 가장 많다. 용각류 발자국은 크기가 매우 다양하게 산출된다.



그림 16 | 가인리 공룡 및 익룡발자국 화석산지(S1) 모식도.

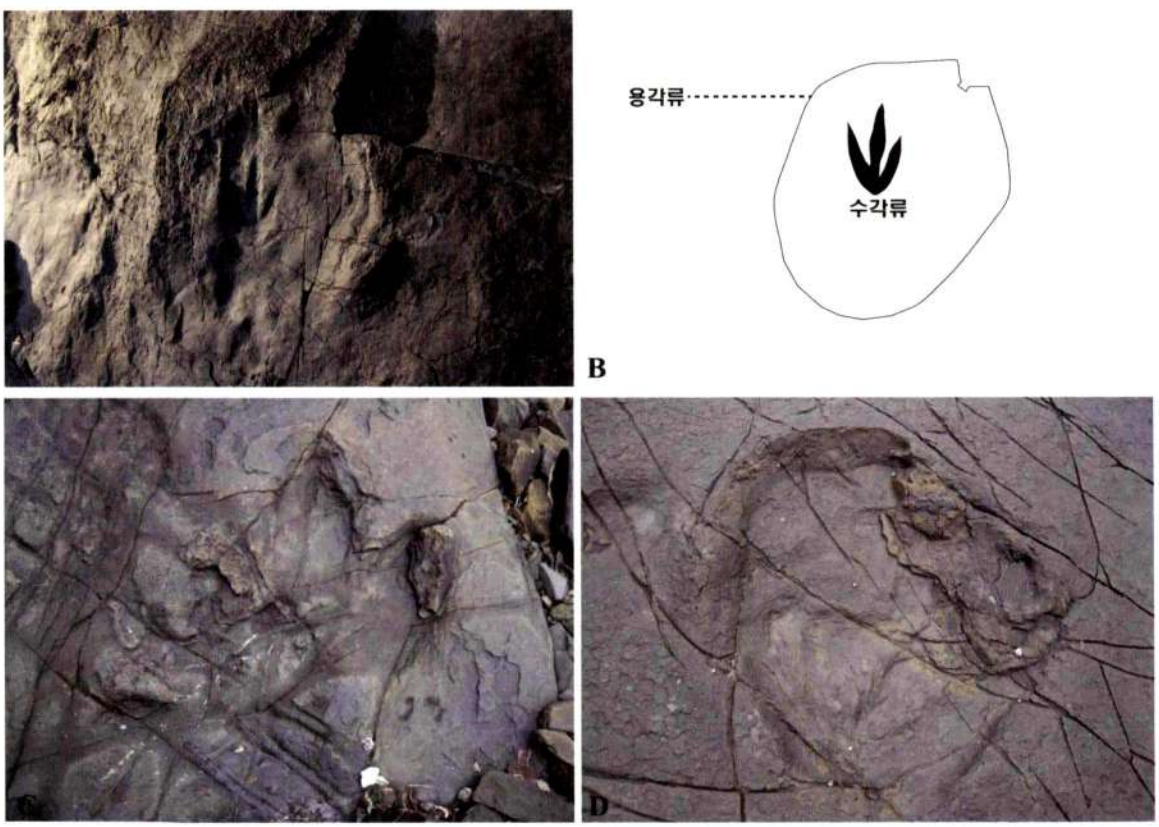


그림 17 | 화석산지에서 관찰되는 공룡발자국(A: 용각류와 수각류, B: A의 모식도, C: 조각류, D: 용각류).

이는 한 마리에 의해서 만들어진 흔적이라기보다는 적어도 3마리 이상의 용각류 공룡에 의해 형성된 것으로 여겨진다. 조각류와 수각류의 발자국은 모두 10여 개가 관찰된다. 흔적이 선명하지 않아 정확한 분류가 어려우나, 조각류로 보이는 발자국이 더 우세하게 산출되는 것으로 판단된다. 조각류는 적어도 4마리 이상의 공룡에 의해 남긴 발자국이 관찰되며 발자국의 길이와 폭은 각각 320mm~330mm 와 250mm~300mm이다.

육식공룡(수각류)의 발자국이 3개 관찰되는데, 그 중 1개의 발자국은 용각류 발자국 안에 찍혀 있다(그림 17 A, B). 이는 용각류 공룡이 지나 간 후, 수각류 공룡이 지나간 것을 의미하는 것으로 이 발자국은 용각류와 수각류 공룡의 선 · 후 관계를 알 수 있는 중요한 자료가 된다.

1.3.2. 익룡발자국

공룡발자국과 함께 익룡발자국이 발견된다(그림 16, 18). 처음 발견될 당시에는 특이 용각류 혹은 수각류 발자국으로 알려졌으나 이후 익룡의 뒷발자국으로 밝혀졌다(서승조, 1997). 우리나라에서 익룡의 첫 보고는 해남 우항리 지역의 우항리층이다. 이 곳에서는 400개 이상의 익룡 발자국이 보고되었다.

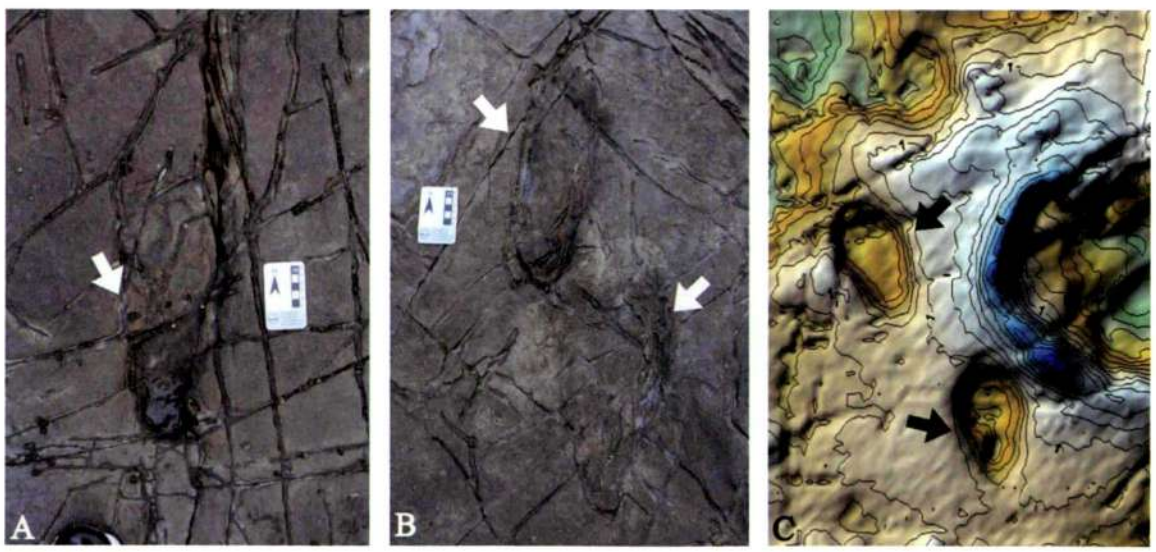


그림 18 | 화석산지에서 관찰되는 익룡발자국(A, B)과 3D 작업에 의한 컬러램프(C).

이들 발자국 화석은 익룡이 두발 혹은 네발로 걸었음을 지시하며, 발자국의 형태로 보아 테로닥틸로이드(pterodactyloid) 종류로 해석되었다(허민 외 1996). 익룡의 앞발 발가락은 4개인데 그 중 4번째 발가락이 날개를 형성하고 있으며 이 앞발이 지표에 찍힐 때는 아주 다양한 모양을 나타낸다. 발자국이 찍힐 때는 주로 3개의 발가락이 찍히지만 경우에 따라 4번째 발가락(날개가 이어지는 부분)이 찍히기도 한다. 반면, 익룡의 뒷발은 마치 사람의 발처럼 생겼는데, 찍히는 흔적도 사람 발자국 혹은 긴 고구마 형태이다. 가인리 화석산지에서 산출되는 익룡발자국은 약 60여 개이며 그 형태와 크기는 사람의 발자국과 유사하다. 최소 6마리의 익룡에 의해 형성된 것으로 보이며, 발자국의 길이와 폭은 각각 260mm와 120mm 정도 이다. 앞 발자국의 흔적은 전혀 없고 뒷 발자국만 남겨져 있는 걸로 보아 뒷발로만 걸었던 것으로 보인다. 보행폭이 매우 좁게 나타나며 가장 긴 보행렬은 약 9m 정도로 꽤 긴 편이다.

1.3.3. 소형 육식공룡(*Minisauripus*) 발자국

화석산지에서는 2006년 국내에서 처음으로 소형 육식공룡발자국이 발견되었다(그림 19). 발자국의 크기는 길이(length)가 3cm, 폭(width)이 2cm이다. 이 공룡발자국 화석은 육식공룡(수각류)의 것으로 판단되며, 학명으로는 "소형 공룡발자국"이라는 의미의 미니사우리푸스(*Minisauripus* cf. *zhenshuonani*)로 분류되었다(Lockley *et al.*, 2008). 발견된 발자국은 2개이며 건열과 함께 발견된다. 그러나 각각의 발자국은 서로 다른 방향을 나타내고 있어 2마리의 공룡이 서로 다른 방향으로 걸어가고 있었던 것으로 보인다. 가인리 화석산지 인근 지역에서 2007년 더 작은 크기의 육식공룡발자국이 발견되었다(그림 19). 이 발자국 화석 중 가장 작은 발자국은 길이가 1.27cm이고 폭은 1.06cm로 기존에 알려진 발자국 보다 훨씬 작은 크기이다. 중국의 사천지역에서 발견된 것(2cm)보다는 약 37%가 작고, 산둥지역에서 발견된 것(2.5cm)보다는 약 50%가 작다. 가인리에서 발견된 것(3cm)보다는 58%가 작은 크기이다. 또한, 지금까지 공인된 세계 최소 공룡발자국은 스코틀랜드의 스카이섬(Isle of Skye)에서 발견된 수각류 공룡발자국으로, 그 길이는 1.78cm이고 폭은 1.16cm이다. 그러나 이번에 발견된 남해군 창선의 공룡발자국 화석은 기네스북에 등재된 기록보다도 약 29%가 더 작은

크기이다. 남해지역은 국내에서 가장 작은 육식공룡발자국과 국내 최초 두 발가락 육식공룡 발자국 등이 발견된 지역으로 이들 지역은 모두 인접해 있다. 따라서 남해 가인리와 그 인근 지역에 대한 정밀 조사가 요구된다.

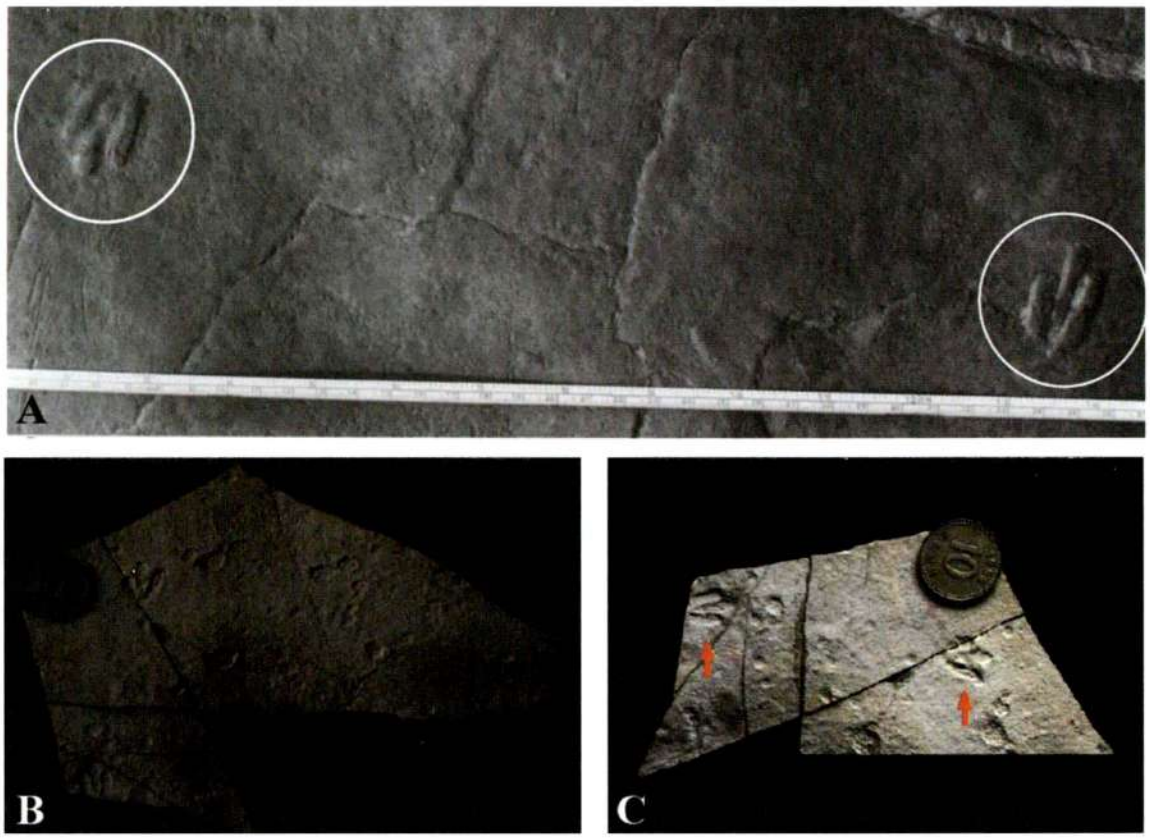


그림 19 | 소형 육식공룡(*Minisauripus*) 발자국(김경수, 2009; Kim *et al.*, 2009).

1.3.4. 이그노토르니스(*Ignotornis yangi*) 새발자국

전 세계적으로 중생대 새발자국 화석은 총 25종(species)이 발견되었으며, 이 중 중생대 백악기 새발자국 화석은 우리나라를 포함하여 동아시아, 아프리카, 북미 등에서 지금까지 19종이 보고되었다(공달용, 2010). 우리나라에서는 1969년 김봉균에 의해 코리아나오르니스 함안엔시스 *Koreanaornis hamanensis*(Kim, 1969; Lockley *et al.*, 1992)가 보고된 이래 6종의 중생대(백악기)

새발자국 화석이 보고되었는데, 이는 한반도가 새의 진화 연구에 매우 중요한 지역임을 보여준다. 가인리 화석산지에서는 코리아나오르니스(*Koreanaornis*)와 함께 이그노토르니스 양아이(*Ignotornis yangi*)로 명명된 새로운 새발자국 화석이 발견되었다(Kim *et al.*, 2006). 이그노토르니스(*Ignotornis*)는 중생대 새발자국 화석 중 처음으로 보고된 발자국에 붙여진 이름이다(Mehl, 1931). 이 새발자국은 미국 콜로라도 골든(Golden) 근교의 Dakota 층군(Late Albian에서 Early Cenomanian)의 사암에서 발견되었으며, 이그노토르니스 멕코넬아이(*Ignotornis mcconneli*) 로 명명되었다(그림 20 A). 이그노토르니스 양아이(*Ignotornis yangi*)는 국내에서 처음으로 발견, 보고되었으며, 가인리 화석산지는 이 새발자국 화석의 모식산지(Type Locality)에 해당한다. 이그노토르니스 양아이(*Ignotornis yangi*)는 물갈퀴 달린 새발자국 화석으로 세계에서 가장 오래된 새발자국 화석이다(그림 20 B).

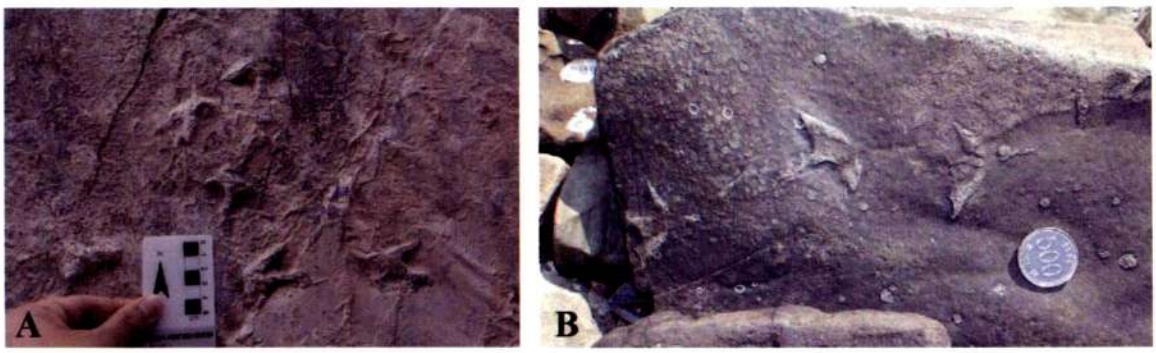


그림 20 | 이그노토르니스(*Ignotornis*) 새발자국 화석.
A: 미국 콜로라도 골든(Golden) 근교의 Dakota 층군에서 발견된 이그노토르니스 멕코넬아이(*Ignotornis mcconneli*) 새발자국 모습, B: 남해 가인리 화석산지에서 산출되는 이그노토르니스 양아이(*Ignotornis yangi*) 새발자국 화석의 모습.

| 2 | 화석산지 관리 실태

남해 가인리 화석산지는 천연기념물로 지정되기 이전부터 「경상남도 기념물 제257호(2005년 3월)」로 지정 · 관리되어 왔기에 불법 화석 채취, 낙서 및 각인 행위, 각종 생활 쓰레기에 의한 오염 등 인위적 훼손은 다른 지역보다 덜한 편이다. 그러나 화석산지가 해안가에 발달하고 있어 자연에 의한 태생적 위험 인자를 안고 있다. 가인리 화석산지에서 나타나는 훼손 원인은 ① 해수에 의한 화학적 풍화, ② 파도에 의한 물리적 풍화, ③ 암석의 균열, 박리, 박락 현상, ④ 생물 침해(목본식물), ⑤ 세심사(寺刹) 규모 확대 등이다(표 11).

특히, 해수에 의한 화학적 풍화와 파도에 의한 물리적 풍화는 이곳 화석산지의 가장 위험한 훼손 인자이다. 이로 인해 화석산지 곳곳에서는 균열, 박리 및 박락 현상 등이 발생하고 있다. 세심사는 현재 위험 인자가 아니지만, 화석산지의 입구에 있으며, 계속 그 규모를 확대하고 있다. 이는 앞으로 화석산지의 잠재적 위험 인자로 작용할 가능성이 있다. 또한, 창선면 상죽리 부근에서부터 가인리 화석산지로 연결되는 국도 3호선 도로에는 7개의 문화재 안내 표지판이 설치되어 있는데, 안내 표지판의 내용이 잘못되어 있다. 이에 대한 개선 작업이 요구된다.

표 11 | 남해 가인리 화석산지 주요 훼손 원인

화석산지 훼손 위험 인자	
① 해수에 의한 화학적 풍화	높음
② 파도에 의한 물리적 풍화	높음
③ 암석의 균열, 박리, 박락 현상	높음
④ 생물 침해(목본식물)	보통
⑤ 세심사(寺刹) 규모 확대	잠재적 위험 인자

| 3 | 화석산지 주요 훼손 원인 분석

가인리 화석산지에서 나타나는 훼손 원인 중 「2010천연기념물 화석산지 모니터링 조사 보고서」에서 다룬 ①해수에 의한 화학적 풍화, ②파도에 의한 물리적 풍화, ③암석의 균열, 박리, 박락 현상, ④생물 침해(목본식물)에 대한 실태와 대책에 관한 부분은 이번 보고서에서 제외하고(2010년 보고서 pp. 30~35. 참조), 세심사의 규모 확대 및 문화재 안내 표지판에 대해 논의하고자 한다.

3.1. 세심사의 규모 확대

가인리 화석산지 입구에는 세심사라 불리는 작은 사찰이 있고, 해아 갯벌에서는 수산물 채집 활동이 일어나고 있지만 현재까지는 화석산지에 큰 위험 인자로 보이지 않는다. 다만, 세심사의 규모가 해가 갈수록 커지고 있는데 이에 대한 모니터링이 필요하다(그림 21). 화석산지의 보존에 가장 큰 영향을 주는 것은 자연재해와 더불어 토목공사와 같은 개발 행위와 개발 행위에 따른 이차적 위험도의 증가이다. 향후, 세심사와 긴밀한 협의가 요구된다.



그림 21 | 화석산지 입구에 자리한 세심사 및 화석산지 전경.

3.2. 문화재 안내 표지판 오류

남해군 남해읍에서 창선면 가인리 화석산지를 가다보면 도로변에 설치되어 있는 많은 안내 표지판을 볼 수 있다. 이 중 창선면 상죽리 부근에서부터 가인리 화석산지로 연결되는 국도 3호선 도로에는 화석산지를 알리는 7개의 문화재 안내 표지판이 설치되어 있는데, 안내 표지판의

내용이 잘못되어 있다(그림 22). 가인리 화석산지는 경상남도 기념물 제257호로 지정되어 있다가 2008년 12월 26일 「천연기념물 제499호 남해 가인리 화석산지」로 승격되었다. 천연기념물로 지정된 지 3년 정도의 시간이 흘렀으나 국도 3호선에 설치되어 있는 문화재 안내 표지판에는 가인리 화석산지를 경상남도 기념물 제257호로 소개하고 있다. 빠른 시일 내에 개선 작업이 이루어져야 할 것이다.



그림 22 | 국도3호선에서부터 가인리 화석산지까지 설치된 안내 표지판과 위치.

| 4 | 모니터링 Data sheet 작성

표 12 | 화석산지 모니터링 체크 리스트: 천연기념물 제499호 남해 가인리 화석산지(2011).

화석산지 모니터링 체크 리스트 조사일: 2011. 7. 15.

① 지정 번호	천기 499호	② 지정 명칭	남해 가인리 화석산지
③ 소 재 지	경남 남해군 창성면 가인리 일원		

모니터링 항목		조 사 내 용
④ 사이트 환경		□산 ☑바닷가 □섬 □하천 □도로 □ 기타( )
⑤ 접근성	내륙(바닷가)	☑진입 불가 □소형 차량 진입 가능 □모든 차량 진입 가능
	섬	□무인도 □유인도(여객선 운항 횟수 기재/일)
⑥ 관광지 개발 여부		☑해당 없음 □준관광지 □관광지
⑦ 1일 방문자 수		☑10명 미만 □10~30명 미만 □30~50명 미만 □50~100명 미만 □100명 이상
⑧ 문화재 구역 관리 실태		□부적합 ☑보통 □우수 □대단히 우수 • 주차 공간 부족 – 주차장이 확보되어 있지 않아 도로변 및 사찰(세심사) 주변에 차를 주차하고 있음. 안전한 관람을 위한 공간 확보 필요함. • 문화재 안내 설명판 오류 – 안내 설명판의 내용이 잘못되어 있음. 익룡발자국을 "특이 용각류발자국"으로 표기하고 설명하고 있음. • 국도 3호선~가인리 화석산지 도로에 설치된 문화재 안내 표지판 오류 – 「경상남도 기념물 제257호」→「천연기념물 제499호」 수정 • 2003년 태풍 매미로 인해 훼손된 새발자국 분포지에 대한 정비 필요.
⑨ 화석 현황		• 공룡발자국(초식공룡 용각류와 조각류 및 육식공룡 수각류) • 익룡발자국 • 미니사우리푸스 국내 최초 발견지 • 새발자국 화석(2종) – 이그노토르니스 양아이(*Ignotornis yangi*) 모식산지 – 코리아나오르니스 함안엔시스(*Koreanaornis hamanensis*) • 공룡피부인상화석 발견지

⑩ 훼손 현황	• 화학적 및 물리적 풍화, 3방향 절리, 타포니 현상 등으로 인해 화석산지 훼손 진행 속도 빠름. 원인 제거를 위한 종합 진단 및 주기적인 모니터링 필요.
⑪ 생물(식생) 침해	목본식물에 의한 생물 침해 발생.
⑫ 추가 확인된 화석	-
⑬ 조사자 의견	• 화석산지의 훼손 진행 상황 주기적 모니터링 필요. • 훼손 원인 중 주변의 크고 작은 암석들의 지속적인 제거 작업 실시. • 태풍 매미에 의해 덮여 있는 이그노토르니스 양아이(*Ignotornis yangi*) 모식산지 주변 정리. 화석산지의 노두가 퇴적물에 의해 덮여 있음. 퇴적물 제거 및 그 자리에 표본 모식지라는 표지판 설치 고려. • 화석산지 설명판 및 문화재 안내 표지판 빠른 시간 수정 필요.
⑭ 사진 촬영	화석산지 전경 및 세부 사진 촬영(*. Tiff/*. JPEG 파일)



표 13 | 화석산지 모니터링 체크 리스트: 천연기념물 제499호 남해 가인리 화석산지(2010).

화석산지 모니터링 체크 리스트 조사일: 2010. 3. 17.

① 지정 번호	천기 499호	② 지정 명칭	남해 가인리 화석산지
③ 소 재 지	경남 남해군 창성면 가인리 일원		

모니터링 항목		조 사 내 용
④ 사이트 환경		□산 ☑바닷가 □섬 □하천 □도로 □ 기타( )
⑤ 접근성	내륙(바닷가)	□진입 불가 ☑소형 차량 진입 가능 □모든 차량 진입 가능
	섬	□무인도 □유인도(여객선 운항 횟수 기재/일)
⑥ 관광지 개발 여부		☑해당 없음 □준관광지 □관광지
⑦ 1일 방문자 수		☑10명 미만 □10~30명 미만 □30~50명 미만 □50~100명 미만 □100명 이상
⑧ 문화재 구역 관리 실태		□부적합 ☑보통 □우수 □대단히 우수 • 주차 공간 부족 – 주차장이 확보되어 있지 않아 도로변 및 사찰(세심사) 주변에 차를 주차하고 있음. 안전한 관람을 위한 공간 확보 필요함. • 문화재 안내 설명판 오류 – 안내 설명판의 내용이 잘못되어 있음. 익룡발자국을 "특이 용각류 발자국"으로 표기하여 설명하고 있음.
⑨ 화석 현황		• 공룡발자국(초식공룡 용각류와 조각류 및 육식공룡 수각류) • 익룡발자국 관찰 • 미니사우리푸스 국내 최초 발견지 • 이그노토르니스 양아이(*Ignotornis yangi*) 모식산지

⑩ 훼손 현황	• 화학적 · 물리적 풍화, 3방향 절리, 타포니 현상 등으로 인해 화석산지 훼손 진행 속도 빠름. 원인 제거를 위한 종합 진단 및 주기적인 모니터링 필요.
⑪ 생물(식생) 침해	목본식물에 의한 생물 침해 발생.
⑫ 추가 확인된 화석	–
⑬ 조사자 의견	• 화석산지의 훼손 진행 상황 주기적 모니터링 필요. • 훼손 원인 중 주변의 크고 작은 암석들의 지속적인 제거 작업 실시. • 이그노토르니스 양아이(*Ignotornis yangi*) 모식산지 주변 정리. 화석산지의 노두가 퇴적물에 의해 덮여 있음. 퇴적물 제거 및 그 자리에 표본 모식지라는 표지판 설치 고려.
⑭ 사진 촬영	Tiff 파일 및 JPEG 파일 50여 장 촬영



3 천연기념물 제413호 영월 문곡리 스트로마톨라이트 2009~2011

| 1 | 화석산지 현황

1.1. 화석산지 개요

영월 문곡리 건열구조 및 스트로마톨라이트 화석산지는 강원도 영월군 북면 문곡리 산 3번지, 연덕천변 절벽에 위치하고 있다(그림 23). 이 지역은 우리나라 하부고생대 퇴적 환경 연구에 중요한 학술적 자료로 인정되어 2000년 3월 16일 천연기념물 제413호로 지정되었다.

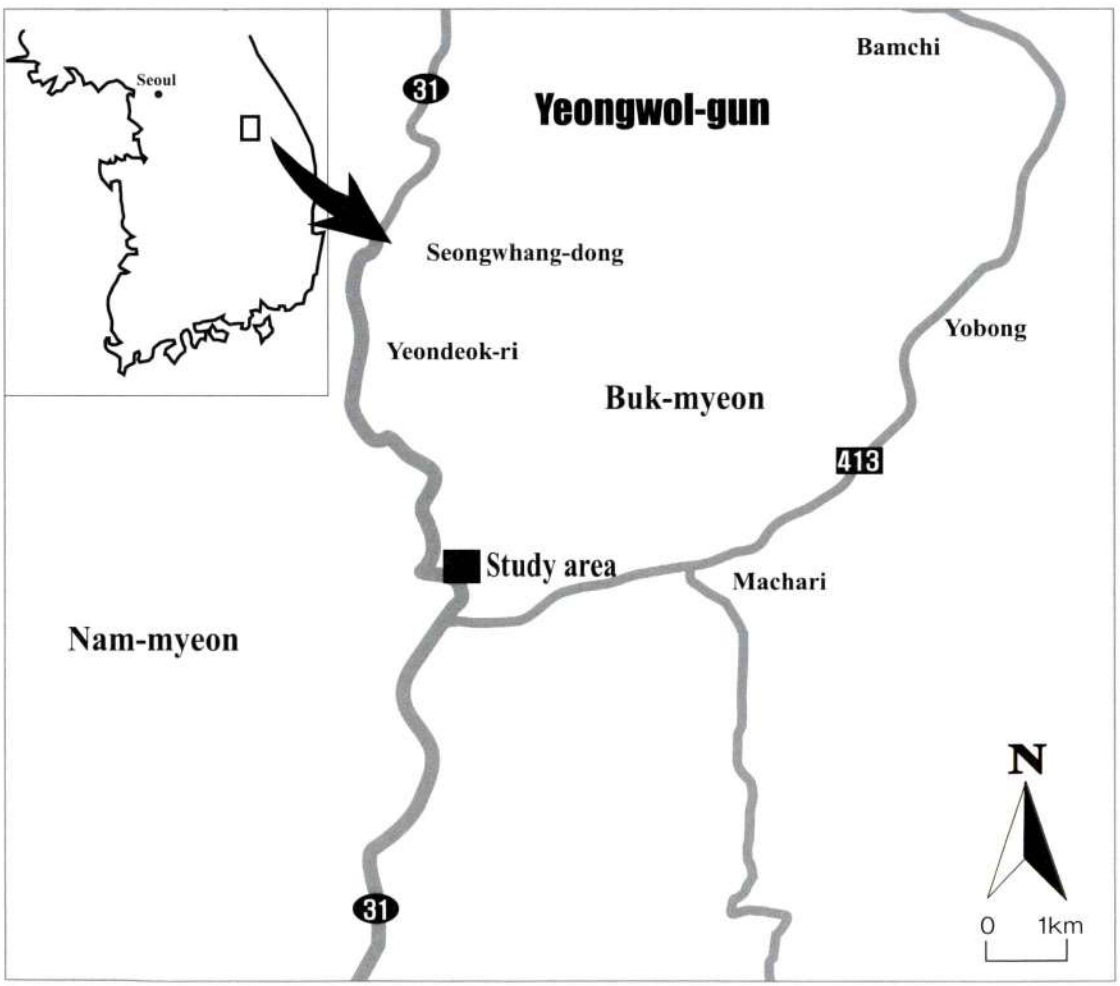


그림 23| 모니터링 조사 지역 및 연구 지역 위치도.

'소위 문곡리 스트로마톨라이트'라 불리우는 이곳의 스트로마톨라이트는 외부 및 내부 형태가 흔히 알려져 있는 일반적인 스트로마톨라이트와는 달라 스트로마톨라이트의 진위에 대한 논란이 오랫동안 지속되고 있다. 문곡리 스트로마톨라이트는 반구형 스트로마톨라이트가 연속되어 나열된 형태인 LLH형 스트로마톨라이트(Laterally-linked hemispheroid)와 상당히 유사해 보인다. 그러나 전체적인 형태를 이루는 돔 구조의 연속성이 하부까지 관찰되지 않고, 스트로마톨라이트의 핵심 구성 요소인 미세엽층리(fine lamination) 구조가 야외 및 박편 상에서도 관찰되지 않는 등, 스트로마톨라이트로 판단할 수 있는 많은 증거들이 부족하다. 또한 문곡리 스트로마톨라이트의 매끈한 표면 구조와 돔 사이의 불규칙하게 갈라진 틈(crack) 구조 역시 일반적인 스트로마톨라이트와는 차이가 많다. 이러한 차이점은 문곡리 스트로마톨라이트가 지금까지 알려진 것과 달리 스트로마톨라이트가 아닌 다른 형태의 퇴적구조임을 의미한다. 이에 대한 연구가 2008년부터 진행되었으며 그 결과 "영월 문곡리 스트로마톨라이트"는 형태적 특징과 내부 구조 등으로 볼 때, 머드마운드(Mud mound)로 해석된다(공달용과 이성주, 2009). 여기서는 지금까지의 연구 내용(이성주, 2008; 공달용 외, 2009a; 공달용 외, 2009b; 공달용과 이성주, 2009)을 정리하여 기술한다.

1.2. 조사 지역의 지질

연구 지역인 영월군 문곡리는 조선누층군 영월층군 영흥층에 해당하며, 조선누층군은 우리나라 하부고생대 지층을 포괄하는 지층명으로 소위 옥천대 동북부 지역에 넓게 분포한다(그림 24). 지리적으로는 주로 강원도 남부 지역에 해당하는 곳으로 삼척, 태백, 정선, 영월, 평창 등지의 태백산 주변부와 충북 단양과 경북 문경 일대까지 연장 분포되어 있다. 이 지역의 조선누층군은 Yosimura(1940)에 의하여 최초로 연구된 이래 많은 학자(김옥준 외, 1973; 정창희 외, 1979)들에 의하여 층서가 정립되었으며 하부로부터 삼방산층, 마차리층, 와곡층, 문곡층, 영흥층 등 5개의

암층서 단위로 구분된다. 각각의 지층들은 모두 정합의 관계이며 최상부층인 영흥층은 상부고생대 평안누층군의 최하부층인 홍점층에 의하여 부정합으로 덮여 있다. 이 중 스트로마톨라이트가 보고된 지역은 문곡층과 영흥층 두 곳뿐이다(Paik *et al.*, 1991; Chung, 2007). 스트로마톨라이트가 산출되는 문곡층은 와곡층위에 정합적으로 놓이며 암회색 내지 청회색 석회암과 박층의 세일이 호층을 이루고 있으며, 마차리층과 유사한 호상구조와 층식 석회암의 형태가 관찰된다(Paik *et al.*, 1991; Park *et al.*, 1994). 문곡층의 스트로마톨라이트는 판상형(Stratiform) 내지 반구형(hemispherial)의 형태로 관찰되며 크기는 수cm~10cm 내외이다. 이 외에도 Cryptalgalaminite, Thrombolite 등이 보고되었다(Chung, 2007). 문곡리 스트로마톨라이트가 분포하고 있는 영흥층은 영월형 조선누층군의 최상부에 속하며, 문곡층위에 정합으로 놓이고 상부 고생대 평안누층군의 최하부 층인 홍점층에 의해 부정합으로 덮힌다. 본 층의 하부와 중부에는 돌로마이트질 석회암과 돌로마이트가 우세하나 상부로 갈수록 석회암이 우세해지는 양상을 보이며 지역에 따라 얇은 이질암층이 협재되는 곳도 있다. 일부 지역(예, 속골과 오만교 부근)에서는 천해성 환경이었음을 지시하는 퇴적구조(ripple mark, desiccation crak) 등이 잘 나타나고 있으며, 삼엽충, 완족류, 두족류와 같은 거화석과 코노돈트, 스트로마토포로이드와 같은 미화석이 보고되었다(Kobayashi, 1966; 이성주, 1990; 이동진 과 유찬민 1993).

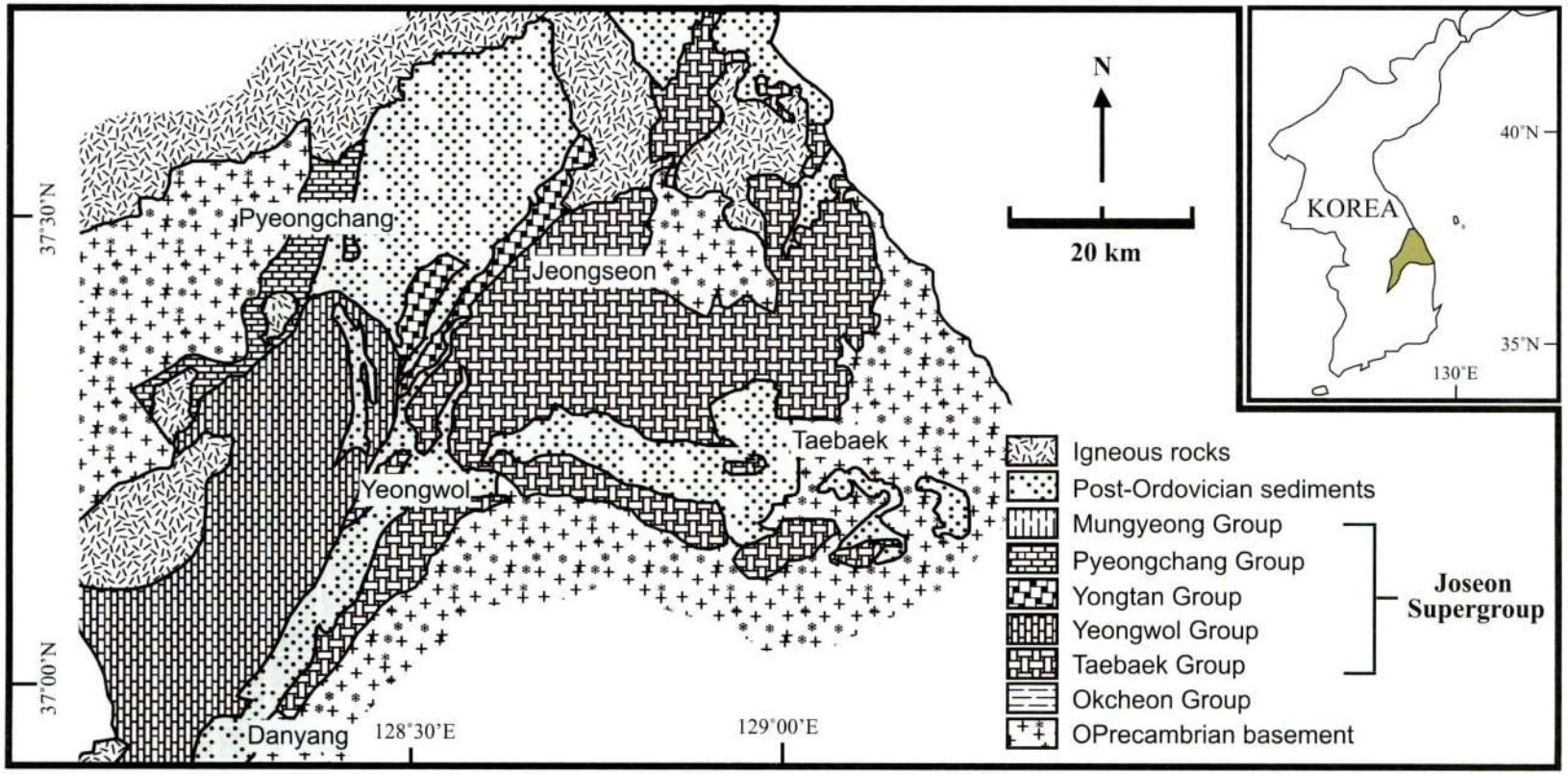


그림 24 | 연구 지역인 조선누층군의 지질도(modified from Kwon *et al.*,2006).

www.nhc.go.kr
Natural Heritage Center

1.3. 천연기념물 제413호 영월 문곡리 스트로마톨라이트

영월 문곡리 스트로마톨라이트는 국내에서 가장 널리 알려진 스트로마톨라이트 화석산지로 강원도 영월군 북면 문곡 삼거리 부근 31번 국도 변에 위치한 연덕천가의 절벽에 발달해 있다. 이곳은 천연기념물 제413호(영월 문곡리 건열구조 및 스트로마톨라이트)로 지정되어 관리되고 있으나, 스트로마톨라이트의 진위와 관련된 성인에 대한 논란이 계속되고 있다. 특히, 스트로마톨라이트 화석을 야외에서 판단할 수 있는 가장 중요한 두 가지 핵심 요소인 외부 형태와 미세 엽층리 구조가 관찰되지 않는 점이 이러한 논란의 핵심이다.

1.3.1. 산출 양상 및 외부 형태

일명 「문곡리 스트로마톨라이트」 지역은 천연기념물로 지정될 만큼 형태와 보존 상태가 우수하고 멀리서도 관찰이 용이할 만큼 규모도 크다(그림 25). 이 중 문곡리 스트로마톨라이트는 높이 13.5m, 폭 16m 정도의 노두에서 관찰되며 멀리서 본 모습은 불규칙한 크기의 돔들이 도톰하게 돋아오른 엠보싱(embossing) 형태이다(그림 25B). 그러나 전형적인 스트로마톨라이트의 모습과는 그 형태가 다르다. 이들의 형태(gross morphology)는 층리면에서 관찰하면 일면 반구형 스트로마톨라이트가 연속되어 나열된 LLH 스트로마톨라이트(laterally-linked hemispheroid)와 유사하다(그림 26).

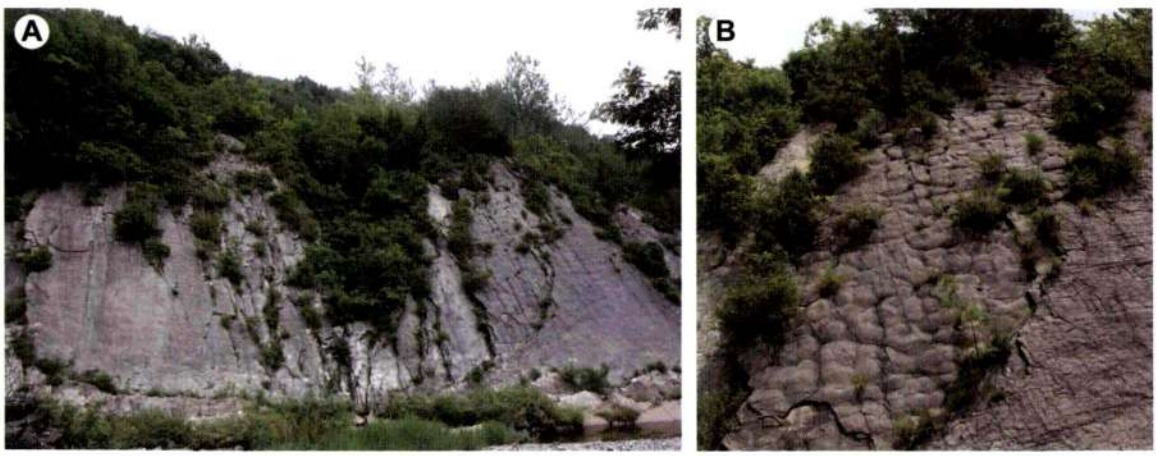


그림 25 | 천연기념물 제413호 문곡리 스트로마톨라이트 화석산지 모습.

단면에서는 이러한 반구형 모습의 하부로의 연장성은 아주 희미하게 보이고 그러한 단면의 어느 곳에서도 미세엽층리 구조를 포함하여 어떠한 내부 구조도 관찰되지 않는다(그림 26B, C).

일반적인 스트로마톨라이트의 경우 층리면에서 관찰되는 돔 구조를 동일한 단면에서 관찰할 경우 반구형의 모습이 하부로 연장되는 구조가 관찰되고 하부로 갈수록 이러한 돔 구조의 볼록한 정도가 감소되는 모습을 보이는데, 문곡리 스트로마톨라이트의 경우 돔 구조의 연장성 뿐만 아니라 어떠한 구조도 관찰되지 않는다(그림 26). 단순히 퇴적물이 솟아있는 마운드(mound)의 형태만을 띠고 있다. 반구형 돔들은 일정한 방향성이 없이 서로 불규칙하게 연결되어 있으며, 동일한 층리면에 있는 돔들의 크기(직경 약 20~80cm)도 불규칙하다. 일반적으로 문곡리 스트로마톨라이트와 같이 반구형 돔들이 인접하여 스트로마톨라이트 층을 이루는 경우는 동일한 수심의 퇴적면(water/sediment interface)위에서 성장한다.

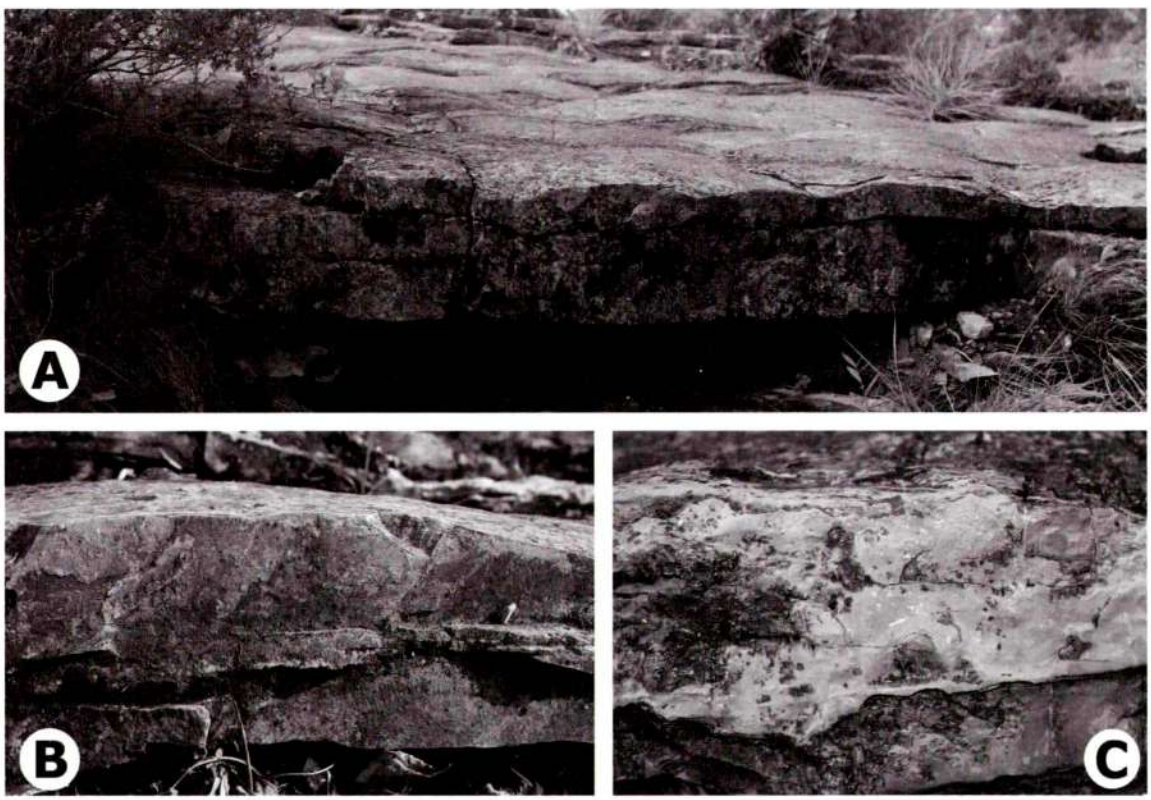


그림 26 | 문곡리 스트로마톨라이트의 단면 모습.
미세엽층리(fine lamination)구조 및 방사상의 팬(radiating fans) 구조 등 어떠한 구조도 관찰되지 않음(A-C).

따라서 돔의 크기는 비슷해지고 외부 형태는 조류나 파도의 방향에 의하여 결정되기 때문에 돔들은 일정한 방향성을 가지게 된다(Hoffman, 1976; Walter *et al.*, 1992). 또한, 대부분의 스트로마톨라이트에서는 고유의 표면 구조(wavy, mammilate or concentric structure)가 관찰되는데 문곡리 스트로마톨라이트의 표면에는 어떠한 구조도 관찰되지 않으며 표면은 매끄러운 상태로 보존되어 있다(그림 27). 일반적으로 수심이 얕은 환경에서 형성되는 반구형 스트로마톨라이트는 파도나 조류의 방향과 평행하게 돔들이 배열되고, 표면에도 이러한 구조가 반영된 구불구불한 선적 구조(wavy ridges)가 나타난다. 이러한 구조는 우리나라 경상분지에 발달한 스트로마톨라이트 돔에서도 쉽게 관찰된다. 반면, 파도나 조류의 영향을 적게 받는 석호나 호수 환경에서 성장하는 스트로마톨라이트의 표면에는 구불구불한 구조 대신에 올록볼록한 구조(mammilate structure)가 형성되는데, 이는 안정적인 환경의 돔 표면에서는 일반적으로 아주 작은 돔(micro-dome)의 형태로 반구형 돔이 성장하기 때문이다(Southgate, 1989; Clough and Goldhammer, 2000). 두 경우 모두 풍화에 의하여 표면구조가 삭박되면 돔 구조를 형성하는 미세엽층리가 노출되기 때문에 동심원 구조가 선명하게 나타난다.

문곡리 스트로마톨라이트의 돔과 돔이 연결된 곳에서는 건열과 유사한 갈라진 틈이 발달되어 있는데(그림 27), 이러한 구조 또한 스트로마톨라이트에서 관찰되기가 매우 어렵다. 스트로마톨라이트는 퇴적면에서 상부로 성장하는 석회질 물질로 구성되어 있다.

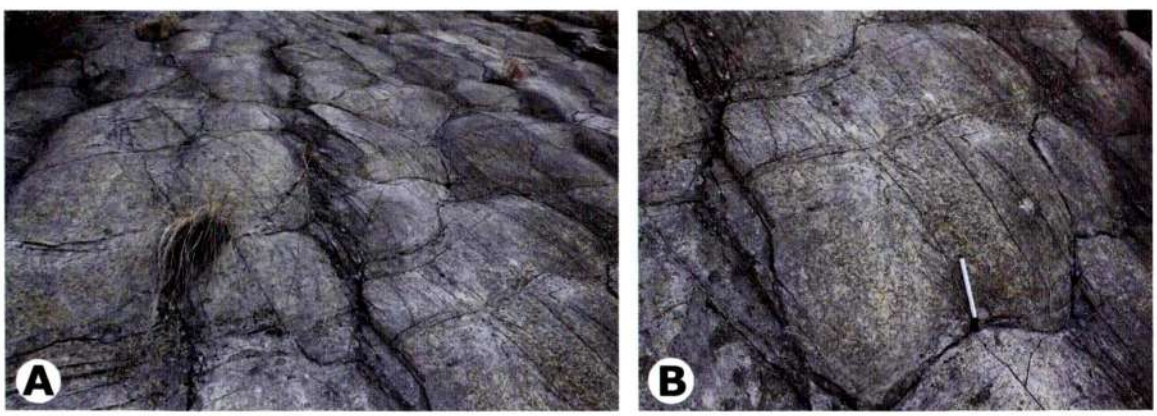


그림 27| 문곡리 스트로마톨라이트의 표면 형태. 건열과 같은 갈라짐이 보임.

따라서 인접한 스트로마톨라이트 돔이 성장하여 서로 연결되어 스트로마톨라이트 층을 이루게 되면 이미 단단한 구조가 되기 때문에 쇄설성 퇴적물과 같은 수분 증발에 의한 갈라짐 현상(예, 건열)은 일어나지 않는다. 호주 남부의 쿠롱 석호(Coorong Lagoon, South Australia)에 발달한 스트로마톨라이트와 같이 아주 극심한 건조 환경에서 스트로마톨라이트 표면이 공기 중에 노출될 경우 표면이 갈라지는 현상이 관찰되기도 하는데(von der Borch, 1976), 이러한 경우에도 문곡리 스트로마톨라이트에서 관찰되는 것과 달리 표면의 갈라진 틈은 돔 내부까지 연결되어 나타나지는 않는다.

1.3.2. 미세엽층리

스트로마톨라이트에서 미세엽층리(fine lamination) 구조는 스트로마톨라이트의 핵심 구성 요소이다(Park, 1976; Semikhatov *et al.*, 1979; Seong-Joo *et al.*, 2000). 따라서 스트로마톨라이트라 정의되는 모든 스트로마톨라이트는 외부 형태에 관계없이 내부에는 미세엽층리 구조가 잘 발달되어 있어야만하며 미세엽층리가 나타나지 않는 어떠한 구조도 스트로마톨라이트라 할 수 없다. 이와 같은 스트로마톨라이트의 미세엽층리 구조는 크게 3가지의 차이에 의해 인지된다. 첫째, 스트로마톨라이트를 형성하는 생물의 차이(coccoids vs. filaments), 둘째, 생물체의 많고 적음(organic-rich layer vs. sediment-rich layer), 그리고 광물 성분의 차이(micrite vs. calcite)에 의해 나타나며, 미세엽층리 구조는 암석의 단면이나 박편 상에서 인지된다(Seong-Joo *et al.*, 2000).

야외에서 관찰한 문곡리 스트로마톨라이트에서는 스트로마톨라이트의 가장 중요한 특징인 미세엽층리 구조를 비롯해서 어떠한 내부 구조도 관찰되지 않으며, 단면은 마치 석회질이암(calcareous mud or marl)과 같은 괴상의 구조를 보인다(그림 26B, C). 또한 스트로마톨라이트가 산출되는 층준과 인접한 층준 어느 곳에서도 스트로마톨라이트의 유사엽층리라고 판단될 수 있는 mm 크기의 구불구불한 엽층리인 cryptalgalaminate 층도 관찰되지 않는다. 수직 단면의 박편관찰 결과 역시 미세엽층리의 어떠한 흔적도 관찰할 수 없으며 대부분은 세립의 미크라이트(micrite)와 미크로스파라이트(microsparite)로 이루어져 있고, 스타일로라이트(stylolite) 구조와 석영맥 및 철산화물이 간혹 관찰될 뿐이다(그림 28).

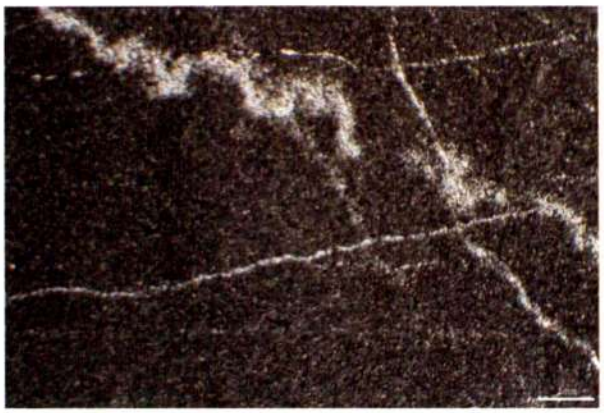


그림 28 | 문곡리 스트로마톨라이트의 수직 단면 박편 모습. 미세엽층리 구조를 인지할 수 있는 어떠한 흔적도 관찰할 수 없음.

1.4. 문곡리 스트로마톨라이트의 해석

천연기념물 제413호인 "문곡리 스트로마톨라이트"의 외부 형태는 인접한 돔들이 연결되어 형성된 LLH 스트로마톨라이트(laterally-linked hemispheroid)와 유사하다. 하지만 스트로마톨라이트의 핵심요소인 미세엽층리 구조가 관찰되지 않고, 외부 형태 또한 일반적인 스트로마톨라이트의 모습과는 거리가 멀다. 문곡리 스트로마톨라이트에서 관찰되는 주요 특징은 1) 미세엽층리 구조와 돔의 연장성 결여, 2) 매끈한 표면 구조 및 3) 표면에 발달한 틈 구조 등이다. 이러한 특징들은 이곳의 스트로마톨라이트가 알려진 것과는 달리 스트로마톨라이트가 아닌 다른 형태의 퇴적구조임을 의미한다. 문곡리 스트로마톨라이트와 같이 미세엽층리가 관찰되지 않으면서 수평으로 연결된 돔의 형태와 유사한 구조로는 쓰롬볼라이트(thrombolite), 건열(descication crack), 바이오험(bioherm), 슈도모프팬(pseudomorph fan), 알갈마운드(algal mound) 또는 머드마운드(mud mound) 등이 있다.

1.4.1. 쓰롬볼라이트(Thrombolite)

쓰롬볼라이트(Thrombolite)란, 스트로마톨라이트와 동일한 생성기작과 외부 형태를 가지고 있지만 미세엽층리 구조가 발달되지 않은 구조에 붙여지는 용어이다(Aitken, 1967; 그림 29). 스트로마톨라이트의 경우 미세엽층리 구조는 스트로마톨라이트를 형성하는 박테리아에 의해

결정된다. 즉, 미세엽층리 구조는 스트로마톨라이트를 실질적으로 성장시키는 유기매트(algal or microbial mats)에 사상체 박테리아(filamentous cyanobacteria)와 구형 박테리아(coccoid cyanobacteria)가 교호되면서 성장하는 경우에, 또는 광합성에 의한 사상체 박테리아의 석회광물 침전의 정도가 다르거나 사상체 박테리아의 분포(prostrate vs. vertical)가 다른 경우에 형성된다(Seong-Joo and Golubic, 1999; Seong-Joo *et al.*, 2000). 반면 구형 박테리아만이 스트로마톨라이트를 형성할 경우 돔의 구조는 유지되지만 미세엽층리는 형성되지 않고 대신 구형 박테리아의 흔적인 "반점 구조(clotted structure)"가 불규칙하게 형성된다(Kennard and James, 1986; Riding, 1991). 간혹 이러한 반점 구조를 생물체(endopsammic fauna)에 의한 생교란 작용으로 미세엽층리 구조가 교란되어져서 형성된 것으로 해석하여, 쓰롬볼라이트를 스트로마톨라이트의 변형으로 보는 학자들도 있다(Hofmann, 1973; Walter and Heys, 1985). 문곡리 스트로마톨라이트에서는 야외와 박편상에서 어떠한 반점 구조도 관찰되지 않는다. 따라서 미세엽층리 구조 없이 돔의 형태를 띠는 것이 쓰롬볼라이트와 매우 유사하더라도 문곡리 스트로마톨라이트를 쓰롬볼라이트로 해석할 수는 없다.



그림 29 | 캐나다 Flowers Cove에서 관찰되는 쓰롬볼라이트(www.limestonebarrens.ca).

1.4.2. 건열(Descication Crack)

문곡리 스트로마톨라이트의 돔과 돔 사이에서는 건열과 유사한 다각형 구조의 틈이 발달되어 있으며 전체적인 모습 또한 건열과 유사하고 매우 근접한 층준에서 건열 구조가 넓게 분포하고 있어 문곡리 스트로마톨라이트를 건열로 해석할 수도 있다(그림 30). 하지만 일반적으로 쇄설성 퇴적암에서 나타나는 건열 구조는 퇴적물이 수축하면서 갈라진 다각형의 모서리들이 들어 올려지기 때문에 사발(bowl)이나 평평한 형태(속성작용에 의한 압력의 영향으로)로 보존되는 것이 일반적인 현상이다. 이 지역에서 나타나는 건열들도 이러한 형태를 띠는(그림 30B) 반면 문곡리 스트로마톨라이트는 볼록한 형태로 보존되어 있기 때문에 다각형의 틈이 있음에도 불구하고 건열로 해석하기 어렵다.

건열의 경우는 퇴적물이 고화되기 전에 수축되어 다소 규칙적인 다각형의 모습으로 갈라진다. 시간이 지나면 다각형의 틈 사이를 성분이 다른 퇴적물이 채우게 되어 이 지역의 건열과 같이 다각형의 틈이 퇴적물로 채워지는(그림 30B, C) 반면 문곡리 스트로마톨라이트에 발달된 틈에서는 퇴적물이 관찰되지 않고 갈라진 다각형도 매우 불규칙하다(그림 27). 문곡리 스트로마톨라이트에 발달된 갈라진 틈들 또한 마치 면도칼로 그어 놓은 것처럼 얇고 불규칙하게 발달되어 있어 수축에 의한 갈라짐으로 해석할 수는 없다.

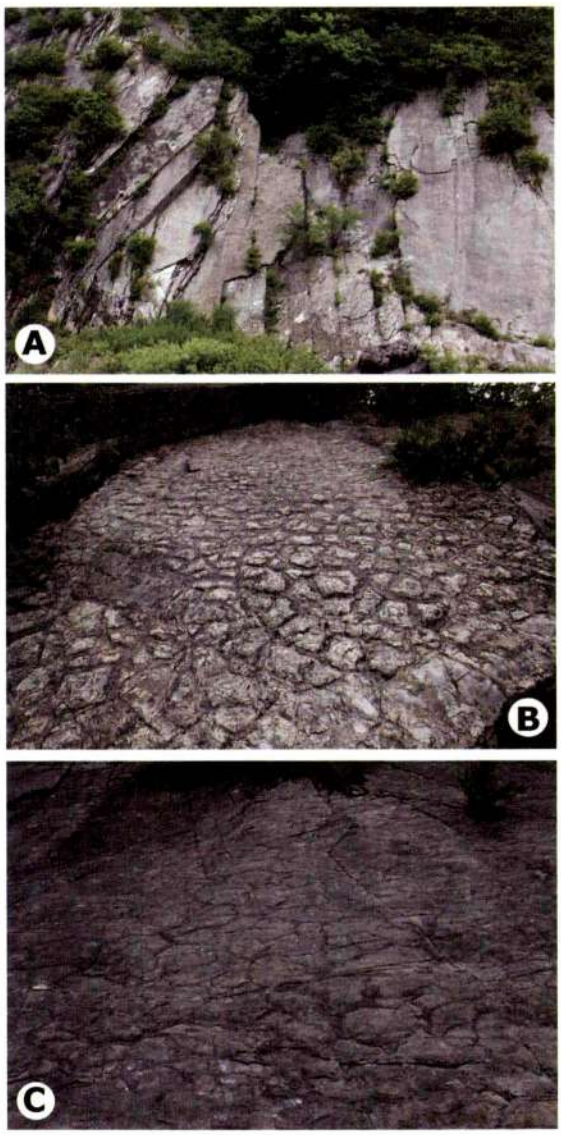


그림 30 | 스트로마톨라이트와 함께 관찰되는 여러 형태의 건열.

1.4.3. 바이오험(Bioherm)

바이오험은 패각을 가진 저서성 고착 생물(예, 산호, 스트로마토포로이드, 석회조류 등)들이 인접한 지역보다 많고 성장이 빠르며 돔처럼 부풀어 올라 형성되는 구조를 포괄적으로 나타내는 명칭이다(Cumings, 1930). 따라서 대부분의 바이오험을 박편에서 관찰하면 이러한 생물의 흔적이 화석으로 남아 있다. 그러나 문곡리 스트로마톨라이트의 박편에서는 어떠한 화석의 구조나 흔적도 발견되지 않았기 때문에 문곡리 스트로마톨라이트를 바이오험이라 부르기에는 적합하지 않다.

1.4.4. 슈도모프팬(Pseudomorph fan)

슈도모프팬(Pseudomorph fan)은 석회질 광물(특히 아라고나이트)이 층리면에서 위쪽으로 성장하면서 내부에 부채모양의 방사상 구조(fan)가 나타나고 성장이 지속되어 규모가 커지면 반구형 돔의 형태를 이루는 것을 나타내는 용어이다(Seong-Joo and Golubic, 1999; Sumner and Grotzinger, 2000; Winefield, 2000). 석회암이 침전되는 환경에서 결정핵을 중심으로 아라고나이트 결정들이 방사상으로 자라 팬을 형성하게 된다.

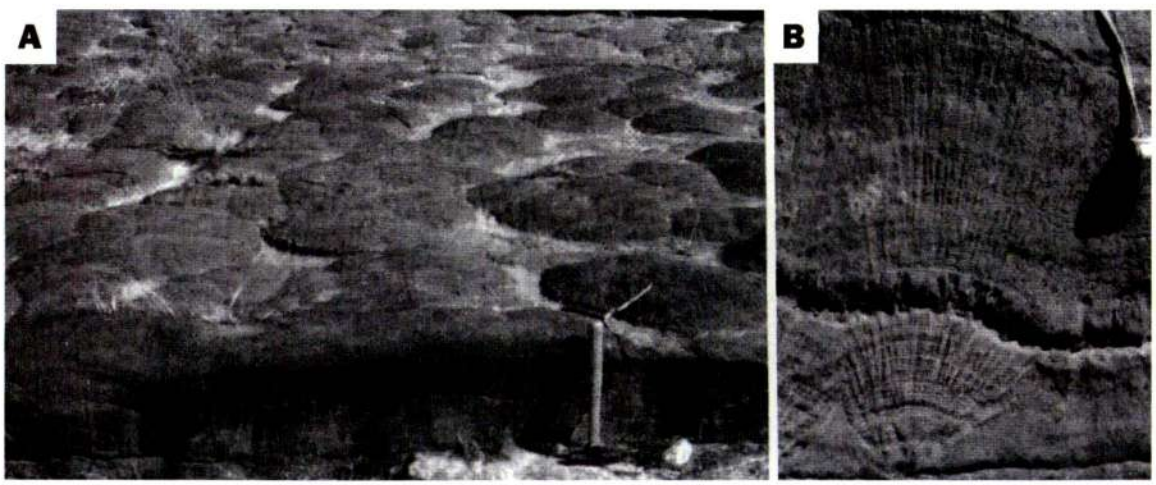


그림 31 | Campbellarand-Malmani platform에서 산출되는 Pseudomorph fan.
문곡리 스트로마톨라이트와 유사한 돔의 형태(A)를 보이나, 단면에는 방사상의 구조(radiating fan structure)가 보임(modified from Sumner and Grotzinger, 2000).

성장을 지속하면서 팬은 스트로마톨라이트와 유사한 형태의 반구형 돔을 만들고 인접한 팬들과 연결되어 팬으로 이루어진 하나의 층을 형성하게 되어 문곡리 스트로마톨라이트와 유사한 형태를 띠게 된다. 특히 남아프리카의 Transvaal 누층군에 넓게 분포하는 슈도모프팬(Sumner and Grotzinger, 2000)은 외부 형태가 문곡리 스트로마톨라이트와 매우 흡사하여 동일 구조로 해석할 수 있다(그림 31). 하지만 Transvaal 누층군의 경우처럼 슈도모프 팬의 단면에서는 언제나 방사상 구조가 특징적으로 나타나는데 문곡리 스트로마톨라이트의 단면에서는 미세엽층리 구조뿐만 아니라 어떠한 방사상 구조도 발견되지 않는다(그림 26). 따라서 형태는 슈도모프 팬과 유사하지만 문곡리 스트로마톨라이트를 슈도모프 팬으로 해석할 수는 없다.

1.4.5. 머드마운드(Mud mound)

머드마운드(mud mound)란 평평한 층리면 위에 볼록하게 솟아있는 돔의 구조로서 층리가 발달되지 않은 구조를 통칭적으로 일컫는 용어이다. 이것은 대부분이 석회질 이암(calcareous or lime mud) 또는 미크라이트로 이루어져 있다(Cuffey, 1985). 그러나 이 용어는 외부의 형태-mound-와 내부 성분-mud-만을 서술하기 때문에 매우 다양한 구조에 다소 포괄적으로 사용되며 엄밀하게 적용되지는 않는다. 예를 들어 Pratt(1995)는 다양한 화석이 발견된 생물초(reef)를 머드 마운드로 실명하였고, Roylance(1990)은 화석은 적게 산출되었지만 매우 비슷한 구조를 알갈마운드(algal mound)로 명칭하였으며, 때로는 바이오험과도 혼용되어 사용되기도 한다[algal mound(Roylance, 1990) vs. algal bioherm(Riding, 1979)]. 일반적으로 마운드 구조는 패각을 가진 다양한 생물체에 의하여 형성되기 때문에 마운드 형태의 구조에서 다양한 화석이 발견된다면 바이오험 또는 생물초라 부르는 것 보다 합리적이고(마운드를 사용해도 되지만), 석회질 조류 화석이 우세하게 발견된다면 알갈바이오험 또는 알갈마운드로 부르는 것이 타당하다. 화석의 산출이 극히 드문 경우에는(속성 작용에 의하여 마운드를 형성했던 생물체의 흔적이 지워졌다 하더라도) 알갈(algal)이나, 초(reef), 바이오험 등 어떠한 용어도 사용할 수 없으며 단지 "머드마운드" 만이 사용되어져야 한다. 마운드의 형태를 띤 "문곡리 스트로마톨라이트"는 층리가 발달되어 있지 않고 미크라이트가 주요 구성 성분이며 어떠한 화석도 관찰되지 않는다(그림 26, 28). 따라서 문곡리 스트로마톨라이트는 「머드마운드」로 해석하는 것이 가장

타당하다. 얕은 바다에 고여 있는 물의 퇴적면 위에는 얇은 막 형태의 매트(algal or microbial mat) 또는 바이오필름(biofilm)이라고 불리는 유기층이 형성된다(Stolz, 2000). 시간이 흐르면 매트들은 성장하여 다른 곳보다 다소 부풀어 오른 모양을 갖게 되고 이 매트들은 끈적끈적한 점액질을 가지고 있기 때문에 매트 위에 떨어지는 쇄설성 입자들을 부착하거나 석회질 물질의 침전을 촉진시켜 돔을 키우게 된다. 특히, 매트가 퇴적물의 공급이 대단히 적은 석호나 작은 웅덩이(supratidal pool)와 같은 환경에서 성장하고 매트를 구성하는 생물체들이 석회질 조류가 아닌 광합성 박테리아일 경우에는 석회질 이암으로 구성된 돔 구조를 만들게 된다. 매트를 구성하는 박테리아(cyanobacteria)는 광합성을 하면서 성장하여 매트를 키우게 되고, 이 결과 매트위의 물은 pH가 상승하여 미크라이트의 원인 물질인 와이팅(whiting: floating patches of lime mud)이 만들어진다(Bathurst, 1971; Boardman and Carney, 1991). 물속에서 순간적으로 형성된 와이팅은 매트 위에 떨어져서 부착되어 매트의 돔 구조를 키우게 되며 결과적으로 엽층리 없이 미크라이트로만 구성된(화석도 발견되지 않고) 문곡리 스트로마톨라이트와 같은 괴상의 돔 구조를 만들게 된다. 또한 매트 위에 퇴적물이 덮여 적당한 시간이 흐르면 매몰된 박테리아 유기물은 부패한다. 따라서 화석으로 관찰되지 않으며 다량의 가스를 만들게 된다(Ward *et al.*, 1984). 형성된 가스들은 압력에 의하여 덮고 있는 퇴적층을 들어 올리면서 배출하게 되는데, 이때 돔의 모양이 좀 더 완성되고(Gerdes *et al.*, 2000) 가스를 배출하는 과정에서 돔 사이에 문곡리 스트로마톨라이트처럼 아주 얇은 틈(그림 27)이 형성되며 이 틈 사이로 가스가 배출된다. 이러한 틈 구조는 일면 건열과 유사하나 틈의 사이가 매우 좁고 이미 고화된 암석이기 때문에 건열의 경우처럼 사이로 퇴적물이 채워지지는 않는다. 또한 가스가 만들어낸 틈들의 다각형 구조는 건열과 달리 문곡리 스트로마톨라이트처럼 불규칙하다.

현재의 지정 명칭인「영월 문곡리 건열 구조 및 스트로마톨라이트」라는 명칭이「영월 문곡리 건열 구조 및 머드 마운드」로 변경되어야 하는 것에 대한 검토가 요구된다. 그러나 문곡리 스트로마톨라이트가 천연기념물 제413호에서 배제되어야 함을 의미하지는 않는다. 천연기념물 제413호는 명칭과 관계 없이 규모가 크고 보존 상태가 매우 우수하여 보존되어야 할 가치가 충분하기 때문이다.

| 2 | 화석산지 관리 실태

천연기념물 제413호 영월 문곡리 건열 구조 및 스트로마톨라이트 화석산지는 연덕천변에 위치하여 화석산지를 폭 3-4m의 하천이 감싸 흐르고 있고, 문곡리 스트로마톨라이트가 위치한 노두의 매우 가파른 경사, 그리고 일반인들과 화석 채집가들의 관심 대상이 아닌 점 등으로 화석산지가 잘 보존되어 있다(그림 25). 다만, 일명 문곡리 스트로마톨라이트의 표면에 자라는 나무, 풀 등의 식생의 제거가 필요하다. 식생의 지속적인 성장으로 화석산지가 보이지 않게 되고, 동시에 암석의 물리적인 파손을 일으키는 원인이 되고 있다(그림 32). 2011년 조사 시, 노두의 한 블록이 붕괴되어 있었는데, 이런 붕괴의 원인 역시 퇴적면과 면 사이에 자라는 식생의 물리적 작용과 빗물의 침투 및 큰 일교차 등이 복합적으로 작용하여 발생한 것으로 판단된다.

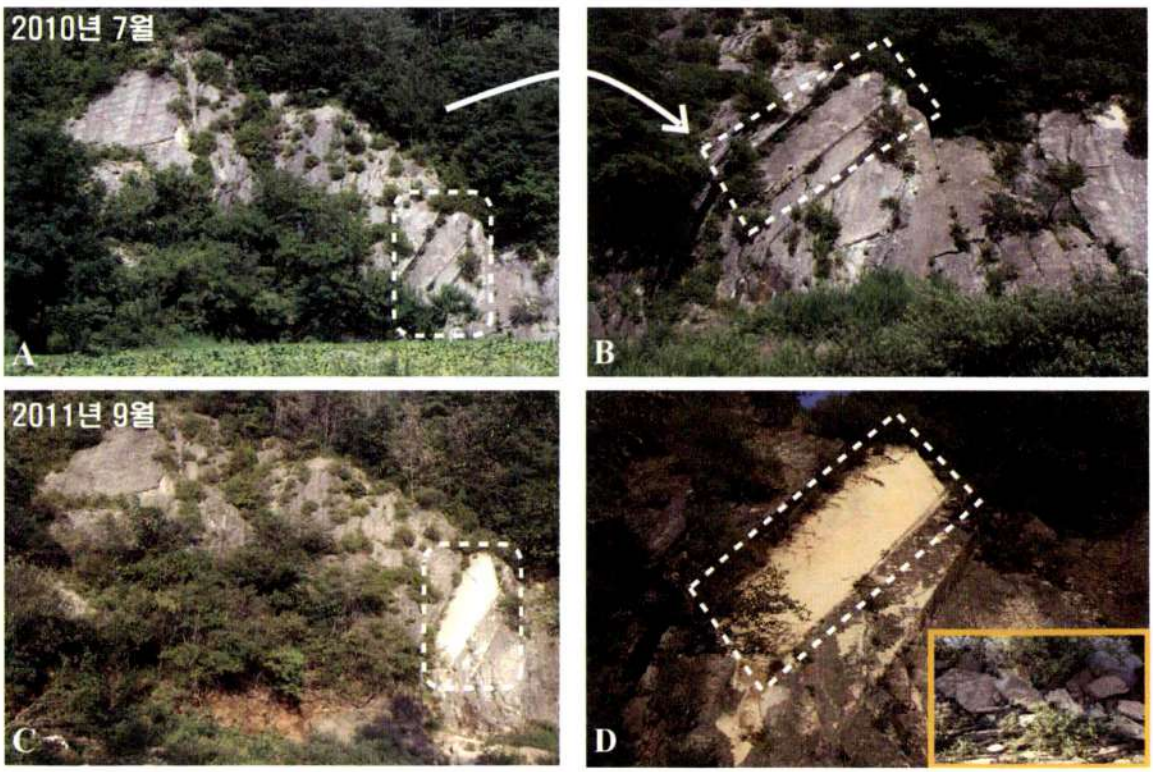


그림 32 | 영월 문곡리 건열 및 화석산지 모습(A-B: 2010년 모습, C-D: 2011년 모습, 노두의 한 블록이 멸실되었음. D의 작은 네모: 노두에서 떨어져 내린 암석편들의 모습).

| 3 | 화석산지 주요 훼손 원인 분석

3.1. 식생에 의한 화석산지 경관 저해 및 물리적 풍화 발생

가. 화석산지 실태

문곡리 화석산지는 바닷가에서 태생적인 위험 인자를 갖고 있는 공룡발자국 화석산지에 비해 내륙에 위치하고 있는데 문곡리 화석산지가 위치한 곳의 자연지형은 잘 보존되어 있다. 이것은 스트로마톨라이트가 다른 화석들(예: 척추동물, 식물, 삼엽충 등)에 비해 일반인들 사이에서 관심 대상이 아닌 점이 크게 좌우한 것으로 여겨진다.

문곡리 화석산지에서 가장 큰 훼손의 위험 인자는 화석산지와 건열 노두의 표면에 자라는 식생이다. 화석산지에서 발생되는 생물 침해 유형은 조류 · 균류 · 지의류, 초본류 및 목본류에 의한 생물 침해 등 크게 3가지로 나눌 수 있다. 특히, 많은 화석산지에서 조류 · 균류 · 지의류와 같은 미생물에 의한 생물 침해가 많이 발생하는데(예: 의성 제오리, 해남 우항리, 함안 용산리 등), 이는 화석산지 보호를 위해 설치한 인공 시설물(전시관 혹은 보호각)과 밀접한 관련이 있다. 반면, 이러한 보호시설이 없는 대다수의 화석산지에서의 생물 침해는 미생물이 아닌, 초본류와 목본류에 의해 발생되고 있다.

문곡리 화석산지의 2006년과 2009년~2011년까지의 노두 사진을 비교해 본 결과, 식생의 빠른 성장을 확인 할 수 있었으며 특히, 식생의 빠른 성장으로 화석산지 경관이 저해되고 있는 것을 알 수 있었다(그림 33). 이러한 식생의 성장은 필연적으로 화석산지의 물리적 풍화를 동반한다(그림 32). 일부 지점에서는 퇴적면과 퇴적면 사이의 간격이 넓어진 지점(틈, crack)에서 관찰되며, 이러한 지점(틈, crack)은 사면을 타고 내려오는 물과 빗물, 그리고 눈(snow) 등이 고이는 장소로 이용되어 더욱 빠른 물리적 풍화와 함께 암석의 화학적 풍화를 촉진시키게 된다.

나. 대책

화석산지의 노두와 건열 노두에 자라고 있는 식생의 주기적 제거가 필요하다. 주기적인 식생의 제거만으로도 화석산지에서 발생되는 훼손(풍화)의 속도를 늦출 수 있으며, 식생의 제거를 통해 화석산지 경관도 확보할 수 있다. 또한, 주기적인 모니터링과 정기 조사를 통해 화석산지의 물리적 풍화 현상 등 위험 인자를 사전에 예방하고 제거하는 노력이 필요하다.



그림 33 | 문곡리 화석산지 노두에 자라는 식생모습. 화석산지 전경과 노두가 보이지 않을 정도로 식생에 덮여 있음.

| 4 | 모니터링 Data sheet 작성

표 14 | 화석산지 모니터링 체크 리스트: 천연기념물 제413호 영월 문곡리 스트로마톨라이트산지(2011)

화석산지 모니터링 체크 리스트 조사일: 2011. 9. 17.

① 지정 번호	천기 413호	② 지정 명칭	영월 문곡리 건열 구조 및 스트로마톨라이트
③ 소 재 지	강원도 영월군 북면 문곡리 산3번지 일원		

모니터링 항목		조 사 내 용
④ 사이트 환경		□산 □바닷가 □섬 ☑하천 □도로 □ 기타( )
⑤ 접근성	내륙(바닷가)	□진입 불가 ☑소형 차량 진입 가능 □모든 차량 진입 가능
	섬	□무인도 □유인도(여객선 운항 횟수 기재/일)
⑥ 관광지 개발 여부		☑해당 없음 □준관광지 □관광지
⑦ 1일 방문자 수		☑10명 미만 □10~30명 미만 □30~50명 미만 □50~100명 미만 □100명 이상
⑧ 문화재 구역 관리 실태		□부적합 □보통 ☑우수 □대단히 우수 • 문화재 안내 표지판, 주차 공간 확보 등 관리 양호 • 주차장과 화석산지 사이의 접근로(농로) 정비 필요 • 노두 일부 붕괴현상 발견 – 노두의 틈에서 자라고 있는 목본식물 제거 필요 – 주기적인 제거를 통한 2차 붕괴 속도 지연토록 하여야 함 

⑨ 화석 현황	–
⑩ 훼손 현황	• 식생(초본 및 목본식물)에 의한 생물 침해 발생 중. 특히, 목본식물의 빠른 성장이 화석산지의 훼손을 가속화 시킬 수 있음. – 이로 인해 물리적 풍화 현상(노두 붕괴)이 발생하고 있음. • 주기적인 모니터링과 정기조사 필요.
⑪ 생물(식생) 침해	• 초본식물과 목본식물에 의한 생물 침해 발생.
⑫ 추가 확인된 화석	• 남교 상부 노두에서 소형 두족류 화석 산출.
⑬ 조사자 의견	• 올해 처음으로 노두 붕괴 현상 발생. 화석산지 내 위험 범위에서 자라고 있는 식생의 주기적 제거를 통해 훼손 속도를 지연시켜야 함. • 화석산지로 진입하는 진입로(농로)의 정비가 필요하며, 화석산지 노두 표면에서 자라는 식생의 주기적인 제거 필요. • 주기적인 모니터링 필요.
⑭ 사진 촬영	전체 및 개별 사진 촬영(*.TIFF, *. JPEG 파일).



표 15 | 화석산지 모니터링 체크 리스트: 천연기념물 제413호 영월 문곡리 스트로마톨라이트(2010)

화석산지 모니터링 체크 리스트 조사일: 2010. 7. 20.

① 지정 번호	천기 413호	② 지정 명칭	영월 문곡리 건열 구조 및 스트로마톨라이트
③ 소 재 지	강원도 영월군 북면 문곡리 산3번지 일원		

모니터링 항목		조 사 내 용
④ 사이트 환경		□산 □바닷가 □섬 ☑하천 □도로 □기타( )
⑤ 접근성	내륙(바닷가)	□진입 불가 ☑소형 차량 진입 가능 □모든 차량 진입 가능
	섬	□무인도 □유인도(여객선 운항 횟수 기재/일)
⑥ 관광지 개발 여부		☑해당 없음 □준관광지 □관광지
⑦ 1일 방문자 수		☑10명 미만 □10~30명 미만 □30~50명 미만 □50~100명 미만 □100명 이상
⑧ 문화재 구역 관리 실태		□부적합 □보통 ☑우수 □대단히 우수 • 문화재 안내 표지판, 주차 공간 확보 등 관리 양호 • 주차장과 화석산지 사이의 접근로(농로) 정비 필요



⑨ 화석 현황	-
⑩ 훼손 현황	• 식생(초본 및 목본식물)에 의한 생물 침해 발생 중. 특히 목본식물의 빠른 성장이 화석산지의 훼손을 가속화 시킬 수 있음. 이로 인해 물리적 풍화 현상이 발생하고 있음. • 주기적인 모니터링 필요.
⑪ 생물(식생) 침해	• 초본식물과 목본식물에 의한 생물 침해 발생.
⑫ 추가 확인된 화석	-
⑬ 조사자 의견	• 현재까지 화석산지의 훼손은 육안으로 관찰되지 않음. • 화석산지 진입로(농로)의 정비가 필요하며, 화석산지 노두 표면에서 자라는 식생의 주기적인 제거 필요. • 주기적인 모니터링 필요.
⑭ 사진 촬영	2008년~2010년 주기적 사진 촬영 실시.



표 16 | 화석산지 모니터링 체크 리스트: 천연기념물 제413호 영월 문곡리 스트로마톨라이트산지(2009)

화석산지 모니터링 체크 리스트 조사일: 2009. 8. 12.

① 지정 번호	천기 413호	② 지정 명칭	영월 문곡리 건열구조 및 스트로마톨라이트
③ 소 재 지	강원도 영월군 북면 문곡리 산3번지 일원		

모니터링 항목		조 사 내 용
④ 사이트 환경		□산 □바닷가 □섬 ☑하천 □도로 □ 기타( )
⑤ 접근성	내륙(바닷가)	□진입 불가 ☑소형 차량 진입 가능 □모든 차량 진입 가능
	섬	□무인도 □유인도(여객선 운항횟수 기재/일)
⑥ 관광지 개발 여부		☑해당 없음 □준관광지 □관광지
⑦ 1일 방문자 수		☑10명 미만 □10~30명 미만 □30~50명 미만 □50~100명 미만 □100명 이상
⑧ 문화재 구역 관리 실태		□부적합 □보통 ☑우수 □대단히 우수 • 문화재 안내 표지판, 주차 공간 확보 등 관리 양호 • 주차장과 화석산지 사이의 접근로(농로) 정비 필요
⑨ 화석 현황		• 일명 문곡리 스트로마톨라이트 산출 지역 • 남교 및 문암교 부근에서 스트로마토포로이드 산출



⑩ 훼손 현황	• 식생(초본 및 목본식물)에 의한 생물 침해 발생 중. 특히 목본식물의 빠른 성장이 화석산지의 훼손을 가속화 시킬 수 있음. 이로 인해 물리적 풍화 현상이 발생하고 있음. • 주기적인 모니터링 필요.
⑪ 생물(식생) 침해	• 초본식물과 목본식물에 의한 생물 침해 발생.
⑫ 추가 확인된 화석	–
⑬ 조사자 의견	• 현재까지 화석산지의 훼손은 육안으로 관찰되지 않음. • 화석산지 진입로(농로)의 정비가 필요하며, 화석산지 노두 표면에서 자라는 식생의 주기적인 제거 필요. • 주기적인 모니터링 필요.
⑭ 사진 촬영	2008년~2009년 주기적 사진 촬영 실시.



4 천연기념물 제416호 태백 장성 전기고생대 화석산지 2009~2011

| 1 | 화석산지 현황

1.1. 화석산지 개요

태백 장성의 하부고생대 화석산지는 강원 태백시 장성동 산 42-2번지에 위치하고 있으며(그림 34), 1986년 11월 19일 강원도 기념물 제57호로 지정 · 보호되었다. 이후 고생대 지구의 역사와 한반도의 자연 역사를 알아낼 수 있는 중요한 화석산지로서 그 가치를 인정받아 2000년 4월 24일 천연기념물 제416호로 승격 · 지정되어 관리되고 있다.

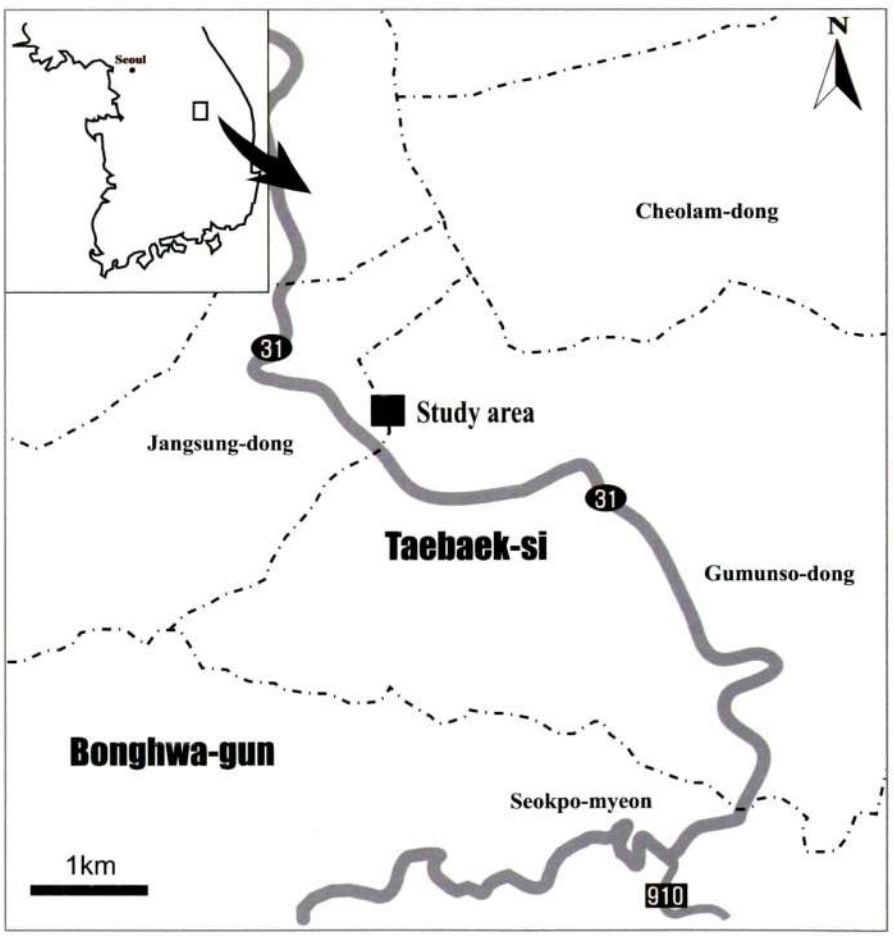


그림 34 | 태백 장성 하부고생대 화석산지 위치도.

장성의 하부고생대 화석산지는 고생대 오르도비스기(4억 7천~4억 5천 만년 전)의 조선누층군에 해당하는 퇴적암들로 구성되어 있으며, 고생대에 번성했던 해양 절지동물인 삼엽충 화석이 대량으로 산출되는 국내 삼엽충 화석의 보고이다.

산 능선을 따라 조선누층군의 상부인 직운산층이 잘 노출되어 있으며 삼엽충과 함께 하부고생대임을 지시하는 완족동물, 필석, 두족류, 복족류, 개형충 등의 다양한 화석이 산출되고 있다. 현재 직운산층에서 인지되는 삼엽충은 3속 4종이다(Lee and Choi, 1992). 즉, *Dolcrobasilicus yokusensis, Basiliella kawasakii, Basiliella typicalis* (Kobayashi, 1934), 그리고 *Ptychopyge dongjeomensis*(이하영 외, 1980)가 이에 해당한다.

1.2. 조사 지역의 지질

태백 장성군 일원과 그 주변 지역은 하부 고생대층인 조선누층군과 상부 고생대층인 평안누층군으로 구성되어 있다. 특히, 조사 지역인 태백 장성동 하부고생대 화석산지는 조선누층군 중에서도 태백층군에 해당하며 하부로부터 장산층, 묘봉층, 대기층, 세송층, 화절층, 동점층, 두무골층, 막골층, 직운산층, 두위봉층이 비교적 질서 정연하게 노출되어 있다(그림 35; Choi, 1998).

막골층은 석회이암, 돌로스톤, 석회입자암 등을 포함하는 탄산염암 위주로 이루어지나 상부에는 얇은 사암과 세일층이 협재하기도 한다. 막골층의 층후는 지역에 따라 약 250m~400m 로 추정되고 있다. 막골층에서는 무척추 동물 화석이 드물게 산출되며, 보존 상태도 불량한 편이다. (Lee 1976)는 구문소 지역의 막골층에서 39종의 코노돈트 화석을 기재하고 막골층 하부를 북아메리카의 중부 내지 상부 Canadian, 그리고 막골층 상부를 Chazyan에 각각 대비시킨 바 있다. 한편, Lee and Lee(1990)은 막골층의 코노돈트 화석군에 대한 연구를 바탕으로 이들이 후기 Arenigian에 해당한다고 결론지었다.

직운산층은 하위의 막골층을 정합적으로 덮으며, 또한 정합적으로 상위의 두위봉층으로 이어진다. 암상은 흑색 세일과 회색 석회암으로 구성되며 층의 하부에서는 석회암이 우세한

반면 상부로 갈수록 세일의 양이 많아지는 양상을 보인다. 특히 흑색 세일 층준에서는 화석이 풍부하게 산출된다. 산출되는 화석은 삼엽충, 완족동물, 이매패류, 복족류, 두족류, 개형충(Lee *et al.*, 1996), 필석, 해백합, 코노돈트(Lee and Lee, 1986; Lee and Lee, 1990), 소속불명 화석(Lee and Choi, 1992) 등 거의 모든 종류의 무척추동물을 포함한다. Lee and Lee(1990)는 직운산층 내 코노돈트 화석군에 대한 연구를 바탕으로 이 층이 중국의 Machiakou(馬家河)층에 대비되며 유럽의 Llanvirn age에 해당한다고 하였다.

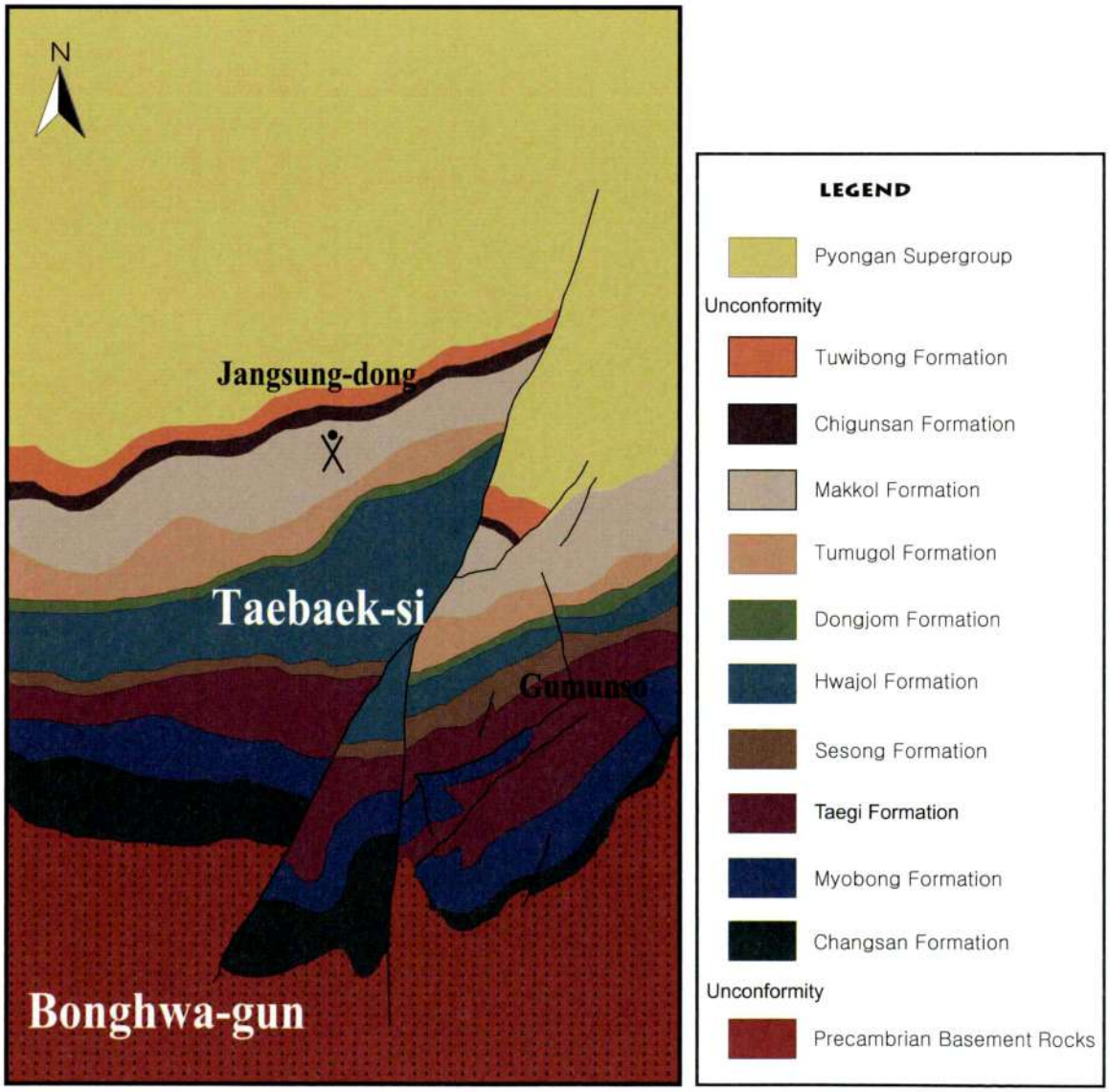


그림 35 | 조사 지역 및 주변 지역 지질도(modified from Kwon, 2006).

이곳에서는 삼엽충에 관한 연구 외에 Lee *et al.*(1996)에 의한 개형충 연구, 그리고, Lee and Lee(1986)과 Lee and Lee(1990)의 코노돈트 연구, 그리고 Lee and Choi(1992)에 의한 소속불명 화석인 Plumulitcs에 관한 연구 등 많은 연구가 수행되었다.

두위봉층은 태백층군의 최상부층으로 아래의 직운산층 위에 정합적으로 놓이며, 위로는 상부고생대층인 평안누층군과 부정합으로 접해 있다. 두위봉층은 주로 밝은 회색의 석회입자암과 세일로 구성되어있다. 두위봉층의 노두는 비교적 불연속적으로 나타나며, Lee and Lee (1990)는 두위봉층 내 코노돈트 화석군에 대한 연구를 바탕으로 이 층이 중국의 Machiakou(馬家河)층 상부에 대비되며 유럽의 Llanvirn 후기 내지 Llandeilo 시기에 해당한다고 하였다.

1.3. 하부고생대의 다양한 화석

하부고생대 태백산 분지에서 산출되는 화석 중에서 가장 보편적인 종류는 삼엽충이다. 그 가운데에서도 일반인들에게 잘 알려진 삼엽충 화석은 중기 오르도비스기에 해당하는 직운산층에서 주로 산출된다. 특히, 천연기념물 제416호 지정 지역에서 삼엽충 화석을 가장 쉽게 관찰할 수 있다. 이곳에서는 삼엽충 외에도 완족동물, 두족류, 복족류, 필석류, 해백합 및 개형충 화석 등 다양한 화석들이 산출되고 있다(그림 36). 일찍이 일본인 학자인 Nakamura(1924)와 Yamanari(1926)는 직운산층에서 산출되는 삼엽충 화석에 대해 처음으로 소개하였다(표 17). 이후 좀 더 체계적인 연구는 Kobayashi(1934)에 의하여 이루어졌으며, 그는 태백산 일대의 직운산층과 두위봉층의 층서고생물학적 연구를 수행하여 직운산층으로부터 87종 (필석 2종, plumulitid 1종, 완족동물 3종, 이매패류 13종, 복족류 5종, 두족류 47종, 삼엽충 15종, 개형충 1종), 그리고 두위봉층으로부터 43종 (완족동물 3종, 이매패류 9종, 복족류 18종, 두족류 10종, 삼엽충 2종, 배갑류 1종)의 화석을 보고하였다. 삼엽충은 총 17종을 기재하였는데, 그 중 3속, 11종, 1변종을 새로운 종류로 제안하였다.

표 17 | 태백 지역의 초기 삼엽충 연구자와 기재 화석

연구자	기재한 화석	비 고
Nakamura (1924)	삼엽충	직운산층 삼엽충에 대한 소개
Yamanari (1926)	삼엽충	
Kobayashi (1934)	삼엽충(17종) 등 130종	직운산층 87종, 두위봉층 43종 기재
Ma (1938)	삼엽충	직운산층 삼엽충에 대한 새로운 해석
Shikama & Ozaki (1969)	삼엽충, 완족류, 해백합	천연기념물 지정 지역 화석 연구
이하영 외(1980)	삼엽충 5종	원달기 선생 표본

한편, 중국학자 Ma(1938)는 직운산층에서 산출되는 삼엽충이 형태적으로 특이하다는 점을 인지하고 직운산층 삼엽충 화석에 대한 새로운 해석을 시도하였지만, 이 연구 결과는 널리 받아들여지지 않았다. 이후 태백 지역의 삼엽충 화석에 대한 연구는 30여 년 간 거의 이루어지지 않다가, 1969년 일본인 학자 Shikama and Ozaki(1969)가 천연기념물 제416호로 지정된 화석 산지에서 많은 화석을 채집하여 고생태학적 해석을 시도하였다. 이하영 외(1980)는 당시 태백시 거주 원달기 선생이 보유하고 있던 삼엽충의 완벽한 표본을 연구하여 5종의 새로운 종류를 발표하기도 하였다. 최근 Lee and Choi(1992)는 태백 지역의 직운산층에서 채집된 삼엽충들의 개체 발생과 머리 구조에 대한 자세한 분석을 수행하여 직운산층 삼엽충 화석군에 대한 분류학적인 재평가를 시도하였다. 그 결과, 당시 직운산층으로부터 알려진 22종의 삼엽충 중에서 분류학적으로 인정될 수 있는 종류는 3속 4종에 불과하다는 사실을 밝혔다. 즉, *Dolerobasilicus yokusensis*(Kobayashi, 1934), *Basiliella kawasakii*(Kobayashi, 1934), *Basiliella typicalis*(Kobayashi, 1934), 및 *Ptychopyge dongjeomemsis*(이하영 외, 1980)의 4종이다. 이 밖

에도 직운산층에서 산출되는 화석은 앞에서 언급한 것처럼 삼엽충, 개형충, 완족동물, 두족류, 복족류, 이매패류, 해백합, 필석 등 다양하다. 직운산층에서는 Rhodocronitidae과(Family)의 새로운 속으로 분류된 바다나리 화석에 대한 분류학적 연구가 이루어졌으며 이를 통해 퇴적 환경에 대한 연구에 큰 기여가 가능하다고 알려져 있다(조성주 외, 1998).

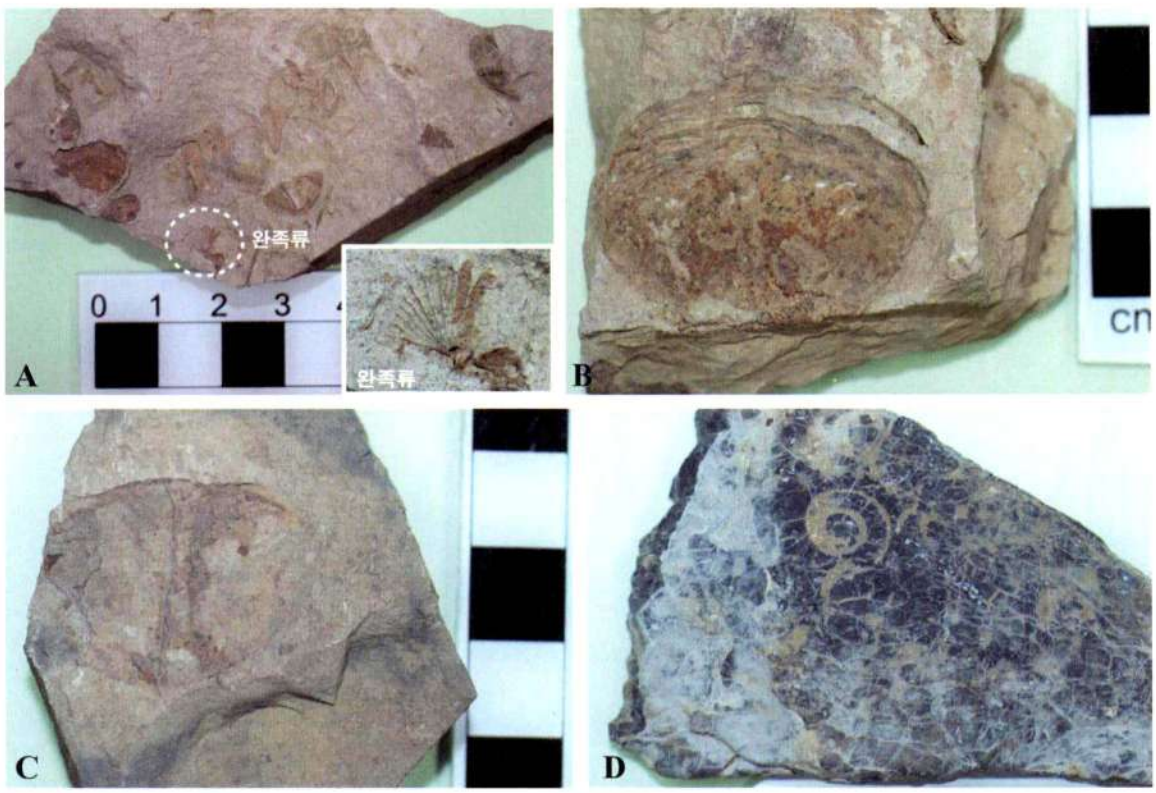


그림 36 | 천연기념물 지역의 작은 전석에서 발견되는 다양한 화석들
(A: 다양한 삼엽충 부위들과 완족류, B-C: 삼엽충 꼬리부분, D: 복족류 *Raphistoma* sp.).

| 2 | 화석산지 관리 실태

태백 장성 전기고생대 화석산지는 태백에서 산출되는 삼엽충 화석의 보고로 알려져 있을 정도로 유명하여 문화재로 지정되기 이전까지 많은 연구자와 일반 수집가들에 의해 화석산지가 훼손되었다.

아직도 화석산지에는 그 당시의 훼손 흔적들이 노두 곳곳에 남아 있다. 화석산지의 훼손은 강원 지방기념물 제57호로 지정되고 이후 2004년 4월 천연기념물 제416호 지정 · 보호되면서 더 이상의 훼손은 일어나지 않고 있다.

화석산지 입구에는 경작지(밭)와 개인 묘지 등이 조성되어있으며, 이를 지나면 화석산지로 통하는 작은 진입로가 형성되어 있으나 관리가 되지 않아 식생으로 덮여있다(그림 37). 화석산지의 주변 전석(암석)에서는 삼엽충, 두족류, 필석류 등 화석의 파편이 쉽게 관찰되어 화석의 풍부함을 짐작할 수 있다(그림 36). 화석산지의 주요 노두가 분포하는 지역에 대해서는 훼손을 방지하기 위해 2중 철조망으로 울타리를 설치하였으며 전문 관리인(차복녀)이 배치되어 화석산지를 관리하고 있다. 따라서 인위적인 훼손은 거의 발생하지 않고 있다.



그림 37 | 화석산지 입구에서 화석산지까지 이어진 숲길. 식생으로 덮여 있음.

화석산지에 대한 주기적인 환경 정비(예, 식생제거 등) 작업이 이루어져야 할 것이다. 또한, 화석산지에는 크고 작은 문화재 관련 안내판이 3개가 설치되어 있다. 여기에는 화석산지의 명칭이 표기되어 있는데, 아직도 예전 명칭을 그대로 사용하고 있다(그림 38). 표기된 화석산지의 명칭은「태백 장성의 하부 고생대 화석산지」이나, 몇 해 전 개정된 화석산지의 명칭은「태백 장성의 전기 고생대 화석산지」이다. 이에 대한 빠른 교체 작업이 필요하다.



그림 38 | 석산지에 설치된 문화재 관련 안내판들. 잘못된 명칭을 사용하고 있음.

2.1. 화석산지 관리 개선 방안

태백 장성 전기고생대 화석산지는 천연기념물로 지정되기 이전에 많은 화석들이 채집되기도 하였으나 현재는 인위적인 훼손은 발생하지 않고 있다. 또한, 화석산지 보호를 위해서 주요 노

두에 대해 철제 울타리 설치와 문화재 관리인의 상주 등은 화석산지 보호에 많은 도움이 된다. 그러나 철제 울타리의 철거 역시 검토해 볼 필요가 있다. 문화재를 바라보는 시민 의식이 예전에 비해 높게 성숙되었고, 철제 울타리 내에 존재하는 화석을 포함하고 있는 노두들이 대부분 표토에 의해 덮여 있어 실제 현장에서 노두를 관찰하는 것도 쉽지 않다. 실제로, 철제 울타리는 문화재와 사람과의 소통을 막고 있으며, 철제 울타리 높이 만큼의 큰 장벽 역할을 하고 있다. 문화재는 사람과 소통하고 공존할 때, 그 가치가 높아지고 그 지역이 보호될 수 있다. 더불어 화석산지 주변의 환경 정비가 선행되어야 한다(그림 37-38). 화석산지의 주변 식생을 지속적으로 제거하여 쾌적한 환경이 유지 될 수 있도록 노력하고, 잘못 표기된 문화재 관련 안내판들을 교체하여 정확한 정보를 제공하여야 할 것이다. 이때 안내판의 디자인 정비 및 개선 작업도 병행하는 것이 바람직하다. 현재 문화재 안내판 개선 작업은 문화재청 문화재활용팀에서 추진하고 있으며 문화재 안내판 제작 시, 문화재활용팀의 자문을 받아 추진하는 것이 바람직하다.



그림 39 | 화석산지에 설치되어 있는 철제 울타리 모습.

| 3 | 모니터링 Data sheet 작성

표 18 | 화석산지 모니터링 체크 리스트: 천연기념물 제416호 태백 장성 전기고생대 화석산지(2011)

화석산지 모니터링 체크 리스트 조사일: 2011. 7. 7.

① 지정 번호	천기 416호	② 지정 명칭	태백 장성 전기고생대 화석산지
③ 소 재 지	강원도 태백시 장성동 산42-2		

모니터링 항목		조 사 내 용
④ 사이트 환경		☑산 ☐바닷가 ☐섬 ☐하천 ☐도로 ☐기타( )
⑤ 접근성	내륙(바닷가)	☑진입 불가 ☐소형 차량 진입 가능 ☐모든 차량 진입 가능
	섬	☐무인도 ☐유인도(여객선 운항 횟수 기재/일)
⑥ 관광지 개발 여부		☑해당 없음 ☐준관광지 ☐관광지
⑦ 1일 방문자 수		☑10명 미만 ☐10~30명 미만 ☐30~50명 미만 ☐50~100명 미만 ☐100명 이상
⑧ 문화재 구역 관리 실태		☐부적합 ☑보통 ☐우수 ☐대단히 우수 • 문화재 관리인(차복녀) 상주 등 문화재 관리 실태 양호 • 향후 개선 사항 – 화석산지 접근로(등산로 이용) 정비 필요 – 문화재 안내판 정비 및 추가 설치 필요 – 화석산지 환경 정비 필요
⑨ 화석 현황		• 삼엽충(4종의 삼엽충 보고) • 완족동물, 두족류, 복족류, 필석류, 해백합 및 개형충 화석
⑩ 훼손 현황		• 천연기념물 지정 이전에 훼손된 노두가 일부 관찰됨. • 주기적인 모니터링 필요.

⑪ 생물(식생) 침해	• 화석산지 노두 전체 식생 성장.
⑫ 추가 확인된 화석	–
⑬ 조사자 의견	• 2010년에 비해 화석산지 관리가 더 좋지 않음. 방문자 수도 많이 줄었음. 화석산지로 진입하는 진입로(등산로)의 정비 등 전체적인 환경 정비 필요함. • 화석산지 주변에 설치된 철망의 제거에 대한 고민 필요. • 문화재 안내판 개선 작업 및 소형 안내 표지 추가 설치 필요. • GPS 좌표: N37° 05′ 50.0″ E 129° 00′ 54.7″
⑭ 사진 촬영	주변 환경. 화석산지, 화석 사진 촬영(Tiff, JPEG 파일).



표 19 | 화석산지 모니터링 체크 리스트: 천연기념물 제416호 태백 장성 전기고생대 화석산지(2010)

화석산지 모니터링 체크 리스트 조사일: 2010. 7. 14.

① 지정 번호	천기 416호	② 지정 명칭	태백 장성 전기고생대 화석산지
③ 소 재 지	강원도 태백시 장성동 산42-2		

모니터링 항목		조 사 내 용
④ 사이트 환경		☑산 □바닷가 □섬 □하천 □도로 □ 기타( )
⑤ 접근성	내륙(바닷가)	☑진입 불가 □소형 차량 진입 가능 □모든 차량 진입 가능
	섬	□무인도 □유인도(여객선 운항 횟수 기재/일)
⑥ 관광지 개발 여부		☑해당 없음 □준관광지 □관광지
⑦ 1일 방문자 수		□10명 미만 ☑10~30명 미만 □30~50명 미만 □50~100명 미만 □100명 이상
⑧ 문화재 구역 관리 실태		□부적합 □보통 ☑우수 □대단히 우수 • 문화재 관리인(차복녀) 상주 등 문화재 관리 실태 양호 • 향후 개선 사항 – 화석산지 접근로(등산로 이용) 정비 필요 – 문화재 안내판 정비 및 추가 설치 필요 – 화석산지 환경 정비 필요
⑨ 화석 현황		• 삼엽충(4종의 삼엽충 보고) • 완족동물, 두족류, 복족류, 필석류, 해백합 및 개형충 화석
⑩ 훼손 현황		• 천연기념물 지정 이전에 훼손된 노두가 일부 관찰됨. • 주기적인 모니터링 필요.

⑪ 생물(식생) 침해	• 화석산지 노두 전체 식생 성장.
⑫ 추가 확인된 화석	–
⑬ 조사자 의견	• 화석산지 주변에 설치된 철망의 제거에 대한 고민 필요. • 화석산지 진입로(등산로)의 정비 등 전체적인 환경 정비 작업이 필요하며, 문화재 안내판 개선 작업이 병행되었으면 함. • 주기적인 모니터링 필요.
⑭ 사진 촬영	2009년~2010년 Tiff, JPEG 파일 100여 장 확보.



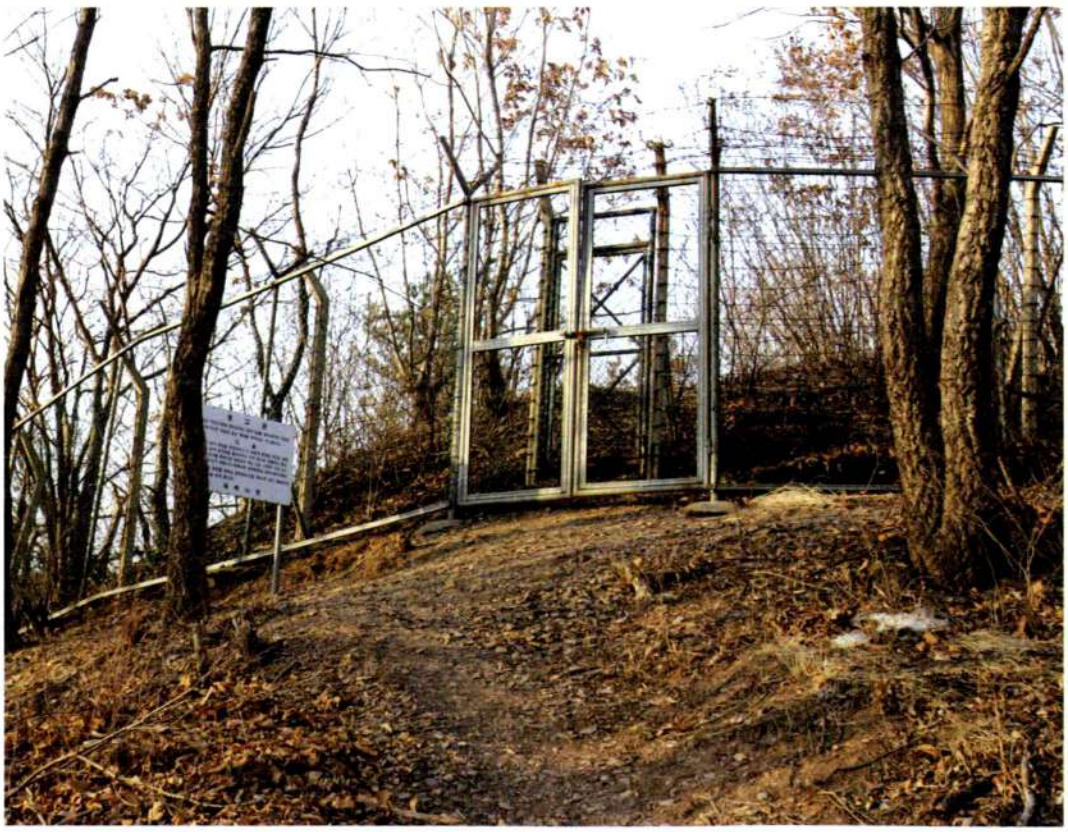
표 20 | 화석산지 모니터링 체크 리스트: 천연기념물 제416호 태백 장성 전기고생대 화석산지(2009)

화석산지 모니터링 체크 리스트 조사일: 2009. 9. 2.

① 지정 번호	천기 416호	② 지정 명칭	태백 장성 전기고생대 화석산지
③ 소 재 지	강원도 태백시 장성동 산42-2		

모니터링 항목		조 사 내 용
④ 사이트 환경		☑산 ☐바닷가 ☐섬 ☐하천 ☐도로 ☐ 기타( )
⑤ 접근성	내륙(바닷가)	☑진입 불가 ☐소형 차량 진입 가능 ☐모든 차량 진입 가능
	섬	☐무인도 ☐유인도(여객선 운항 횟수 기재/일)
⑥ 관광지 개발 여부		☑해당 없음 ☐준관광지 ☐관광지
⑦ 1일 방문자 수		☐10명 미만 ☑10~30명 미만 ☐30~50명 미만 ☐50~100명 미만 ☐100명 이상
⑧ 문화재 구역 관리 실태		☐부적합 ☐보통 ☑우수 ☐대단히 우수 • 문화재 관리인 상주 등 문화재 관리 실태 양호 • 향후 개선 사항 – 화석산지 접근로(등산로 이용) 정비 필요 – 문화재 안내판 정비 및 추가 설치 필요 – 화석산지 환경 정비 필요
⑨ 화석 현황		• 삼엽충 화석이 가장 풍부(태백층군 중 가장 풍부하게 산출) – 총 4종의 삼엽충 보고 • 완족동물, 두족류, 복족류, 필석류, 해백합 및 개형충 화석
⑩ 훼손 현황		• 천연기념물 지정 이전에 훼손된 노두가 일부 관찰되나 전반적으로 훼손 상태를 찾아 볼 수 없음. • 주기적인 모니터링 필요.
⑪생물(식생) 침해		• 화석산지 노두 전체 식생 성장.

⑫ 추가 확인된 화석	–
⑬ 조사자 의견	• 현재까지 화석산지의 훼손은 육안으로 관찰되지 않음. • 화석산지 진입로(등산로)의 정비 등 전체적인 환경 정비 작업이 필요하며, 문화재 안내판 개선 작업이 병행되었으면 함. • 문화재 관리인을 문화 해설사로 양성하여 화석산지를 홍보하고 교육하는데 활용하였으면 함. • 주기적인 모니터링 필요.
⑭ 사진 촬영	Tiff, JPEG 파일 50여 장 확보.



5 천연기념물 제373호 의성 제오리 공룡발자국 화석산지 2008~2011

| 1 | 화석산지 현황

1.1. 화석산지 개요

의성 제오리 공룡발자국 화석산지는 경북 의성군 금성면 제오리 111-3번지에 위치하고 있다(그림 40). 1988년 의성군 관내 지방도로 확장 공사 중 발견되었으며 1990년 10월 25일 부산대학교 김항묵 교수 등에 의해 보고된 후, 1993년 6월 1일 천연기념물 제373호 지정되었다.

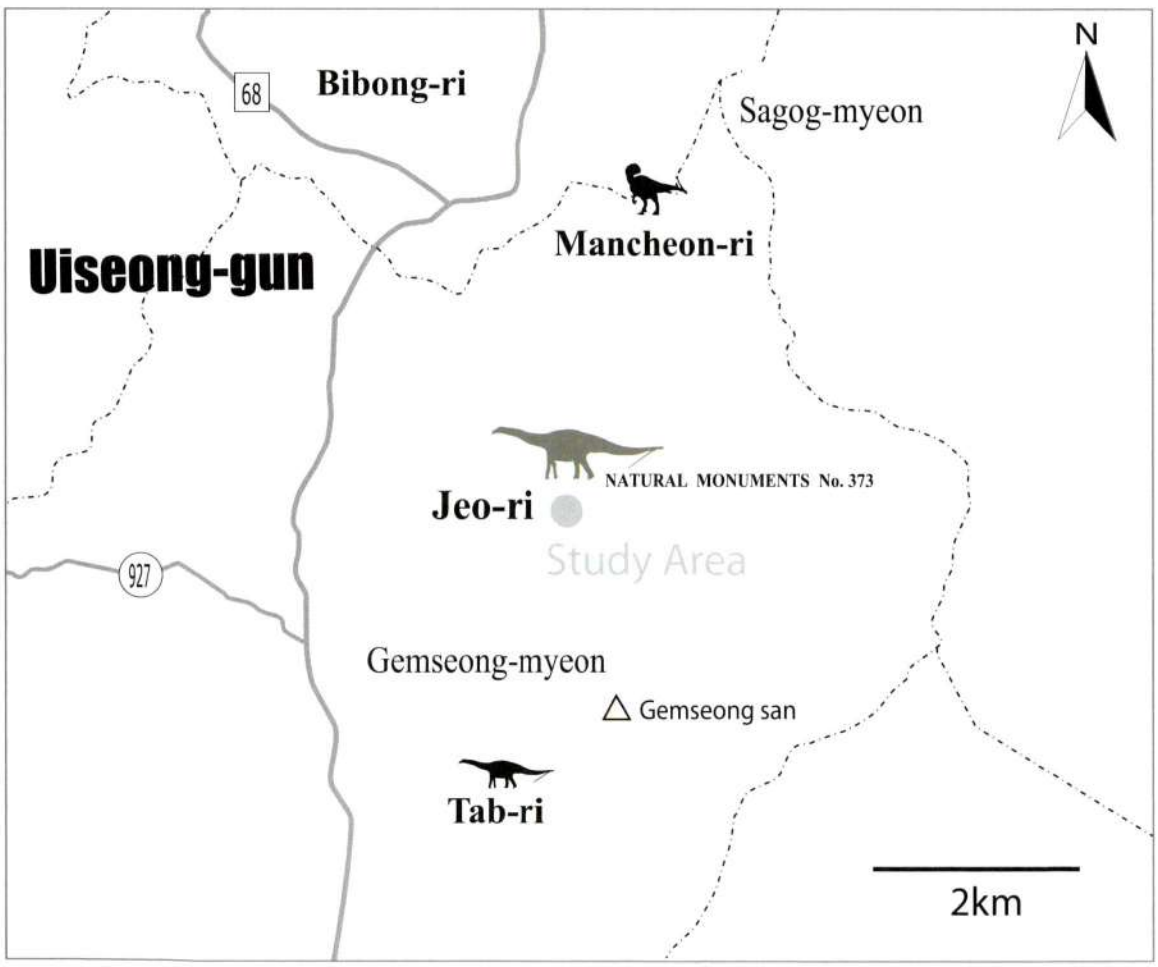


그림 40 | 모니터링 조사 지역 및 인근 공룡 화석산지(공달용과 김태형, 2008).

공룡발자국이 보존된 노두는 금성산 칼데라의 영향으로 함몰되면서 공룡발자국을 포함한 지층이 약 45°정도 가파르게 기울어져 있다. 의성 제오리 공룡발자국 화석산지는 공룡 관련하여 우리나라 첫 번째로 지정된 천연기념물 지역이다. 또한, 제오리가 위치한 의성군 일원은 공룡뼈, 악어 이빨 화석 및 여러 종류의 공룡발자국 화석산지로도 유명한 지역이다(장기홍 외, 1982; 김항묵, 1983; 손진담 외, 1998; 이융남, 2004; Lee *et al.*, 1997; Lee *et al.*, 2001; Kim *et al.*, 2005, Lim *et al.*, 2008). 특히, 1973년 1월 부산대학교 김항묵 교수는 제오리와 인접한 금성면 탑리 봉암재(구계동층)에서 우리나라에서 처음으로 공룡뼈 화석을 발견하였다. 이 지역과 가까운 금성면 만천리에서는 세계에서 가장 작은 아기 공룡발자국 화석이 발견되었다(Lim *et al.*, 2008).

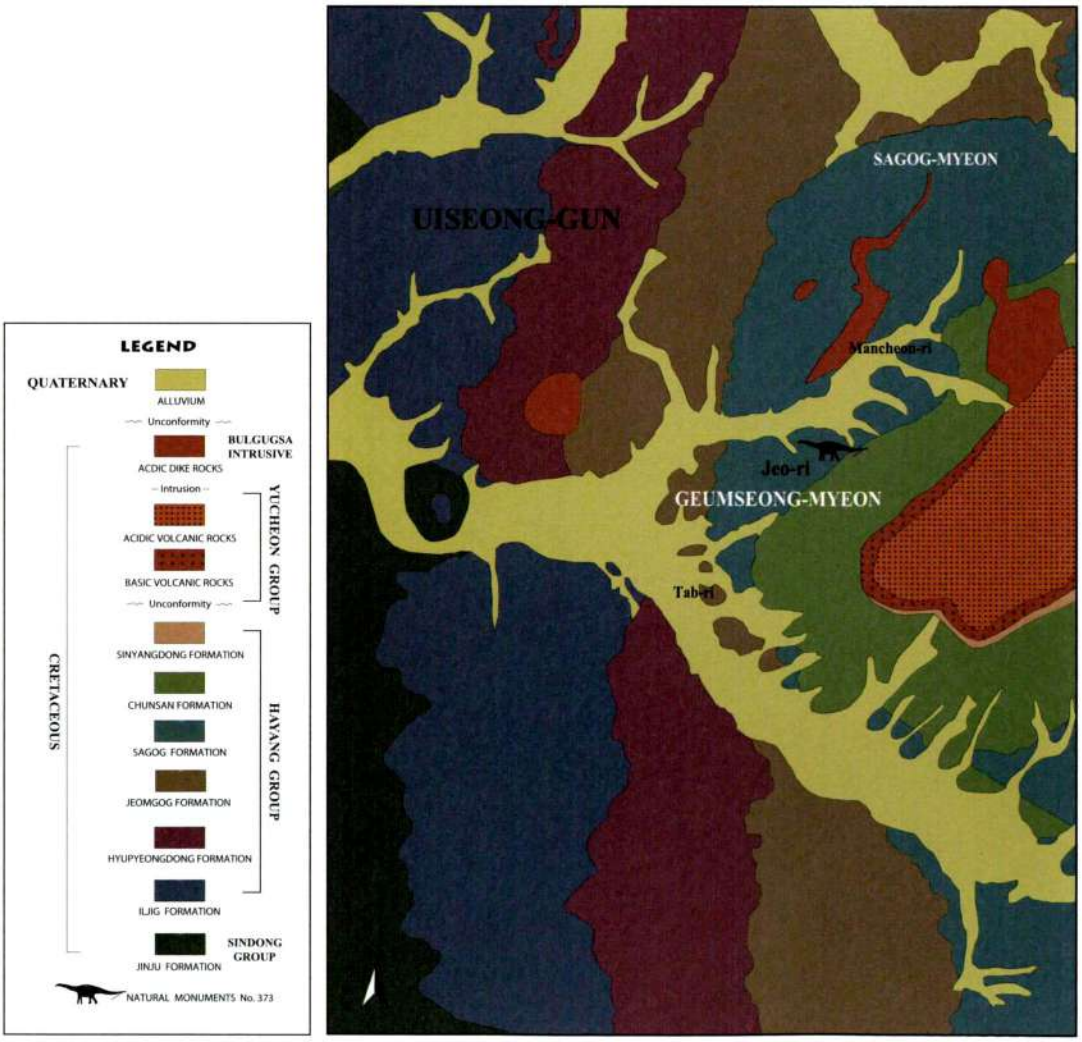


그림 41 | 조사 지역 및 주변 지역 지질도(장기홍 외, 1981).

1.2. 조사 지역의 지질

조사 지역인 의성군 제오리 일원과 그 주변 지역은 중생대 백악기 경상누층군의 하부층준에 속하는 신동층군(낙동층, 하산동층, 진주층)과 이를 정합으로 덮은 하양층군(일직층, 후평동층, 점곡층, 사곡층, 춘산층 신양동층)으로 되어 있다(그림 41). 조사 지역인 제오리 공룡발자국 화석산지의 지층은 경상누층군 하양층군 사곡층에 해당하며 사곡층은 하부의 점곡층과 상부의 춘산층과는 달리 자색층을 함유하고 있는 것이 특징이며 주로 담회색 사암과 셰일로 구성되어 있다. 공룡발자국을 포함한 지층의 주향과 경사는 각각 N60°E 와 42°SE이다. 사곡층은 대구 및 그 이남 지역에서의 함안층과 대비되는 지층이다.

1.3. 의성 제오리 공룡발자국 화석

의성 제오리 공룡발자국 화석산지는 약 1억 1천만 년 전 강과 범람원 지역에서 퇴적된 지층이다. 공룡발자국이 발견되는 층준은 총 4개이며 300개 이상의 공룡발자국이 이곳에서 관찰된다(그림 42). 발견된 공룡발자국은 초식공룡인 용각류와 조각류 및 육식공룡인 수각류 발자국으로 이 중 초식공룡인 용각류의 발자국이 매우 우세하다. 대다수의 발자국들은 각 개체의 보행렬을 확인 할 수 있을 정도로 연속성이 양호하다. 가장 많이 발견되는 초식공룡인 용각류 발자국은 12마리 이상의 보행렬이 확인된다. 초식공룡인 조각류의 경우, 10마리 이상의 공룡이 지나간 흔적이 확인되며 육식공룡인 수각류는 1마리가 지나간 흔적이 남아있다(그림 42, 붉은색 표기).

초식공룡인 용각류는 앞발과 뒷발이 모두 관찰되며 뒷 발자국이 앞 발자국보다 훨씬 크다. 초식공룡인 조각류와 육식공룡인 수각류는 유사한 형태의 발자국을 보이나 조각류는 발가락은 발톱이 뭉툭하며 일반적으로 발자국의 폭과 길이가 거의 같은 반면, 수각류는 발가락의 폭이 좁고 발가락 끝이 날카로운 발톱으로 뾰족하며 발자국 길이가 폭보다 항상 크다는 차이점이 있다.

이곳 제오리 공룡발자국 화석산지는 내륙지역에서 발견되었고 높은 밀집도의 공룡발자국이 보존되어 있는 것이 특징이다.

그림 42| 의성 제오리 공룡발자국 분포도(공달용과 김태형, 2008).

www.nhc.go.kr
Natural Heritage Center

| 2 | 화석산지 관리 실태

의성 제오리 공룡발자국 화석산지는 2008년~2010년 모니터링 조사에서 화석산지의 훼손 원인으로 5가지의 위험 인자가 확인되었다(표 21). 모니터링 조사에서는 확인된 5가지 위험 인자의 변화에 대한 조사를 실시하였으며, 이 중 ⑤진동의 발생과 소음의 증폭(관내 도로 및 보호각)은 2009년 조사 결과, 진동에 의한 화석산지의 훼손은 약한 것으로 조사 되어 이 부분은 제외하였다.

표 21 | 의성 제오리 공룡발자국 화석산지 주요 훼손 원인

공룡발자국 화석산지 훼손 위험 인자	
① 수분 유입과 배수 시설 미비	높음
② 생물 침해(초본류, 목본류, 조류, 균류 및 지의류 등)	높음
③ 오염 물질(페인트, 시멘트, 토양 등)	매우 높음
④ 암석의 박리, 박락 현상	높음
⑤ 진동의 발생과 소음의 증폭(관내 도로 및 보호각)	낮음

2010년 9월, 문화재청과 의성군은 「의성 제오리 공룡발자국 화석산지 보호사업」을 진행하였으며, 이를 통해 화석산지 보호를 위한 배수로 정비, 잡목 제거, 보호막 도색 등을 실시하였다(공달용 외, 2010 참조). 배수로 정비 사업 후, 1년간 배수 시설 미비로 인해 발생되는 수분 유입과 생물 침해 현상이 얼마나 감소되는지를 조사 하였다. 그 결과 기존 배수로의 정비만으로는 수분 유입과 생물 침해 현상을 차단하지 못하는 것으로 나왔다. 수분의 차단과 함께 중요한 것이 오염 물질(페인트, 시멘트, 토양 등) 및 암석의 박리, 박락 현상에 대한 보존 대책이 이루어져야 한다. 수분의 차단은 장기간의 매우 어려운 과제일 것이나, 오염 물질의 제거는 중요성에 비해, 매우 쉬운 작업에 속한다. 이에 대한 단계별 계획 수립이 요구된다.

| 3 | 화석산지 주요 훼손 원인 분석

3.1. 오염 물질(페인트, 시멘트)

가. 화석산지 실태 및 대책

화석산지 곳곳에는 페인트성 물질이 칠해져 있어 화석산지를 훼손하고 있다(그림 43). 공룡발자국을 잘 보이게 하기 위해 공룡발자국에 칠한 것으로 2003년과 2004년, 두번에 걸쳐 발자국에 칠이 되었다. 지금 현재는 연주황색의 페인트가 발자국에 칠되어 있으나(그림 43 F), 자세히 관찰해 보면 연주황색으로 칠하기 이전에, 녹색, 노란색, 빨간색의 3가지 색이 칠되어 있음을 확인할 수 있다(그림 43 C-E).

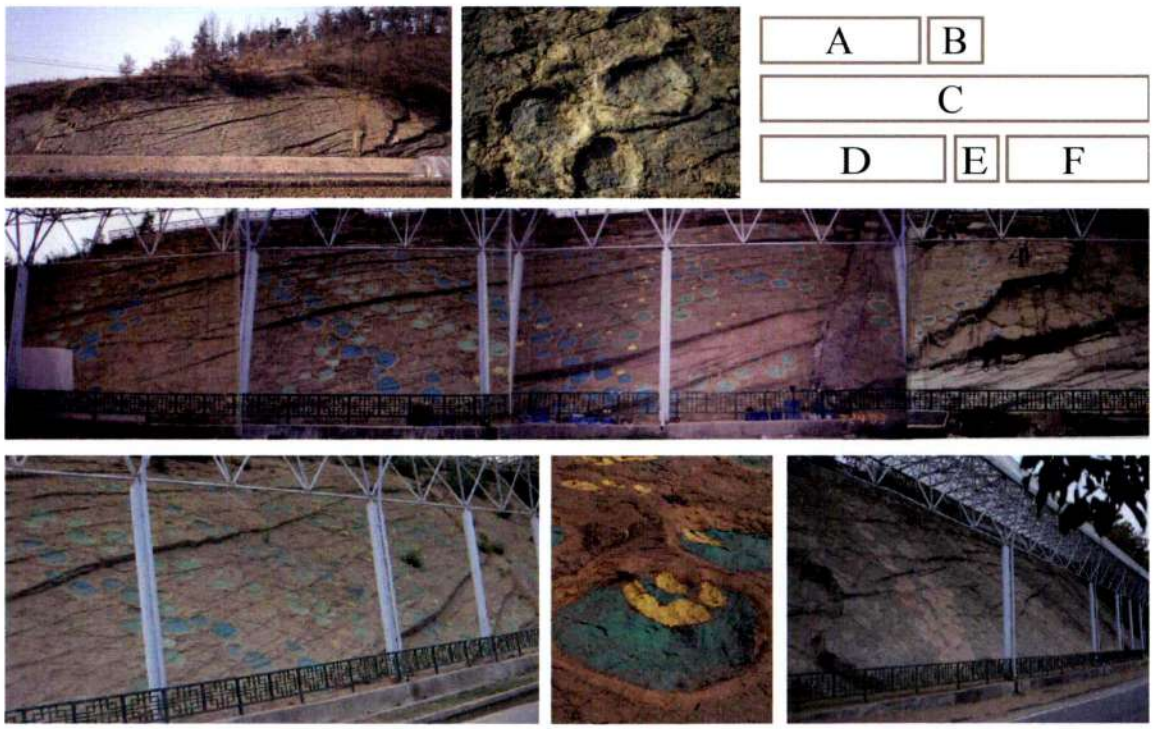


그림 43 | 제오리 화석산지 페인트성 물질 모습. (A, B) 1993년 천연기념물 지정 당시의 모습, (C) 2003년 7월, 1차 페인트 작업 모습, (D, E) 2004년 7월 20일 연합뉴스에 보도된 제오리 화석산지 모습, (F) 2011년 화석산지 모습. 연주황색 페인트로 칠되어 있음. 2004년 7월 이후, 2차 페인트 작업을 함.

이들 3가지 색은 공룡발자국에 따라 달리 칠이 되어 있는데, 초식공룡 용각류 발자국에는 녹색의 페인트가 칠되어 있고, 초식공룡 조각류의 발자국에는 노란색 페인트가 칠되어져 있다. 또한, 육식공룡 수각류의 발자국에는 빨간색 페인트가 칠되어 있다. 또한, 일부 공룡발자국에는 시멘트성 물질을 사용하여 보수한 흔적이 뚜렷하며 이들은 기존의 암석과 이질감을 주고 있다(그림 44 B). 시멘트로 공룡발자국의 윤곽을 만든 것으로 여겨지며 이러한 행위는 시멘트와 화석산지를 이루는 암석간의 성분 차이로 인해 화석산지 훼손을 더욱 빠르게 진행시키고 있다.

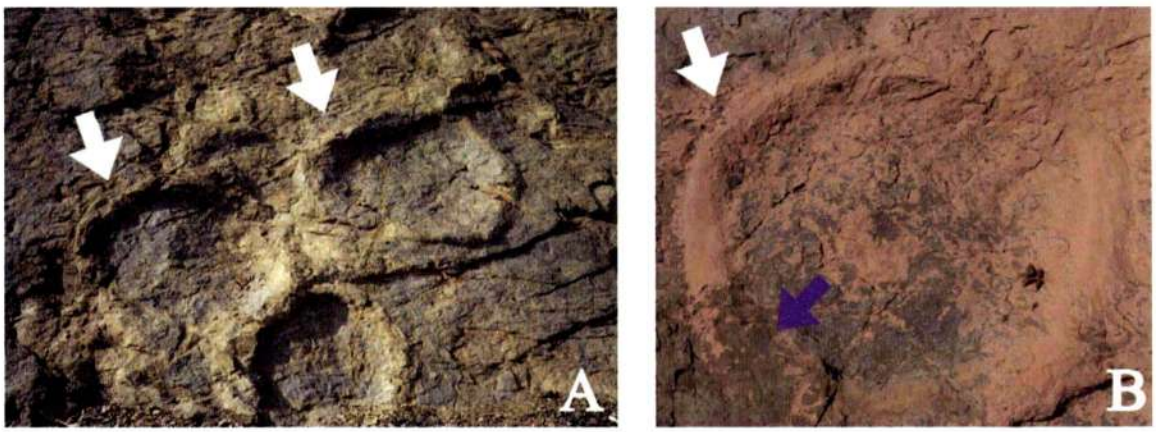


그림 44 | 제오리 화석산지 발견당시 용각류 발자국 모습(A, 화살표)과 시멘트에 의해 만들어진 용각류 발자국 모습(B, 흰색 화살표), B의 보라색 화살표 부분은 시멘트가 떨어져 나간 부분임.

나. 대책

화석산지의 페인트 물질을 야외에서 XRF 분석기로 분석한 결과, 화석산지에 칠한 페인트는 10% 이상의 칼슘이온 성분이 검출되었다(공달용 외, 2008). 칼슘과 같은 이온은 수분(물)의 영향에 의하여 쉽게 이온화 될 수 있으며 여기에서 생성된 수용성 염은 화석산지 암석의 풍화를 촉진시킬 수 있다. 따라서 페인트 물질과 시멘트 물질은 반드시 제거 되어야 한다. 이미 페인트 물질이 암석에서 탈락하고 있는 중이므로 쉽게 건식 세척으로도 제거가 가능할 것으로 판단된다. 다만, 시멘트 물질은 암석에서 제거 시 원암의 탈락이 불가피 할 것으로 판단되며 이에 따른 대책을 마련해야 할 것이다. 화석산지 보호 철책 내부 지면에 조성된 토양 역시 화석산지 오

염원 중 하나이다. 토양은 바람 등에 의해 날려 암석의 빈틈에 퇴적되어 식물 등의 서식지를 제공한다. 또한, 토양은 수분이 오랜 기간 머물면서 암석의 물리적, 화학적, 생물학적 풍화에 영향을 미칠 것이다. 토양 제거가 필요하다.

외국 사례(예, Dinosaur Ridge)에서도 의성 제오리와 유사한 사례가 있다. 미국 콜로라도에 위치한 'Dinosaur Ridge' 라는 곳은 한해에 약 10만 명 정도가 방문하고 있는 공룡발자국의 명소이다. 이곳 역시 도로 절개지에서 공룡발자국이 산출되었고, 의성 제오리와 같이 급한 경사면에 공룡발자국들이 보존되어 있다(그림 45). 이곳 역시, 높은 경사면에 보존된 발자국들이 시간이 지나면서 잘 보이지 않자, 일반 관람객들의 편의를 위해 고생물학자의 자문을 받아 숯(charcoal)을 이용하여 발자국에 칠을 하였다(그림 45 네모 박스 참조). 이렇게 칠한 숯은 페인트 물질과 달리 암석에 스트레스를 거의 주지 않게 되고 시간이 지나면 자연스럽게 없어지게 되어 의성 제오리와 같은 문제를 야기 시키지 않는다. 외국 사례 등에 대한 수집과 분석이 필요하다.

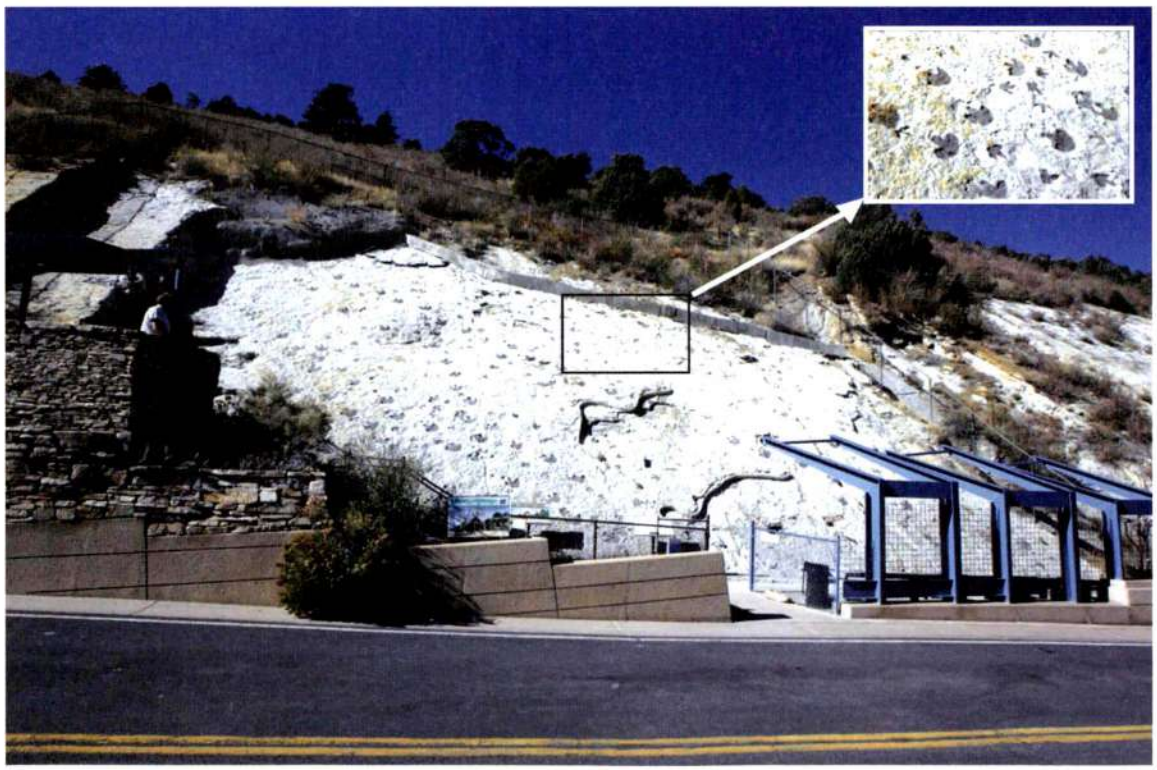


그림 45| 콜로라도에 위치한 'Dinosaur Ridge" 모습. 발자국이 잘 보이도록 "숯(charcoal)" 으로 칠이 되어져 있음.

3.2. 수분(물) 유입과 배수 시설

제오리 화석산지는 도로 확장 공사로 산사면이 절개된 후, 홍수로 인해 절개면에 새로운 지층면이 드러나면서 노출된 곳으로 산사면과 지층면은 약 40° 이상의 경사를 갖고 있다. 화석산지의 풍화 원인 중 가장 위험한 인자 중 하나가 수분(물)의 지속적이 공급이다. 보호시설물(보호각)이 설치되어 직접적인 화석산지의 접촉으로부터 보호되고 있으나 경사면을 따라 유입되는 수분(물)과 화석산지 암반의 갈라진 틈(crack 등)을 따라 지하에서부터 유입되는 수분(물)으로 인해 화석산지가 훼손되고 있다. 특히, 화석산지의 암석 표면에 자라고 있는 조류(algae), 균류(fungi) 및 지의류(lichens) 등의 분포 양상은 암석 표면에 지속적인 수분의 공급이 있었음을 지시한다. 이러한 수분의 유입은 암석의 훼손을 유발하고 조류와 균류 등과 같은 미생물의 서식처를 제공하여 화석산지의 2차적인 생물 침해를 일으키는 원인이 된다.

2010년 「의성 제오리 공룡발자국 화석산지 보호사업」의 일환으로 배수로 정비와 잡목제거 등이 이루어졌다(공달용 외, 2010. 참조). 배수로 정비는 총 42m 구간에 이루어졌으며, 기존 PE배수로의 기초를 철거한 후 바닥을 잘 다지고 무근콘크리트(1:3:6)로 기초를 시공하였다. 이후 벤치플륨관(200x200x40x2000)을 설치하고 기존 지반과 연결 부분에 누수가 발생하지 않도록 되메우기를 한 뒤 무근콘크리트로 상부를 마감하는 방법이 시도되었다. 배수로 정비 공사 후, 1년간 화석산지에 유입되는 물과 물의 유입으로 인해 발생하는 생물 침해 현상을 관찰하였다. 2008년 조사 시, 제오리 화석산지에서는 전체 노두에 걸쳐 암반을 타고 물이 유입되지만 크게 물의 유입은 3곳에서 일어난 것이 확인되었다(그림 46 A). 2009년~2010년 조사 결과에서는, 수분 유입과 그에 따른 생물 침해 현상이 2008년에 비해 규모가 더 확대되고 있었다(그림 46 B). 배수로 정비 1년 후, 조사에서도 여전히 화석산지로 물이 공급되고 있으며, 이로 인해 생물 침해 현상이 감소하지 않고 있는 것을 확인하였다(그림 46 C, 그림 48 A-C).

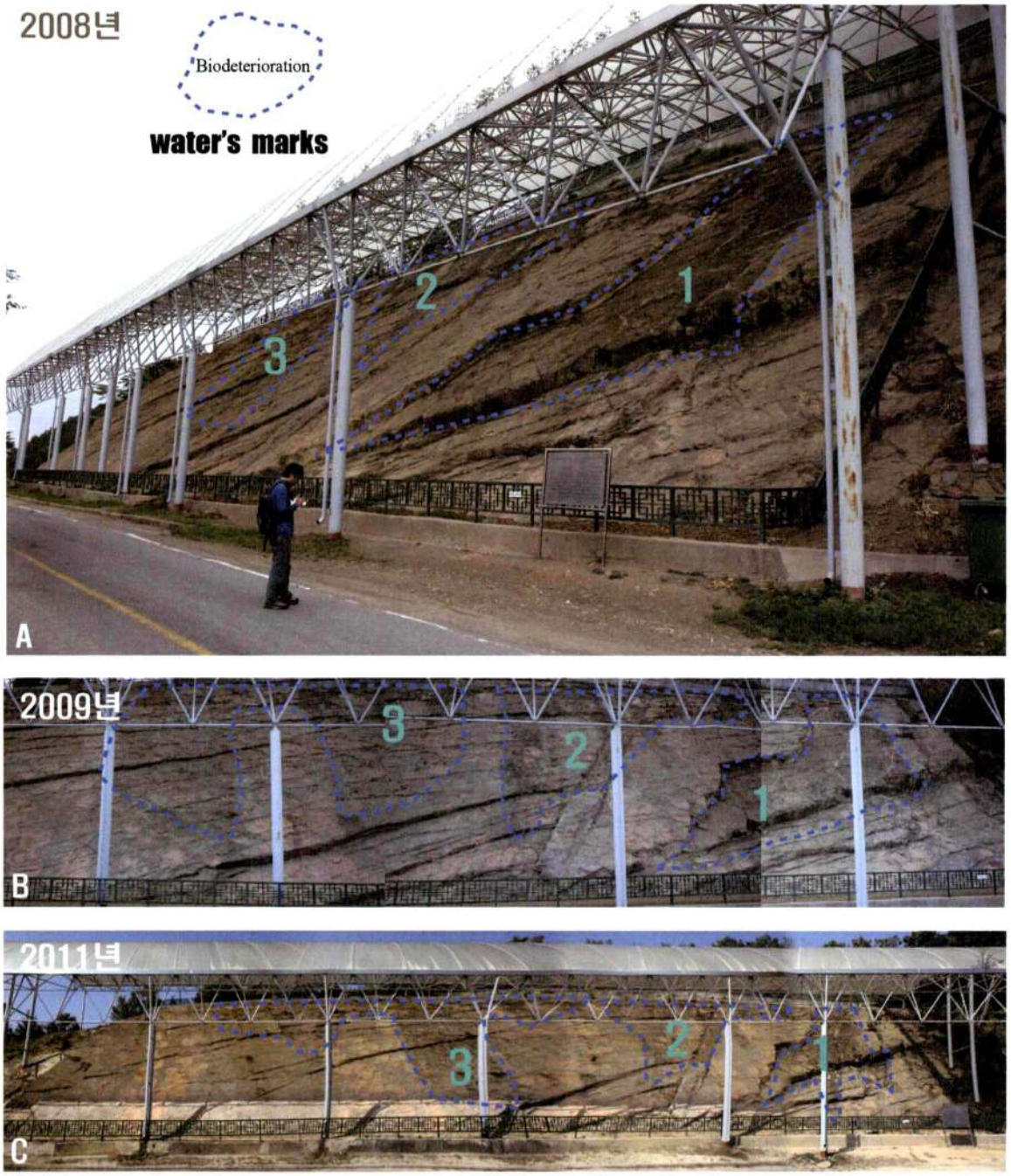


그림 46| 제오리 화석산지 내 지층의 사면을 따라 지속적인 수분(물) 유입이 발생하는 고. 지속적인 물이 유입되는 곳에는 생물 침해로 인한 2차 피해 발생(점선). (A) 2008년 물 유입지역과 생물 침해 범위, (B) 2009년 물 유입 지역과 생물 침해 범위, (c) 2011년 화석산지 사면을 따라 수분의 지속적인 공급으로 만들어진 흔적(water's marks)과 생물 침해(biodeterioration) 모습.

나. 대책

화석산지로 유입되는 수분의 근본적인 차단이 필요하다. 이를 위해서는 화석산지 상부의 산사면에 기존 배수로가 아닌 새로운 배수로의 설치가 요구된다. 기존에 설치되어 있었던 배수로와 2010년 정비된 배수로는 지하에서 유입되어 들어오는 수분 등을 차단하기에는 부족하다. 2010년 정비된 배수로는 공룡발자국 화석산지 뒤편 사면에서 내려오는 빗물의 유입을 일정부분 감소시키는 효과는 있을 것이나 공룡화석산지에 발달한 틈(crack)이나 절리(joint)를 따라 발생하는 누수는 차단하는데 한계가 있다.

새로 설치되는 배수로는 공룡 화석산지에 발달한 틈(crack)이나 절리(joint) 방향과 누수가 발생하는 지점 등을 확인하여 누수지점 보다 더 낮은 곳에 배수로가 설치되도록 하여야 한다(그림 47). 이를 위해 유입되는 배수량 등을 측정하여 배수로의 규모(넓이, 깊이 등)와 배수 방법 등에 대해 관련 전문가(암석, 지하수 및 배수 전문가 등)등의 자문을 거쳐 배수로 설치가 이루어져야 할 것이다.

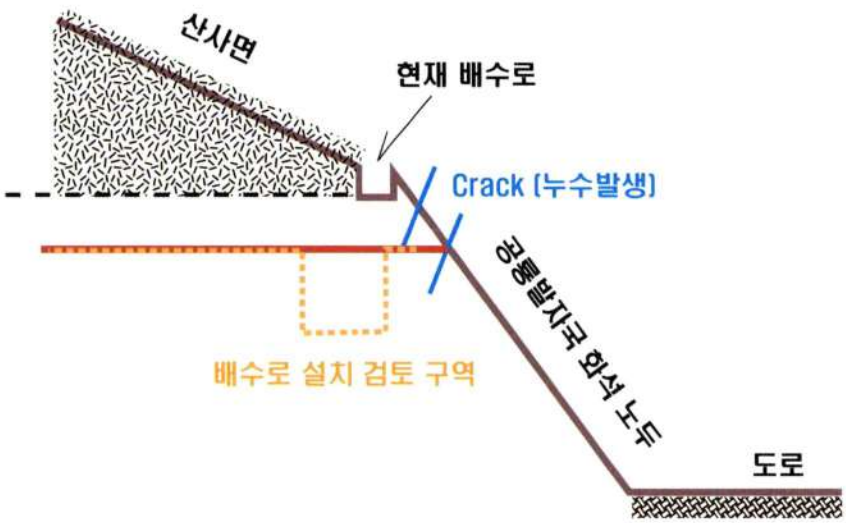


그림 47| 공룡화석산지 화석노두 및 배수로 설치 단면도.
누수발생 지점 보다 더 낮은 곳에 더 큰 규모의 배수로 설치가 필요함(공달용 외, 2009).

3.3. 생물 침해(초본류, 목본류, 조류, 균류 및 지의류 등)

가. 화석산지 실태

공룡발자국과 같은 대부분의 화석산지들은 외부 환경에 노출되어 있어 물리 · 화학적 환경에 의해 훼손이 진행되고 있다. 이와 더불어 외부환경에 노출되어 있는 화석산지들은 생물(균류, 조류, 지의류 등)에 의해 직접적인 암석의 훼손을 받고 있는데 이들은 암석의 풍화를 촉진시키는 촉매제 역할을 하고 있다. 최근 암석의 풍화를 촉진시키는 오염 물질 중 NOx, SOx 및 분진들은 유기물로 침착되어 미생물의 영양원이 된다. 미생물이 발생한 암석은 생물막(Biofilms) 형성으로 인해 표면이 물리 · 화학적으로 손상될 뿐만 아니라 고등식물의 유입을 가속화하여 훼손이 가중된다(정용재 외, 2006).

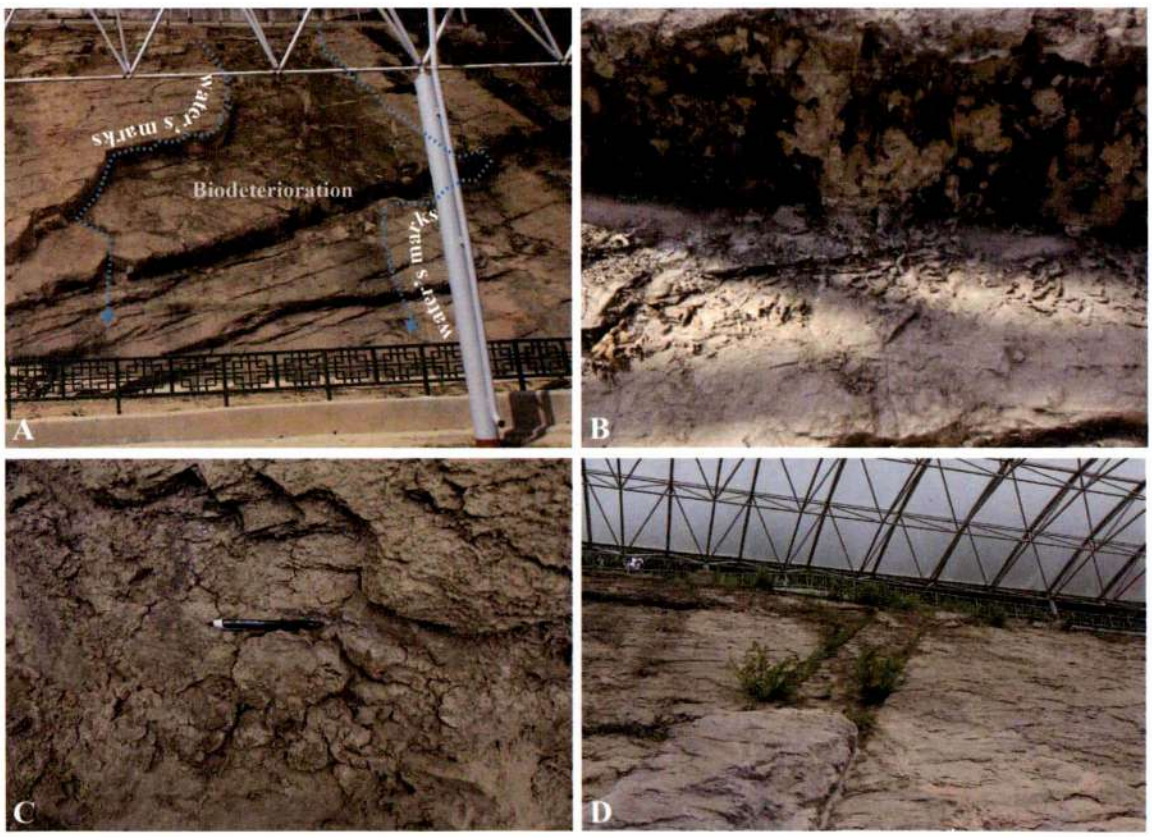


그림 48| 생물 침해의 발생 유형별 모습. (A-C) 조류 · 균류 및 지의류에 의해 발생한 생물 침해 모습 (D) 초본류에 의한 생물 침해.

제오리 화석산지에서 발생되는 생물 침해 유형은 조류 · 균류 · 지의류, 초본류 및 목본류에 의한 생물 침해 등 크게 3가지로 나눌 수 있다. 특히, 조류 · 균류 · 지의류와 같은 미생물에 의한 생물 침해는 화석산지 전역에 걸쳐 발생하고 있으며 이 중 조류 · 균류의 성장이 우세하다. 이들은 제오리 화석산지는 표면오염을 가져오며 미관상의 가치를 왜곡시키는 손상으로 발전하고 있다(그림 48).

제오리 화석산지의 표면은 검은색을 띠고 있다. 이는 암석 표면에 서식하던 남조류에 의한 현상으로 남조류는 활동 기간이 짧고 자외선에 의해 변색되는데, 육생으로 암석 표면에 녹색 또는 갈색의 두터운 층을 형성하고 건조하면 흑색이나 흑갈색으로 변한다(그림 48 A-C). 건조 시에는 표면에 단단하게 고착되나 물로 쉽게 제거되고 제거 시에 비린내가 난다. 비가 오면 팽대하여 청록색 또는 황록색이 된다(정용재 외, 2006). 조류 · 균류의 생물 침해 외에도 이 곳 화석산지에는 초본식물과 목본식물의 성장이 두드러진다(그림 48 D). 이들의 뿌리는 암석의 갈라진 틈이나 약화된 조직에서 생장하면서 암석에 팽창 압력을 가해 물리적 풍화의 원인이 된다. 이와 같은 미생물(조류 · 균류 등)과 초본식물들은 뿌리를 통해 산성 물질인 유기산을 분비하여 무기 영양분을 흡수하는 일련의 과정에서 암석의 표면에 박리, 박락 현상이 발생되는 화학적 풍화가 발생될 수 있다.

나. 대책

화석산지에 생육하는 생물 침해는 가해 생물의 제거가 필요하다. 그러나 이런 작업에서는 암석에 영향을 주지 않는 가장 효과적인 제거 방법을 찾는 것이 중요하다. 처리 방법으로는 암석의 보존 상태, 제거하고자 하는 생물체, 생물 피해의 밀도와 분포 그리고 약제의 종류에 따라서 분무(spraying), 도포(brushing), 습포제 방식(poultice) 또는 주입식 방식(injection)을 선택한다(정용재 외, 2006). 또한 가해 생물의 제기 후 암석의 물성 검사를 통해 강화 처리 여부 등의 결정이 필요하다.

목본류와 초본류의 경우 이들 생육에 필요한 토양 제거가 우선이다. 특히, 초본류는 화석 산지의 갈라진 틈(crack, joint 등)을 따라 생육하고 있다. 따라서 갈라진 틈(crack)과 절리(joint)에 있는 토양을 모두 제거한 후 토양이 쌓이지 않도록 하여야 초본류의 성장을 억제할 수 있다. 이후 갈라진 틈은 가장 적절한 대체물질을 삽입하여 메우는 작업이 이루어져야 한다.

제오리 화석산지에서 발생한 조류 · 균류 및 지의류에 의한 생물 침해는 원인만 제거한다면 쉽게 해결될 수 있다. 가장 큰 원인은 이들이 생육하기 좋은 환경이 만들어 졌다는 것이며 여기

에는 화석산지로 유입되는 수분과 보호각 내의 적당한 온도가 중요한 역할을 하였을 것으로 여겨진다. 따라서 수분(물) 유입의 차단이 선행되어야 할 것이다.

3. 4. 암석의 절리에 따른 박리, 박락 현상

가. 화석산지 실태(절리 분석)

화석산지의 암석에서 박리와 박락 현상이 관찰된다. 화석산지는 산사면이 절개된 후 압력이 제거되고 암석면에 많은 균열(crack)이 발생하였으며 오랜 시간 동안 서서히 암석의 풍화가 진행된 것으로 보인다. 육안으로 관찰될 만큼의 변형은 확인되지 않았으나 지속적인 관찰이 필요하다.

나. 대책

화석산지에서 발생하고 있는 박리와 박락 현상은 수분의 유입, 생물 침해, 그리고 화석산지로 전달되는 진동 등 여러 가지 원인이 복합되어 있다. 따라서 근본적인 원인 제거가 필요한데 단기 대책은 박리와 박락이 발생하는 부위에 적절한 접합제를 사용하여 접합한 후 약화된 암질의 강화를 위한 강화 처리를 실시하도록 하는 것이다.

| 4 | 향후 과제

제오리 화석산지의 대상사면에 영향을 미칠 수 있는 인자의 평가와 주요 영향 인자들의 관리 기준 설정이 필요하다. 제오리 화석산지의 경우, 대상 사면의 안정성 확보가 중요하다. 사면의 안정성에 직접적으로 영향을 미칠 수 있는 인자들에는 절리의 기하학적 분포, 절리의 역학적 특성, 절리를 통한 지하수 유출 정도 및 풍화 진행 상태 등이 있다. 이러한 인자들과 절리나 균열의 거동에 영향을 미칠 수 있는 외부 진동 등에 대한 평가가 선행되어야 할 것이다.

또한, 주요 영향 인자들의 관리 기준 설정이 필요하다. 지반 진동의 경우, 문화재에 적용할 수 있는 법규가 없고 과거 서울 지하철 공사 시 설정하였던 문화재에 대한 허용 수준으로서 2mm/s 또는 3mm/s가 통용되고 있지만 적용의 문제점들이 제기되어 오고 있다. 따라서 향후 화석산지에 대한 합리적인 수준의 기준 설정이 이루어져야 할 것이다.

| 5 | 의성 제오리 공룡발자국 화석 보존 대책 연구 방법

위에 열거된 의성 제오리 화석산지 암석의 보존현황을 볼 때, 화석산지의 보존과 관리 측면에서 정밀한 연구를 시행하여 대책을 세운 후, 이에 적합한 조처를 해야 하는 상황에 직면해 있다. 따라서 의성 제오리 화석산지 암석은 풍화 요인에 대한 정밀 조사와 지속적인 모니터링, 페인트 제거, 암석의 표면 강화 처리, 경사면의 배수로 확보, 보호각의 누수 검사, 그리고 차량 운행에 대한 진동의 영향 및 보존 처리를 내용으로 하는 연구가 진행되어야 한다. 제오리 화석산지의 보존을 위해서는 중·장기 계획을 세워 추진하고 최종 단계에서는 미국 Dinosaur Ridge처럼 열린 교육 공간으로 활용하여 화석산지 보존과 활용을 극대화 시켜야 할 것이다. 다음은 제오리 화석산지 보존 연구에 대한 방향을 간략히 정리한 것이다.

1) 연구 내용

① 지질 및 지형 환경 연구

공룡발자국 화석산지 지역의 지층 분포와 노출 상태, 암석의 종류, 지질 구조 및 지형적 요인 등 화석산지의 보존과 관련 있는 지질학적 요인들에 대해 연구한다.

② 화석산지 암석의 훼손 현황 연구

화석산지 암석들의 훼손 현황을 광물학적, 생물학적 및 구조적 측면에서 분석하여 훼손 요인을 규명한다.

③ 공룡발자국 화석산지 암석의 광물학적 특성 연구

화석산지 암석의 광물 조성, 조직, 화학조성, 점토광물의 특성 등 암석이 풍화 및 훼손되는 민감도에 대한 연구를 한다.

④ 화석산지 암석의 물성적 특성 연구

화석산지 암석들의 압축강도, 물과의 반응 등 화석산지 암석의 광물학적, 환경적 및 역학적 특성을 연구한다.

⑤ 진동 영향성 연구

도로에 주행하는 차량으로 인한 진동을 주기적으로 측정하여 화석산지에 미치는 영향을 조사한다.

⑥ 공룡발자국 화석의 현상 보존 방안 연구와 보존 처리

공룡발자국 화석 자체의 보존 방안을 연구한다.

(a) 오염 물질 제거 방안

이전에 사용되었던 시멘트몰타르와 페인트성 물질을 분석한 후 암석손상과의 관련성을 살펴본 후 제거 방법을 시험하여 적절한 방법을 선정한다.

(b) 보존 처리제(전처리제, 강화제, 발수제, 충진제, 접합제) 선정 연구

보수에 사용되는 보존 처리제는 암석과 같은 성질이어야 하며, 안정성이 높아야 한다. 또한 파손 시에도 보수 부위에서만 파손이 일어나도록 하는 매우 까다로운 요구조건을 만족해야만 한다. 화석을 구성하는 암석의 성질을 분석하고, 여러 종류의 강화제를 해당 암석에 적용 실험하여 가장 적합한 강화제를 선정해야 한다. 암석의 표면으로 수분의 침투를 제어하는 발수제 또한 시험을 거쳐 선정한다. 암석들이 여러 조각으로 분리되어 복원 시에 암석에게 영향을 주지 않는 접착제를 찾는 연구가 필요하며, 파손되어 소실된 부위를 메울 충진제에 대한 선정도 해당 암석을 대상으로 실험하여 밝혀낸다. 암석의 주 구성 광물이 점토광물이기 때문에 점토광물과 보존 처리제와의 반응 여하는 암석의 물성 변화에 큰 영향을 주기 때문에 사전 보존 처리제에 대한 사용여부도 실험을 통하여 판단한다.

(c) 손상된 암석의 보존 처리

균열이나 박리가 발생되었거나 또는 이러한 가능성이 있는 암석을 더 이상 훼손 현상이 일어나지 않도록 보존처리제를 사용하여 처리한다.

(d) 3D 기록화 작업을 통한 원형 보존

2) 연구 방법

① 야외 조사

(a) 화석산지 암석의 산출 상태 관찰 및 시료 채취

(b) 발자국 화석의 암상 연구

(c) 화석산지 암석의 균열 조사

(d) 화석의 보존 상태 조사

(e) 진동 조사

② 실내 연구

(a) 물성 연구

- 밀도 분석, 공극율 분석, 강도 측정, 물 흡수 계수 측정, 물 흡수에 의한 팽창 계수 측정, 열 팽창 계수를 측정한다.

(b) 광물학적 연구

- 편광현미경 관찰: 각 암석들의 구성 광물과 조직을 밝히기 위하여 박편을 제작한 후 편광현미경 관찰을 한다.

- X-선 회절분석: 암석의 구성 광물에 대한 정량 분석 및 점토광물을 감정하기 위하여 X-선회절분석을 실시한다.

(c) 화학 분석

- 전자현미분석: 암석을 구성하고 있는 각종 광물들의 화학 조성을 규명하기 위하여 전자현미분석기를 사용하여 화학 분석을 실시한다.

(d) 미세 조직 연구

- 주사전자현미경 연구: 풍화에 의한 암석의 조직 변화를 알아보기 위하여 주사전자현미경 연구를 한다.

- 투과전자현미경 연구: 점토광물들의 구조 변화와 광물들의 변질 과정을 알아보기 위하여 투과전자현미경 연구를 실시한다.

(e) 환경컨트롤 실험

온도와 습도에 따른 암석의 물성 변화 연구를 실시하여 보존 환경에 대한 지침을 설정한다.

(f) 수용성 염 연구

빗물이나 주변의 수분에 의해 용해될 수 있는 수용성 염 성분에 대해서 이온크로마토그래피와 원자흡광분광기를 이용하여 연구한다.

| 4 | 모니터링 Data sheet 작성

표 22 | 화석산지 모니터링 체크 리스트: 천연기념물 제373호 의성 제오리 공룡발자국 화석산지(2011)

화석산지 모니터링 체크 리스트 조사일: 2011. 10. 8.

① 지정 번호	천기 373호	② 지정 명칭	의성 제오리 공룡발자국 화석산지
③ 소 재 지	경북 의성군 금성면 제오리 111-3		

모니터링 항목		조 사 내 용
④ 사이트 환경		□산 □바닷가 □섬 □하천 ☑도로 □ 기타( )
⑤ 접근성	내륙(바닷가)	□진입 불가 □소형 차량 진입 가능 ☑모든 차량 진입 가능
	섬	□무인도 □유인도(여객선 운항 횟수 기재/일)
⑥ 관광지 개발 여부		☑해당 없음 □준관광지 □관광지
⑦ 1일 방문자 수		□10명 미만 ☑10~30명 미만 □30~50명 미만 □50~100명 미만 □100명 이상
⑧ 문화재 구역 관리 실태		☑부적합 □보통 □우수 □대단히 우수 • 주차 공간 및 관람객의 관람 공간(안전로) 부족 – 주차장이 확보되어 있지 않아 안전사고가 우려됨. – 농사철(3월~10월) 인근 농민들 불편 초래. – 도로와 화석산지의 관람 폭이 매우 협소함. 안전한 관람을 위한 공간 확보가 필요함. • 화석산지 안내 표지판 중복 – 기존 안내 설명판과 신규로 설치한 안내 설명판의 내용이 일부 맞지 않고 디자인의 통일성도 결여되어 있음. 기존 안내판의 제거 필요함.
⑨ 화석 현황		• 공룡발자국(초식공룡 용각류와 조각류 및 육식공룡 수각류) • 약 300개 이상의 공룡발자국 관찰. • 제오리(사곡층) 인근 탑리(구계동층)에서 1973년 국내최초 공룡뼈 발견 • 만천리(사곡층)에서 세계 최장 아기공룡발자국 발견

⑩ 훼손 현황	• 수분(물) 유입, 생물 침해, 페인트성 물질, 시멘트성 물질, 암석 내 발달한 절리, 도로에서 전달되는 진동 등으로 인해 화석산지 훼손 진행 속도 빠름. 원인 제거를 위한 종합 진단 및 주기적인 모니터링 필요.
⑪ 생물(식생) 침해	• 조류 · 균류 · 지의류, 초본식물, 목본식물에 의한 생물 침해 발생.
⑫ 추가 확인된 화석	–
⑬ 조사자 의견	• 훼손 원인(수분 유입, 생물 침해, 페인트 및 시멘트 물질, 절리 발달, 진동 등)에 대한 정밀조사 및 빠른 시간 내 원인제거 작업 실시. • 오염 물질(페인트, 시멘트, 흙 등)의 제거가 시급함. • 안전한 관람 공간 확보와 관람 시야 확보를 위한 편의 시설 설치 필요
⑭ 사진 촬영	전체 및 부분 사진 자료 확보(Tiff 파일 및 JPEG 파일).

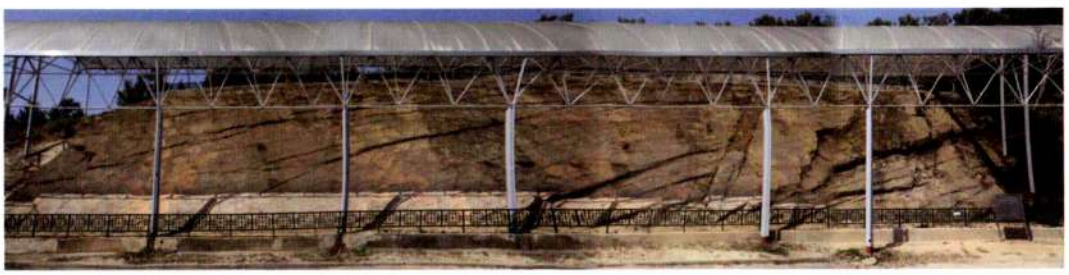


표 23 | 화석산지 모니터링 체크 리스트: 천연기념물 제373호 의성 제오리 공룡발자국 화석산지(2010)

화석산지 모니터링 체크 리스트 조사일: 2010. 4. 20.

① 지정 번호	천기 373호	② 지정 명칭	의성 제오리 공룡발자국 화석산지
③ 소 재 지	경북 의성군 금성면 제오리 111-3		

모니터링 항목		조 사 내 용
④ 사이트 환경		□산 □바닷가 □섬 □하천 ☑도로 □ 기타( )
⑤ 접근성	내륙(바닷가)	□진입 불가 □소형 차량 진입 가능 ☑모든 차량 진입 가능
	섬	□무인도 □유인도(여객선 운항 횟수 기재/일)
⑥ 관광지 개발 여부		☑해당 없음 □준관광지 □관광지
⑦ 1일 방문자 수		□10명 미만 ☑10~30명 미만 □30~50명 미만 □50~100명 미만 □100명 이상
⑧ 문화재 구역 관리 실태		□부적합 ☑보통 □우수 □대단히 우수 • 주차 공간 및 관람객의 관람 공간(안전로) 부족 – 주차장이 확보되어 있지 않아 안전 사고가 우려됨. – 도로와 화석산지의 관람 폭이 매우 협소함. 안전한 관람을 위한 공간 확보가 필요함. • 화석산지 안내 표지판 중복 – 기존 안내 설명판과 신규로 설치한 안내 설명판의 내용이 일부 맞지 않고 디자인의 통일성도 결여되어 있음. 기존 안내판의 제거 필요함.
⑨ 화석 현황		• 공룡발자국(초식공룡 용각류와 조각류 및 육식공룡 수각류) • 약 300개 이상의 공룡발자국 관찰. • 제오리(사곡층) 인근 탑리(구계동층)에서 1973년 국내 최초 공룡뼈 발견. • 만천리(사곡층)에서 세계 최장 아기공룡발자국 발견.

⑩ 훼손 현황	• 수분(물) 유입, 생물 침해, 페인트성 물질, 시멘트성 물질, 암석 내 발달한 절리, 도로에서 전달되는 진동 등으로 인해 화석산지 훼손 진행 속도 빠름. 원인 제거를 위한 종합 진단 및 주기적인 모니터링 필요.
⑪ 생물(식생) 침해	조류 · 균류 · 지의류, 초본식물, 목본식물에 의한 생물 침해 발생.
⑫ 추가 확인된 화석	–
⑬ 조사자 의견	• 훼손 원인(수분 유입, 생물 침해, 페인트 및 시멘트 물질, 절리 발달, 진동 등)에 대한 정밀 조사 및 빠른 시간 내 원인 제거 작업 실시. • 안전한 관람 공간 확보와 관람 시야 확보를 위한 편의 시설 설치 필요(그림 참조) Dinosaur Ridge▶ 
⑭ 사진 촬영	Tiff 파일 및 JPEG 파일 50여 장 촬영, 보호 사업 관련 사진 자료 확보



표 24 | 화석산지 모니터링 체크 리스트: 천연기념물 제373호 의성 제오리 공룡발자국 화석산지 (2009)

화석산지 모니터링 체크 리스트 조사일: 2009. 4. 15.

① 지정 번호	천기 373호	② 지정 명칭	의성 제오리 공룡발자국 화석산지
③ 소 재 지	경북 의성군 금성면 제오리 111-3		

모니터링 항목		조 사 내 용
④ 사이트 환경		□산 □바닷가 □섬 □하천 ☑도로 □ 기타( )
⑤ 접근성	내륙(바닷가)	□진입 불가 □소형 차량 진입 가능 ☑모든 차량 진입 가능
	섬	□무인도 □유인도(여객선 운항 횟수 기재/일)
⑥ 관광지 개발 여부		☑해당 없음 □준관광지 □관광지
⑦ 1일 방문자 수		□10명 미만 ☑10~30명 미만 □30~50명 미만 □50~100명 미만 □100명 이상
⑧ 문화재 구역 관리 실태		□부적합 ☑보통 □우수 □대단히 우수 • 주차 공간 및 관람객의 관람 공간(안전로) 부족 – 주차장이 확보되어 있지 않아 화석산지 주변 농경지를 갖고 있는 주민들과 관람객 간의 차량 등으로 인한 마찰 가능성 높으며 안전사고가 우려됨. – 도로와 화석산지의 관람 폭이 매우 협소함. 안전한 관람을 위한 공간 확보 필요함. • 화석산지 안내 표지판 중복 – 기존 안내 설명판과 신규로 설치한 안내 설명판의 내용이 일부 맞지 않고 디자인의 통일성도 결여되어 있음. 기존 안내판의 제거 필요함.
⑨ 화석 현황		• 공룡발자국(초식공룡 용각류와 조각류 및 육식공룡 수각류) • 약 300개 이상의 공룡발자국 관찰. • 제오리(사곡층) 인근 탑리(구계동층)에서 1973년 국내 최초 공룡뼈 발견 • 만천리(사곡층)에서 세계 최장 아기공룡발자국 발견

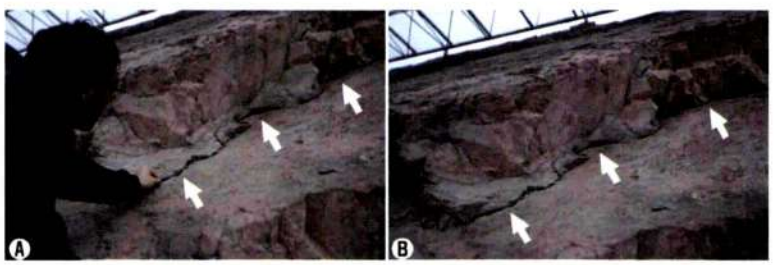
⑩ 훼손 현황	• 수분(물) 유입, 생물 침해, 페인트성 물질, 시멘트성 물질, 암석 내 발달한 절리, 도로에서 전달되는 진동 등으로 인해 화석산지 훼손 진행 속도 빠름. • 원인 제거를 위한 종합 진단 및 주기적인 모니터링 필요.
⑪생물(식생) 침해	• 조류 · 균류 · 지의류, 초본식물, 목본식물에 의한 생물 침해 발생.
⑫ 추가 확인된 화석	–
⑬ 조사자 의견	• 화석산지의 훼손이 심각함. • 훼손 원인(수분 유입, 생물 침해, 페인트 및 시멘트 물질, 절리 발달, 진동 등)에 대한 정밀 조사 및 빠른 시간 내 원인 제거 작업 실시. • 생물 침해 현상이 2008년보다 범위가 증가 하였음. 배수 시설의 빠른 정비가 요구됨. • 2003년과 2004년 작업한 페인트가 많은 부분에서 벗겨지는 등 미관상의 훼손도가 증가하고 있음. 빠른 제거 작업이 필요함. • 주기적인 모니터링 필요
⑭ 사진 촬영	Tiff 파일 및 JPEG 파일 100여 장 촬영, 1993년 지정 당시 사진, 2003년 페인트 작업 사진 자료 확보



표 25 | 중점 관리 대상 표본 체크 리스트: 천연기념물 제373호 의성 제오리 공룡발자국 화석산지 (2009)

중점 관리 대상 표본 체크 리스트 조사일: 2009. 4. 15.

① 지정 번호	천기 373호	② 지정 명칭	의성 제오리 공룡발자국 화석산지		
③ 관리 대상 표본	제오리 화석산지(Dinosaur trackways in Jeo-ri, Uiseong)				
④ GPS 좌표	N 36° 16′ 56.2″ E 128° 41′ 57.1″			⑤ 고도	-

모니터링 항목	내 용
사이트 환경 Site Environment	
⑥ 사이트 환경	□산 □바닷가 □섬 □하천 ☑도로 □기타( )
⑦ 화석지 주변 환경 변화	화석산지 옆 관내 2차 도로 형성, 농경지
⑧ 바다로부터의 거리	내륙(0, ①, 2, 3, 4)
풍화 훼손 현황 Damage by Weathering	
⑨ 풍화 현상	수분 유입, 생물 침해, 페인트 및 시멘트 물질, 절리 발달, 진동 등의 복합적 원인에 의한 풍화 진행 중(0, 1, 2, 3, ④, 5)
⑩ 균열	화석산지 곳곳에서 박리, 박락 현상 진행 중 (0, 1, 2, 3, ④, 5)  Ⓐ Ⓑ
⑪ 침하	(0, ①, 2, 3, 4, 5)
⑫ 훼손	페인트 및 시멘트 물질로 화석산지 훼손(0, 1, 2, 3, 4, ⑤) 

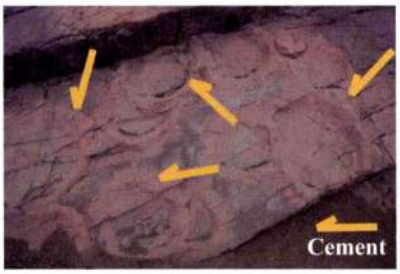
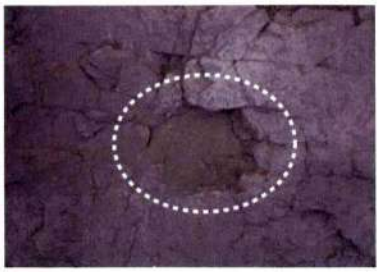
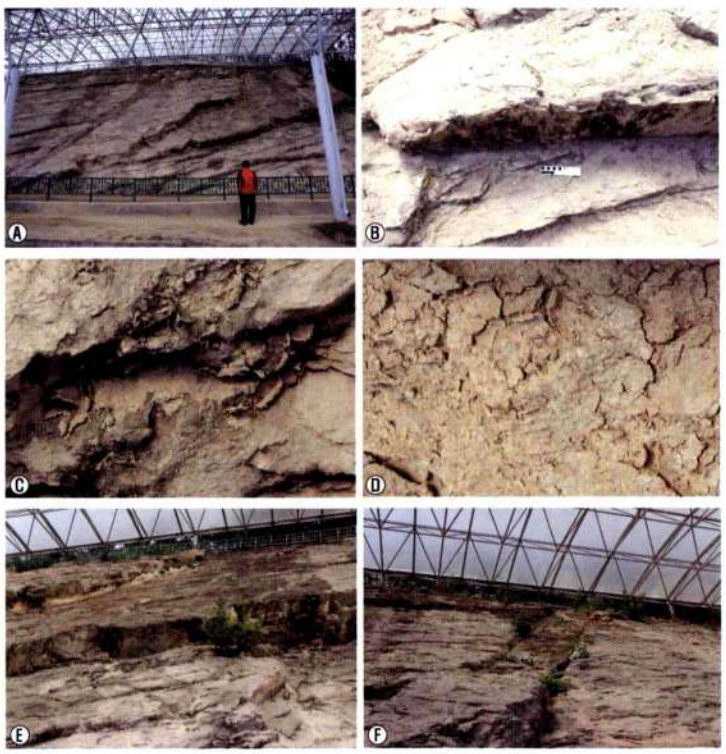
	 
⑬ 복제(탁본)	–
⑭ 오염	화석산지에 설치된 쓰레기통(2기) 주변 오염
생물 서식 Biological colonization / Biodeterioration	
⑮ 생물 침해	조류 · 균류 · 지의류, 초본 및 목본식물 생육(0, 1, 2, 3, ④, 5) 
기타 정보 Additional Information	
⑯ 실측도 유무	–

사진 자료 Pictures	
⑰ 사진 촬영	1993년 모습(A, B) / 2003년 작업 모습(C) / 2009년 모습(D, E, F)











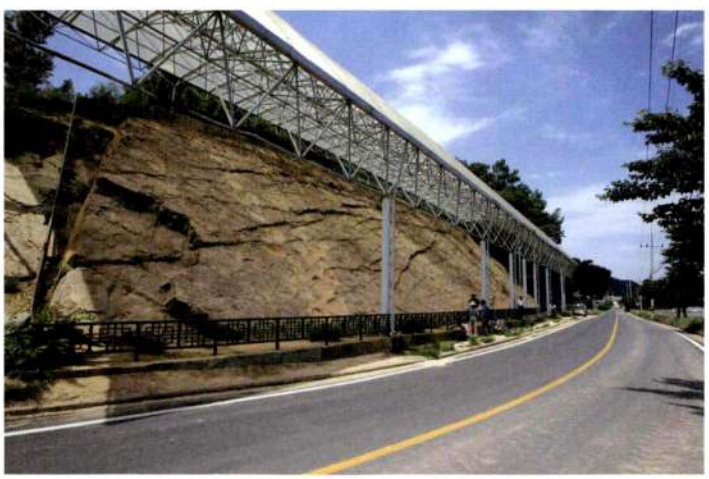


표 26 | 화석산지 모니터링 체크 리스트: 천연기념물 제373호 의성 제오리 공룡발자국 화석산지 (2008)

화석산지 모니터링 체크 리스트 조사일: 2008. 4. 14.

① 지정 번호	천기 373호	② 지정 명칭	의성 제오리 공룡발자국 화석산지
③ 소 재 지	경북 의성군 금성면 제오리 111-3		

모니터링 항목		조 사 내 용
④ 사이트 환경		□산 □바닷가 □섬 □하천 ☑도로 □ 기타( )
⑤ 접근성	내륙(바닷가)	□진입 불가 □소형 차량 진입 가능 ☑모든 차량 진입 가능
	섬	□무인도 □유인도(여객선 운항 횟수 기재/일)
⑥ 관광지 개발 여부		☑해당 없음 □준관광지 □관광지
⑦ 1일 방문자 수		□10명 미만 ☑10~30명 미만 □30~50명 미만 □50~100명 미만 □100명 이상
⑧ 문화재 구역 관리 실태		□부적합 ☑보통 □우수 □대단히 우수 • 쓰레기통 주변의 오염(쓰레기통 제거가 바람직함) • 주차 시설 구역이 설정되어 있지 않아 화석산지 주변 농경지를 갖고 있는 주민들과 관람객 간의 차량 등으로 인한 마찰 가능성 있음. 
⑨ 화석 현황		• 공룡발자국(초식공룡 용각류와 조각류 및 육식공룡 수각류)

	• 약 300개 이상의 공룡발자국 관찰. • 제오리(사곡층) 인근 탑리(구계동층)에서 1973년 국내 최초 공룡뼈 발견 만천리(사곡층)에서 세계 최장 아기공룡발자국 발견
⑩ 훼손 현황	• 수분(물) 유입, 생물 침해, 페인트성 물질, 시멘트성 물질, 암석 내 발달한 절리, 도로에서 전달되는 진동 등으로 인해 화석산지 훼손 진행 속도 빠름. 원인 제거를 위한 종합진단 및 주기적인 모니터링 필요.
⑪ 생물(식생) 침해	• 조류 · 균류 · 지의류, 초본식물, 목본식물에 의한 생물 침해 발생.
⑫ 추가 확인된 화석	-
⑬ 조사자 의견	• 화석산지의 훼손이 심각함. • 훼손 원인(수분 유입, 생물 침해, 페인트 및 시멘트 물질, 절리 발달, 진동 등)에 대한 정밀 조사 및 빠른 시간 내 원인 제거 작업 실시. • 주기적인 모니터링 필요
⑭ 사진 촬영	

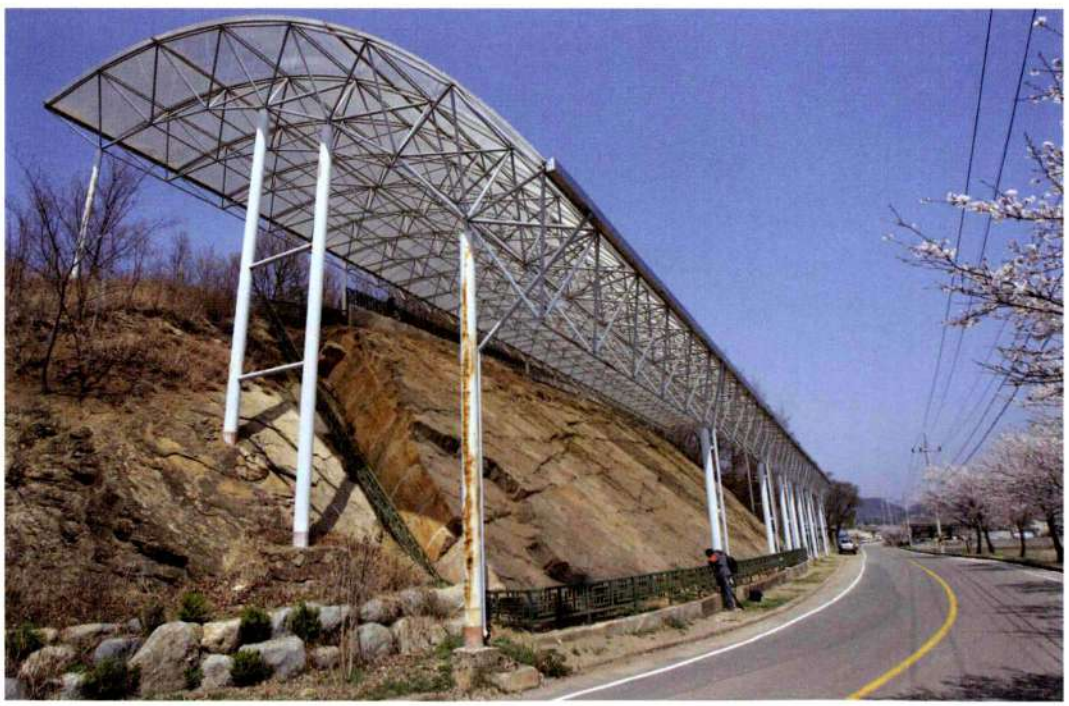


표 27 | 중점 관리 대상 표본 체크 리스트: 천연기념물 제373호 의성 제오리 공룡발자국 화석산지 (2008)

중점 관리 대상 표본 체크 리스트 조사일: 2008. 4. 14.

① 지정 번호	천기 373호	② 지정 명칭	의성 제오리 공룡발자국 화석산지		
③ 관리 대상 표본	제오리 화석산지(Dinosaur trackways in Jeo-ri, Uiseong)				
④ GPS 좌표	N 36° 16′ 56.2″ E 128° 41′ 57.1″			⑤ 고도	-

모니터링 항목	내 용
사이트 환경 Site Environment	
⑥ 사이트 환경	□산 □바닷가 □섬 □하천 ☑도로 □ 기타( )
⑦ 화석지 주변 환경 변화	화석산지 옆 관내 2차 도로 형성, 농경지
⑧ 바다로부터의 거리	내륙(0, ①, 2, 3, 4)
풍화 훼손 현황 Damage by Weathering	
⑨ 풍화 현상	수분 유입, 생물 침해, 페인트 및 시멘트 물질, 절리 발달, 진동 등의 복합적 원인에 의한 풍화 진행 중(0, 1, 2, 3, ④, 5)
⑩ 균열	화석산지 곳곳에서 박리, 박락 현상 진행 중 (0, 1, 2, 3, ④, 5) 
⑪ 침하	(0, ①, 2, 3, 4, 5)
⑫ 훼손	페인트 및 시멘트 물질로 화석산지 훼손(0, 1, 2, 3, 4, ⑤) 

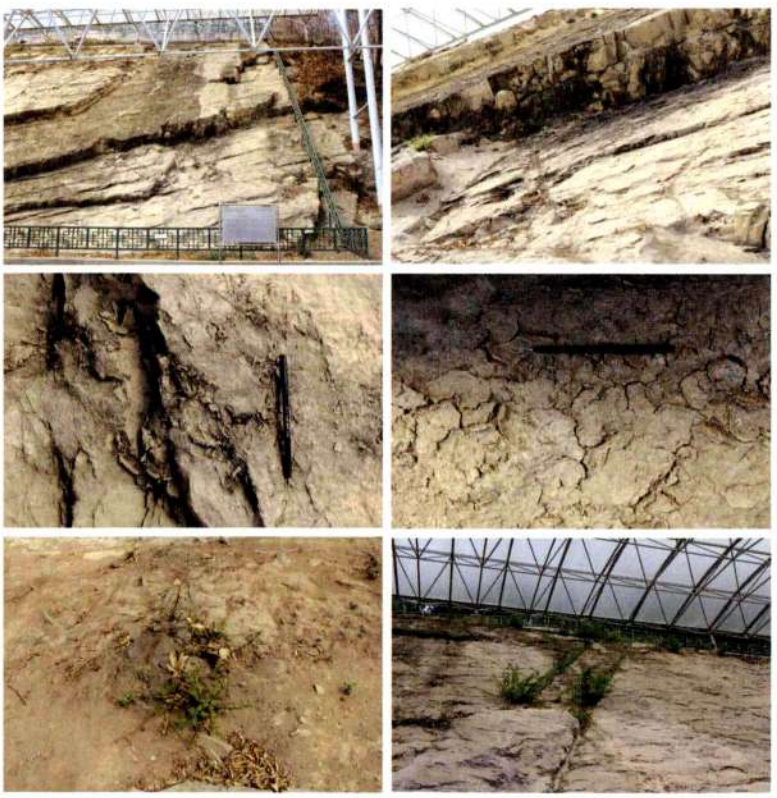
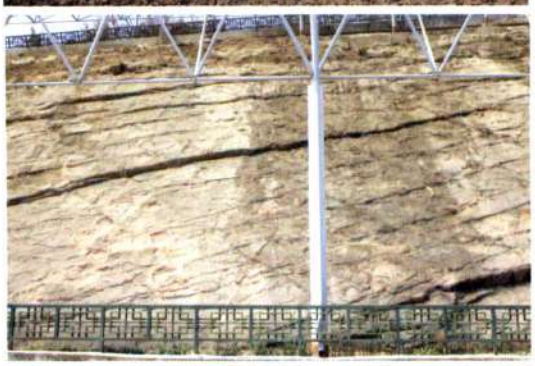
	 
⑬ 복제(탁본)	–
⑭ 오염	화석산지에 설치된 쓰레기통(2기) 주변 오염
생물 서식 Biological colonization / Biodeterioration	
⑮ 생물 침해	조류 · 균류 · 지의류, 초본 및 목본식물 생육(0, 1, 2, 3, ④, 5) 
기타 정보 Additional Information	
⑯ 실측도 유무	–

사진 자료 Pictures

⑰ 사진 촬영	동 · 서 · 남 · 북 근접 촬영










초본류

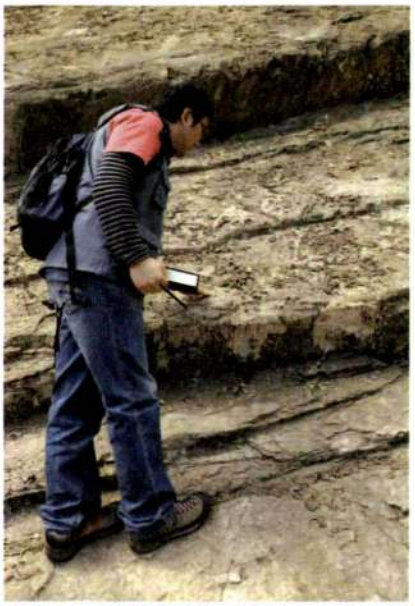
조류
균류

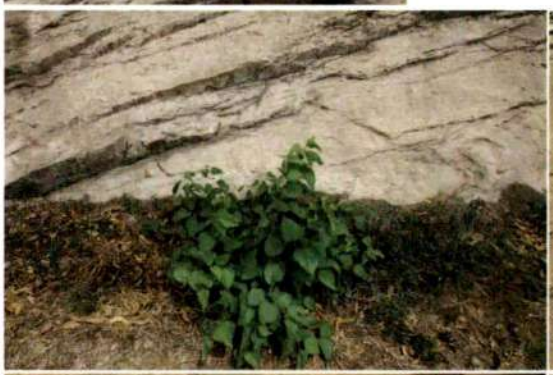
목본류

목본류

페인트

시멘트











6 천연기념물 제394호 해남 우항리 공룡 · 익룡 · 새발자국 화석산지 2008~2011

| 1 | 화석산지 현황

1.1. 화석산지 개요

해남 우항리 공룡 · 익룡 · 새발자국 화석산지는 전라남도 해남군 황산면 우항리에 소재하며 해남읍에서 서쪽 방향으로 약 18km에 위치한다(그림 49).

우항리 화석산지는 남해안의 다른 공룡발자국 화석산지들과 달리 퇴적층들이 해안과 반대 방향(남서 방향)으로 경사져 있다. 이곳에서는 공룡발자국뿐만 아니라 세계에서 가장 오래된 물갈퀴달린 새발자국과 익룡발자국이 함께 발견되었으며 이는 이들이 함께 서식했음을 의미한다. 해남 우항리 공룡발자국 화석산지는 1996년부터 1998년까지 2차례의 발굴이 이루어졌으며 1998년 10월 천연기념물 제394호로 지정되었다. 우항리 화석산지의 발굴은 3개 지역을 중심으로 발굴이 이루어졌으며 제1지구에서는 공룡발자국이, 제2지구에서는 익룡과 물갈퀴달린 새발자국이, 그리고 제3지구에서는 대형 공룡발자국이 발굴되었다. 이들 3개 지구는 450m에 걸쳐 위치하고 있다. 이 외에도 대규모의 절지동물의 기어간 흔적이 발견되었으며 현재도 많은 연구가 진행 중이다.

우항리 화석산지는 조수가 교차하는 해안가에 위치하고 있어 만조 시에는 현재의 화석산지가 대부분 바닷물에 잠기는 지역이었으나 1996년 11월 금호방조제 건설 후, 금호방조제에 의해 담수호(금호호)를 낀 육지로 바뀌었다. 현재 금호호의 수면은 과거보다 평균 약 1.6m 후퇴해 있다. 화석산지 인근 지역의 지형은 60m 이하의 구릉이 있는 평이한 지형을 이루고 있으며 화석산지는 북쪽으로 금호호와 EW 방향으로 접해있다(김수진 외, 2000). 우항리 화석산지는 중생대 백악기의 화산 쇄설성 퇴적층(우항리층)으로 이루어져 있으며 공룡 · 익룡 · 새발자국 화석을 포함하는 지층의 암석은 세일, 응회질 사암 및 응회암으로 구성되어있다.

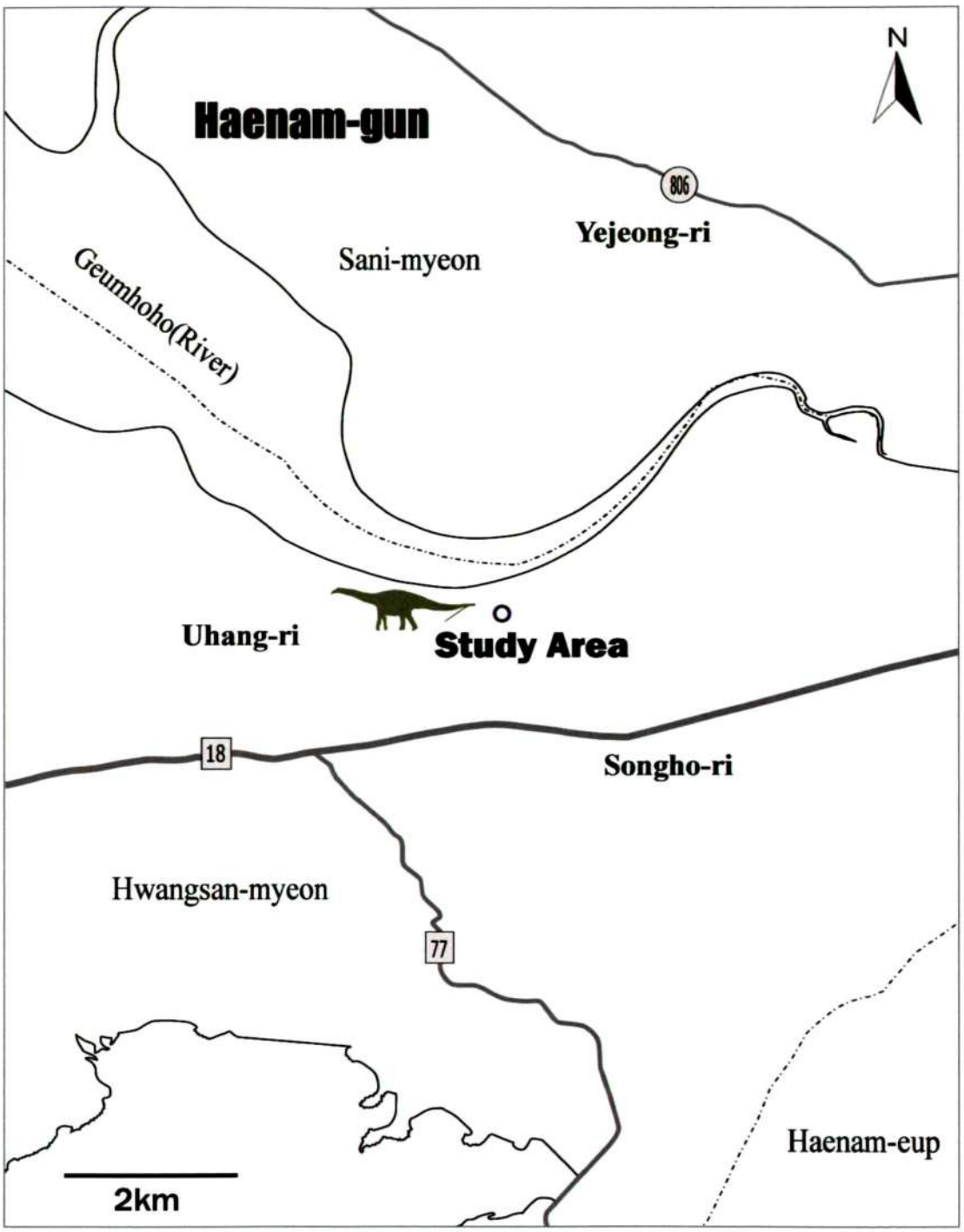


그림 49 | 모니터링 조사 지역 위치도(공달용과 김태형, 2008).

우항리층은 우항리 지역의 금호호 남쪽 호안을 따라 단속적으로 노출되어 있다. 우항리의 공룡 · 익룡 · 새발자국 화석들은 약 14~21° 정도 경사진 지층면에 보존되어 있다. 우항리의 발굴은 3지구로 구분되며 제1지구는 발굴 연장이 약 100m, 제2지구는 약 110m, 제3지구는 약 99m이며 발굴된 화석산지의 총 면적은 753㎡이다(김수진 외, 2000).

해남 우항리 화석산지는 UNESCO 세계자연유산 등재를 위해 추진 중인 「한반도 백악기 공룡해안(Korean Cretaceous Dinosaur Coast)」 중 하나이며, 2008년과 2009년에 걸쳐 국립문화재연구소 「천연기념물 공룡발자국 기록화 사업」에 의해 공룡 발자국 및 새발자국의 3D 정밀 실측 작업이 진행되었다.

1.2. 조사 지역의 지질

우항리 및 그 주변 지질은 선캄브리아시대의 편마암류와 쥐라기 화강암을 기반으로 하부로부터 안산암질응회암, 우항리층, 황산응회암, 그리고 진도유문암 및 이들을 관입한 각섬석화강암과 석영반암으로 구성되어 있다(그림 50).

해남분지의 최하부 지층인 안산암질응회암은 내산리 서쪽 및 병온리 동북쪽 일부에 분포되어 있다. 천연기념물로 지정된 화석산지는 우항리층을 기반으로 하고 있으며, 우항리층은 해남군 황산면 우항리, 신성리, 병온리 및 내산리 등과 문내면 양정리 등의 해안선을 따라 잘 발달되어 있다. 화석산지를 중심으로 보면 남쪽의 병온리에서 북쪽 내산리까지 약 5km의 수평 연장선을 가지고 해안가에 노출되어 있다. 우항리층의 구성 암석은 사암, 응회암질사암, 응회암질세일, 역암 등의 퇴적암과 화산 활동에 의해 형성된 응회암질의 암석으로 구성된다. 주 구성 암석인 세일, 사암, 응회암질사암 등은 서로 호층을 이루면서 퇴적되었다. 우항리 화석산지는 북서 방향의 주향과 남서 방향의 경사로 기울어져 있다.

화석산지 주변은 일종의 계단단층(step fault) 형태로 정단층들이 수 미터 미만의 변위량을 가지고 전개되어 있다(허민 외, 1998).

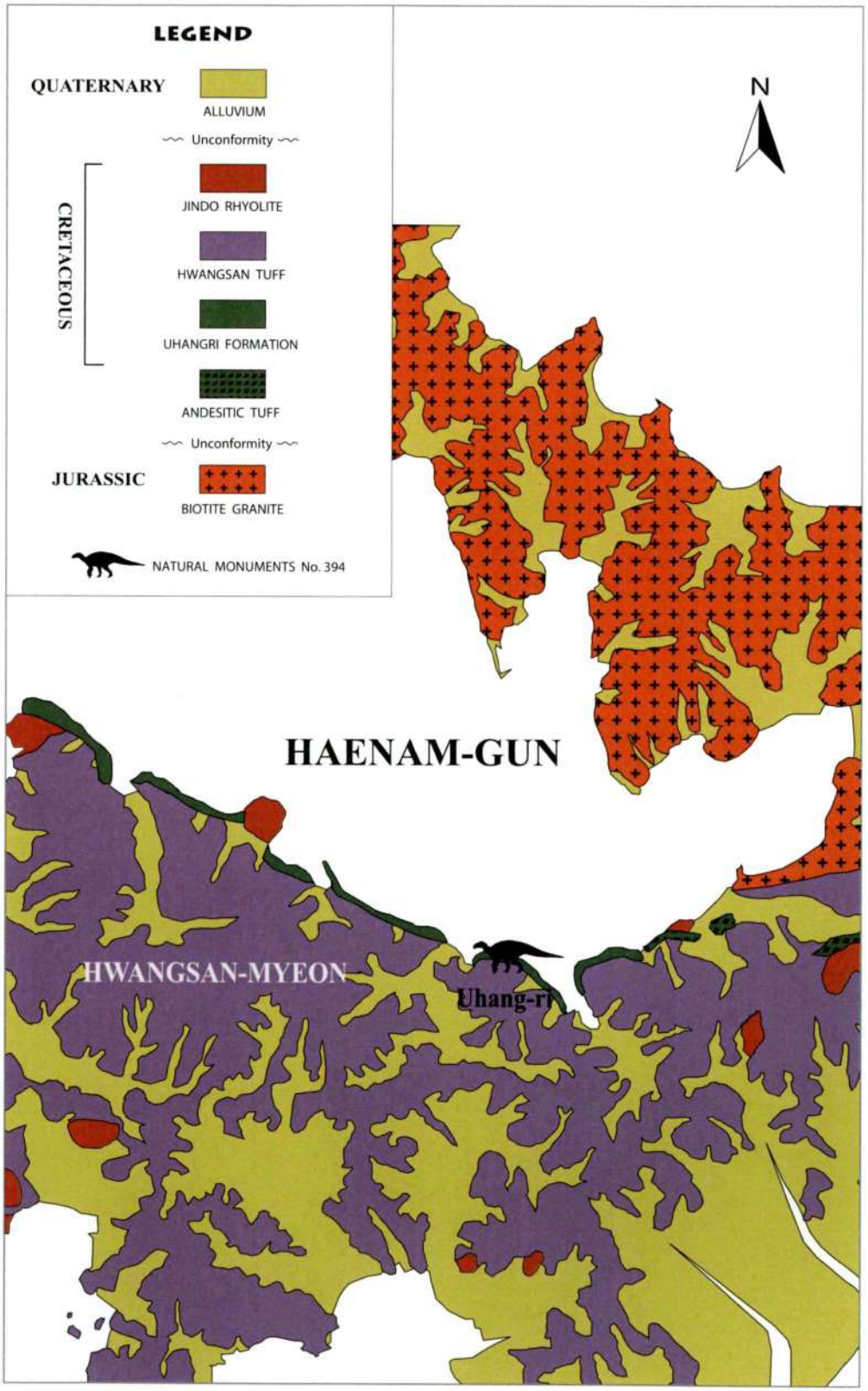


그림 50 | 조사 지역 및 그 주변 지역의 지질도(modified from Chun, 1990).

우항리층 위에 놓인 황산응회암은 해남분지 전체에 넓게 분포되어 있으며 우항리층과의 경계부에서는 화산쇄설성의 암설류 퇴적층이 발달되어 있다(Chun and Chough, 1995).

절대연대 측정에 의한 우항리 화석산지의 지질시대는 최하부 안산암질응회암 8천3백만 년 전 내외, 우항리층에 협재된 응회암은 7천만 년 전에서 8천5백만 년 전 사이, 우항리층 상위의 황산응회암은 6천7백만 년 전 내외로 나타난다(허민 외, 1998). 따라서 우항리 화석산지는 약 8천만 년 내지 7천만 년 전의 지층으로 여겨진다.

우항리 공룡 · 익룡 · 새발자국 화석산지는 공룡발자국 화석 514점, 익룡발자국 화석 443점, 새발자국 화석 약 1,000여 점 및 생흔 화석, 목재 화석, 개형충 등 많은 화석이 발견, 발굴되었으며 이와 함께 관찰되는 교과서적 퇴적층과 다양한 퇴적 구조는 중생대 고생태 · 고환경을 연구하는 중요한 자료를 제공하고 있다. 현재 화석산지에는 야외 보호각(제1~3 보호각) 시설 및 화석산지의 연구 및 교육 기능을 담당할 박물관이 건립되었다(그림 51).



그림 51| 해남 우항리 공룡박물관 전경(사진제공: 해남군청).

| 2 | 화석산지의 주요 훼손 원인 및 대책

국립문화재연구소에서 실시한 「천연기념물 화석산지 모니터링 조사 보고서(2008년~2009년)」에 의거하여 현재 우항리 화석산지는 2010년 10월부터 2011년 12월까지 「해남 공룡 화석산지 보존 학술 연구 용역」이 진행되고 있다. 따라서 이번 모니터링에서는 학술 용역이 진행되고 있는 관계로 【해남 우항리 화석산지의 주요 훼손 원인 및 대책】에 대한 부분은 이번 보고서에서 제외하도록 한다. 기존 조사 자료는「천연기념물 화석산지 모니터링 조사 보고서(2008년~2010년)」에 수록되어 있다.

「해남 공룡 화석산지 보존 학술 연구 용역」의 주요 연구 내용은 표 28과 같다.

표 28 | 해남 공룡 화석산지 보존 학술 연구 용역 과업 내용 요약

연구 항목	연구 내용
선행 연구 문헌 검토	· 국내외 공룡 화석지에 대한 자료 수집 · 세계자연유산 등재 기준에 대한 종합 모니터링 및 점검 사항 기록 · 공룡 화석산지 주변의 지질학적 도면 작성 및 보존 환경 조사 · 해남 공룡 화석산지에 대한 선행 보고서와 연구 결과 검토
화석산지 손상도 진단 · 평가	· 화석산지 사이트 및 보존 환경 조사 · 화석산지 암석의 광물학적 특성 조사 · 화석산지의 풍화 및 훼손 상태에 대한 종합 손상도 평가 · 화석산지에 대한 비파괴 물성 측정 및 초음파 탐사 · 변색 및 화학적 풍화를 유발하는 오염원 규명을 위한 P-XRF 분석 · 화석산지 암석의 내부 결함 탐색 및 적외선 열화상 분석
가해 생물 손상도 평가	· 사이트 환경 및 미기후 환경 모니터링 · 화석산지 서식 오염 생물군 채취 및 분석, 제어 방안 제시 · 화석산지 암석의 생물오염지수(BPI) 산출 · 화석산지 서식 미생물 분리 동정
지표수 및 지하수 영향 분석	· 보호각 내부 및 화석산지로 유입되는 지하수와 온 · 습도 모니터링 · 지하수와 염수의 유입 경로 파악 및 방지 대책 모색 · 양수정 상태 검토, 지하수위 모니터링 · 화석산지 일대의 지하수 및 지표수가 암석 풍화에 미치는 영향 분석
화석산지의 정밀보존처리	· 생물 손상 방지, 친환경적 제어 방안 제시 · 화석산지 암석의 훼손도 진단, 손상 인자 정립 및 보존 처리 방안 제시 · 손상된 화석산지 암석 정밀 보존 처리 · 보존 처리 재료의 적합성 검증 및 임상 실험

| 3 | 절지동물 추정 흔적 화석 연구

우항리 화석산지에서는 최소 2종 이상의 절지동물로 추정되는 생물의 생활 흔적이 관찰된다(그림 52). 이들 흔적 화석은 약 120m의 중 · 세립질의 응회질사암(medium - fine sandstone)에서 관찰되며 물갈퀴 새발자국보다는 절지동물의 생활 흔적이 더 우세하다.

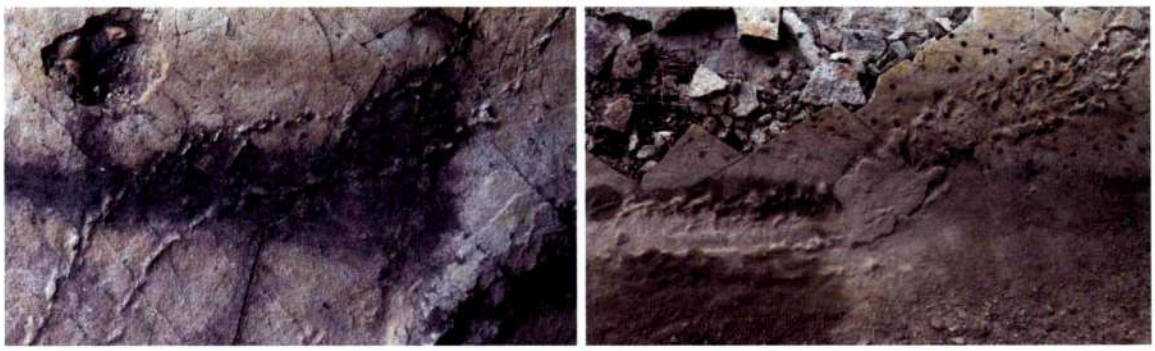


그림 52| 해남 우항리 화석산지 야외에서 관찰되는 흔적 화석.

3.1. 흔적 화석(Trace fossil 또는 Ichnofossil) 개요

흔적 화석(생흔 화석이라고도 함)은 과거 생물의 활동이 퇴적물의 표면이나 내부에 남은 것으로 족흔(track), 보행흔(trackways), 파행흔(trails), 굴착 생흔(burrow, boring 등), 배설물 등이 있으며 이러한 흔적 화석은 다양한 형태로 보존된다.

실체 화석(body fossil)의 경우 대부분 살았거나 혹은 죽은 장소에서 화석이 되는 경우는 드물다. 그러나 현지성을 가진 흔적 화석은 생물이 활동했던 바로 그 자리에 화석으로 남아 발견된 지층의 퇴적 당시 고환경이나 고생태를 알 수가 있어 매우 중요한 자료가 된다. 이러한 흔적 화석을 토대로 퇴적 후 퇴적체에 미치는 생물학적 영향 및 변형에 대해 연구하는 것이 바로 "생흔학(Ichnology)"으로서, 이는 생물들에 의해 만들어진 흔적에 대해 전반적으로 연구하고, 그들에 대해 설명, 분류 및 해석하는 것을 포함한다.

3.2. 흔적 화석의 분류

흔적 화석은 생흔 기재나 분류 목적에 따라 다양하게 해석, 구분할 수가 있다. 이러한 분류 방법은 크게 린넨(Linnaean)의 생물 분류법에 의한 분류(흔적), 행동학적 분류 그리고 보존적 분류 3가지 방법이 있다.

① 린넨(Linnaean)의 생물 분류법에 의한 분류

린넨의 생물 분류법에 의한 분류의 경우 흔적을 남긴 생명체의 실체 화석 혹은 유사한 살아 있는 종을 이용한다. 하지만 흔적 화석 생성의 원리에 의해 그 흔적의 생성자를 판별하는데 많은 어려움이 있다.

표 29 : 흔적 화석 생성의 원리(Benton and Harper, 1997)

1. 동일 종의 생물일지라도 행동 유형에 따라 다른 생흔을 만든다.
2. 동일 종의 생물이 동일한 행동 유형으로 행동할지라도 저층의 견고도에 따라 다른 생흔을 만든다.
3. 서로 다른 종의 생물일지라도 유사한 행동 유형에 의해서 같은 생흔이 생성된다.
4. 여러 생명체에 의한 흔적이라도 하나의 구조를 보일 수 있다.
5. 굴착하는 생물의 경우 낮은 확률로 몸체 화석이 보존된다.
6. 개방된 굴착 내부는 일반적인 바다 바닥에 비해 실체 화석이 남을 수 있는 가능성이 더 높은 환경이다.

이로 인해 국제동물명명규약(ICZN)에서는 실체 화석의 경우는 이에 따르는 한편 흔적 화석의 경우는 그 형태에 따라 생흔화석속(ichnogenus)과 생흔화석종(ichnospecies)의 체계를 따른다.

② 행동학적 분류

모든 흔적 화석들은 저마다 각각의 행동 유형을 나타낸다. 이러한 행동 유형은 Seilacher에 의해 최초로 다섯 가지로 나뉘었고, 현재는 생흔학 커뮤니티에 의해 11가지로 분류되었다(표 30).

표 30 | 흔적 화석의 행동학적 분류(Bromley, 1996)

aedificichnia	기저면 위쪽으로 생긴 건축 구조
calichnia	호흡을 목적으로 생긴 구조 ex 기공
agrichnia	경작생흔 버로우가 망을 이뤄 먹이나 박테리아를 옮긴 구조
fodinichnia	섭식생흔 먹이를 두기 위해 퇴적물을 빼낸 구조
pascichnia	포식생흔 기저 표면의 패턴으로 먹이 활동 방목의 패턴을 보임
praedichnia	육식활동의 증로 문자국이나 뼈를 갉아먹은 흔적 또는 조개껍질의 굳착 구조
cubichnia	휴식생흔 연한 기저면에 생명체가 머무르거나 숨은 흔적
domichnia	주거생흔 주거를 위한 구조를 반영(e.g. 버로우)
equilibrichnia	다양한 퇴적 속도를 수용하기 위한 유기체의 반응을 보여주는 흔적
fugichnia	도피생흔 퇴적 속도의 증가로 갑자기 매장되어 빠져나오려 하다 퇴적 붕괴가 일어난 구조
repichnia	이동생흔 유기체가 한 곳에서 다른 곳으로 이동하여 명확한 방향을 보이며 생긴 구조

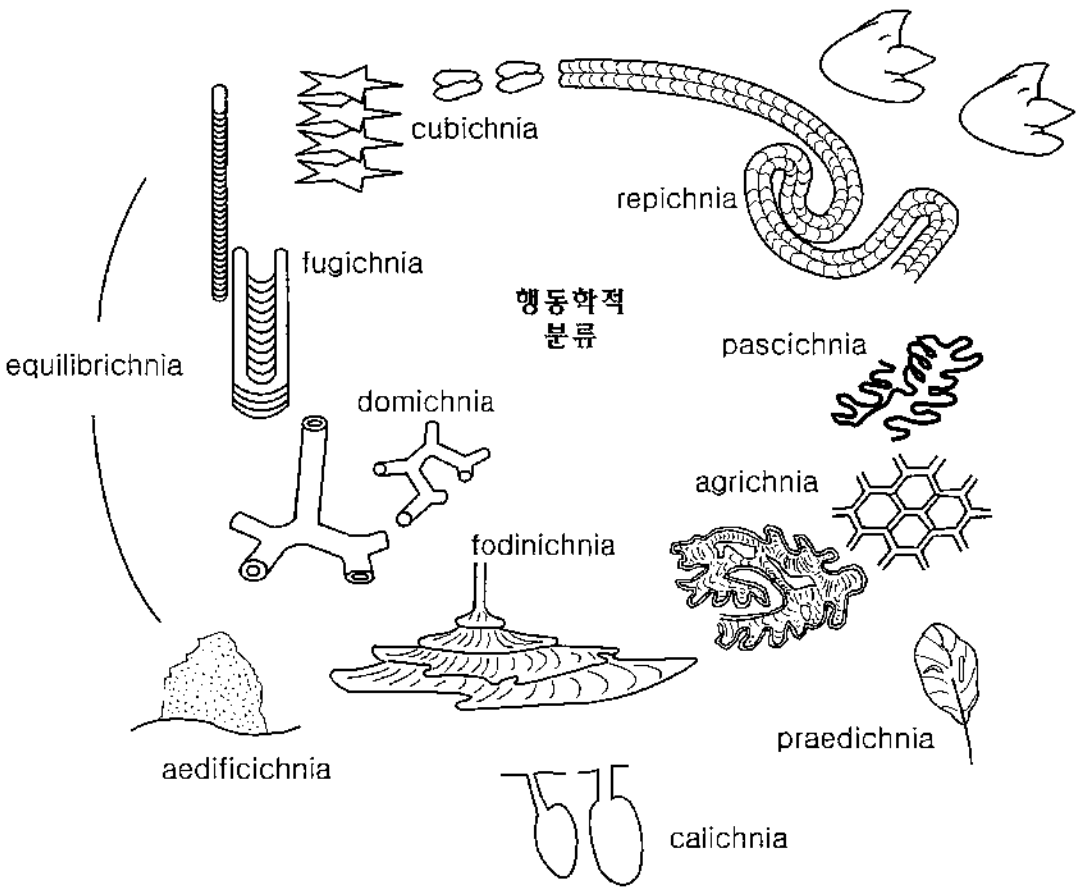


그림 53 | 흔적화석의 행동학적 범주(modified from Benton and Harper, 1997).

③ 보존적 분류

흔적 화석과 퇴적 표면과의 관계를 이용하여 분류한 것으로 이 기준에 따르면 흔적이 exogenic(침전물의 표면에) 또는 endogenic(침전물 자체 내에서)으로 나타날 수 있다. 이러한 흔적은 전요철(원형 버로우의 경계로 명확하게 둘러싸고 퇴적물 내에 정의된) 혹은 반요철로 나타난다. 또 반요철은 위쪽 표면에 나타나는 epirelief(표면 요철) 혹은 아래쪽 표면에 나타나는 hyporelief(저면요철)로 나타난다(그림 54).

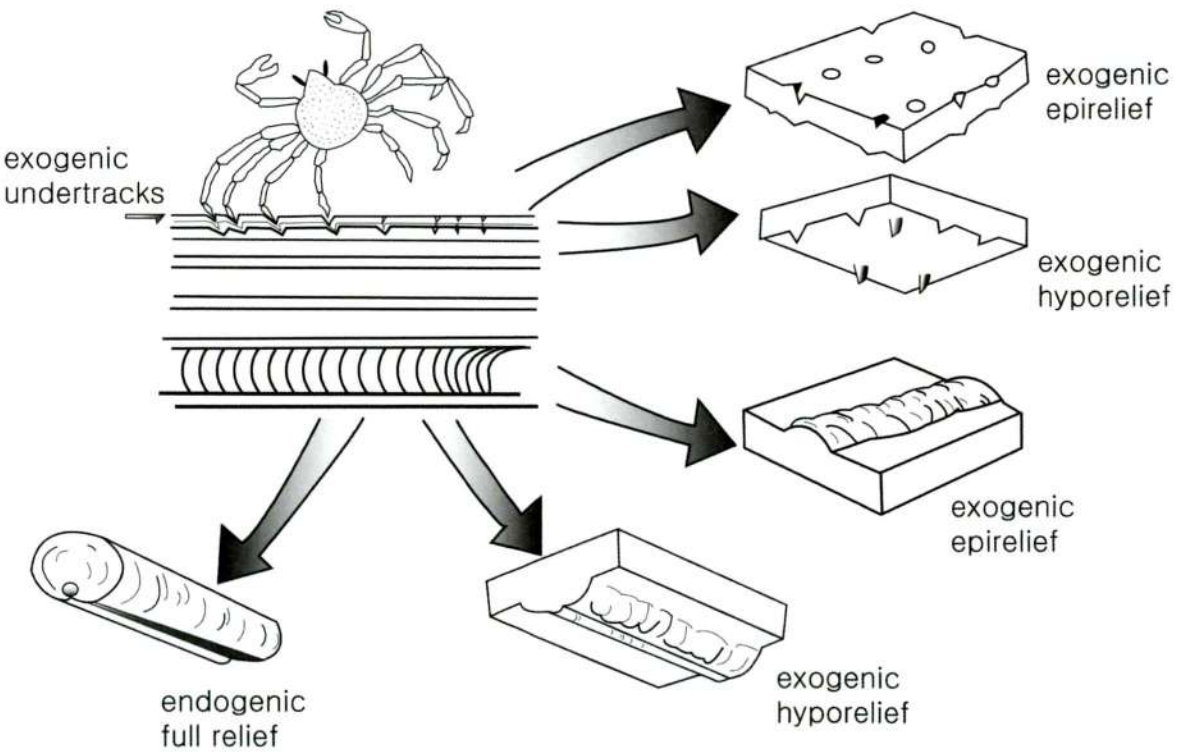


그림 54| 흔적화석의 보존적 분류(Benton and Harper, 1997).

3.3 Ichnofacies(생흔상)

생물들이 남긴 흔적들의 특성 및 형태 분류를 바탕으로 정리된 생흔구조의 조합이 생흔상(ichnofacies)이며, 이러한 생흔상은 퇴적학적 자료에서 이해되지 못하였던 많은 환경요소에 대한 열쇠를 제공한다. 생흔상 연구는 생물의 행동학적 특성과 기질의 상호 관련성 특징에 대한 연구를 포함하며, 식물이나 동물이 퇴적물에서 그들의 행동을 어떻게 기록으로 남기는 가에 초점을 맞추고 있다(김종관 외, 2006).

흔적 화석들은 특징적인 흔적 화석의 이름을 딴 여러 생흔상안에 고환경적 체계를 통하여 나눌 수 있다. 생흔상은 특정한 퇴적상을 지시하며 그 흔적 화석 집단에 기초하여 동정을 할 수 있다. 이러한 생흔상은 비해성 생흔상인 Scoyenia, Mermia, Coprinisphaera 생흔상과 해양 환경 연질 저층의 Psilonichnus, Skolithos, Cruziana, Zoophycos, Nereites 생흔상 그리고 해양 환경의 연질 저층을 제외한 나머지 저층의 Glossifungites, Teredolites, Tripanites 생흔상으로 구분해 볼 수 있다(그림 55; 표 31).

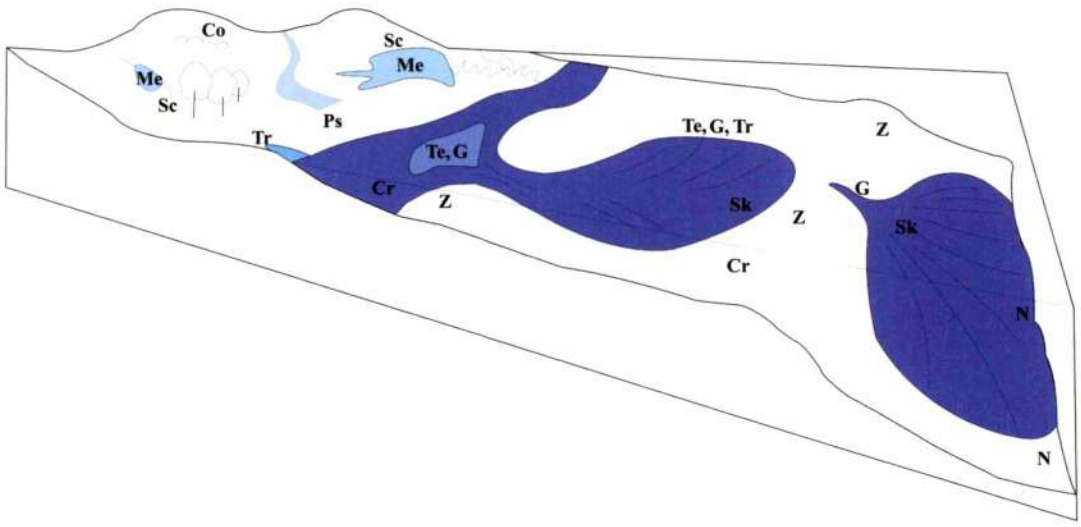


그림 55 | 환경에 따른 생흔상(modified from Benton and Harper, 1997). Sc: Scoyenia, Me: Mermia, Co: Coprinisphaera, Cr: Cruziana, Gl: Glossifungites, N: Nereites, Ps: Psilonichnus, Sk: Skolithos, Te: Teredo -lites, Tr: Tripanites, Z: Zoophycos Ichnofacies.

표 31| 생흔상에 따른 나타나는 흔적 화석의 특징 및 환경(modified from Buatois and Mángano, 1995 and pemberton *et al.*, 2001).

생흔상		특징적 흔적 화석	환 경
육상 환경	Scoyenia	작고 수평적, 선형, 섭식 구조, 기어간 흔적, 수직 원통의 불규칙적인 줄기 구조, 발자국 및 보행렬 등	육상과 육성 호소 환경사이의 전이 환경을 지시, 점토질, 사암질의 낮은 에너지의 퇴적 환경, 과도적인 충적 호수 환경, 범람원, 일시적 호수나 못
	Mermia	작고 수평에서 약간 내려가는 구조, 분화된 섭식 파행흔이 우세, 보통 섭식생흔이 나타나며 드물게 이동 흔적 등	생흔상은 완전한 육상 수중 환경으로 특히 호수 환경을 지시
	Coprinisphaera	크고 작은 흔적은 대부분 주거 굴착흔적(호흡 구조 포함)과 보다 적은 섭식 굴착 흔적, 배설물 등	낮은 에너지의 육상 환경으로 결합력있는 머드, 실트, 사암 그리고 이회암 질의 퇴적층으로 완전히 발달하거나 유년기의 고토양이 발달된 충적평야
해양 연질 저층 환경	Psilonichnus	수직의 작은 가지형 버로우가 우세, 구근 모양 바닥의 구멍과 불규칙적인 J- Y- U자 형의 주거 굴착 생흔 등	해안 위쪽의 상빈해, 온화한 낮은 에너지의 해안
	Skolithos	빠르게 이동하는 물과 모래에서 사는 굴착 생물에 의해 형성된 수직 주거 생흔이 우세, U자형의 주거 굴착 생흔 등	수력학적 에너지가 높은 조간대
	Cruziana	수직 버로우는 흔하지 않으며 수평 이동 생흔, 휴식 생흔이 지배적, 생흔화석의 다양성이 높은 것이 특징	평상 파도 기저면 아래에 위치하지만 폭풍기저면 위의 수력학적 에너지가 비교적 낮은 곳
	Zoophycos	생흔의 밀도는 높으나 다양성은 낮음. 특히 내생 동물의 복잡한 섭식 생흔이 특징적	폭풍 및 파도 기저면 아래의 외대륙붕에서 상부 대륙사면 영역
	Nereites	수평의 포식 생흔과 경작 생흔이 우세, 수직 생흔은 거의 없음	심해 환경, 원양성 점토와 저탁암층의 심해 퇴적 분지
기타 저층 생흔상	Glossifungites	주로 주거 생흔이 나타나며, 포식 생흔 및 섭식 생흔은 잘 나타나지 않음	견고 저층이나 석화되지 않은 해안 혹은 보다 아래의 누락된 표면. 특히 약간 탄화되여 경질된 단단한 곳
	Teredolites	풍부한 방망이 모양(shipworm)의 보링	목질 저층, 물위에 떠다니는 나무로 포장된 환경
	Trypanites	벌레류, 이매패루, 삿갓조개, 해면 등의 원통의 꽃병, 눈물 혹은 U자형의 보링	경질 저층 또는 암질저층, 바위가 많은 해안, 바닷가 바위 등

3.4. 해남 우항리에서 산출되는 절지동물 흔적 화석

해남 우항리 공룡박물관과 우항포 지역의 하부 갈색 세일층에서 절지동물의 보행흔이 새발자국 화석과 동시에 산출된다. 절지동물 흔적 화석을 포함하는 지층은 우항리 공룡 박물관 앞쪽에서 우항포 지역까지 2Km에 걸쳐서 연장성을 보이기 때문에 지층을 대비하는 기준으로 이용될 수 있다.

절지동물 흔적 화석은 박물관 앞쪽 제1보호각(조각류관)과 입구 주차장 옆 우항포 일대에 걸쳐 산출된다(그림 56).

흔적 화석의 보행렬은 중앙에 끌린 듯한 흔적이 있는 보행렬과 중앙에 끌린 듯한 흔적이 없는 보행렬인 2가지로 나눠서 볼 수 있다(그림 52, 그림 58). 또한 보행렬과 더불어 간혹 땅 속으로 파고 들어간 듯한 흔적 또한 산출된다(그림 57).

족흔은 대체로 선명하지 않으나 선명한 부분이 나타나는 경우도 있다. 족흔렬은 단순하고 보행렬의 진행 방향에 수평 혹은 약간 밖으로 벌어져 나타난다. 보행흔의 이동 모습은 직선 내지, 완만한 곡선 혹은 심한 곡선 모양을 이룬다. 오목 표면 요철 또는 볼록 저면 요철로 보존되어 있다(해남군, 2004).

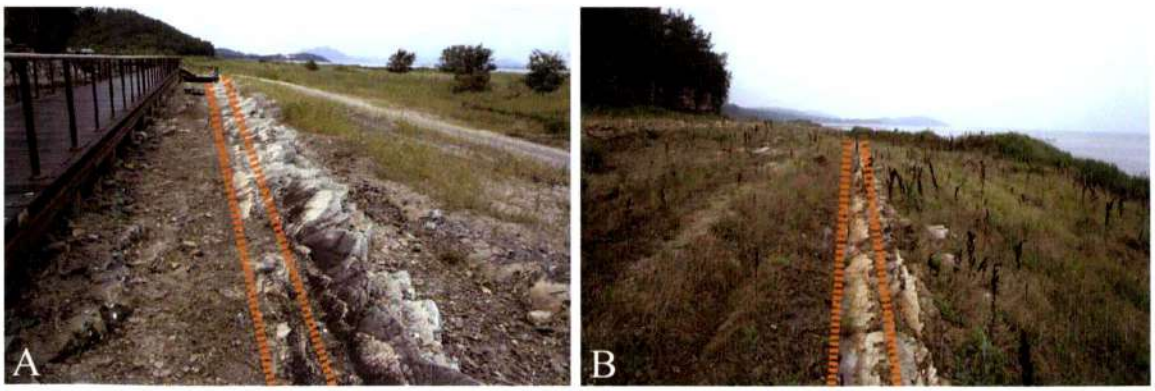


그림 56 | 우항리 화석산지 내 흔적 화석 노두 모습(A: 제1보호각 앞, B: 우항포 일대).

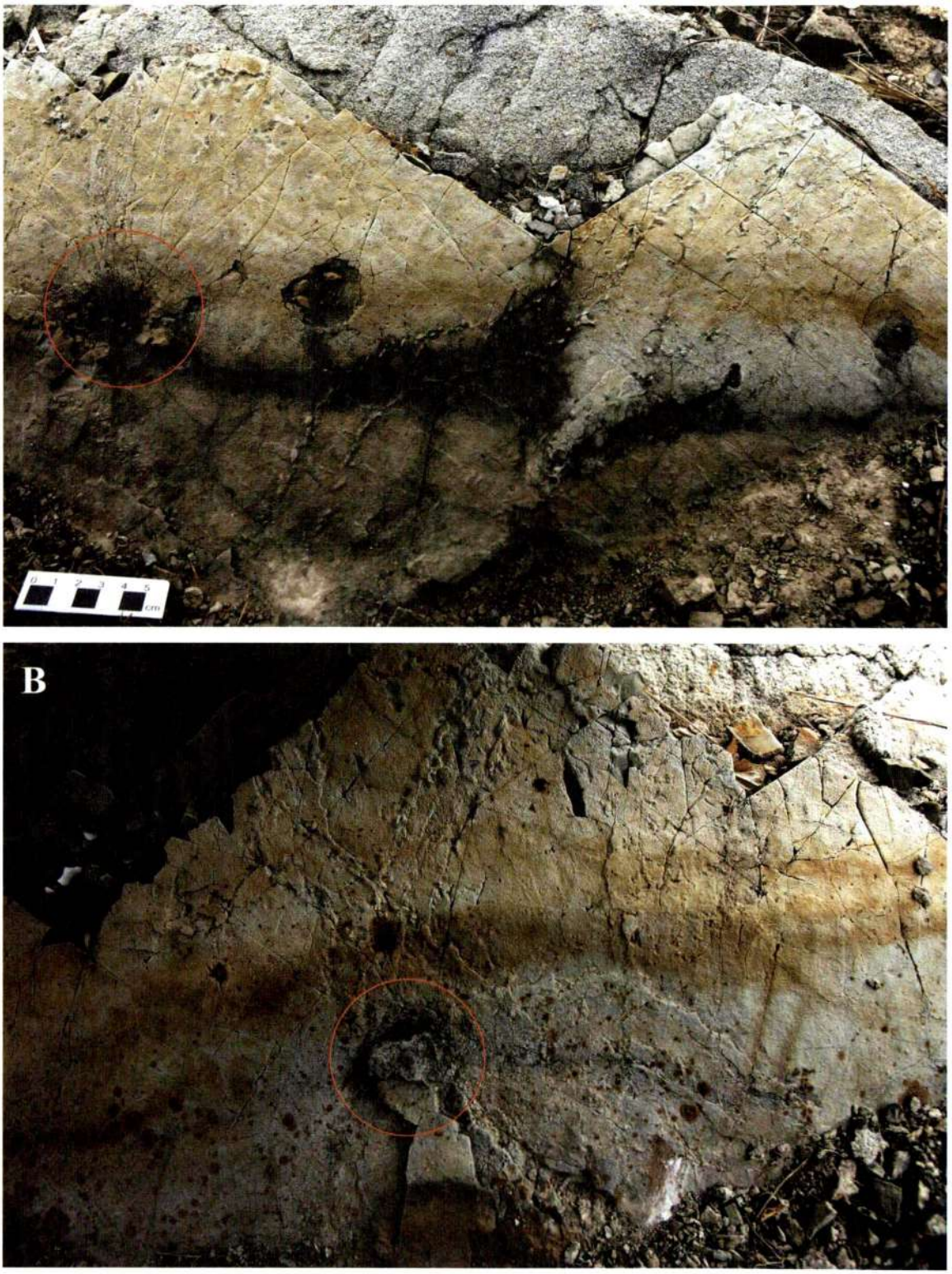


그림 57| 우항리 화석산지에서 관찰되는 절지동물 흔적화석. 보행열과 이어져 파고들어간 듯 보이는 흔적들이 간혹 나타난다(붉은 원 표시).

3.5 흔적 화석 조사 및 기록

보행렬의 생성자를 동정하기 위해서는 보행렬의 패턴이나 발자국 크기 및 특정 형태 등을 통하여 알아낼 수 가 있다. 그러나 해남에서 나타나는 절지동물 보행렬은 보행 패턴이나 특정 발자국 형태가 뚜렷하게 나타나지 않고 흔적 화석 원리에 의해 정확히 생성자를 지정하는데 어려움이 있다. 따라서 대표적으로 나타나는 중앙에 끌린 듯한 흔적의 유무에 따른 보행렬의 크기로 생성자의 크기를 유추해보기 위하여 우항리 박물관 제1보호각 앞쪽(이하 STOP1)과 우항포 일대(이하 STOP2)에서 산출되는 2줄의 보행렬의 안쪽 폭을 실측하였다(표 32).

총 104개의 보행렬은 13.47㎜에서 27.77㎜까지의 범위를 보이며, 평균 폭은 약 20㎜이다(표 33). 안쪽 폭의 크기가 약20㎜ 임을 봤을 때 생성자의 가로 폭 또한 20㎜내외 일 것으로 추정된다.

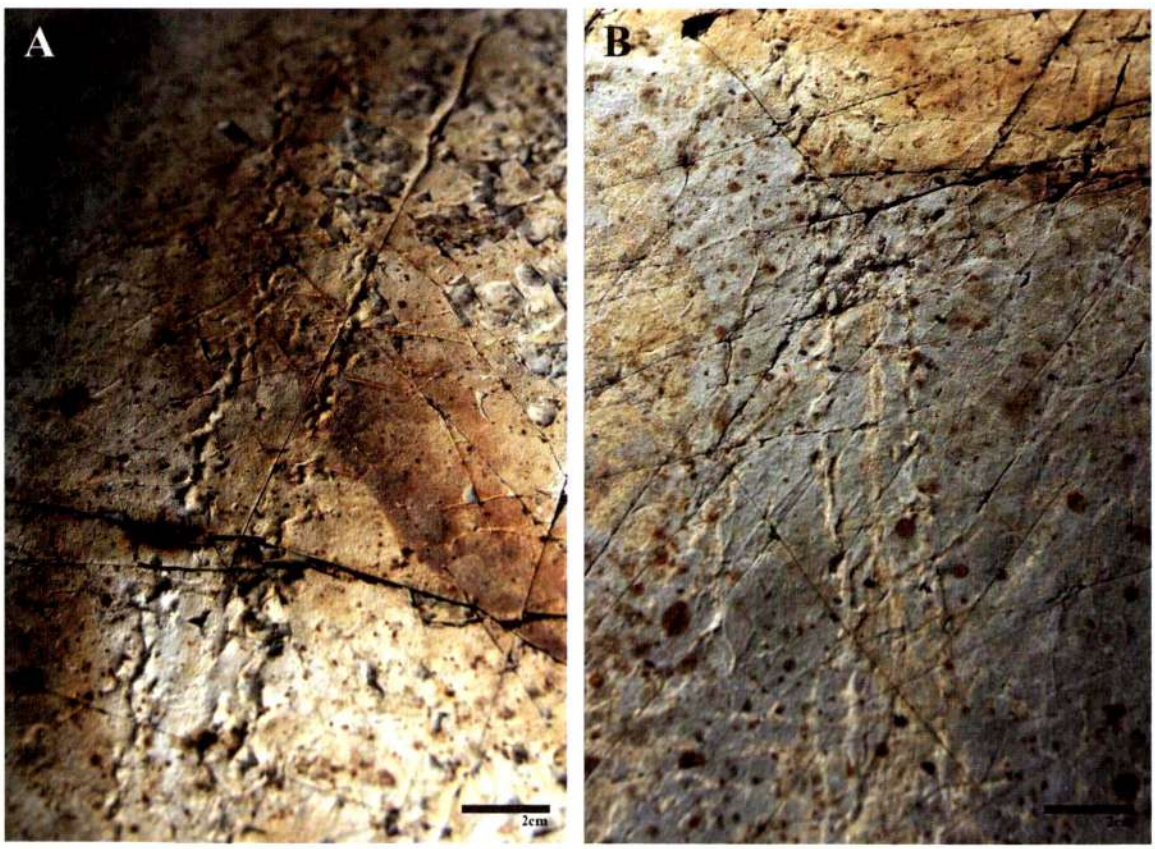


그림 58 | 2가지 타입의 보행렬. (A)중앙에 끌린 흔적이 없는 보행렬, (B)중앙에 끌린 흔적이 있는 보행렬.

표 32| 중앙에 끌린 흔적 유무에 따른 폭의 넓이

STOP1			STOP2		
NUM	MEDIAN LINE	WIDTH(㎜)	NUM	MEDIAN LINE	WIDTH(㎜)
1	X	23.37	1	O	24.79
2	O	16.10	2	O	17.07
3	X	24.20	3	O	20.29
4	X	14.80	4	X	17.48
5	X	27.90	5	X	15.45
6	X	16.33	6	X	17.69
7	O	21.48	7	O	10.95
8	O	26.04	8	O	18.26
9	X	17.17	9	X	14.37
10	X	17.80	10	O	25.85
11	X	23.06	11	O	24.61
12	X	23.42	12	O	25.80
13	O	15.83	13	X	25.05
14	O	21.87	14	O	24.69
15	X	24.68	15	X	19.17
16	O	18.30	16	X	19.32
17	X	24.87	17	O	21.60
18	O	21.64	18	X	22.53
19	X	14.54	19	O	27.77
20	X	17.07	20	O	26.30
21	O	22.53	21	O	20.42
22	X	20.60	22	X	15.92
23	X	26.74	23	O	19.75
24	O	21.95	24	O	22.56
25	X	22.05	25	O	21.84
26	O	21.63	26	X	24.31
27	X	25.26	27	O	23.24
28	X	13.47	28	X	15.13
29	X	27.26	29	X	14.07
30	X	23.19	30	O	22.43
31	X	14.92	31	X	15.02
32	X	22.33	32	O	14.95
33	X	18.72	33	X	15.30
34	X	24.29	34	X	22.00
35	O	15.93	35	X	14.55
36	O	23.02	36	X	15.46
37	O	14.78	37	O	24.87
38	X	25.70	38	X	15.69
39	X	16.32	39	O	19.36
40	O	25.28	40	O	20.58
41	X	25.31	41	X	18.58
42	X	26.95	42	X	16.48
43	X	15.16	43	X	18.60
44	O	27.24	44	O	15.16
45	O	25.88	45	X	15.08
46	X	17.17	46	O	16.10
47	O	27.75	47	X	24.39
48	X	25.24	48	O	15.00
49	O	25.30	49	X	21.18
			50	X	18.73
			51	O	18.99
			52	X	25.83
			53	X	16.16
			54	X	21.46
			55	O	16.38

표 33 | 절지동물 흔적 화석 폭 측정 평균

	STOP1	STOP2
WITH MEDIAN LINE	21.8㎜	20.7㎜
WITHOUT MEDIAN LINE	21.3㎜	18.4㎜

2종류의 절지동물 흔적화석은 발자국 진행방행에 수평 혹은 약간 밖으로 벌어져 나타나는 유사한 양상을 보이고 산출 지역과 중앙에 끌린 흔적의 유무에 상관없이 평균은 20㎜내외로 유사하게 나타나는 것으로 보아 동일한 생성자에 의한 흔적 화석으로 보이며 중앙에 끌린 흔적의 차이는 생식기 혹은 꼬리와 같은 부속지의 흔적으로 추정된다.

기저면의 상태에 따른 차이로도 볼 수 있으나 이는 2종류의 보행렬이 동시에 교차하며 나타나는 것과 104개의 보행렬 중에 기저 상태 변화에 따른 변화상이 보이지 않는 것으로 보아 기저면의 상태에 따른 차이는 아닌 듯하다.

| 4 | 모니터링 Data sheet 작성

표 34 | 화석산지 모니터링 체크 리스트: 천연기념물 제394호 해남 우항리 공룡 · 익룡 · 새발자국 화석산지(2011)

화석산지 모니터링 체크 리스트 조사일: 2011. 9. 7.

① 지정 번호	천기 394호	② 지정 명칭	해남 우항리 공룡 · 익룡 · 새발자국 화석산지
③ 소 재 지	전남 해남군 황산면 우항리 산1		

모니터링 항목		조 사 내 용
④ 사이트 환경		□산 ☑바닷가 □섬 □하천 □도로 □ 기타( )
⑤ 접근성	내륙(바닷가)	□진입 불가 □소형 차량 진입 가능 ☑모든 차량 진입 가능
	섬	□무인도 □유인도(여객선 운항 횟수 기재/일)
⑥ 관광지 개발 여부		□해당 없음 □준관광지 ☑관광지
⑦ 1일 방문자 수		□10명 미만 □10~30명 미만 □30~50명 미만 □50~100명 미만 ☑100명 이상
⑧ 문화재 구역 관리 실태		□부적합 □보통 ☑우수 □대단히 우수 • 전문 연구사 채용으로 보존 및 연구 기능 강화됨. • 2년에 걸쳐 실시 중인 보존 연구의 가시적인 성과들이 화석산지 곳곳에서 관찰됨. 화석산지의 전반적인 관리 상태 좋아짐. • 야외 절지동물 흔적 화석에 대한 모니터링 강화. – 화석산지 전체 절지 동물 흔적에 대한 정밀 조사 필요. – 훼손의 위험이 매우 높음. 현재도 진행 중임.

⑨ 화석 현황	• 공룡발자국(초식공룡 용각류와 조각류 및 수각류 등) 514점 • 익룡발자국 443점(*Haenamichnus uhangriensis*): 세계 최대 보행렬 • 새발자국(*Uhangrichnus, Hwangsanipes*) 1,000 여 점 • 대규모 절지동물 생활 흔적 화석산지: 아시아 최초 발견 • 목재 화석 및 개형충 화석, 익룡뼈 등
⑩ 훼손 현황	• 균열, 파쇄(대), 박락, 변색(갈색, 흑색), 백화 현상, 생물 침해, 보수 물질 탈락 및 이질감, 함수대 등 다양하고 복합적임 → 이에 대한 보존 처리 작업 진행 중.
⑪ 생물(식생) 침해	• 조류 · 균류 · 지의류, 초본식물에 의한 생물 침해 대규모 발생
⑫ 추가 확인된 화석	-
⑬ 조사자 의견	• 야외 절지동물 흔적화석 산지의 훼손, 멸실이 우려됨 • 야외 새발자국 및 절지동물 흔적 화석의 보호를 위한 기존 탐방로 위치 변경 검토 필요함 • 중점 관리 대상 표본 체크 리스트 생략함 – 사유: 현재 보존 처리 작업이 진행 중임
⑭ 사진 촬영	• JPEG, TIFF 사진 자료 확보(야외 절지 동물 흔적 화석 중심)



표 35 | 화석산지 모니터링 체크 리스트: 천연기념물 제394호 해남 우항리 공룡 · 익룡 · 새발자국 화석산지(2010)

화석산지 모니터링 체크 리스트 조사일: 2010. 5. 13.

① 지정 번호	천기 394호	② 지정 명칭	해남 우항리 공룡 · 익룡 · 새발자국 화석산지
③ 소 재 지	전남 해남군 황산면 우항리 산1		

모니터링 항목		조 사 내 용
④ 사이트 환경		□산 ☑바닷가 □섬 □하천 □도로 □ 기타( )
⑤ 접근성	내륙(바닷가)	□진입 불가 ☑소형 차량 진입 가능 □모든 차량 진입 가능
	섬	□무인도 □유인도(여객선 운항 횟수 기재/일)
⑥ 관광지 개발 여부		□해당 없음 □준관광지 ☑관광지
⑦ 1일 방문자 수		□10명 미만 □10~30명 미만 □30~50명 미만 □50~100명 미만 ☑100명 이상
⑧ 문화재 구역 관리 실태		□부적합 ☑보통 □우수 □대단히 우수 • 화석산지 관리에 대한 기반 시설 등은 충족하고 있으나, 전문 연구원의 부재로 화석산지의 학술적 접근이 부족함. • 야외 전시관(3곳)을 제외하고는 화석산지의 전반적인 관리 상태 우수함. • 야외 새발자국 및 절지동물 흔적 화석의 보호를 위한 기존 탐방로 위치 변경 검토 필요함. • 문화재 안내 설명판 추가 설치 및 내용 보완 • 야외 절지동물 흔적 화석에 대한 모니터링 강화 화석산지 전체 절지동물 흔적에 대한 조사 필요 • 화석산지 보존(제3보호각 중심)을 위한 학술 연구 용역 발주 – 과업 기간: 2010. 9.~ 2011. 9. – 수행 기관: 공주대학교산학협력단 – 책임 연구자: 공주대학교 이찬희 교수

⑨ 화석 현황	• 공룡발자국(초식공룡 용각류와 조각류 및 수각류 등) 514점 • 익룡발자국 443점(*Haenamichnus uhangriensis*): 세계 최대 보행렬 • 새발자국(*Uhangrichnus*, *Hwangsanipes*) 1,000 여 점 • 대규모 절지동물 생활 흔적 화석산지: 아시아 최초 발견 • 목재 화석 및 개형충 화석, 익룡뼈 등
⑩ 훼손 현황	• 수분의 지속적 공급, 지하수위, 단층, 생물 침해, 금호호 수위, 염성분물의 유입, 산성비, 기온 변화 등으로 인해 화석산지 훼손 진행 속도 빠름(균열, 파쇄, 박리, 표면 거칠음, 탈색, 착색 및 미관상 불쾌함 등 유발).
⑪ 생물(식생) 침해	• 조류 · 균류 · 지의류, 초본식물에 의한 생물 침해 대규모 발생
⑫ 추가 확인된 화석	–
⑬ 조사자 의견	• 화석산지의 훼손이 심각함. 특히 제3보호각, 제3보호각 옆 초식공룡발자국 및 야외 절지동물 흔적 화석 산지의 훼손 및 멸실이 우려됨. • 훼손 원인(수분 유입, 생물 침해, 지하 수위, 기온 변화, 산성비, 염 성분의 물, 금호호 수위 등)에 대한 종합 진단 및 장기 계획 수립 후 빠른 시간 내 원인 제거 작업 필요.
⑭ 사진 촬영	• JPEG, TIFF 사진 자료 50장 확보



표 36. | 중점 관리 대상 표본 체크 리스트: 천연기념물 제394호 해남 우항리 공룡 · 익룡 · 새발자국 화석산지(2010)

중점 관리 대상 표본 체크 리스트 조사일: 2010. 5. 13.

① 지정 번호	천기 394호	② 지정 명칭	해남 우항리 공룡 · 익룡 · 새발자국 화석산지
③ 관리 대상 표본	절지동물 생활 흔적(Arthropod trackways)		
④ GPS 좌표	N 34° 35′ 29.58″ E 126° 26′ 8.65″	⑤ 고도	–

모니터링 항목	내 용
사이트 환경 Site Environment	
⑥ 사이트 환경	□산 ☑바다 □섬 □하천 □도로 ☑ 기타(금호호-반담수)
⑦ 화석지 주변 환경 변화	과거 조수가 교차하는 해안가였으나 1996년 금호방조제 건설 후 금호방조제에 의해 담수호(금호호)를 낀 육지로 바뀜
⑧ 바다로부터의 거리	내륙(0, ①, 2, 3, 4)
풍화 훼손 현황 Damage by Weathering	
⑨ 풍화 현상	균열, 파쇄, 박리, 표면 거칠음, 탈색, 착색 등 발생 (0, 1, 2, 3, 4, ⑤)
⑩ 균열	• 화석산지 곳곳에서 다양하고 무수한 균열 발생 • 균열의 규모는 대체로 2mm 이하가 다수 • 화석지 상부면의 균열을 따라 파쇄 현상이 매우 심함 (0, 1, 2, 3, 4, ⑤) 

⑪ 침하	(ⓞ, 1, 2, 3, 4, 5)
⑫ 훼손	균열, 파쇄, 박리, 생물 침해, 탈색, 착색에 의한 훼손 (0, 1, 2, 3, 4, ⑤)  
⑬ 복제(탁본)	–
⑭ 오염	–
생물 서식 Biological colonization / Biodeterioration	
⑮ 생물 침해	(ⓞ, 1, 2, 3, 4, 5)
기타 정보 Additional Information	
⑯ 실측도 유무	–

사진 자료 Pictures	
⑰ 사진 촬영	TIFF, JPEG 파일 50여 장 촬영





표 37 | 화석산지 모니터링 체크 리스트: 천연기념물 제394호 해남 우항리 공룡 · 익룡 · 새발자국 화석산지(2009)

화석산지 모니터링 체크 리스트 조사일: 2009. 5. 20.

① 지정 번호	천기 394호	② 지정 명칭	해남 우항리 공룡 · 익룡 · 새발자국 화석산지
③ 소 재 지	전남 해남군 황산면 우항리 산1		

모니터링 항목		조 사 내 용
④ 사이트 환경		□산 ☑바닷가 □섬 □하천 □도로 □ 기타( )
⑤ 접근성	내륙(바닷가)	□진입 불가 ☑소형 차량 진입 가능 □모든 차량 진입 가능
	섬	□무인도 □유인도(여객선 운항 횟수 기재/일)
⑥ 관광지 개발 여부		□해당 없음 □준관광지 ☑관광지
⑦ 1일 방문자 수		□10명 미만 □10~30명 미만 □30~50명 미만 □50~100명 미만 ☑100명 이상
⑧ 문화재 구역 관리 실태		□부적합 ☑보통 □우수 □대단히 우수 • 화석산지 관리에 대한 기반 시설 등은 충족하고 있으나, 전문 연구원의 부재로 화석산지의 학술적 접근이 부족함. • 야외 전시관(3곳)을 제외하고는 화석산지의 전반적인 관리 상태 우수함. • 야외 새발자국 및 절지동물 흔적 화석의 보호를 위한 기존 탐방로 위치 변경 검토 필요함. • 야외 전시관(3곳) 내 디지털 온 · 습도기 추가 설치 및 공조 시설의 상시 가동으로 화석산지의 적정 습도 유지 필요. – 온 · 습도기의 설치 위치에 대한 전문가 의견 수렴 과정 필요



⑨ 화석 현황	• 공룡발자국(초식공룡 용각류와 조각류 및 수각류 등) 514점 • 익룡발자국 443점(*Haenamichnus uhangriensis*): 세계 최대 보행렬 • 새발자국(*Uhangrichnus*, *Hwangsanipes*) 1,000 여 점 • 대규모 절지동물 생활 흔적 화석산지: 아시아 최초 발견 • 목재 화석 및 개형충 화석, 익룡뼈 등
⑩ 훼손 현황	• 수분의 지속적 공급, 지하수위, 단층, 생물 침해, 금호호 수위, 염 성분 물의 유입, 산성비, 기온 변화 등으로 인해 화석산지 훼손 진행 속도 빠름(균열, 파쇄, 박리, 표면 거칠음, 탈색, 착색 및 미관상 불쾌함 등 유발).
⑪ 생물(식생) 침해	조류 · 균류 · 지의류, 초본식물에 의한 생물 침해 대규모 발생
⑫ 추가 확인된 화석	-
⑬ 조사자 의견	• 화석산지의 훼손이 심각함. 특히 제3보호각, 제3보호각 옆 초식공룡 발자국 및 야외 절지동물 흔적 화석 산지의 훼손, 멸실이 우려됨 • 훼손 원인(수분 유입, 생물 침해, 지하 수위, 기온 변화, 산성비, 염 성분의 물, 금호호 수위 등)에 대한 종합 진단 및 장기 계획 수립 후 빠른 시간 내 원인 제거 작업 필요. • 주기적인 모니터링 필요.
⑭ 사진 촬영	• 제1보호각(조각류 발자국관) 3D 정밀 실측 작업 실시

• 3D 정밀 실측 작업 완료(2009. 4. ~ 2009. 11.)
• 과업 수행 기관: 한국과학기술원(KAIST)
• 3D 자료 관리 기관: 국립문화재연구소 자연문화재연구실

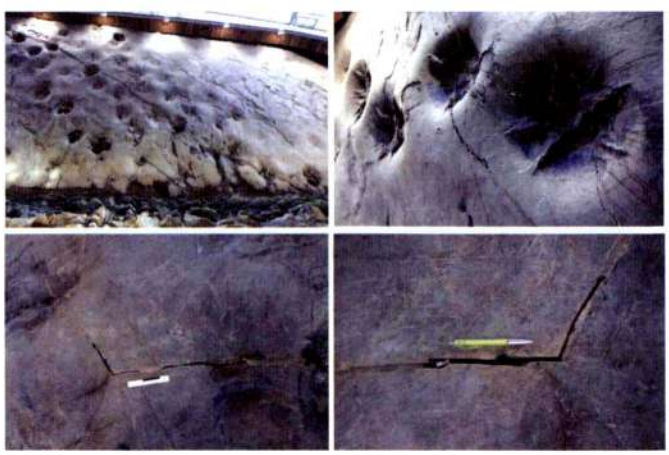




표 38 | 중점 관리 대상 표본 체크 리스트: 천연기념물 제394호 해남 우항리 공룡 · 익룡 · 새발자국 화석산지(2009)

중점 관리 대상 표본 체크 리스트 조사일: 2009. 5. 20.

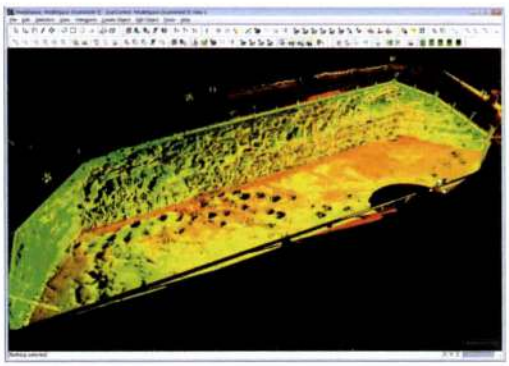
① 지정 번호	천기 394호	② 지정 명칭	해남 우항리 공룡 · 익룡 · 새발자국 화석산지	
③ 관리 대상 표본	제3보호각 공룡발자국(Uhangri Dinosaur tracks)			
④ GPS 좌표	N 34° 35′ 29.58″ E 126° 26′ 8.65″		⑤ 고도	–

모니터링 항목	내 용
사이트 환경 Site Environment	
⑥ 사이트 환경	□산 ☑바다 □섬 □하천 □도로 ☑기타(보호각 시설 설치)
⑦ 화석지 주변 환경 변화	• 과거 조수가 교차하는 해안가였으나 1996년 금호방조제 건설 후 금호방조제에 의해 담수호(금호호)를 낀 육지로 바뀜. • 2002년 목구조+철근콘크리트+철구조의 보호각 시설물 설치.
⑧ 바다로부터의 거리	내륙(0, 1, ②, 3, 4) 금호호 수위와 맞물려 일부 잠김 발생
풍화 훼손 현황 Damage by Weathering	
⑨ 풍화 현상	균열, 파쇄, 박리, 표면 거칠음, 탈색, 착색 등 발생 (0, 1, 2, 3, ④, 5)
⑩ 균열	• 화석산지 곳곳에서 다양하고 무수한 균열 발생 • 균열의 규모는 대체로 5mm 이하, 크기 1~2m 이하가 다수 • N30°W 폭 30~40mm 균열 및 N50°E 폭 20mm 균열 발생 (0, 1, 2, 3, ④, 5) 
⑪ 침하	(0, ①, 2, 3, 4, 5)

⑫ 훼손	균열, 파쇄, 박리, 생물 침해, 탈색, 착색에 의한 훼손. (0, ①, 2, 3, 4, ⑤) 
⑬ 복제(탁본)	–
⑭ 오염	–
생물 서식 Biological colonization / Biodeterioration	
⑮ 생물 침해	조류 · 균류 · 지의류, 초본 및 목본식물 생육(0, 1, 2, 3, ④, 5) 

기타 정보 Additional Information

⑯ 실측도 유무	3D 정밀 실측 실시(2008년 6월~10월)



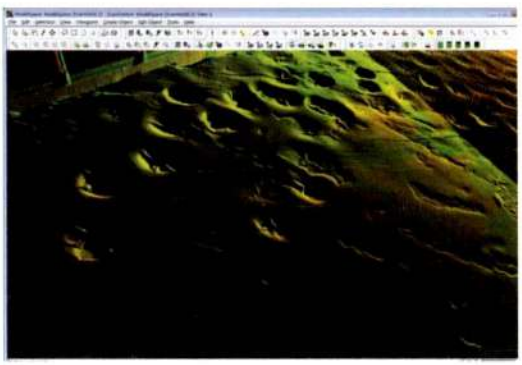


사진 자료 Pictures

⑰ 사진 촬영	Tiff, Jpeg 파일 100여 장 촬영, 발굴 당시 사진 확보

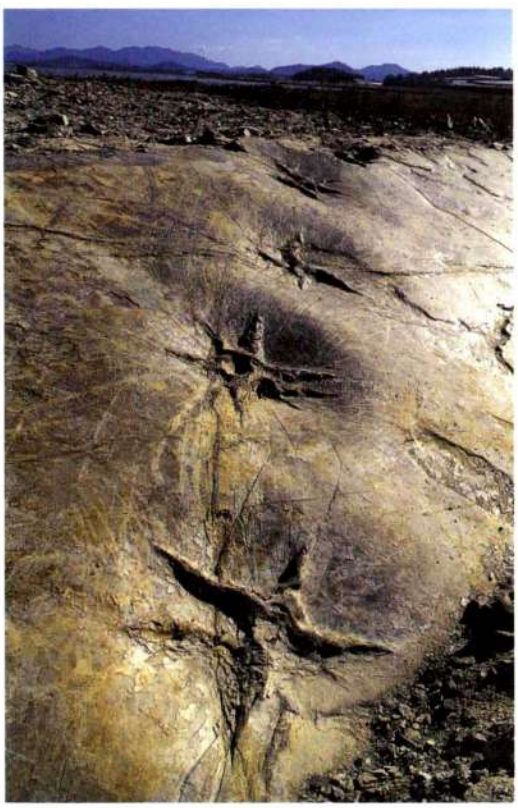




표 39 | 중점 관리 대상 표본 체크 리스트: 천연기념물 제394호 해남 우항리 공룡 · 익룡 · 새발자국 화석산지(2009)

중점 관리 대상 표본 체크 리스트 조사일: 2009. 5. 20.

① 지정 번호	천기 394호	② 지정 명칭	해남 우항리 공룡 · 익룡 · 새발자국 화석산지
③ 관리 대상 표본	제3보호각 야외 공룡발자국(Dinosaur track)		
④ GPS 좌표	N 34° 35′ 29.58″ E 126° 26′ 8.65″	⑤ 고도	–

모니터링 항목	내 용
사이트 환경 Site Environment	
⑥ 사이트 환경	□산 ☑바다 □섬 □하천 □도로 ☑기타((금호호)
⑦ 화석지 주변 환경 변화	• 과거 조수가 교차하는 해안가 였으나 1996년 금호방조제 건설 후 금호방조제에 의해 담수호(금호호)를 낀 육지로 바뀜 • 제3보호각 좌측 입구에 위치하며 제3보호각 배수 시설과 연결되어 있음
⑧ 바다로부터의 거리	내륙(0, 1, ②, 3, 4) 제3보호각에서 배출되는 배출수에 의해 잠김 발생
풍화 훼손 현황 Damage by Weathering	
⑨ 풍화 현상	균열, 파쇄, 박리, 표면 거칠음, 탈색, 착색 등 발생 (0, 1, 2, 3, 4, ⑤)
⑩ 균열	• 화석산지 곳곳에서 다양하고 무수한 균열 발생 • 균열의 규모는 대체로 5mm 이하, 크기 1~2m 이하가 다수 • 화석지 상부면(관람Deck 방향)의 균일, 파쇄 현상이 매우 심함 (0, 1, 2, 3, 4, ⑤) 
⑪ 침하	(⓪, 1, 2, 3, 4, 5)

⑫ 훼손	균열, 파쇄, 박리, 생물 침해, 탈색, 착색에 의한 훼손 (0, 1, 2, 3, 4, ⑤) 
⑬ 복제(탁본)	–
⑭ 오염	–
생물 서식 Biological colonization / Biodeterioration	
⑮ 생물 침해	초본식물 생육, 미생물 서식(0, ①, 2, 3, 4, 5) 
기타 정보 Additional Information	
⑯ 실측도 유무	–

사진 자료 Pictures	
⑰ 사진 촬영	동 · 서 · 남 · 북 근접 촬영

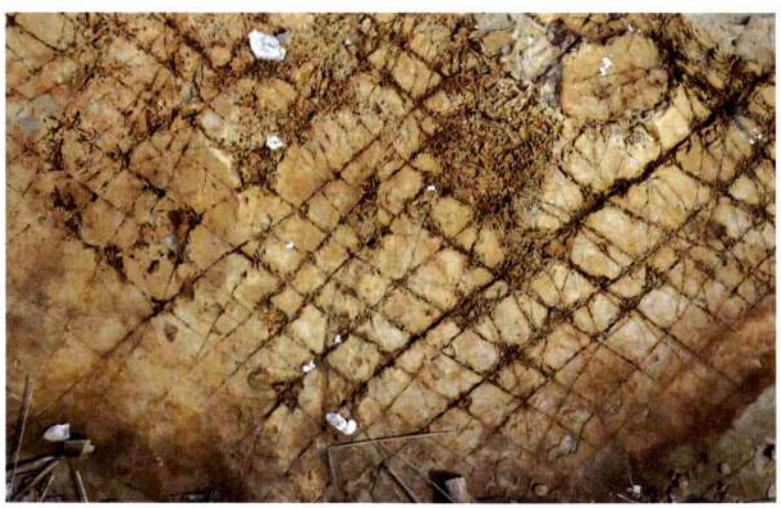




표 40 | 중점 관리 대상 표본 체크 리스트: 천연기념물 제394호 해남 우항리 공룡 · 익룡 · 새발자국 화석산지(2009)

중점 관리 대상 표본 체크 리스트 조사일: 2009. 5. 20.

① 지정 번호	천기 394호	② 지정 명칭	해남 우항리 공룡 · 익룡 · 새발자국 화석산지
③ 관리 대상 표본	절지동물 생활흔적(Arthropod trackways)		
④ GPS 좌표	N 34° 35′ 29.58″ E 126° 26′ 8.65″	⑤ 고도	–

모니터링 항목	내 용
사이트 환경 Site Environment	
⑥ 사이트 환경	□산 ☑바다 □섬 □하천 □도로 ☑기타(금호호-반담수)
⑦ 화석지 주변 환경 변화	• 과거 조수가 교차하는 해안가였으나 1996년 금호방조제 건설 후 금호방조제에 의해 담수호(금호호)를 낀 육지로 바뀜
⑧ 바다로부터의 거리	내륙(0, ①, 2, 3, 4)
풍화 훼손 현황 Damage by Weathering	
⑨ 풍화 현상	균열, 파쇄, 박리, 표면 거칠음, 탈색, 착색 등 발생 (0, 1, 2, 3, 4, ⑤)
⑩ 균열	• 화석산지 곳곳에서 다양하고 무수한 균열 발생 • 균열의 규모는 대체로 2mm 이하가 다수 • 화석지 상부면의 균열을 따라 파쇄 현상이 매우 심함 (0, 1, 2, 3, 4, ⑤) 

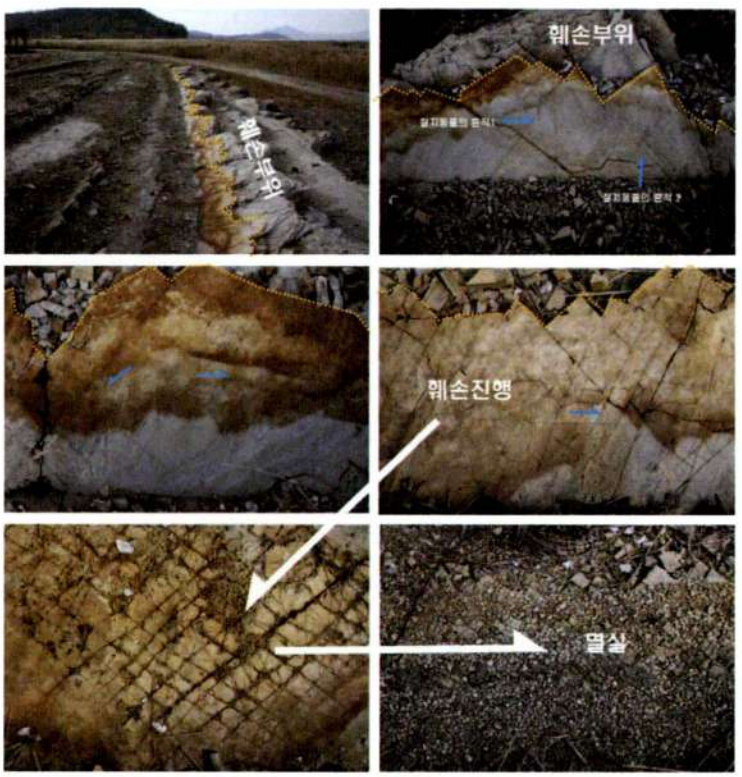
⑪ 침하	(ⓞ, 1, 2, 3, 4, 5)
⑫ 훼손	균열, 파쇄, 박리, 생물 침해, 탈색, 착색에 의한 훼손 (0, 1, 2, 3, 4, ⑤) 
⑬ 복제(탁본)	–
⑭ 오염	–
생물 서식 Biological colonization / Biodeterioration	
⑮ 생물 침해	(ⓞ, 1, 2, 3, 4, 5)
기타 정보 Additional Information	
⑯ 실측도 유무	–

사진 자료 Pictures

⑰ 사진 촬영	TIFF, JPEG 파일 50여 장 촬영

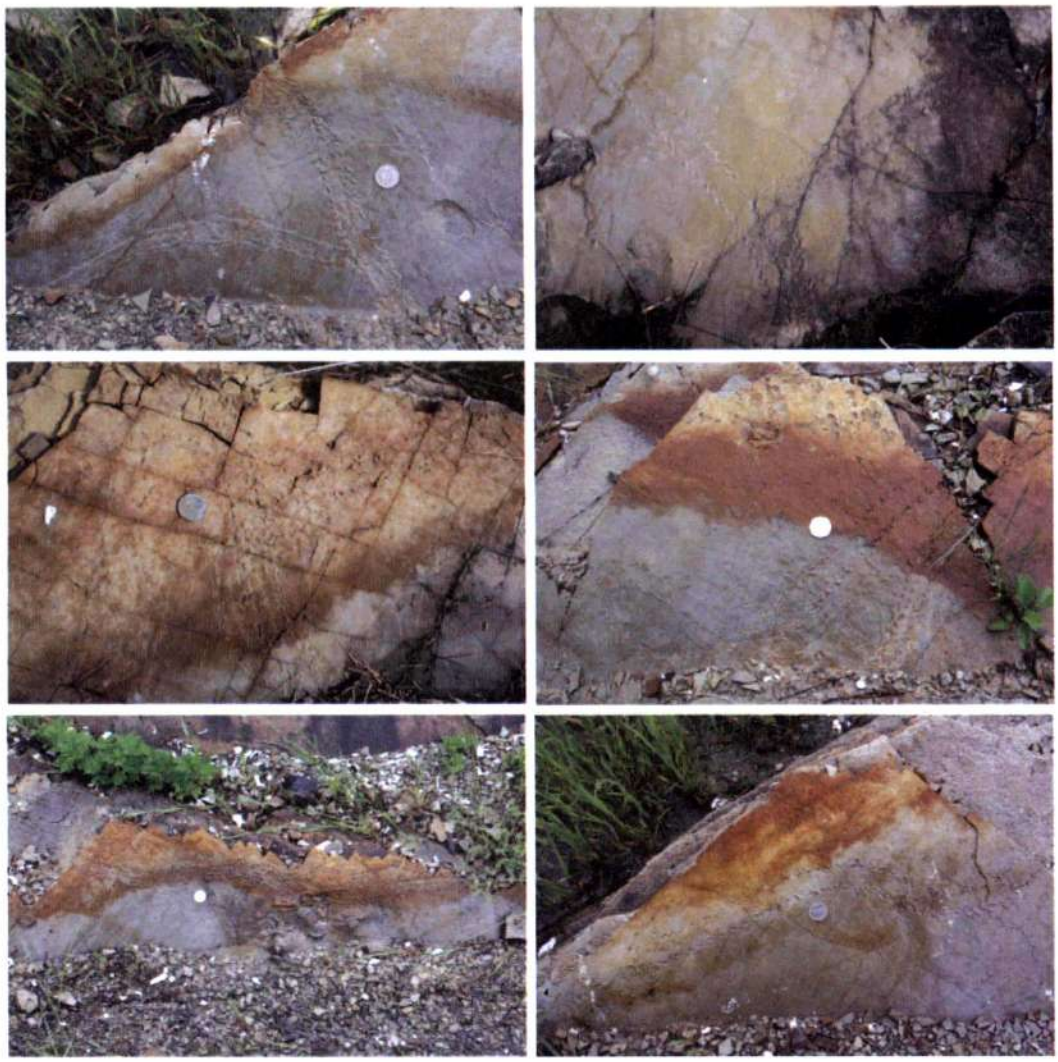


표 41 | 화석산지 모니터링 체크 리스트: 천연기념물 제394호 해남 우항리 공룡 · 익룡 · 새발자국 화석산지(2008)

화석산지 모니터링 체크 리스트 조사일: 2008. 6. 27.

① 지정 번호	천기 394호	② 지정 명칭	해남 우항리 공룡 · 익룡 · 새발자국 화석산지
③ 소 재 지	전남 해남군 황산면 우항리 산1		

모니터링 항목		조 사 내 용
④ 사이트 환경		□산 ☑바닷가 □섬 □하천 □도로 ☑ 기타(금호호)
⑤ 접근성	내륙(바닷가)	□진입 불가 ☑소형 차량 진입 가능 □모든 차량 진입 가능
	섬	□무인도 □유인도(여객선 운항 횟수 기재/일)
⑥ 관광지 개발 여부		□해당 없음 □준관광지 ☑관광지
⑦ 1일 방문자 수		□10명 미만 □10~30명 미만 □30~50명 미만 □50~100명 미만 ☑100명 이상
⑧ 문화재 구역 관리 실태		□부적합 ☑보통 □우수 □대단히 우수 • 화석산지 보호 · 관리 및 교육 기능을 수행할 박물관 개관 • 1일 관람객 약 845명 방문('08.11.23. 기준) • 외형상으로는 거의 완벽하게 화석산지가 관리되고 있는 듯하나, 실질적인 화석산지 보호 미흡(제3보호각 및 야외 훼손 상태 심각). • 3개의 보호각 내 디지털 온 · 습도기 설치 요청 (보호각 별 2~3개 이상 설치 및 적정 설치 장소에 대한 전문가 자문 필요)



⑨ 화석 현황	• 공룡발자국(초식공룡 용각류와 조각류 등) 514점 • 익룡발자국 443점(*Haenamichnus uhangriensis*): 세계 최대 보행렬 • 새발자국(*Uhangrichnus*, *Hwangsanipes*) 1,000 여 점 : 세계에서 가장 오래된 물갈퀴 새발자국 • 절지동물 생활 흔적 다수: 아시아 최초 발견 • 목재 화석 및 개형충 화석, 익룡뼈 등
⑩ 훼손 현황	• 수분의 지속적 공급, 지하수위, 단층, 생물 침해, 금호호 수위, 염 성분의 물, 산성비, 기온 변화 등으로 인해 화석산지 훼손 진행 속도 빠름 (균열, 파쇄, 박리, 표면 거칠음, 탈색, 착색 및 미관상 불쾌함 등 유발).
⑪ 생물(식생) 침해	조류 · 균류 · 지의류, 초본식물에 의한 생물 침해 대규모 발생
⑫ 추가 확인된 화석	–
⑬ 조사자 의견	• 화석산지의 훼손이 심각함. 특히, 제3보호각, 제3보호각 옆 용각류 발자국 및 야외 절지동물 흔적 화석 산지의 훼손, 멸실이 우려됨 • 훼손 원인(수분 유입, 생물 침해, 지하 수위, 기온 변화, 산성비, 염 성분의 물, 금호호 수위 등)에 대한 종합 진단 및 장기 계획 수립 후 빠른 시간 내 원인 제거 작업 필요. • 주기적인 모니터링 필요
⑭ 사진 촬영	

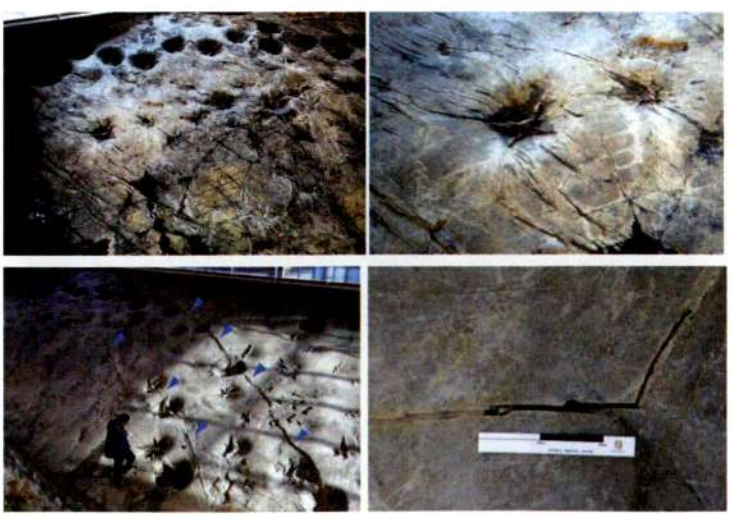


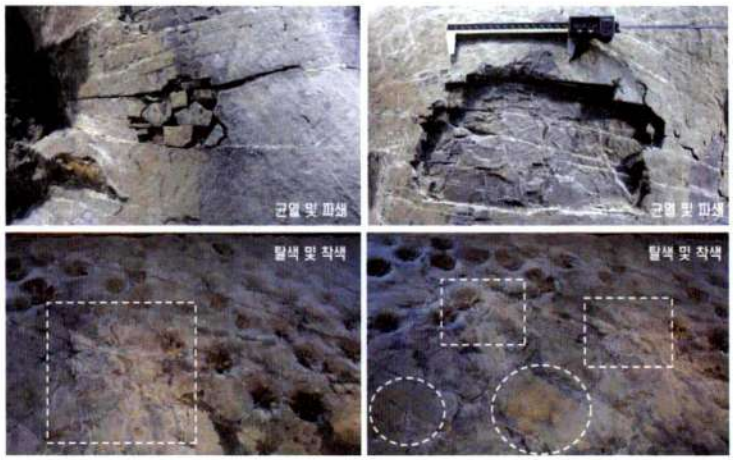


표 42 | 중점 관리 대상 표본 체크 리스트: 천연기념물 제394호 해남 우항리 공룡 · 익룡 · 새발자국 화석산지(2008)

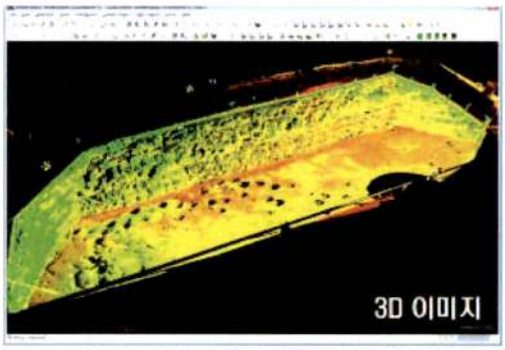
중점 관리 대상 표본 체크 리스트 조사일: 2008. 6. 27.

① 지정 번호	천기 394호	② 지정 명칭	해남 우항리 공룡 · 익룡 · 새발자국 화석산지	
③ 관리 대상 표본	제3보호각 공룡발자국(Uhangri Dinosaur tracks)			
④ GPS 좌표	N 34° 35′ 29.58″ E 126° 26′ 8.65″		⑤ 고도	-

모니터링 항목	내 용
사이트 환경 Site Environment	
⑥ 사이트 환경	□산 ☑바다 □섬 □하천 □도로 ☑기타(보호각 시설물 설치)
⑦ 화석지 주변 환경 변화	• 과거 조수가 교차하는 해안가였으나 1996년 금호방조제 건설 후 금호방조제에 의해 담수호(금호호)를 낀 육지로 바뀜
⑧ 바다로부터의 거리	내륙(0, ①, 2, 3, 4) 금호호 수위와 맞물려 일부 잠김 발생
풍화 훼손 현황 Damage by Weathering	
⑨ 풍화 현상	균열, 파쇄, 박리, 표면 거칠음, 탈색, 착색 등 발생 (0, 1, 2, 3, ④, 5)
⑩ 균열	• 화석산지 곳곳에서 다양하고 무수한 균열 발생 • 균열의 규모는 대체로 5mm 이하, 크기 1~2m 이하가 다수 • N30°W 폭 30~40mm 균열 및 N50°E 폭 20mm 균열 발생 (0, 1, 2, 3, ④, 5) 

⑪ 침하	(0, ①, 2, 3, 4, 5)
⑫ 훼손	균열, 파쇄, 박리, 생물 침해, 탈색, 착색에 의한 훼손 (0, ①, 2, 3, 4, ⑤) 
⑬ 복제(탁본)	–
⑭ 오염	–
생물 서식 Biological colonization / Biodeterioration	
⑮ 생물 침해	조류 · 균류 · 지의류, 초본 및 목본식물 생육 (0, 1, 2, 3, ④, 5) 

기타 정보 Additional Information	
⑯ 실측도 유무	3D 정밀 실측 실시(2008년 6월~10월)
사진 자료 Pictures	
⑰ 사진 촬영	동 · 서 · 남 · 북 근접 촬영



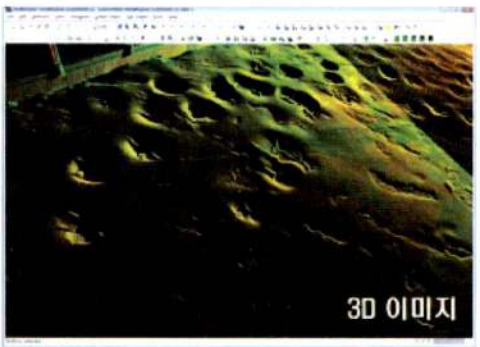




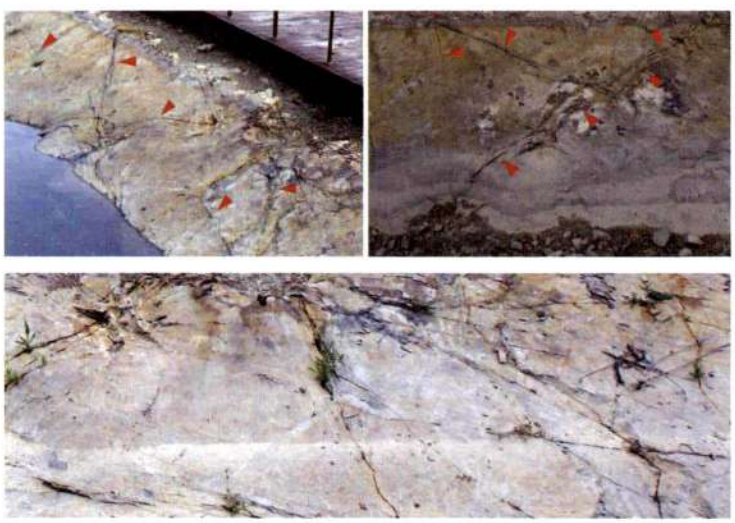




표 43 | 중점 관리 대상 표본 체크 리스트: 천연기념물 제394호 해남 우항리 공룡 · 익룡 · 새발자국 화석산지(2008)

중점 관리 대상 표본 체크 리스트 조사일: 2008. 6. 27.

① 지정 번호	천기 394호	② 지정 명칭	해남 우항리 공룡 · 익룡 · 새발자국 화석산지		
③ 관리 대상 표본	제3보호각 야외 공룡발자국(Dinosaur tracks)				
④ GPS 좌표	N 34° 35′ 29.58″ E 126° 26′ 8.65″			⑤ 고도	–

모니터링 항목	내 용
사이트 환경 Site Environment	
⑥ 사이트 환경	□산 ☑바다 □섬 □하천 □도로 ☑ 기타(금호호)
⑦ 화석지 주변 환경 변화	• 과거 조수가 교차하는 해안가였으나 1996년 금호방조제 건설 후 금호방조제에 의해 담수호(금호호)를 낀 육지로 바뀜
⑧ 바다로부터의 거리	내륙(0, ①, 2, 3, 4) 금호호 수위와 맞물려 일부 잠김 발생
풍화 훼손 현황 Damage by Weathering	
⑨ 풍화 현상	균열, 파쇄, 박리, 표면 거칠음, 탈색, 착색 등 발생 (0, 1, 2, 3, 4, ⑤)
⑩ 균열	• 화석산지 곳곳에서 다양하고 무수한 균열 발생 • 균열의 규모는 대체로 5mm 이하, 크기 1~2m 이하가 다수 • 화석지 상부면(관람Deck 방향)의 균일, 파쇄 현상이 매우 심함 (0, 1, 2, 3, 4, ⑤) 

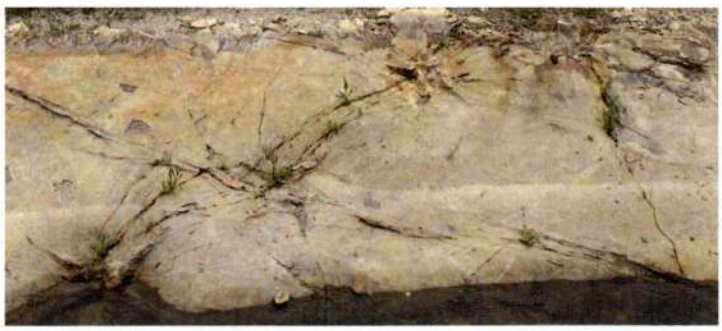
⑪ 침하	(⓪, 1, 2, 3, 4, 5)
⑫ 훼손	균열, 파쇄, 박리, 생물 침해, 탈색, 착색에 의한 훼손 (0, 1, 2, 3, 4, ⑤) 
⑬ 복제(탁본)	–
⑭ 오염	–
생물 서식 Biological colonization / Biodeterioration	
⑮ 생물 침해	초본식물 생육(0, ①, 2, 3, 4, 5) 
기타 정보 Additional Information	
⑯ 실측도 유무	–

사진 자료 Pictures

⑰ 사진 촬영	동 · 서 · 남 · 북 근접 촬영



표 44 | 중점 관리 대상 표본 체크 리스트: 천연기념물 제394호 해남 우항리 공룡 · 익룡 · 새발자국 화석산지(2008)

중점 관리 대상 표본 체크 리스트 조사일: 2008. 6. 27.

① 지정 번호	천기 394호	② 지정 명칭	해남 우항리 공룡 · 익룡 · 새발자국 화석산지	
③ 관리 대상 표본	절지동물 생활흔적(Arthropod trackways)			
④ GPS 좌표	N 34° 35′ 29.58″ E 126° 26′ 8.65″		⑤ 고도	–

모니터링 항목	내 용
사이트 환경 Site Environment	
⑥ 사이트 환경	□산 ☑바다 □섬 □하천 □도로 ☑ 기타(금호호)
⑦ 화석지 주변 환경 변화	• 과거 조수가 교차하는 해안가였으나 1996년 금호방조제 건설 후 금호방조제에 의해 담수호(금호호)를 낀 육지로 바뀜
⑧ 바다로부터의 거리	내륙(0, ①, 2, 3, 4) 금호호 수위와 맞물려 일부 잠김 발생
풍화 훼손 현황 Damage by Weathering	
⑨ 풍화 현상	균열, 파쇄, 박리, 표면 거칠음, 탈색, 착색 등 발생 (0, 1, 2, 3, 4, ⑤)
⑩ 균열	• 화석산지 곳곳에서 다양하고 무수한 균열 발생 • 균열의 규모는 대체로 2mm 이하가 다수 • 화석지 상부면의 균열을 따라 파쇄 현상이 매우 심함 (0, 1, 2, 3, 4, ⑤) 

⑪ 침하	(ⓞ, 1, 2, 3, 4, 5)
⑫ 훼손	균열, 파쇄, 박리, 생물 침해, 탈색, 착색에 의한 훼손. (0, 1, 2, 3, 4, ⑤) 
⑬ 복제(탁본)	–
⑭ 오염	–
생물 서식 Biological colonization / Biodeterioration	
⑮ 생물 침해	(ⓞ,1, 2, 3, 4, 5)
기타 정보 Additional Information	
⑯ 실측도 유무	–

사진 자료 Pictures

⑰ 사진 촬영	동 · 서 · 남 · 북 근접 촬영



7 천연기념물 제418호 보성 비봉리 공룡알 화석산지 2008~2010

| 1 | 화석산지 현황

1.1. 화석산지 개요

천연기념물 제418호 보성 비봉리 공룡알 화석산지는 전라남도 보성군 득량면 비봉리 선소마을 해안 일원으로 북위 34° 41′ 28″, 동경 127° 12′ 10″ 에 해당된다(그림 59). 연구 지역의 주변 지형은 복잡한 리아스식 해안(rias coast)을 가지는 득량만을 형성하고 있다.

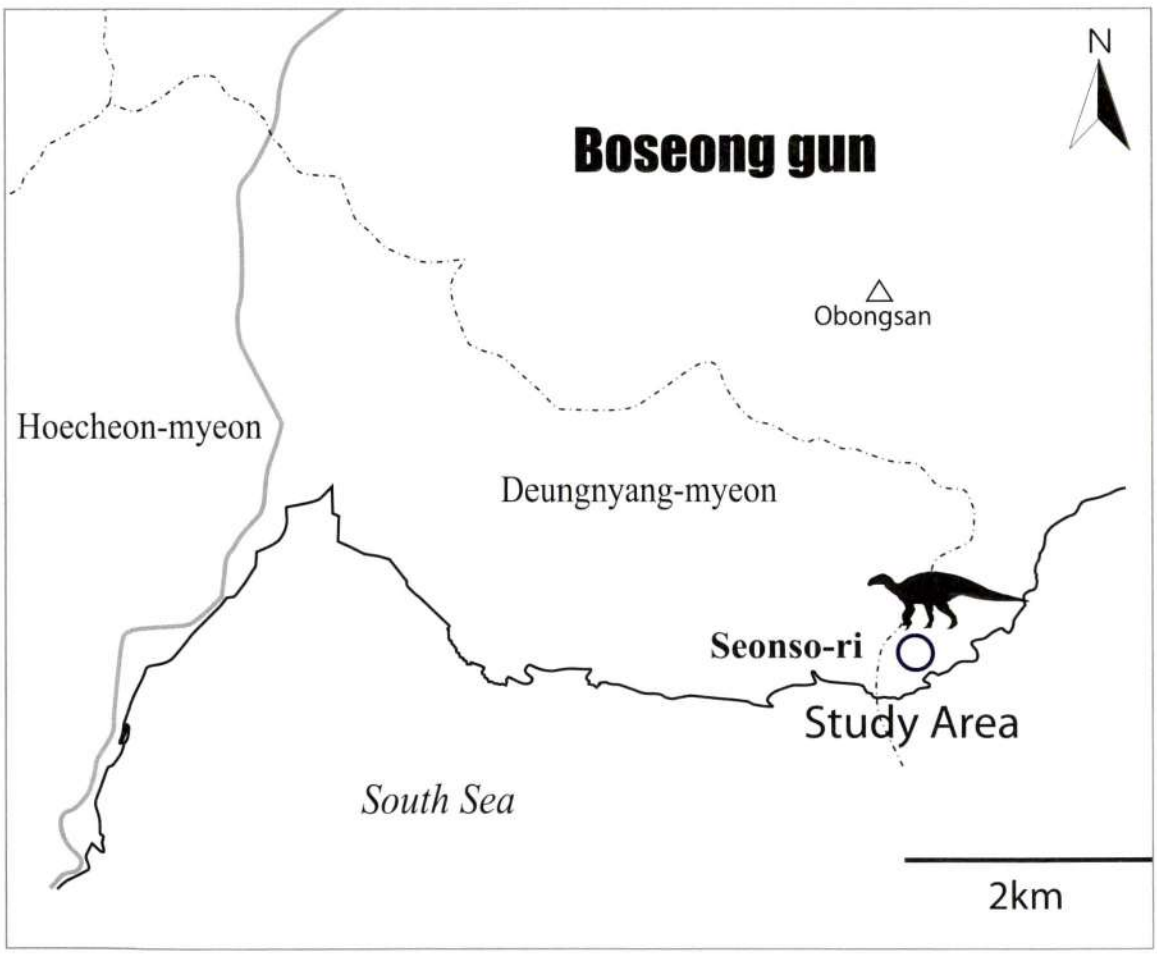


그림 59 | 모니터링 조사 지역 위치도(공달용과 김태형, 2008).

비봉리 선소리 해안 일원은 「천연기념물 제414호 화성 고정리 공룡알 화석산지」와 더불어 우리나라 최대의 공룡알 화석산지 중 하나이며, 지난 2000년 4월 24일 「천연기념물 제418호 보성 비봉리 공룡알 화석산지」로 지정되었다.

비봉리 선소리 해안에서는 21개의 공룡알 둥지에서 195개의 공룡알이 발견되었으며, 공룡알 외에도 공룡뼈 및 거북뼈 등 다양한 척추동물의 골격 화석이 발견되었다(허민 외, 2006a). 특히, 이곳에서는 거의 완벽한 형태의 원시 조각류 공룡 골격화석이 발견되었다(이대길 외, 2008). 이는 연구 결과 새로운 공룡으로 밝혀져 '보성에서 발견된 한국공룡' 이라는 의미의 "코리아노사우루스 보성엔시스(*Koreanosaurus boseongensis*)"라 명명하였다(Hur *et al.*, 2010; 그림 60).

공룡알은 선소역암층으로 불리는 퇴적층에서 산출되며 붉은색의 이암을 포함한 선소층이 상위에 놓여 있다(황인전과 정창순, 1968). 석소역암층은 보성군 득량면 객산리와 비봉리 일대의 해안가 약 5km에 걸쳐 분포하며, 해안가에 평행한 북동-남서 방향으로 퇴적되어있다. 공룡알 화석은 선소를 중심으로 서쪽 방향 약 1km, 북동 방향 약 3km의 해안가에 발달된 퇴적층 단면에서 산출된다(허민 외, 2008).



그림 60 | 보성에서 발견된 *Koreanosaurus boseongensis*의 복원도(사진제공: 한국공룡연구센터).

보성 비봉리 공룡알 화석산지는 1998년부터 조사와 발굴이 진행되었으며 현재 보존 상태가 좋은 공룡알과 둥지들은 대부분 발굴되었다. 따라서 현장에서 공룡알이나 둥지를 관찰하기 어렵다. 다만, 일부 지층에서 공룡알 파편들이 관찰된다. 비봉리 공룡알 화석산지는 해남 우항리 공룡 · 익룡 · 새발자국 화석 산지와 더불어 현재 유네스코 세계자연유산으로 등재키 위해 노력 중인 「한반도 백악기 공룡해안」중 한 곳이다.

1.2. 조사 지역의 지질

보성 비봉리 선소리 해안 일대는 중생대 백악기 퇴적층으로 최하부로부터 선소역암, 선소층, 필봉유문암, 객산리용암, 오봉산각력질 응회암, 도촌리 유문암 등으로 구성되며(그림 61),

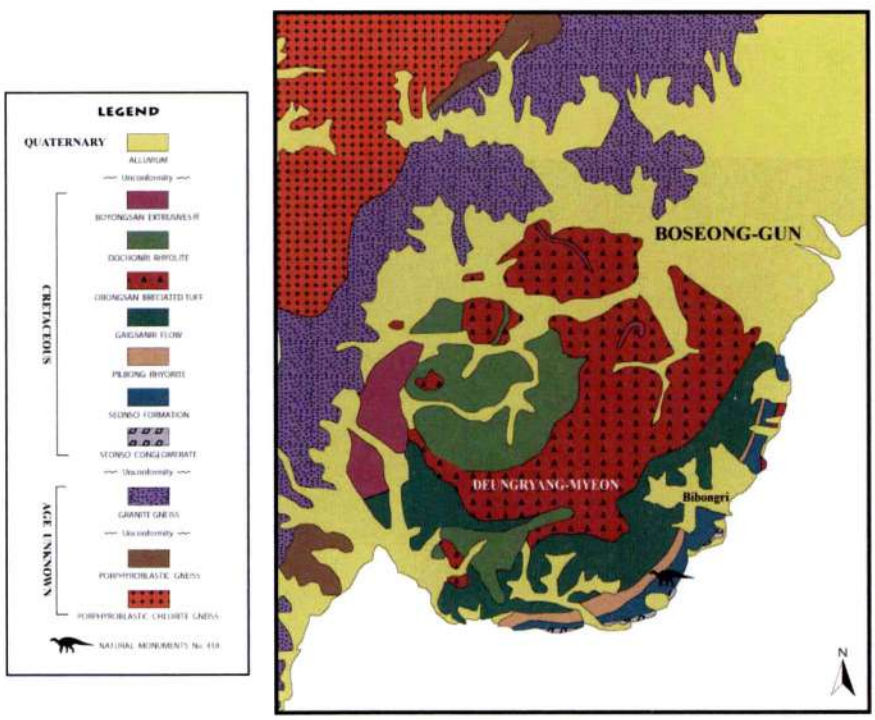


그림 61 | 조사지역 및 그 주변 지역의 지질도(황인전과 정창순, 1968 변형).

퇴적암층 외곽을 원형으로 두르는 시대 미상의 화강편마암과 그 위를 부정합으로 피복하는 중생대 퇴적암 및 화산암 복합체가 분상 구조 혹은 향심(향사) 구조를 나타내는 화산함몰체 구조로서의 특징을 보인다(황인전과 정창순, 1968). 공룡알은 선소역암층으로 불리는 퇴적층에서 산출된다.

선소역암층 상위의 선소층은 사암과 이암층의 교호로 이루어져 있으며 암상의 색은 적색으로 사암부에서는 색의 정도가 옅으나 이암부에서는 색이 짙어진다.

보성 비봉리 공룡알 화석산지의 퇴적층은 주로 침식 기저면을 가지는 역질사암층과 이 위를 점이적으로 덮는 사질이암층의 교호로 이루어져 있으며, 공룡알이 산출되는 퇴적층은 붉은색을 띠는 응회질의 사질 이암으로서, 토양 기원 캘크리트 단괴들과 방해석이 충진된 토양 기원 균열 구조 및 소규모의 미끌림면들이 나타나는 성숙도 초기 단계의 버티졸질 석회질고토양이다(허민 외, 1999a).



그림 62 | 비봉리 선소마을 해안의 공룡알 화석산지 위치도(공달용 외, 2010).

역질사암은 이암 또는 사질이암층위에 최대 2m에서 수십 cm 정도의 기복을 가지며 발달한 침식면 위에 수십 cm 내지 수 m의 두께로 발달되어 있으며, 때로는 두 개 이상의 역질사암층이 발달되기도 한다(허민 외, 1999b). 역질사암층의 기저는 역질이 우세하며 상부로 갈수록 사암으로 점이되는 양상을 보인다. 일부 사암층 중에는 역을 함유하지 않으며 내부에 층리가 발달되지 않은 약 30cm 내외의 사암층이 1km 이상의 연장성을 가지며 발달되어 있다. 이 사암층의 하부 및 상부에서 공룡알 화석이 산출하기 때문에 공룡알을 포함하는 지층을 찾는데 유용하게 이용된다. 조립사암의 일부에는 응회질사암 내지 응회암이 협재되어 있으며, 공룡알 화석은 주로 이질암 내에서 산출된다. 공룡알 화석은 선소를 중심으로 서쪽 방향 약 1km, 북동방향 약 3km의 해안가의 5곳에서 산출된다(그림 62)

| 2 | 화석산지 관리 실태

천연기념물 제418호 보성 비봉리 공룡알 화석산지는 화성 고정리 공룡알 화석산지와 더불어 우리나라 최대의 공룡알 화석산지임에도 불구하고, 화석산지에 공룡알을 비롯한 다른 화석들이 거의 남아 있지 않다. 따라서 다른 모니터링 대상 지역처럼 화석산지 내의 중요한 화석을 중심으로 일어나는 각종 훼손과 멸실 등에 대한 정보를 얻을 수 없었다(공달용과 김태형, 2008).

화석산지는 입구에 설치되어 있는 방문객 휴게 시설에 대한 관리가 전혀 이루어지고 있지 않는 듯하다. 이는 2008년부터 해마다 문제점으로 지적하고 있으나 개선되지 않고 있다. 화석산지 주변에 설치되어 있는 전시품과 시설물들은 탈색 · 변색되었거나 훼손되어 미관상 불쾌할 뿐만 아니라, 화석산지 입구에 설치되어 있는 전시품은 아크릴 오염으로 내용물이 전혀 보이지 않으며 전시 설명판들은 오염되고 훼손되어 읽을 수조차 없다(그림 63). 특히, 아크릴판의 훼손 부위는 관람객의 안전을 위협할 수 있어 빠른 보수나 철거가 필요하다(그림 63 C, D). 또한, 화석산지의 지층에서 실리콘 복제 흔적이 관찰된다(표 45의 ⑧ 참조). 실리콘 복제는 암석의 훼손을 일으키는 원인이 되기도 하지만, 미관상으로도 매우 좋지 않다.

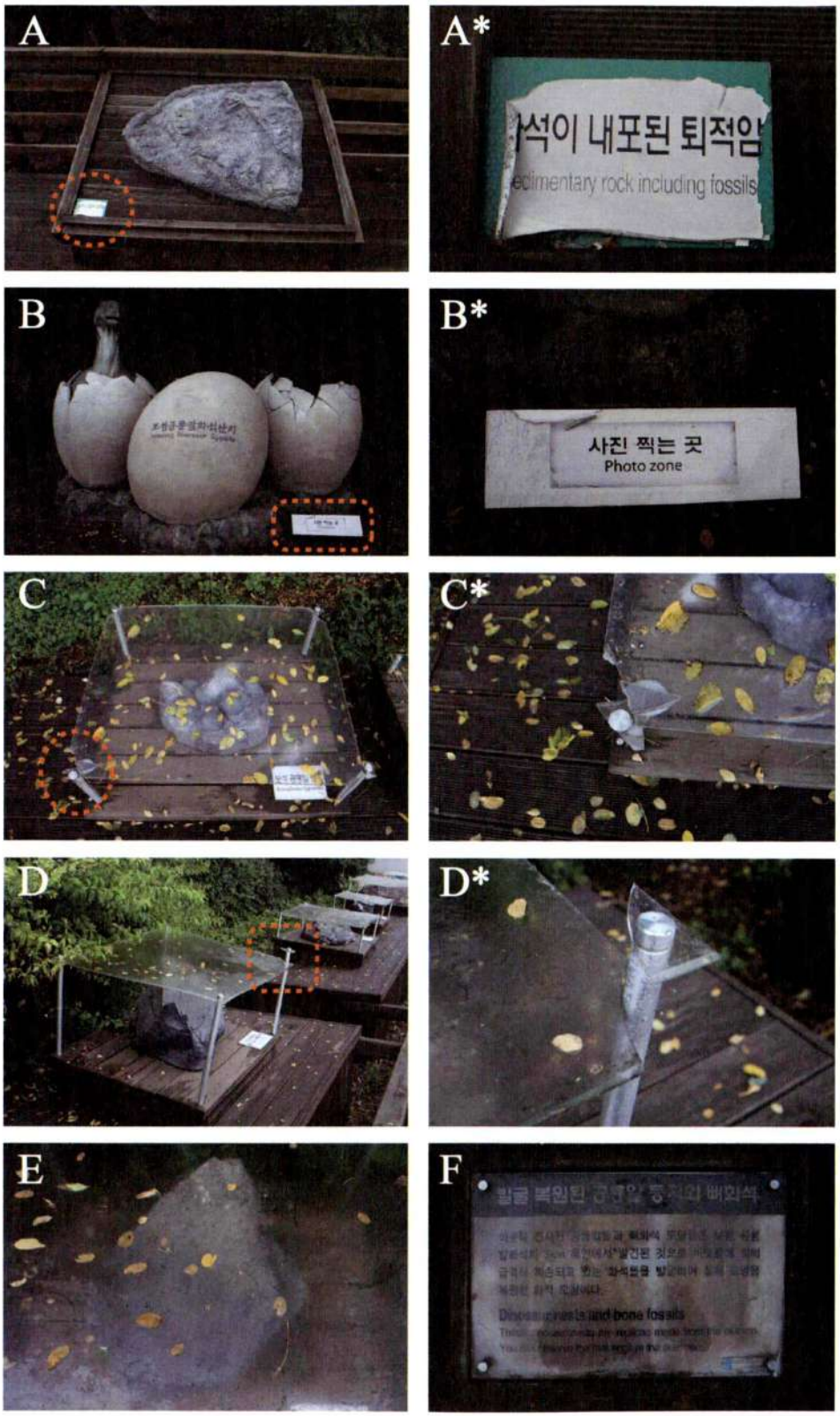


그림 63 | 화석산지 주변에 설치된 시설물의 다양한 훼손 사례.

화석산지는 해안에 위치하고 있어 해양 쓰레기들로 몸살을 앓고 있다. 이는 해안가에 존재하는 모든 화석산지들이 갖고 있는 문제 중 하나이다. 보성 비봉리 화석산지 역시 해양 쓰레기들이 많이 산적해 있다. 2010년 모니터링에서 관찰되었던 쓰레기들이 현재까지 남아 있는 것으로 보아 환경 정비가 이루어지고 있지 않는 듯하다(그림 64). 비봉리 공룡알 화석산지는 현재 유네스코 세계자연유산으로 등재키 위해 노력 중인 「한반도 백악기 공룡해안」 중 한 곳이다. 화석산지의 쾌적한 환경을 위해 지속적인 관리가 필요하다.

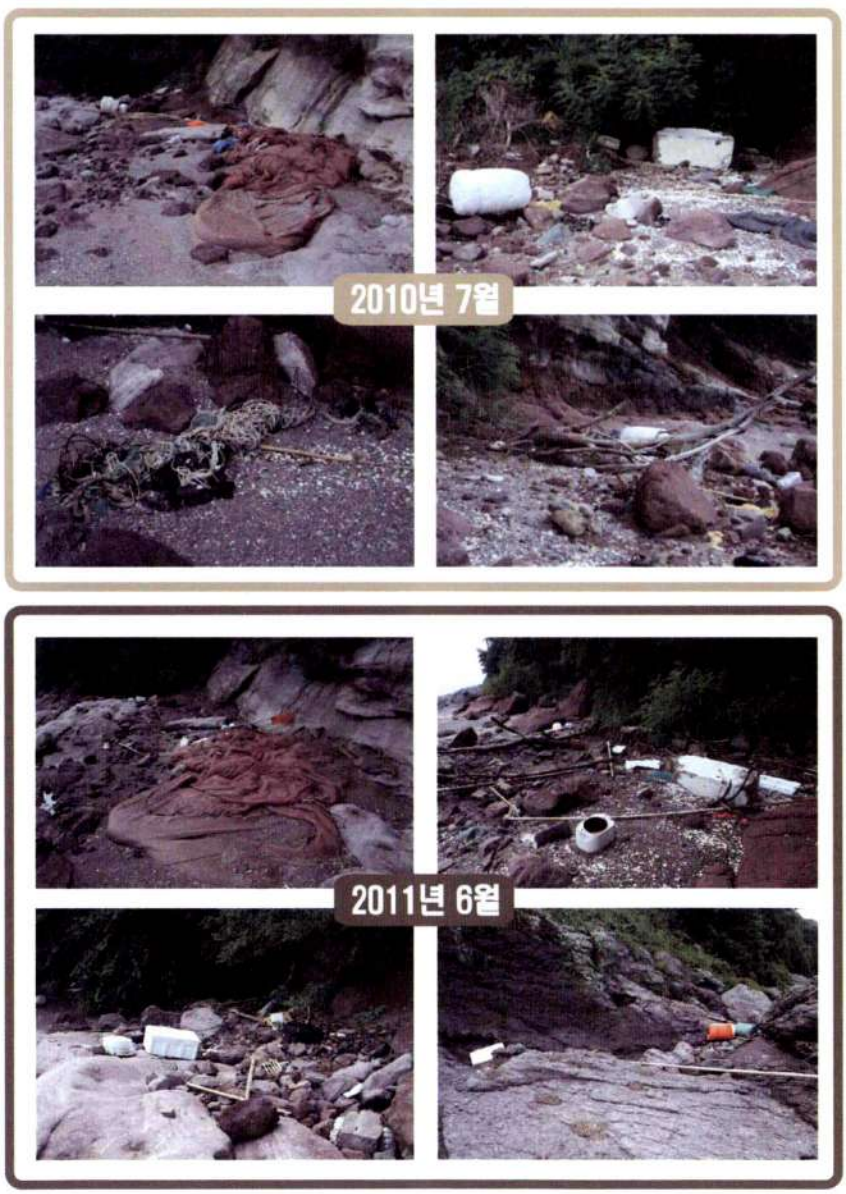


그림 64 | 비봉리 화석산지에 산재되어 있는 해양 쓰레기
(A: 2010년 모습, B: 2011년 모습).

| 3 | 모니터링 Data sheet 작성

표 45 | 화석산지 모니터링 체크 리스트: 천연기념물 제418호 보성 비봉리 공룡알 화석산지(2011)

화석산지 모니터링 체크 리스트 조사일: 2011. 6. 22.

① 지정 번호	천기 418호	② 지정 명칭	보성 비봉리 공룡알 화석산지
③ 소 재 지	전남 보성군 득량면 비봉리 545-1		

모니터링 항목		조 사 내 용
④ 사이트 환경		□산 ☑바닷가 □섬 □하천 □도로 □ 기타( )
⑤ 접근성	내륙(바닷가)	□진입 불가 □소형 차량 진입 가능 ☑모든 차량 진입 가능
	섬	□무인도 □유인도(여객선 운항 횟수 기재/일)
⑥ 관광지 개발 여부		□해당 없음 ☑준관광지 □관광지
⑦ 1일 방문자 수		□10명 미만 ☑10~30명 미만 □30~50명 미만 □50~100명 미만 □100명 이상
⑧ 문화재 구역 관리 실태		☑부적합 □보통 □우수 □대단히 우수 • 화석산지 해안가 곳곳에 쓰레기 적재되어 있음 – 2010년 쓰레기 그대로 방치되어 있음 • 복제품 보호 아크릴 덮개의 훼손, 탈색 등으로 인해 전시품 식별이 용이하지 못함 • 전시품 설명판이 오염(훼손, 변색 등)되어 있음 • 화석산지 내 지층에서 실리콘 복제 흔적 관찰됨 – 화석산지 훼손 및 미관상으로도 좋지 못함



	 
⑨ 화석 현황	• 공룡알 둥지 21개, 공룡알 195개 발굴(11개 둥지 복원 완료) • 원시 조각류 공룡골격 발굴(*Koreanosaurus boseongensis*) • 거북뼈 발굴 • 화석산지에서는 공룡알이나 둥지를 관찰하기 어려우며, 일부 지층에서 공룡알 파편 및 공룡알이 빠져나간 흔적만 관찰 됨
⑩ 훼손 현황	• 화석산지 지층에서 실리콘 복제 흔적이 관찰됨
⑪ 생물(식생) 침해	• 바닷가에 서식하는 해양 무척추 생물들이 암반 곳곳에 서식하고 있음 – 화석산지 훼손과는 무관함
⑫ 추가 확인된 화석	–
⑬ 조사자 의견	• 보성 비봉리에서 산출되어 보고된 전체 화석의 관리 현황 조사가 필요함 – 화석산지로 유입되어 들어오는 쓰레기의 지속적 제거로 청결 유지가 필요하며, 화석지 입구 휴게 시설에 대한 전반적인 환경 개선 작업 필요함 – GPS 좌표: E 127° 12′ 10″ E 34° 41′ 28″
⑭ 사진 촬영	화석산지 전체 및 개별 사진 촬영(JPEG, TIFF 파일)



화석산지 Site 5 전경

표 46 | 화석산지 모니터링 체크 리스트: 천연기념물 제418호 보성 비봉리 공룡알 화석산지(2010)

화석산지 모니터링 체크 리스트 조사일: 2010. 7. 8.

① 지정 번호	천기 418호	② 지정 명칭	보성 비봉리 공룡알 화석산지
③ 소 재 지	전남 보성군 득량면 비봉리 545-1		

모니터링 항목		조 사 내 용
④ 사이트 환경		□산 ☑바닷가 □섬 □하천 □도로 □ 기타( )
⑤ 접근성	내륙(바닷가)	□진입 불가 □소형 차량 진입 가능 ☑모든 차량 진입 가능
	섬	□무인도 □유인도(여객선 운항 횟수 기재/일)
⑥ 관광지 개발 여부		□해당 없음 ☑준관광지 □관광지
⑦ 1일 방문자 수		□10명 미만 ☑10~30명 미만 □30~50명 미만 □50~100명 미만 □100명 이상
⑧ 문화재 구역 관리 실태		□부적합 ☑보통 □우수 □대단히 우수 • 화석산지 해안가 곳곳에 쓰레기 적재되어 있음. • 복제품 보호 아크릴 덮개로 인해 내용물 식별이 용이하지 못함.






	 
⑨ 화석 현황	• 공룡알 둥지 21개, 공룡알 195개 발굴(11개 둥지 복원 완료) • 원시 조각류(힙실로포돈류) 공룡 골격 발굴 • 거북뼈 발굴 • 화석산지에는 공룡알이나 둥지를 관찰하기 어려우며, 일부 지층에서 공룡알 파편 및 공룡알이 빠져나간 흔적만 관찰 됨.
⑩ 훼손 현황	–
⑪ 생물(식생) 침해	–
⑫ 추가 확인된 화석	–
⑬ 조사자 의견	• 보성 비봉리에서 산출되어 보고된 전체 화석의 관리 현황 조사가 필요함. • 화석 산지로 유입되어 들어오는 쓰레기의 지속적 제거로 청결 유지가 필요하며 화석지의 쓰레기 무단 투기 단속 필요.
⑭ 사진 촬영	JPEG, TIFF 파일 40장 확보



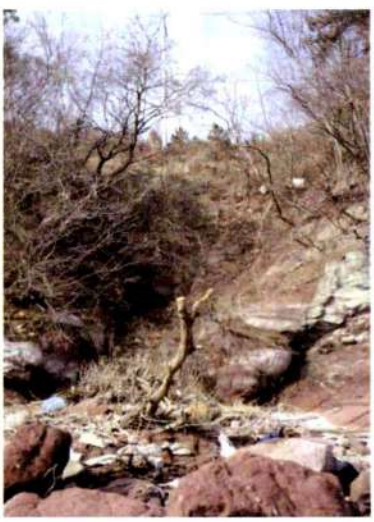

Site 5 부근에 새로 설치된 탐방로 모습

표 47 | 화석산지 모니터링 체크 리스트: 천연기념물 제418호 보성 비봉리 공룡알 화석산지(2009)

화석산지 모니터링 체크 리스트 조사일: 2009. 7. 21.

① 지정 번호	천기 418호	② 지정 명칭	보성 비봉리 공룡알 화석산지
③ 소 재 지	전남 보성군 득량면 비봉리 545-1		

모니터링 항목		조 사 내 용
④ 사이트 환경		□산 ☑바닷가 □섬 □하천 □도로 □ 기타( )
⑤ 접근성	내륙(바닷가)	□진입 불가 □소형 차량 진입 가능 ☑모든 차량 진입 가능
	섬	□무인도 □유인도(여객선 운항 횟수 기재/일)
⑥ 관광지 개발 여부		□해당 없음 ☑준관광지 □관광지
⑦ 1일 방문자 수		□10명 미만 ☑10~30명 미만 □30~50명 미만 □50~100명 미만 □100명 이상
⑧ 문화재 구역 관리 실태		□부적합 ☑보통 □우수 □대단히 우수 • 화석산지 해안가 곳곳에 쓰레기 적재되어 있음. • 복제품 보호 아크릴 덮개로 인해 내용물 식별이 용이하지 못함.





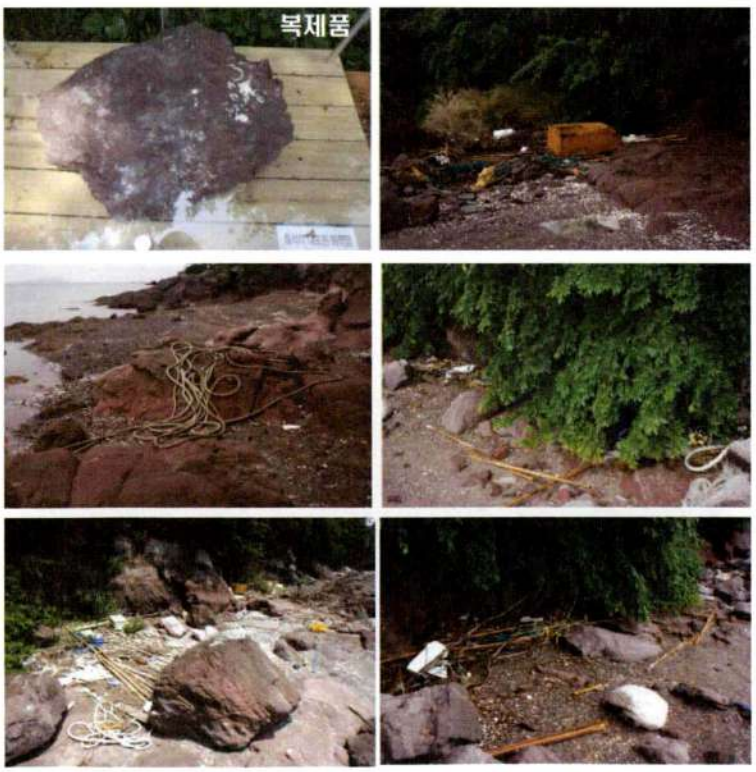
	 
⑨ 화석 현황	• 공룡알 둥지 21개, 공룡알 195개 발굴(11개 둥지 복원 완료) • 원시 조각류(힙실로포돈류) 공룡 골격 발굴 • 거북뼈 발굴 • 화석산지에는 공룡알이나 둥지를 관찰하기 어려우며, 일부 지층에서 공룡알 파편 및 공룡알이 빠져나간 흔적만 관찰 됨.
⑩ 훼손 현황	–
⑪ 생물(식생) 침해	–
⑫ 추가 확인된 화석	–
⑬ 조사자 의견	• 보성 비봉리에서 산출되어 보고된 전체 화석의 관리 현황 조사가 필요함. – 화석산지로 유입되어 들어오는 쓰레기의 지속적 제거로 청결 유지가 필요하며 화석지의 쓰레기 무단 투기 단속 필요.
⑭ 사진 촬영	한국공룡연구센터 보관 공룡알 화석 사진 일부 촬영
   	

표 48 | 화석산지 모니터링 체크 리스트: 천연기념물 제418호 보성 비봉리 공룡알 화석산지(2008)

화석산지 모니터링 체크 리스트 조사일: 2008. 7. 17.

① 지정 번호	천기 418호	② 지정 명칭	보성 비봉리 공룡알 화석산지
③ 소 재 지	전남 보성군 득량면 비봉리 545-1		

모니터링 항목		조 사 내 용
④ 사이트 환경		□산 ☑바닷가 □섬 □하천 □도로 □기타( )
⑤ 접근성	내륙(바닷가)	□진입 불가 □소형 차량 진입 가능 ☑모든 차량 진입 가능
	섬	□무인도 □유인도(여객선 운항 횟수 기재/일)
⑥ 관광지 개발 여부		□해당없음 ☑준관광지 □관광지
⑦ 1일 방문자 수		□10명 미만 ☑10~30명 미만 □30~50명 미만 □50~100명 미만 □100명 이상
⑧ 문화재 구역 관리 실태		□부적합 ☑보통 □우수 □대단히 우수 • 화석산지 입구 편의 시설 청결 상태 미흡 • 복제품 보호 아크릴 덮개로 인해 내용물 식별이 용이하지 못함 • 화석산지 해안가 곳곳에 쓰레기 적재되어 있음.



⑨ 화석 현황	• 공룡알 둥지 21개, 공룡알 195개 발굴(11개 둥지 복원 완료) • 원시 조각류(힙실로포돈류) 공룡 골격 발굴 • 거북뼈 발굴 – 화석산지에서는 공룡알이나 둥지를 관찰하기 어려우며, 일부 지층에서 공룡알 파편 및 공룡알이 빠져나간 흔적만 관찰 됨.
⑩ 훼손 현황	–
⑪ 생물(식생) 침해	–
⑫ 추가 확인된 화석	–
⑬ 조사자 의견	• 발굴된 화석의 관리 현황 파악 필요 ※ 화석 현황에 기재된 발굴 표본은 공식적으로 논문 및 보고서에 명시된 내용임. – 화석산지에 산재된 쓰레기의 지속적 제거로 청결 유지 필요.
⑭ 사진 촬영	



8 천연기념물 제146호 칠곡 금무봉 나무고사리 화석산지 2007~2010

| 1 | 화석산지 현황

1.1. 화석산지 개요

칠곡 금무봉 나무고사리 화석산지는 경상북도 칠곡군 왜관읍의 중동부에 위치한 금무봉(錦舞山 268.1m)과 그 주변 지역 일대로서, 화석산지 북서쪽으로는 왜관지방산업단지가 조성되어 있다(그림 65).

왜관의 나무고사리 줄기 화석은 1925년, 당시 조선총독부 산하 지질조사소의 지질학자였던 Tateiwa에 의해 처음으로 발견되었으며, 그는 1926년 일본 동경대학 식물학과의 식물형태학자인 Ogura에게 화석의 동정을 의뢰하였다.



그림 65 | 칠곡 금무봉 나무고사리 화석산지 위치도(공달용과 김태형, 2008).

이듬해, Ogura(1927)는 Tateiwa가 왜관 금무봉과 성주군 선남면 관화리에서 발견한 나무고사리 화석에 대해 각각 *Cyathocaulis naktongensis*와 *Cibotiocaulis tateiwai*라는 2속 2종의 신속, 신종을 명명하였으며 이것이 왜관 금무봉 나무고사리 화석산지를 대상으로 한 첫 번째 연구이다.

이후 Ogura(1938)는 Cyathocaulis 속과의 해부학적인 차이점을 발견하지 못함으로써 *Cibotiocaulis* 속을 폐하고, 성주군 선남면 관화리에서 산출된 나무고사리 화석을 *Cyathocaulis tateiwai*로 표기하였다. 따라서 오늘날 우리나라에는 1속 2종의 나무고사리 줄기 화석이 알려지게 되었다.

현생 나무고사리는 북위 33°를 북방 한계로 대부분 열대와 아열대 지방에 분포되어 있기 때문에 오늘날 온대 지방에서 발견되는 중생대 나무고사리 화석을 통해 이들 화석산지가 중생대에는 아열대 내지 열대 지역에 위치해 있었을 것으로 생각할 수 있다(정창희와 백광호, 1992). 이후 이경제와 양승영(2006)도 *Cyathocaulis* sp. 연구를 통해 연구지역의 고기후가 열대 또는 아열대였음을 추정한 바 있다. 칠곡 금무봉 나무고사리 화석산지에서는 나무고사리 줄기 화석 외에도 고사리류 화석 13종을 포함한 40여종의 식물화석이 보고되어 아열대~온대의 기후 조건을 나타내고 있으며, 이를 통해 당시의 기후 조건이 나무고사리가 생존하는 데 적합하였음을 유추할 수 있다.

1.2. 조사 지역의 지질

칠곡 금무봉 나무고사리 화석산지로 알려져 있는 왜관 금무산과 그 주변 지역은 선캄브리아시대의 화강편마암이 기반암을 이루고 있으며, 이를 부정합으로 덮고 있는 백악기 경상누층군의 하부층준인 신동층군(낙동층, 하산동층, 진주층)과 이를 정합으로 덮은 하양층군의 하부(칠곡층, 신라역암)층들로 구성되어 있다(그림 66). 천연기념물로 지정된 금무산 전 지역은 낙동층으로 이루어져 있다. 이 층은 조사 지역에 분포하는 백악기 퇴적암류의 최하부 지층으로서

기반암인 선캄브라아시대 화강편마암 상위에 부정합으로 퇴적되어 있는 지층이다.

낙동층의 주향과 경사는 각각 N45°E, 20°SE이며, 층의 두께는 약 1,000m 내외이다(정창희와 백광호, 1992). 대체로 검은색의 세일과 이암, 암회색의 사암 및 역질 사암으로 구성되어 있으며 곳곳에 역암이 협재한다. 전체적으로 하부층준은 역암이나 함력 사암 등의 조립질 암상이 우세하며, 상부층준으로 갈수록 세립질 사암과 이암이 우세해지는 상향 세립화 경향이 뚜렷하다. 낙동층의 중부에 해당하는 금무산 남쪽의 계곡(정골, 절터골, 갓골)과 능선에는 역암, 사암 및 세일이 분포하고 있으며, 이 중 역암 및 사암대에서 나무고사리 줄기 화석이 산출될 가능성이 크다고 알려져 있다(정창희와 백광호, 1992).

금무산 나무고사리 줄기 화석을 최초로 발견한 Tateiwa를 포함하여 아직까지 지층 내에 원형으로 보존된 상태의 나무고사리 줄기 화석을 발견한 학자가 없기 때문에 정확한 산출층준을 찾기는 쉽지 않다. 하지만 나무고사리 줄기 화석을 연구하고 화석 채집을 위해 금무산을 직접 방문하기도 했던 Ogura는 *Cyathocaulis naktongensis*와 *Cyathocaulis tateiwai* 두 종 모두 경상층의 하부 역암층에서 산출되었다고 기록하고 있어 정창희와 백광호(1992)의 의견을 뒷받침해 준다(Ogura, 1927).

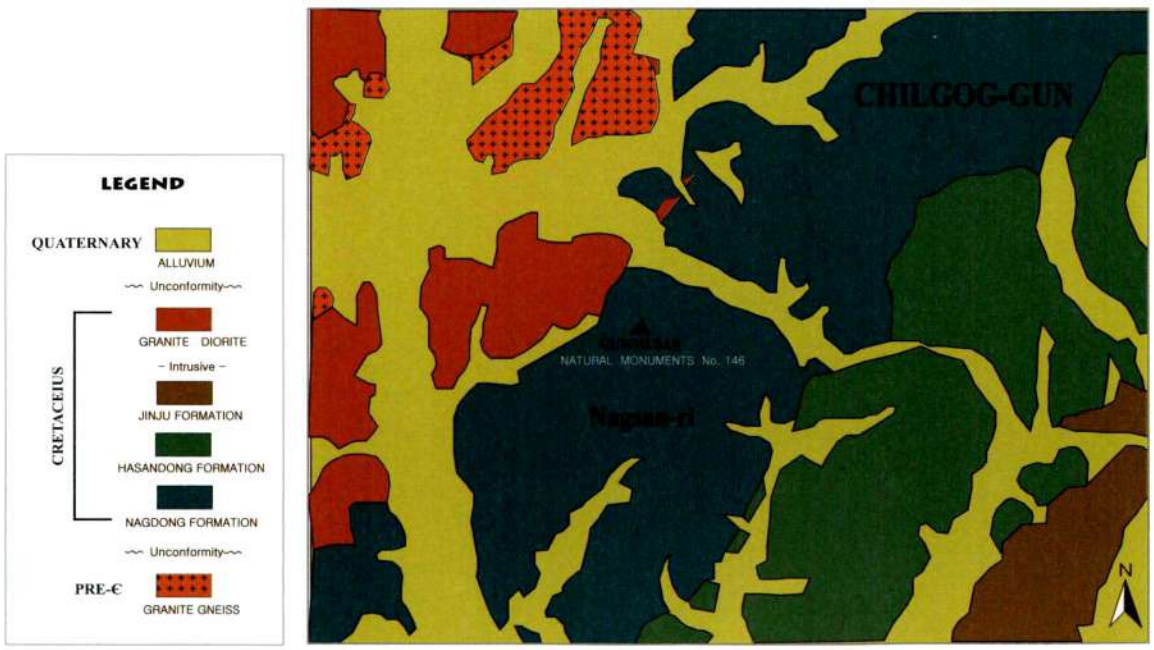


그림 66 | 조사지역 및 그 주변 지역의 지질도(조선총독부 지질조사소, 1928).

1.3. 나무고사리 줄기 화석

1.3.1. 화석 산지에 대한 추가 조사(2011년)

기존에 나무고사리 화석 산출지로 알려져 있던 금무봉 일대에서는 지속적인 탐사가 이루어지고 있으나 함화석층의 소실 및 변형, 자료의 부재로 인한 비효율적인 조사 등으로 추가적인 나무고사리 화석 산출은 이루어지지 않았다. 또한, *Cyathocaulis tateiwai* 가 발견된 지역(Ogura, 1927, 1941b)으로 금무봉에서 남서쪽으로 약 8km 떨어져 있는 성주군 선남면 관화리 일대에 대한 야외 조사도 병행하였으나 접근성과 노두 관찰의 어려움으로 별다른 성과를 얻지 못했다. 하지만, 여러 어려움에도 불구하고 천연기념물 화석산지의 존립 문제, 중생대 나무고사리 화석의 명확한 동정을 위해서는 앞으로도 지속적인 조사가 수반되어야 할 것으로 판단된다.

1.3.2. 왜관지방산업단지에서 발견된 나무고사리 줄기 화석에 대한 연구

표본 X01은 약 41cm 길이에 줄기의 가장 두꺼운 부분의 장 · 단경이 각각 16.5cm와 14.5cm로서 전체적으로 원뿔 형태의 외형을 보이고 있다. 횡단면상에서는 타원형의 모습을 나타내는데, 이는 원래 원형이었던 나무고사리 줄기가 화석화 과정을 거치면서 상부 퇴적층의 압력으로 인해 변형된 것으로 보인다(그림 67). 규산염 광물로 치환되어 완벽하게 규화된 시료는 근괴의 외부 형태가 뼈 화석과 비슷하며, 전체적인 외형과 크기로 미루어 보아 공룡의 뼈로 오인할 소지가 있다(-실제 이 표본의 발견자는 공룡뼈라고 여기고 보관함-).

기본적인 외형 기술과 더불어 표본에 대한 단면 및 박편을 제작 · 관찰하여 해부학적인 특징들을 비교하기 위해 표본 X01을 횡단면으로 절단하였다. 풍화작용으로 인한 절리와 미세 균열이 비교적 소규모로 관찰되는 표본의 상부 지점에 대하여 1.5cm 간격으로 세 점의 횡단면을 제작하였다(그림 68). 각 횡단면은 상위로부터 A~C단면으로 명명되었으며, 각 단면은 9.3×5.6cm, 9.7×6.4cm, 10.1×6.4cm의 장 · 단경을 가진다(그림 69). 이 가운데, A와 C 단면에서는 박편도 함께 제작되어 내부 구조에 대한 현미경 관찰이 실시되었다.

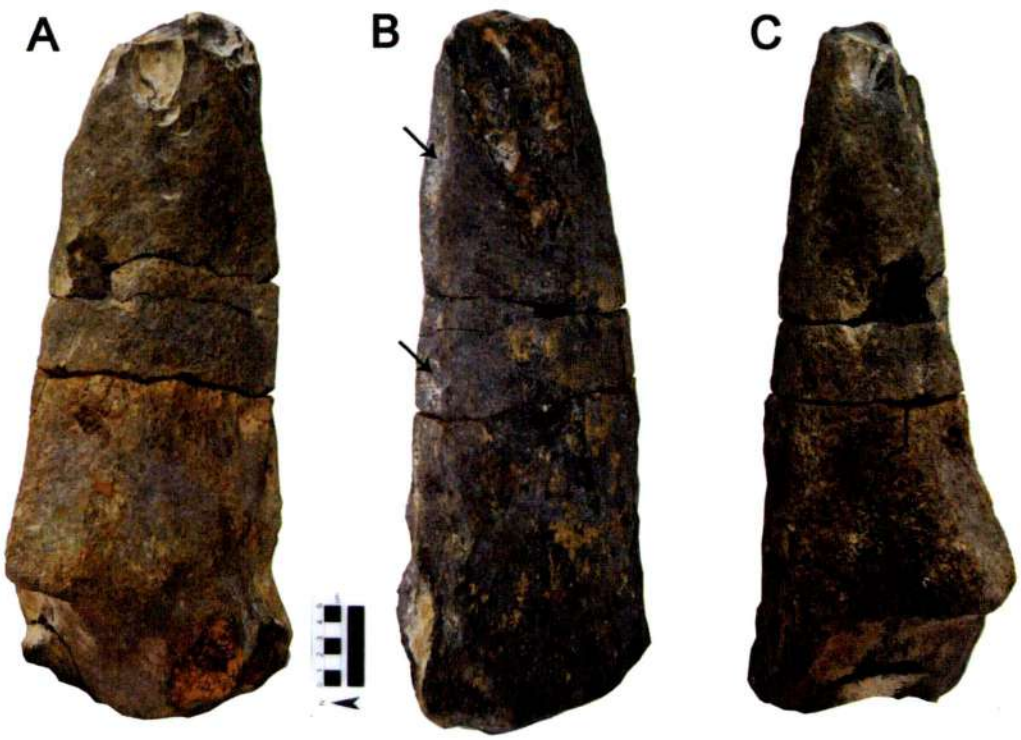


그림 67| 표본 X01의 외형 사진(공달용 외, 2010).



그림 68| 표본 X01의 횡단면 관찰 지점. 약 1.5cm 간격으로 절단.

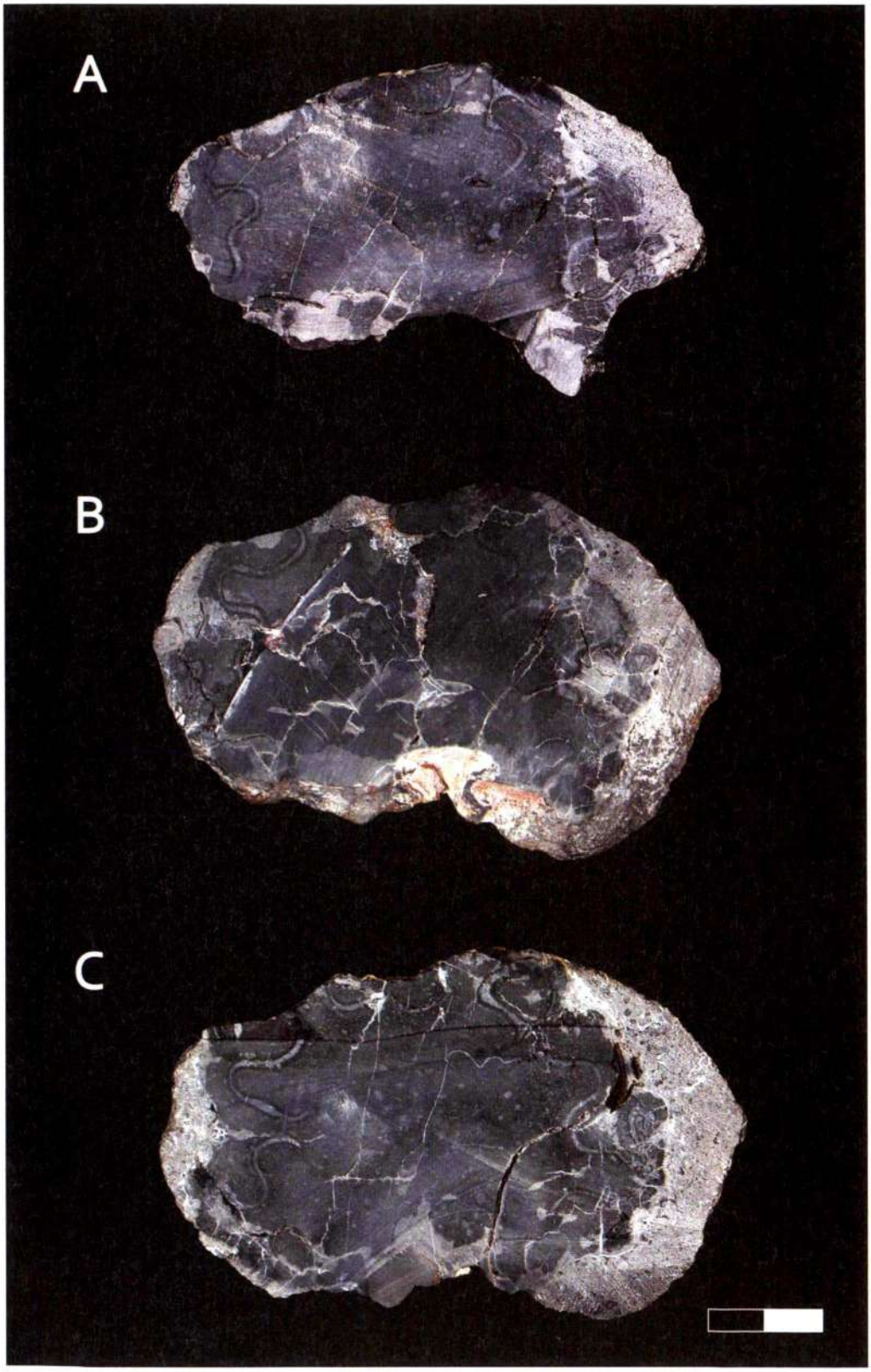


그림 69 | 표본 X01에서 순차적으로 마련된 세 개의 횡단면(축척 2cm).

본 표본의 횡단면(A~C단면)의 육안 및 광학 현미경을 통한 관찰 결과, 일반적인 나무줄기 화석과 달리, 줄기(stem)가 두꺼운 뿌리 또는 뿌리줄기들로 둘러싸여 있고 줄기 내에 나무고사리만이 갖는 구불구불한 띠 모양의 독특한 무늬를 갖고 있음이 확인되었다(그림 69, 70). 보통 나무의 줄기라고 할 때에는 나무껍질을 포함한 줄기를 생각하지만, 상기(上記)한 것처럼 나무고사리에서는 그 줄기(stem)를 두꺼운 뿌리 또는 근괴(root-mass 또는 root-cluster)가 둘러싸고 있기 때문에, 줄기라고 하면 근괴를 제외한 나무고사리의 내부만을 의미하는 것으로 한정한다.

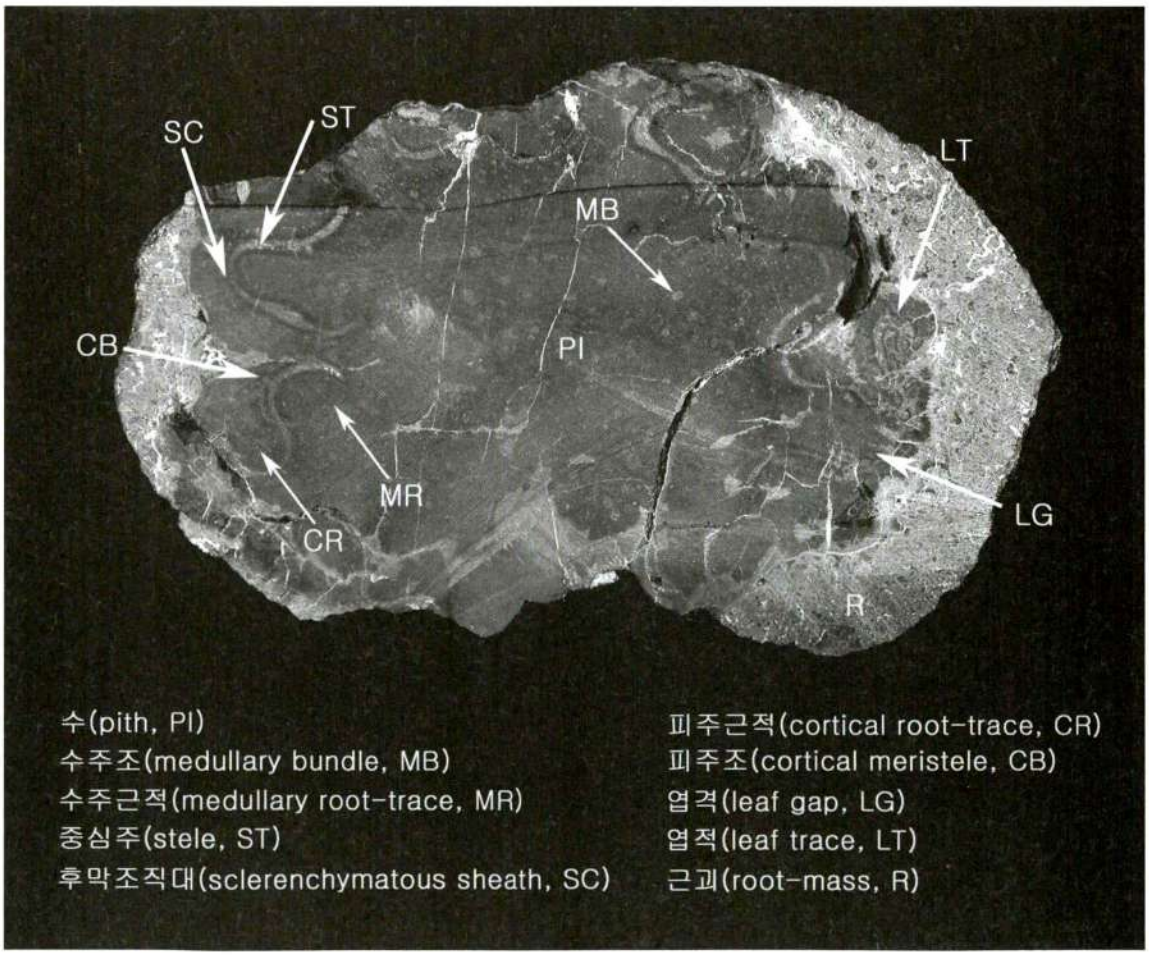


그림 70 | 표본 X01 나무고사리 줄기 화석의 일반적인 단면 형태.

관찰된 모든 단면에서, 중심주(stele)는 줄기의 내부에서 굴곡하며 S자형 내지 W자형으로 분리되어 8개 내외의 분주(meristele)로 나뉜다. 각 분주에서는 이를 얇게 둘러싸고 있는 후막조직대(sclerenchymatous sheath)가 관찰되며, 분주들은 줄기의 외부나 내부를 향하여 자연스럽게 굴곡하거나 열려 있다. 수(pith)와 엽격(leaf gap) 부근에는 유관속으로 이루어진 다수의 수주조(medullary bundle)가 포함되어 있으며, 일부 수주조의 경우 후막조직대를 동반하기도 한다. 근적(root-trace)은 수의 주변부와 분주의 외측에 다수 분포하는데, 수에서는 수주근적(medullary root-trace)이 많이 관찰되며 분주의 외측에서는 피주근적(cortical root-trace)이 나타난다. 분주가 외측으로 열리는 곳(엽격, leaf gap)에서는 엽적(leaf trace)이 발견되나, 엽병(petiole)이나 엽흔(leaf scar)은 관찰되지 않는다. 무수한 뿌리들로 이루어진 근괴(root-mass) 또한, 전반적으로 줄기를 두텁게 둘러싸고 있을 것으로 생각되나, 관찰된 A~C 단면에서는 좌우 측면을 제외하면 풍화로 인해 대부분의 근괴가 제거되어 있는 상태이다.

수: 현미경 하에서 관찰된 수는 무수한 원형~타원형의 세포로 이루어져 있으며 각 세포의 평균 지름은 0.1mm 내외이다(도판 1A, 1B). 본 연구에서는 줄기의 횡단면 박편만 제작했기 때문에 종단면에서의 수 세포 형태는 확인할 수 없었지만, 이전 연구 결과들을 종합해 볼 때 수 세포는 대체로 구형의 형태를 가지고 있음을 알 수 있다(정창희와 백광호, 1992; 이경제와 양승영, 2006).

중심주: 중심주(中心柱, stele, ST)는 구불구불한 띠 모양으로 인지되며, 8개 내외의 분주로 나뉘어 안쪽과 바깥쪽으로 끊어져 있다. 바깥쪽으로 구부러진 부분이 끊어지면 엽격(LG)을 형성하고, 안쪽 즉, 수를 향한 곳도 끊어지면 안쪽으로 열린 엽격을 형성하게 된다. 분주되는 횡단면과 다르게 줄기의 종단면으로는 중심주가 연장되는 것을 알 수 있으며, 표본 X01에서도 순차적으로 제작된 세 개의 횡단면을 종합해 보면 이를 확인 할 수 있다(그림 69). 횡단면에 따라 U자, W자, S자형으로 분주되는 중심주의 모습은 다르게 나타나며, 분주된 곳(엽격)으로부터 발단되는 엽병의 위치(줄기에 잎이 부착되는 위치) 또한 이러한 중심주의 형태에 제약을 받게 된다. 현미경 하에서 관찰되는 중심주의 횡단면은 벌집의 단면과 비슷한 특징을 보이며, 벌집형 세포 하나의 모양은 모서리가 둥근 불규칙한 다각형을 나타낸다(도판 1D). 하지만 오각형 내지 육각형으로 보고된 기존의

연구 결과와는 다르게, 신장되거나 구부러진 다각형의 모습이 다수 관찰되는 것을 볼 수 있다(도판 1E). 중심주를 구성하는 세포벽은 평행한 두 겹의 막으로 구성되어 있으며, 중심주는 대부분 후막조직대에 의하여 싸여 있다. 비록 본 연구에서는 확인할 수 없었지만 중심주의 종단면에서 관찰된 세포는 대롱 모양이며 세포를 상하로 나누는 격벽의 거리가 비교적 긴 것으로 알려져 있다(이경재와 양승영, 2006).

후막조직대: 후막조직대(厚膜組織帶, sclerenchymatous sheath, SC)는 중심주의 안쪽(수쪽)과 바깥쪽면에 거의 밀착하여 중심주를 둘러싸고 있는 구조로서, 이를 광학 현미경으로 관찰해 보면 중심주를 구성하는 세포에 1/5 정도 크기를 가진 세포들이 원형에서 다각형의 형태로 밀집하여 있음을 알 수 있다(도판 1F).

피주근적: 근괴와 중심주 사이에 존재하는 피주근적(皮走根跡, cortical root-trace, CR)은 원형~타원형의 단면을 보이는 여러 개의 세포들로 구성되어 있다(도판 1G, 1H). 근본적으로 근괴와 동일한 구조를 나타내는 피주근적은 중심부에 도관(導管, tracheid)을 가지며, 중심주로부터 파생되어 근괴와 합쳐지는 것으로 알려져 있다(정창희와 백광호, 1992).

수주근적: 구조가 피주근적과 같은 수주근적(髓走根跡, medullary root-trace, MR)은 나무고사리 줄기의 중심주 안쪽, 즉 수 속에 위치한다(도판 2B, 2C).

수주조: 수주조(髓走條, medullary bundle, MB)는 수 속에 불규칙하게 산재하는 유관속으로서 수십 개의 도관으로 구성되어 있다. 각 도관은 타원형, 5각형, 6각형의 형태이며, 도관 주위에는 후막조직대가 있는 것과 후막조직대 없이 도관만 있는 것이 있다(도판 1C, 2E).

엽흔: 나무고사리 줄기 화석의 표면에서는 엽흔(leaf scar; 엽병이 떨어져 나간 흔적)으로 생각되는 구조가 일부 관찰된다. 보통 근괴에 의해 감싸인 시료의 경우, 줄기 표면에 남아 있을 엽흔을 두꺼운 근괴가 덮어버리기 때문에 화석에서 엽흔의 존재를 직접 확인하기란 쉽지 않다(정창희와 백광호, 1992). 하지만 기 언급한 것처럼 표본 X01은 위치에 따라 근괴의 두께가 달라지기 때문에(대체로 상부에서 하부로 내려올수록 근괴는 두꺼워진다.), 근괴가 두꺼운 하부에서는 인지되지 않던 엽흔 구조가 상부에서 관찰되기도 한다.

표품에서 나타나는 엽흔은 마름모꼴 모양으로, 주위보다 약간 함몰된 구조를 보이면서도 근괴로 덮여있어, Ogura(1927)가 인지했던 엽흔 내 관다발(vascular strand) 구조는 확인하기 힘들다. 하지만 횡단면에서 제작된 박편의 현미경 관찰에서는 엽흔을 인지할 만한 구조를 찾아볼 수 없었다.

근괴: 이미 언급한 것처럼 횡단면 관찰이 진행된 A~C 단면의 경우, 좌우 측면을 제외한 곳에서는 풍화로 인해 대부분의 근괴가 제거되어 있는 상태이다(그림 69). 하지만 표본 X01의 경우 원뿔 형태의 외형으로 상부에서 하부로 갈수록 단면의 직경이 증가하면서 줄기가 두꺼운 근괴로 둘러싸인 것이 확인된 바 있다. 이러한 근괴는 무질서한 모습으로 표면을 덮고 있는 것처럼 보이나 대체로 1~2mm 내외의 직경을 가지는 튜브 형태로서 줄기로부터 외부를 향해 뻗어있다. 근괴의 일부를 현미경 하에서 관찰하면 원형~타원형의 단면을 보이는 각각의 뿌리는, 중심부에 도관 구조, 이를 둘러싼 작은 세포들의 다발로 이루어진 짙은 색의 층, 다시 이보다 큰 세포들로 이루어진 연한 색의 층으로 구분된다(도판 2G, 3A). 각각의 세포들은 대체로 원형을 보이나 타원형의 뿌리에서는 세포도 타원형으로 배열된다. 또한 근괴는 각 뿌리들의 무질서한 다발로 형성되기 때문에, 횡단면의 박편상에서 수직 방향뿐만 아니라 수평 방향으로도 뻗어있는 뿌리의 단면을 확인 할 수 있다(도판 2H). 근괴 내에서는 하트형의 단면을 보이는 유관속이 단독으로 혹은 무리지어 관찰되기도 한다(도판 3C, 3D). 이러한 구조는 *Cyathorchis fujiiana* Ogura에서도 기재된 바 있다(Ogura, 1927).

엽병: A~C의 횡단면에서는 중심주가 밖으로 열린 엽적이 다수 관찰되며 엽적(leaf trace)도 일부 인지되나, 이것이 비대해져 가면서 근괴 속으로 돌출되어 형성되는 엽병은 확인할 수 없었다. 이는 제작된 표품의 횡단면 상부가 풍화로 인해 좌우 측면을 제외한 대부분의 근괴가 소실됨으로써, 엽병의 존재를 나타내는 구조가 보존되지 않았기 때문인 것으로 판단된다.

본 연구에서 실시한 기본적인 외형 기술과 내부 구조에 대한 상기(上記)의 여러 특징들을 통해, 표본 X01은 *Cyathocaulis* 속에 속하는 나무고사리 화석임을 재확인하였다. 추후 추가적인 연구를 통해 엽병의 위치, 엽서 추정, 근괴의 두께에 대한 새로운 견해를 도출할 수 있을 것으로 생각된다. 이는 *Cyathocaulis* 속을 정의하거나, 여기에 속하는 두 종 *C. naktongensis* 와 *C. tateiwai* 의 관계를 명확히 하는 데 도움을 준다.

1.3.3. 중생대 나무 고사리 줄기 화석 *Cyathocaulis* 속의 분류

Ogura(1941b)는 1938년 *Cibotiocaulis* 속을 폐하고 *Cibotiocaulis tateiwai* 를 *Cyathocaulis* 속(genus)으로 통합하면서, *C. naktongensis* 와의 차이점을 다음과 같이 열거한 바 있다.

1. 엽병의 탈락 위치

: *C. naktongensis*의 엽병은 기부에서 깨끗이 탈락하여 없으나, *C. tateiwai* 는 엽병이 떨어지지 않고 그대로 남아있다.

2. 잎의 배열 상태

: *C. naktongensis* 에서는 잎의 배열 상태가 나선형을 보이는 반면, *C. tateiwai* 의 경우 상하로 직선 상태의 배열을 보인다.

3. 근괴의 두께

: *C. naktongensis* 의 근괴는 두꺼우나 *C. tateiwai* 의 근괴는 얇다.

[1] 엽병(petiole)은 나무고사리의 줄기와 잎을 직접 연결하는 통로 및 지지자로서, 나무고사리가 성장하면서 기존의 잎은 떨어지고 상위에 새로운 잎이 자라게 된다. 떨어지는 잎은 엽병과 연결된 상태로 함께 탈락하게 되며, 이때 나무고사리의 줄기 표면에는 엽흔(leaf scar)이 남게 된다(그림 67B의 화살표). 잎(혹은 엽병)이 생성되는 과정을 줄기의 단면상에서 관찰되는 모습으로 재구성해 보면, 중심주(ST)가 분주되어 엽격(leaf gap)이 형성된 곳에서 중심에서 바깥쪽으로 엽적(leaf trace; LT)이 만들어지고, 이것이 외부로 비대해져 가면서 엽병으로 발달되어 가는 것으로 생각된다(그림 70).

Ogura(1927, 1941b)는 엽병의 탈락 모습에 근거하여 두 종(species) *C. naktongensis* 와 *C. tateiwai*를 구분하고 있으나, 본문이나 사진에서는 이에 대한 명확한 증거가 제시되어 있지 않으며(정창희와 백광호, 1992), *C. tateiwai* 로 동정된 연구 시료의 보존 상태가 대부분 불량하기 때문에, 둘의 차이를 오인했을 가능성이 있다. 일례로 Ogura는 1927년, 단 하나의 샘플만을 조사하여 1)엽병의 기부가 줄기 표면에 남아 있는 것과 2)엽적의 배열이 *Cibotium* 유형을 보인다는 점을 들어 처음 *Cibotiocaulis* 속을 제안한 바 있으나, 1941년 추가적인 샘플을 채취 · 조사

하면서 엽적의 배열이 *Cyathocaulis* 속과 유사하다는 점을 발견하여 *Cibotiocaulis* 속을 철회한 바 있다. 하지만, 엽병의 기부가 남아 있다는 점을 들어 여전히 *C. tateiwai*를 구분하고 있는데 이 때 언급한 "다소 볼록(somewhat bulge out)하다."라는 근거와 기준이 불명확하여, 두 종을 구분하는 특징으로 부적합하지 않나 생각된다.

[2] 잎의 배열 상태, 즉 엽서의 특징은 주로 줄기 표면에서 관찰되는 엽흔(leaf scar)이나 단면상에서 관찰되는 엽적의 배열 상태를 통해 유추하게 된다. 일찍이 Ogura(1927, 1941b)는 이러한 엽서의 배열 상태를 관찰함으로써 두 종을 구분할 수 있다고 하였으나, 후속 연구자들은 이에 대해 명확한 근거를 제시하지 못한 바 있다. 정창희와 백광호(1992), 이경제와 양승영(2006)은 그들의 시료가 두꺼운 근괴로 인해, 줄기가 완전히 둘러싸여 있어 엽흔(leaf scar)를 관찰할 수 없으며, 줄기로부터 효과적으로 근괴를 제거하기도 힘들기 때문에 엽서를 확인하기가 쉽지 않다고 했다. 다만 단면상에서 관찰되는 엽병의 배열 상태로부터 정창희와 백광호(1992)는 *C. naktongensis* 의 엽서를 나선형으로 유추한 바 있다.

이미 언급한 것처럼 엽병은 엽적에서 시작되는 것으로 알려져 있기 때문에 나무고사리 줄기 표면에서 엽흔을 관찰할 수 없는 조건이라면, 단면상에서 관찰되는 엽적(또는 엽격)의 3차원적인 복원을 통해 엽서를 추정할 수 있다. 표본 X01에서는 표년에서 일부 엽흔이 관찰되었으며, 위치에 따라 나선형과 상하 직선상의 엽서 패턴을 모두 보일 수 있음을 추정한 바 있다. 따라서 동 표본의 정확한 엽서 패턴을 확인하기 위해 순차적인 A~C 단년을 준비하여 관찰하였으나, 대부분의 근괴가 풍화로 제거되어 엽병의 존재를 파악할 수 없었으며, 일부에서는 중심주가 노출될 정도로 시료가 유실되어 전체적인 엽적의 변화 패턴을 알아내기가 어려웠다.

[3] 현생 나무고사리에서 근괴의 생성 및 그 두께 차이는 나무고사리가 성장함에 있어, 줄기 상의 위치(단면)에 따라 서로 다름을 알 수 있다. 한 개체의 나무고사리에서도 위치에 따른 근괴의 유무나 두께가 다양하게 결정되는 데, 불완전한 화석샘플의 단면상에서 확인되는 근괴의 두께에 따라 두 종(*C. naktongensis* 와 *C. tateiwai*)을 구분하는 것이 과연 타당한지에 대한 검토가 필요하다. 표본 X01에서도 상부에서 하부로 갈수록 줄기 부분은 가늘어지면서 근괴의 두께가 두꺼워짐을 확인할 수 있었기 때문에 이러한 주장을 뒷받침한다.

도 판 1

A. 수(×40)

B, C. 수와 산재되어 있는 수주조(×40)

D. 중심주와 후막조직대(×40)

E. 중심주와 후막조직대(×100)

F. 중심주와 후막조직대(×200)

G. 피주근적(×40)

H. 피주근적(×100)

도 판 2

A. 피주근적 사이에서 보이는 세포(×200)

B. 수주근적(×40)

C. 수주근적(×100)

D. 수주근적 사이에서 보이는 세포(×200)

E, F. 수주조(×100)

G, H. 근괴(×40)

도 판 3

A, B. 단일 근괴(×100)

C. 하트형 유관속 다발(×40)

D. 하트형 유관속 다발(×100)

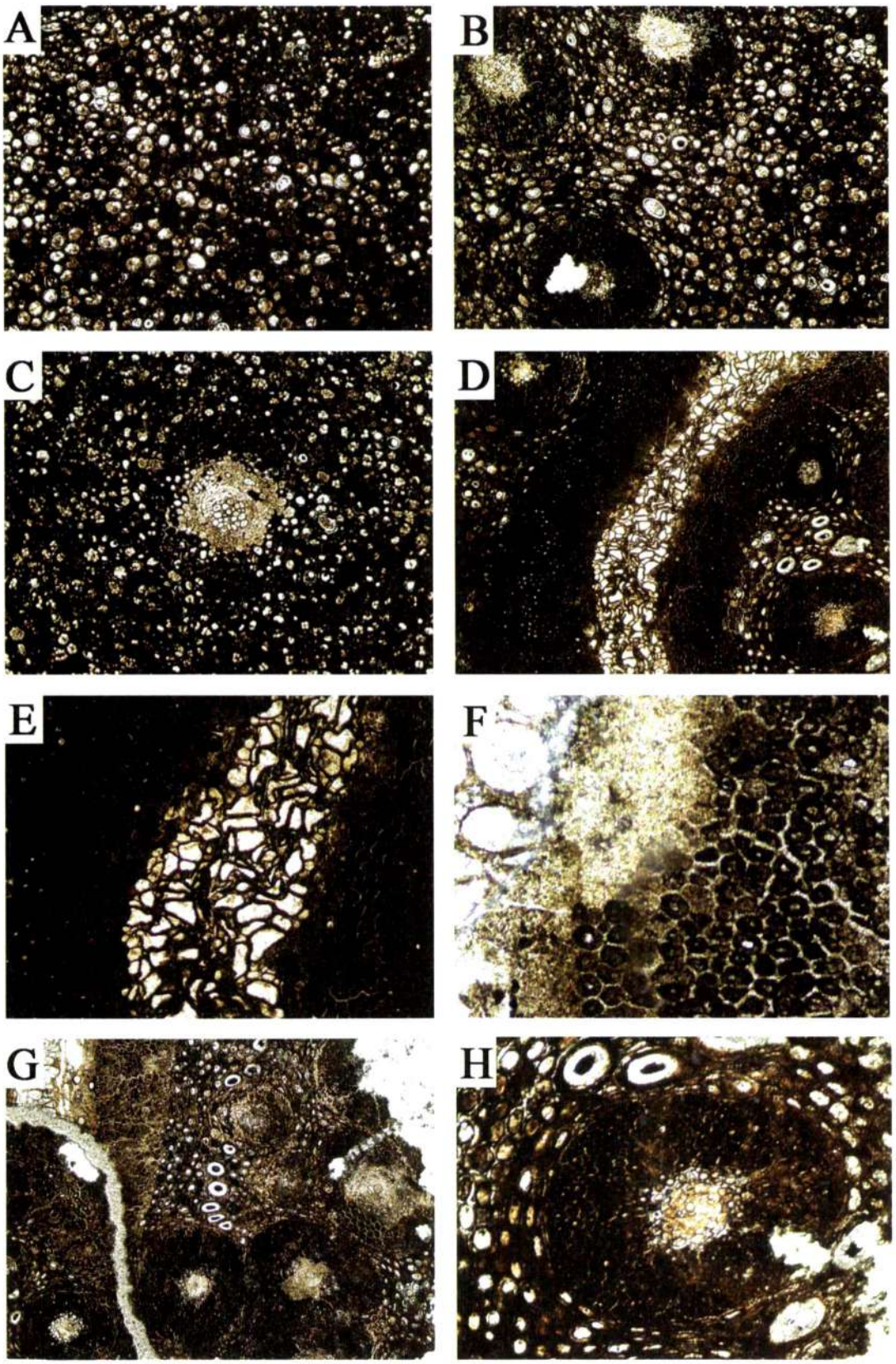
E. 중심주와 근괴 사이(×40)

F. 중심주와 근괴 사이(×100)

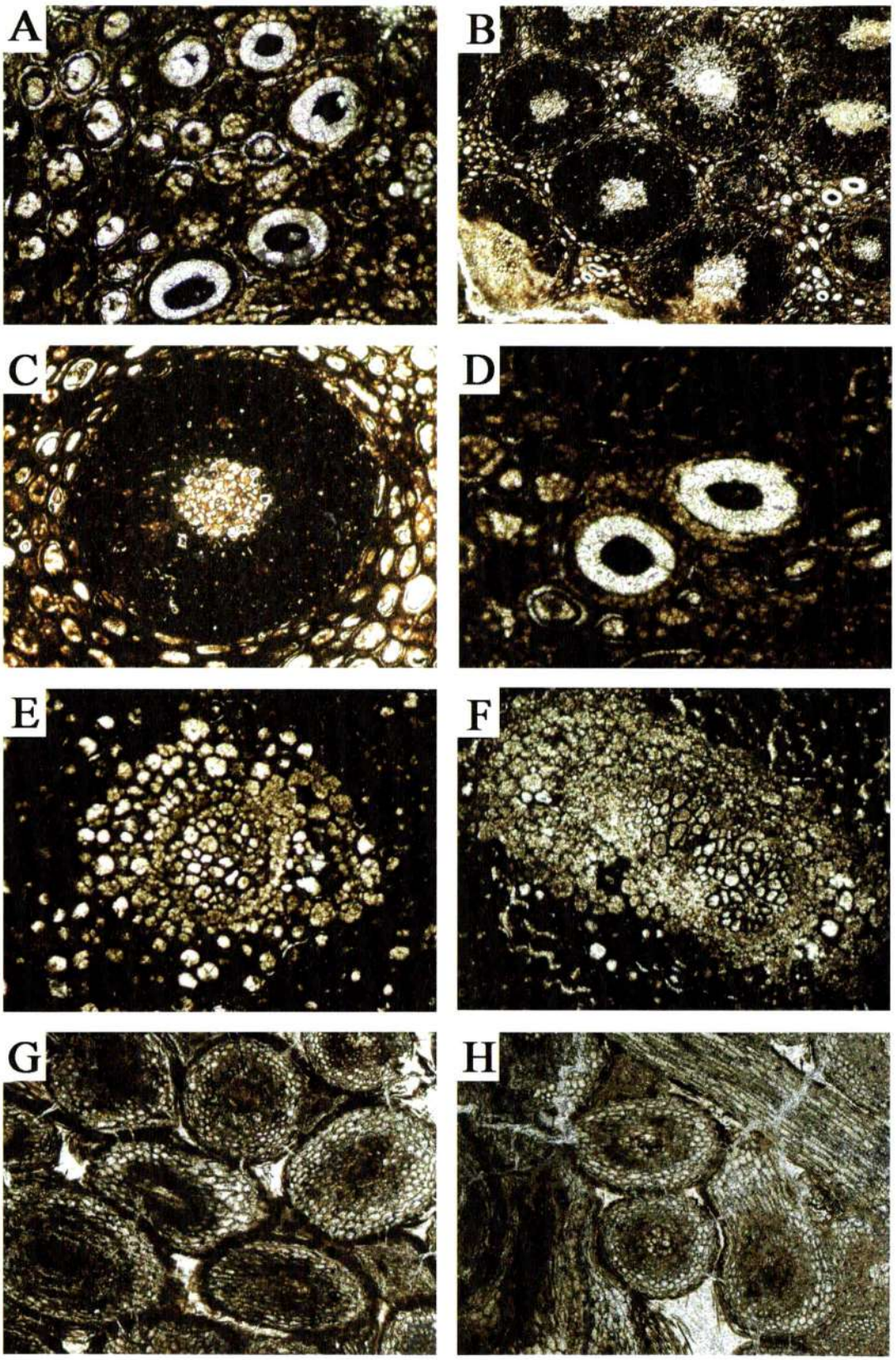
G. 근적으로 생각되는 구조(×40)

H. 근적으로 생각되는 구조(×100)

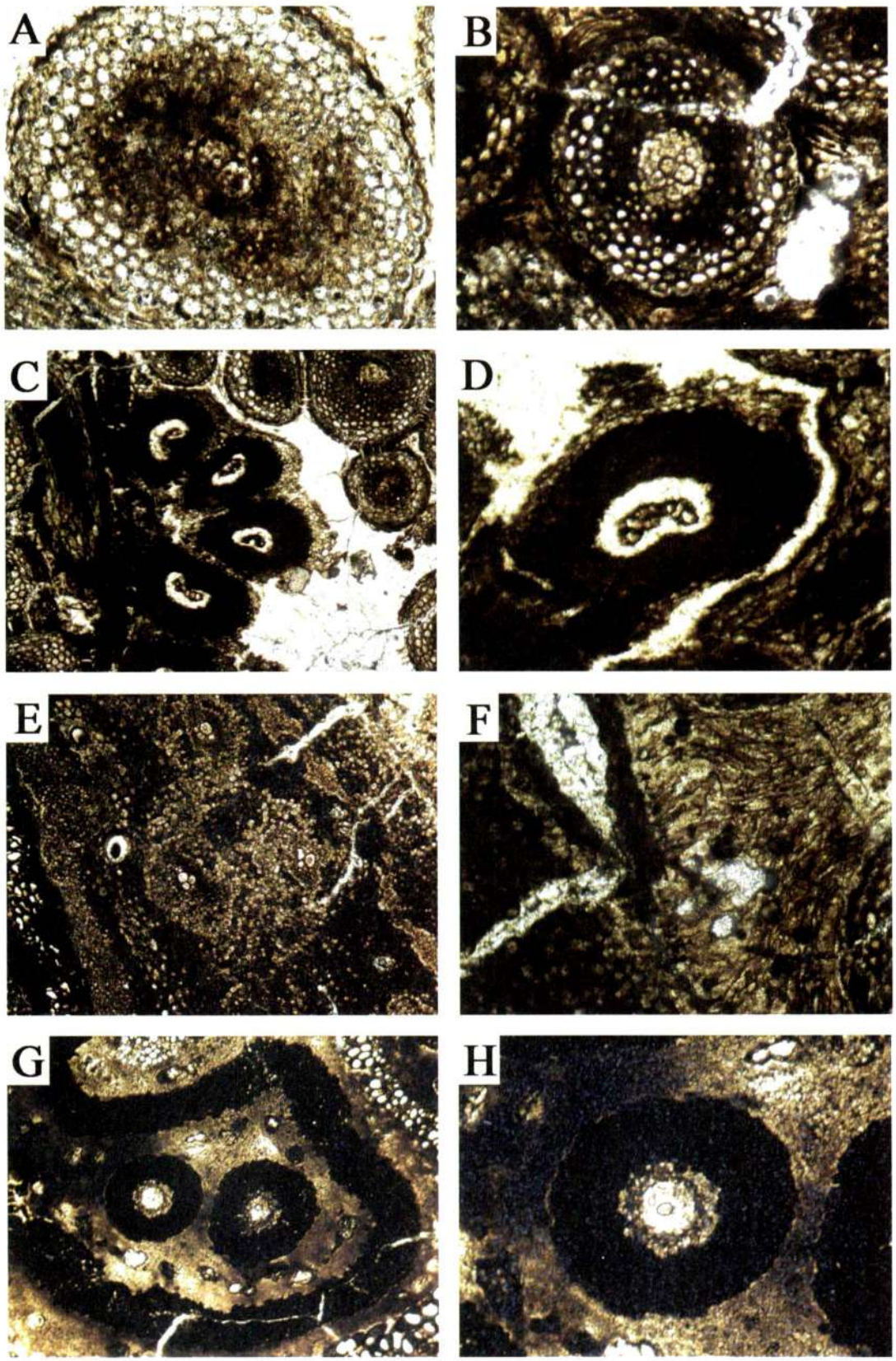
| 도판 11



| 도판 21 |



| 도판 3 |



| 2 | 화석산지 관리 실태

칠곡 금무봉 나무고사리 화석산지에 대한 조사는 2007년부터 시작하여 올해로 5년째이다. 2009년 화석산지에는 새로운 안내 설명판이 설치되었다(그림 71 A). 그러나 그 안내판은 문화재 이름과 내용의 오류 등으로 2011년 새로 설치되었다(그림 71 B). 안내 표지판의 및 설명판의 정비로 화석산지의 모습이 개선되고 있지만 새로 설치된 안내 설명판의 설명이 1980년대 설명 문안을 그대로 사용하고 있어 새로운 안내 설명판의 문안(국문, 영문)을 제시한다(표 49).

칠곡 금무봉 나무고사리 화석산지는 1924년 일제시대 조선총독부 산하 지질조사소에서 실시한 지질도폭 작성 중 발견되어 사진이나 기록 등이 거의 남아 있지 않은 상태에서 약 40년 정도 지난 후 천연기념물로 지정되었다. 그러나 이후에도 오랜 시간 방치해 두었기에 오늘날 화석산지에서 화석을 찾아 볼 수 가 없다. 2007년~2011년 모니터링 조사 등 총 10차례에 걸쳐 화석산지의 조사가 이루어졌으나, 나무고사리 줄기 화석에 대한 단서를 찾을 수 없었다. 기존 연구자[Tateiwa (1925), Ogura(1940)]에 의해 알려지고 연구된 나무고사리 화석의 채집 지점은 '경북 칠곡군 금무산' 으로만 기록되어 있고, 정확한 화석 산출 지역에 대한 어떠한 정보도 알려져 있지 않다. 이처럼 화석에 대한 부정확한 정보는 지금까지 많은 연구자들에게 화석산지에 대한 혼란을 야기 하고 있다. 또한, 정창희와 백광호(1992) 역시 이전 연구자들처럼 금무봉에서 전석 상태의 나무고사리 화석을 발견하였다는 기록을 남겼으나, 정확한 산출 위치나 노두에 대한 설명을 하지 않고 다만, 낙동층 중부의 역암층준이 함화석층일 것이라는 가능성만 제시한 바 있다.

2.1. 화석산지에 대한 새로운 생각

지금까지 수년째 금무봉 일대의 계곡 노두에 대한 정밀 조사를 실시하였으나 나무고사리 화석과 나무고사리 화석을 포함하고 있을 만한 역암층준이 발견되지 않은 점, 지금까지 한 번도 노두에서 발견된 적이 없는 점, 극소수 연구자들만이 전석 상태의 화석편을 발견한 점 등 여러 정황으로 볼 때, 칠곡 금무봉 나무고사리 화석산지에 대한 새로운 시각의 접근이 필요할 때라 판단된다.

지금까지 노두 및 추가 화석이 발견되지 않는 이유로 몇 가지를 생각해 볼 수 있다. 그 중에서 이전 연구자들이 나무고사리 화석산지를 정확히 발견하지 못한 것과 전석 상태의 화석이 발견된 지점 또한 정확히 기록하지 않았던 것이 결정적이다. 이와 더불어 ①함화석층 내의 화석 고갈 가능성, ②초기 연구자들이 화석 산출지로 언급한 금무산이 현재의 위치가 아닌 다른 산일 가능성, ③금무산 내에서도 함화석층은 계곡부가 아닌 능선이나 표토로 덮여 있어 확인이 쉽지 않은 지역에 분포 할 가능성 등을 생각해 볼 수 있다.

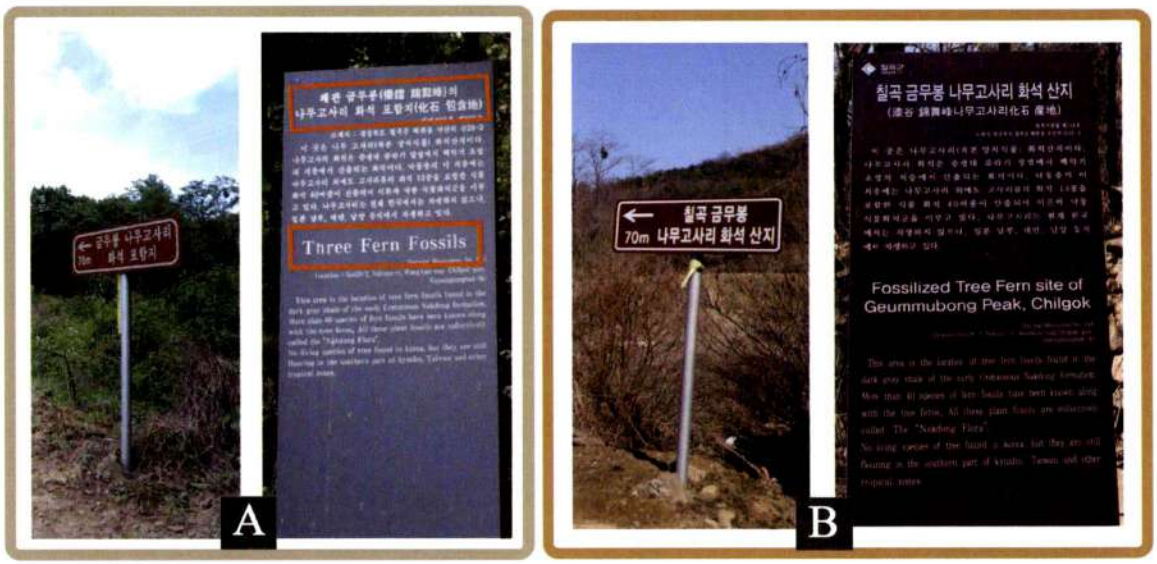


그림 71| 금무봉 나무고사리 화석산지 안내 표지판과 안내 설명판.
(A) 2009년 설치된 안내 표지판과 안내 설명판, (B) 2011년 설치된 안내 표지판과 안내 설명판.

표 49 | 금무봉 나무고사리 화석산지 설명 문안(참고용)

칠곡 금무봉 나무고사리 화석산지
(漆谷 錦舞峰 木本性羊齒植物 化石産地)

지정 번호 천연기념물 제146호
소 재 지 경상북도 칠곡군 왜관읍 낙산리 산 28-3
지 정 일 1962. 12. 03.
지정 면적 1,579,586㎡

나무고사리는 고생대 말에 나타나 현재까지 생육하는 고사리 종류로 지상에 직립하는 목본성 줄기를 가지고 있다. 이들은 특히 중생대 쥐라기 후기(1억 8000만 년~1억 4000만 년 전)에서 백악기 초기(1억 4000만 년~1억 년 전)에 번성하였다. 경상북도 칠곡군 왜관읍 금무산(해발 268.4m)에서 발견되는 나무고사리 화석은 조직 내에 2산화규소(SiO_2)가 침적되어 석화된 줄기 조각들이다. 1925년 일본 지질학자 다테이와(立岩巖)에 의해서 처음 발견되었으며, 1930년대에는 일본인 오구라(小倉 謙)가 석화된 줄기 조각 약 70개를 채집하여 해부학적 연구를 수행한 바 있다. 그 이후 1992년에 1개체에서 분리된 4개의 줄기 조각이 채집되어 해부학적 구조가 연구된 바 있으나 현재 화석 발견은 거의 산출되지 않는다.

나무고사리는 현재 열대, 아열대 또는 온대 강우림 지역에 주로 분포하고 있어 일본 남부, 대만, 중국 남부, 호주, 뉴질랜드 등을 중심으로 생육하고 있다. 한반도에는 현 생종이 없고 백악기 초기의 지층에서 화석으로 발견된다. 따라서 당시의 한반도 기후가 열대 또는 아열대성이었을 가능성을 나타내주는 식물화석이다. 금무봉에서 발견된 나무고사리는 현생 나무고사리와는 달리 줄기 중심주의 분주(分柱) 모양이 굴곡되어 U자, W자, S자를 이루며, U자와 W자의 터진 부분이 외측과 내측으로 향하고 있어 현 생종과는 쉽게 구분된다. 금무봉에서는 나무고사리 화석 이외에도 13종의 고사리 화석을 포함하여 식물 화석 40여 종이 산출된다.

Tree Fern Fossil Site, Mt. Geummubong, Chilgok

Pebbles of fossilized stems of tree fern have been found in this site. Tree ferns is still live today after it appeared at the Late Paleozoic. Tree ferns are characterized by having erected trunk-like stems on the ground. They were flourished from the Late Jurassic to the Early Cretaceous. Fossil stems found this site were permineralized by SiO_2. The tree ferns was discovered first by Tateiwa who was a Japanese geologist in 1925. In the 1930's, Ogura who was a Japanese geologist collected about 70 permineralized parts of stem and studied the anatomical structure of them. Since then, four stem pieces of only one sample were studied anatomically in 1992. No more tree fern discovered at this site.

Modern tree ferns exist in tropical, subtropical, and temperate rainforest areas such as southern part of Japan, Taiwan, southern China, Australia, and New Zealand. No living tree ferns exist in Korea. Only fossil tree ferns are discovered from the Early Cretaceous deposit. Therefore, it indicates that the climate of Korean Peninsula at the time might be tropical or subtropical. Unlike the living tree ferns, fossil tree fern from this site have the U-shaped, W-shaped, and S-shaped meristele. They are easily distinguished with the living tree ferns by the spaced leaf-gap of the U-shaped and W-shaped meristele facing the internal or external. In addition to the fossil tree fern, more than 40 types of fossil plants including 13 ferns were found this site.

| 3 | 모니터링 대장 작성

표 50 | 화석산지 모니터링 체크 리스트: 천연기념물 제146호 칠곡 금무봉 나무고사리 화석산지(2011)

화석산지 모니터링 체크 리스트 조사일: 2011. 3. 23.

① 지정 번호	천기 146호	② 지정 명칭	칠곡 금무봉 나무고사리 화석산지
③ 소 재 지	경북 칠곡군 왜관읍 낙산리 산28-3		

모니터링 항목		조 사 내 용
④ 사이트 환경		☑산 ☐바닷가 ☐섬 ☐하천 ☐도로 ☐ 기타( )
⑤ 접근성	내륙(바닷가)	☐진입 불가 ☑소형 차량 진입 가능 ☐모든 차량 진입 가능
	섬	☐무인도 ☐유인도(여객선 운항 횟수 기재/일)
⑥ 관광지 개발 여부		☑해당 없음 ☐준관광지 ☐관광지
⑦ 1일 방문자 수		☑10명 미만 ☐10~30명 미만 ☐30~50명 미만 ☐50~100명 미만 ☐100명 이상
⑧ 문화재 구역 관리 실태		☐부적합 ☑보통 ☐우수 ☐대단히 우수 • 문화재 안내 설명판 신규 설치. 설명 문안 교체 필요(보고서 참조)
⑨ 화석 현황		• 나무고사리 화석, 식물 화석, 이매패류 등 보고 • 1992년 나무고사리 줄기 화석 1개체 발견된 후 2007년 인근 왜관 지방산업단지 내 쓰레기 매립장 부지에서 나무고사리 줄기 화석 1개체 발견.



⑩ 훼손 현황	90년대 이전 화석지가 훼손되어 나무고사리 줄기 화석을 포함한 식물 화석의 발견에 어려움이 있음.
⑪ 생물(식생) 침해	-
⑫ 추가 확인된 화석	-
⑬ 조사자 의견	• 나무고사리 화석과 나무고사리 화석을 포함하고 있을 만한 역암층준이 발견되지 않은 점 • 지금까지 한 번도 노두에서 발견된 적이 없었으며, 극소수 연구자들만이 전석 상태의 화석편을 발견한 점 등의 여러 정황으로 볼 때, 칠곡 금무봉 나무고사리 화석산지에 대한 새로의 시각의 접근이 필요함.
⑭ 사진 촬영	JPEG, TIFF 사진(정골과 절터골 사진 촬영)



표 51 | 화석산지 모니터링 체크 리스트: 천연기념물 제146호 칠곡 금무봉 나무고사리 화석산지(2010)

화석산지 모니터링 체크 리스트 조사일: 2010. 5. 27.

① 지정 번호	천기 146호	② 지정 명칭	칠곡 금무봉 나무고사리 화석산지
③ 소 재 지	경북 칠곡군 왜관읍 낙산리 산28-3		

모니터링 항목		조 사 내 용
④ 사이트 환경		☑산 ☐바닷가 ☐섬 ☐하천 ☐도로 ☐ 기타( )
⑤ 접근성	내륙(바닷가)	☐진입 불가 ☑소형 차량 진입 가능 ☐모든 차량 진입 가능
	섬	☐무인도 ☐유인도(여객선 운항 횟수 기재/일)
⑥ 관광지 개발 여부		☑해당 없음 ☐준관광지 ☐관광지
⑦ 1일 방문자 수		☑10명 미만 ☐10~30명 미만 ☐30~50명 미만 ☐50~100명 미만 ☐100명 이상
⑧ 문화재 구역 관리 실태		☐부적합 ☑보통 ☐우수 ☐대단히 우수 • 문화재 안내 설명판 내용 오류 
⑨ 화석 현황		• 나무고사리 화석, 식물 화석, 이매패류 등 보고 • 1992년 나무고사리 줄기 화석 1개체 발견된 후 2007년 인근 왜관 지방산업단지 내 쓰레기 매립장 부지에서 나무고사리 줄기 화석 1개체 발견.

⑩ 훼손 현황	90년대 이전 화석지가 훼손되어 나무고사리 줄기 화석을 포함한 식물 화석의 발견에 어려움이 있음.
⑪ 생물(식생) 침해	-
⑫ 추가 확인된 화석	-
⑬ 조사자 의견	금무봉 나무고사리 화석산지 정골과 절터골 일원 및 성주군 선남면 관화리 지역 등 최소 2곳 이상의 지점에서 나무고사리 화석이 발견될 가능성이 가장 높음. 이에 대한 추가적인 조사가 필요함.
⑭ 사진 촬영	JPEG, TIFF 사진(정골과 절터골 사진 촬영)



표 52 | 화석산지 모니터링 체크 리스트: 천연기념물 제146호 칠곡 금무봉 나무고사리 화석산지(2009)

화석산지 모니터링 체크 리스트 조사일: 2009. 3. 20.

① 지정 번호	천기 146호	② 지정 명칭	칠곡 금무봉 나무고사리 화석산지
③ 소 재 지	경북 칠곡군 왜관읍 낙산리 산28-3		

모니터링 항목		조 사 내 용
④ 사이트 환경		☑산 ☐바닷가 ☐섬 ☐하천 ☐도로 ☐ 기타( )
⑤ 접근성	내륙(바닷가)	☐진입 불가 ☑소형 차량 진입 가능 ☐모든 차량 진입 가능
	섬	☐무인도 ☐유인도(여객선 운항 횟수 기재/일)
⑥ 관광지 개발 여부		☑해당 없음 ☐준관광지 ☐관광지
⑦ 1일 방문자 수		☑10명 미만 ☐10~30명 미만 ☐30~50명 미만 ☐50~100명 미만 ☐100명 이상
⑧ 문화재 구역 관리 실태		☐부적합 ☑보통 ☐우수 ☐대단히 우수 • 문화재 안내 설명판 내용 오류
⑨ 화석 현황		• 나무고사리 화석, 식물 화석, 이매패류 등 보고 • 1992년 나무고사리 줄기 화석 1개체 발견된 후 2007년 인근 왜관 지방산업단지 내 쓰레기 매립장 부지에서 나무고사리 줄기 화석 1개체 발견.



⑩ 훼손 현황	90년대 이전 화석지가 훼손되어 나무고사리 줄기 화석을 포함한 식물 화석의 발견에 어려움이 있음.
⑪ 생물(식생) 침해	-
⑫ 추가 확인된 화석	왜관 지방산업단지 인근에서 나무고사리 줄기 화석 1개체 발견.
⑬ 조사자 의견	Tateiwa는 금무봉에서 남서쪽으로 약 6km 떨어진 성주군 선남면 관화리에서 1개의 나무고사리 줄기 화석을 채집하였으며, 1940년 Ogura가 같은 지점에서 동일한 종에 속하는 21개의 표품을 추가로 채집하였음. 또한 이경제와 양승영(2006)은 칠곡 금무봉 나무고사리 화석 산지로부터 북동쪽으로 약 16km 떨어진 칠곡군 가산면 하판리에서 5개를 채집하였으며, 최근엔 금무산 나무고사리 화석산지 근처인 왜관 지방산업단지 부근에서도 나무고사리 줄기 화석이 발견되었음. 따라서 금무산 화석산지를 포함하여 최소 3곳 이상의 지점에서 나무고사리 화석이 발견될 가능성이 있으며 이에 대한 추가적인 조사가 필요함.
⑭ 사진 촬영	왜관 지방산업단지에서 발견된 나무고사리 화석, 발견 당시 사진 등 확보





표 53 | 화석산지 모니터링 체크 리스트: 천연기념물 제146호 칠곡 금무봉 나무고사리 화석산지(2008)

화석산지 모니터링 체크 리스트 조사일: 2008. 11. 11.

① 지정 번호	천기 146호	② 지정 명칭	칠곡 금무봉 나무고사리 화석산지
③ 소 재 지	경북 칠곡군 왜관읍 낙산리 산28-3		

모니터링 항목		조 사 내 용
④ 사이트 환경		☑산 ☐바닷가 ☐섬 ☐하천 ☐도로 ☐기타( )
⑤ 접근성	내륙(바닷가)	☐진입 불가 ☑소형 차량 진입 가능 ☐모든 차량 진입 가능
	섬	☐무인도 ☐유인도(여객선 운항 횟수 기재/일)
⑥ 관광지 개발 여부		☑해당 없음 ☐준관광지 ☐관광지
⑦ 1일 방문자 수		☑10명 미만 ☐10~30명 미만 ☐30~50명 미만 ☐50~100명 미만 ☐100명 이상
⑧ 문화재 구역 관리 실태		☑부적합 ☐보통 ☐우수 ☐대단히 우수 • 문화재 안내 설명판 미설치 및 옛 문화재 설명판 산속 방치.



	
⑨ 화석 현황	• 나무고사리 화석, 식물 화석, 이매패류 등 보고 • 1992년 나무고사리 줄기 화석 1개체 발견된 후 나무고사리 줄기 화석의 발견 전무.
⑩ 훼손 현황	–
⑪ 생물(식생) 침해	–
⑫ 추가 확인된 화석	• *Nagdongia soni* 산출 지층 발견
⑬ 조사자 의견	광범위한 노두의 정밀 조사 필요. 조사 시기는 겨울이 바람직함. * 지정 명칭 일부 변경: (기존)왜관 금무봉 나무고사리 화석 포함지 → (변경)칠곡 금무봉 나무고사리 화석 산지
⑭ 사진 촬영	동 · 서 · 남 · 북 근접 촬영



Nagdongia soni 산출 지층



Nagdongia soni

표 54 | 화석산지 모니터링 체크 리스트: 천연기념물 제146호 칠곡 금무봉 나무고사리 화석산지(2007)

화석산지 모니터링 체크 리스트 조사일: 2007. 10. .

① 지정 번호	천기 146호	② 지정 명칭	왜관 금무봉 나무고사리 화석 포함지
③ 소 재 지	경북 칠곡군 왜관읍 낙산리 산28-3		

모니터링 항목		조 사 내 용
④ 사이트 환경		☑산 ☐바닷가 ☐섬 ☐하천 ☐도로 ☐ 기타( )
⑤ 접근성	내륙(바닷가)	☐진입 불가 ☑소형 차량 진입 가능 ☐모든 차량 진입 가능
	섬	☐무인도 ☐유인도(여객선 운항횟수 기재/일)
⑥ 관광지 개발 여부		☑해당없음 ☐준관광지 ☐관광지
⑦ 1일 방문자 수		☑10명 미만 ☐10~30명 미만 ☐30~50명 미만 ☐50~100명 미만 ☐100명 이상
⑧ 문화재 구역 관리 실태		☑부적합 ☐보통 ☐우수 ☐대단히 우수 • 문화재 안내 설명판 훼손 및 옛 문화재 설명판 산속 방치. • 문화재 구역 내 화석을 찾을 수 없을 정도로 훼손되었음. 
⑨ 화석 현황		• 나무고사리 화석, 식물 화석, 이매패류 등 보고 • 1992년 나무고사리 줄기 화석 1개체 발견된 후 나무고사리 줄기 화석의 발견 전무.

⑩ 훼손 현황	90년대 이전 화석지가 훼손되어 나무고사리 줄기 화석을 포함한 식물 화석의 발견이 희박함.
⑪ 생물(식생) 침해	-
⑫ 추가 확인된 화석	전석에서 보존 상태가 양호한 이매패류 화석 발견
⑬ 조사자 의견	화석지의 훼손이 수십년 전에 일어난 곳으로 화석을 포함한 지층을 찾을 수 없음. 화석지 정밀 조사가 필요함.
⑭ 사진 촬영	동 · 서 · 남 · 북 근접 촬영



9 천연기념물 제222호 함안 용산리 함안층의 새발자국 화석산지 2007~2011

| 1 | 화석산지 현황

1.1. 화석산지 개요

천연기념물 제222호 함안 용산리 함안층의 새발자국 화석산지는 경상남도 마산시 북서쪽으로 약 10km 떨어진 경상남도 함안군 칠원면 용산리에 위치하고 있다(그림 72). 이 화석지에서는 새발자국화석 코리아나오르니스 함안엔시스(*Koreanaornis hamanensis*)와 진동오르니페스(*Jindongornipes* sp.), 그리고 공룡발자국, 생흔, 건열 및 물결 자국 등이 관찰된다.

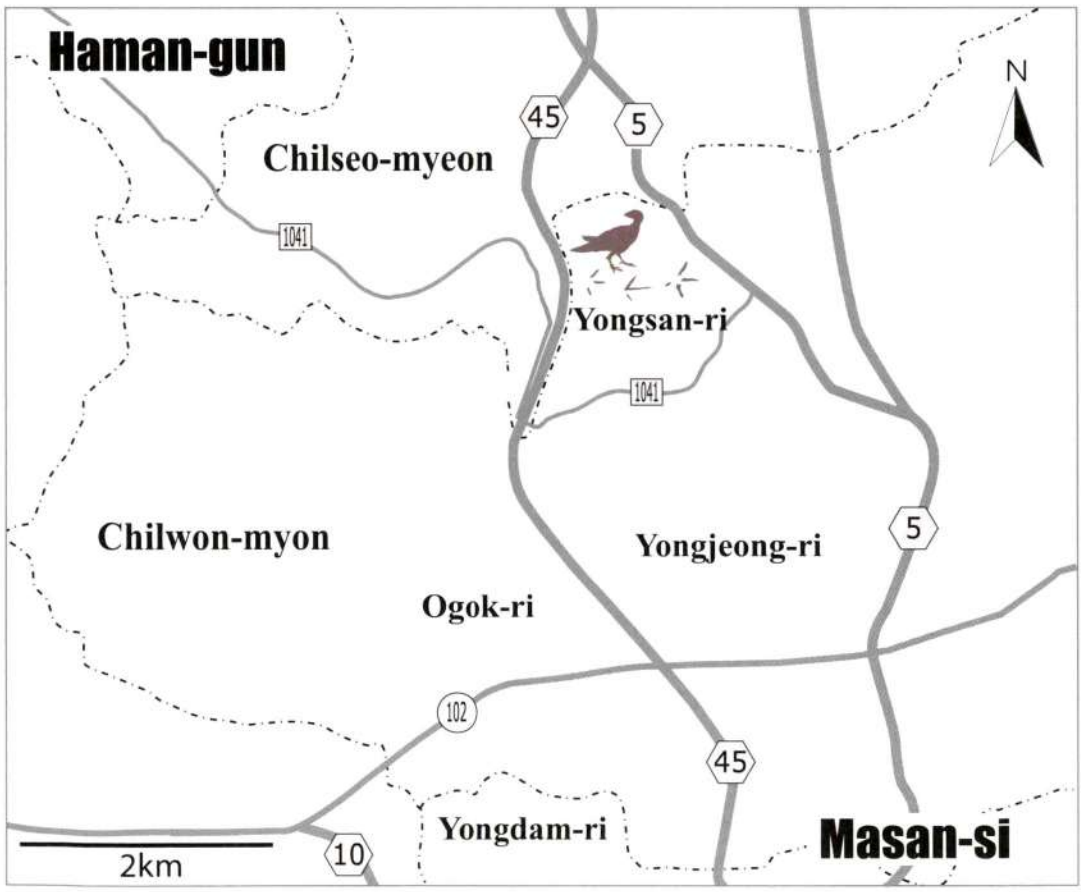


그림 72| 함안 용산리 함안층의 새발자국 화석산지 위치도(공달용 외 2010).

함안층의 새발자국 화석산지는 1969년 9월 허찬구(마산여고 교사)가 발견하여 서울대학교 김봉균에 의해 연구되었다. 물결 자국과 함께 산출되는 이 새발자국은 '함안에서 발견된 한국 새' 라는 뜻을 가진 '*Koreanaornis hamanensis*' 라는 신속(new genus), 신종(new species)으로 보고되었다.

새발자국이 산출되는 지역은 예전부터 이 지역 사람들이 구들장에 놓을 판석을 채취하던 곳으로 천연기념물 지정 후 민원이 끊이질 않았으며, 산주와 주민들에 의한 화석지의 훼손이 발생되었다(공달용과 남상찬, 2007 참조). 또한, 1969년 12월 25일자 신문에 함안층 새발자국 화석이 세계적으로 희귀한 화석이라는 보도 이후 화석지의 많은 부분이 훼손되기도 하였다.

1.2. 조사 지역의 지질

천연기념물 제222호 함안 용산리 함안층의 새발자국 화석산지와 그 주변 지역은 백악기 경상누층군에 속하는 하양층군의 함안층과 진동층이 주를 이루고 있으며 이들 지층을 안산암과 안산암질암 및 소규모의 염기성 백암이 관입하고 있다(그림 73). 함안층은 우리나라에서 처음으로 새발자국 화석이 기재된 지층으로 회색이암, 회녹색 세일, 사질 세일, 저색 세일 및 실트암으로 구성되어 있고 여기에는 연흔, 건열 등의 퇴적구조와 많은 화석들이 포함되어 있다. 특히, 붉은색을 띠는 퇴적층이 특징이며, 기존에는 화석의 산출이 드물다고 보고되었으나, 최근에는 새발자국, 공룡발자국 및 골격 화석 등이 많이 보고되고 있다. 본 조사 지역의 새발자국 화석산지는 경상누층군 함안층 상부의 저색층에서 산출되며 이를 진동층이 정합적으로 덮고 있다(그림 73). 본 조사 지역에서 함안층은 상부만이 분포하며 하부는 거의 나타나지 않는다. 새발자국 화석은 상부 함안층 최상부로부터 약 50m 아래에서 발견되며 이 화석층을 중심으로 약 100m 구간은 저색층이 우세하다. 상부 함안층과 진동층은 주로 암색으로 구별되며 약 100m에 달하는 엽리가 잘 발달된 저색암과 회색암이 교호하다가 갑자기 암색 내지는 암회색 암석으로 변하여 진동층 최하부를 이룬다(김봉균 외, 1992). 지층의 주향과 경사는 각각 N40-60°E와 10-15°SE이다. 진동층은 함안층의 최상위 자색층 직상위를 하한으로 하고 유천층군과

의 부정합 또는 관입 접촉면을 상한으로 한다. 진동층은 함안층과는 달리 저색을 띠는 암석이 없으며 주로 암회색 세일, 사질 세일 및 세립 사암 등으로 이루어져 있다. 진동층 내에서는 연흔, 건열, 사층리 등 다양한 퇴적 구조들이 관찰된다. 경상누층군에 넓게 분포하는 진동층에서는 공룡발자국과 새발자국 화석의 산출이 빈번하다. 본 연구 지역은 칠원면 구성리에서 북동쪽으로 넓게 분포되어있으며, 함안층을 정합적으로 덮고 있다. 새발자국 화석이 분포하는 지층의 주향과 경사는 N50°E와 10°SE이다.

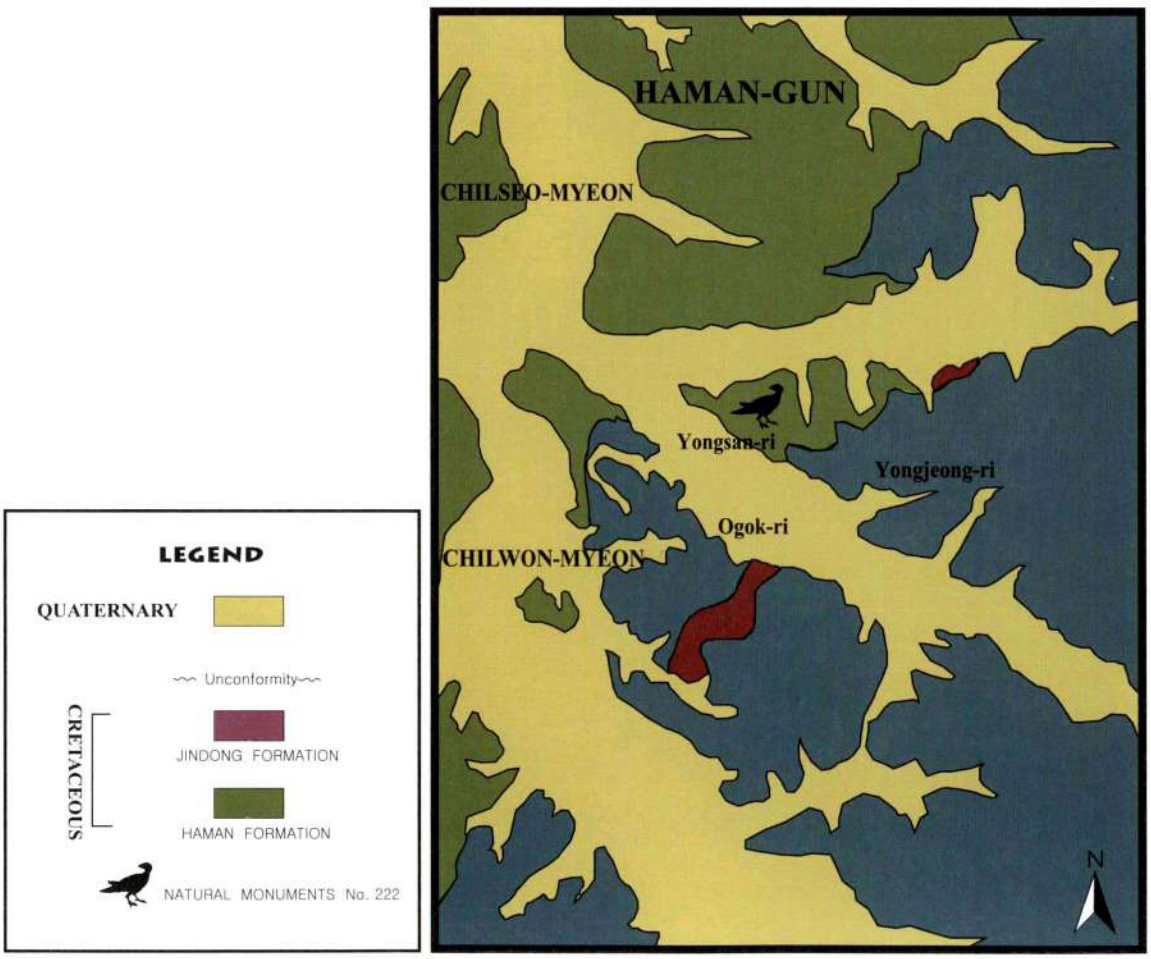


그림 73 | 조사 지역의 지질도(김봉균과 김기현, 1992).

1.3. 화석산지 연구 내용 요약(2007년~2011년)

새발자국 화석은 1931년 미국의 Mehl, N. G. 에 의해 콜로라도 다코다층군에서 발견된 새발자국 화석의 연구에서 시작되었다. 이곳에서 발견된 새발자국화석에 대하여 *Ignotornis meconnelli* Mehl이라 명명하였다. 1954년 Ambroggi와 Lapparent에 의해 모로코의 중생대 지층에서 새발자국 화석을 발견 및 보고하였으나 제대로 연구가 수행되지 않아 국제적으로 인정받지 못하였다. 이후 1969년 김봉균에 의해 함안층에서 발견된 새발자국 화석의 연구가 수행되었으며, 이 연구는 국제적으로 인정받은 2번째 연구이다. 본 화석산지에서는 *Koreanaornis hamanensis*와 *Jindongornipes kimi*가 발견되나 대부분의 새발자국은 *Koreanaornis hamanensis*이다. *Koreanaornis hamanensis* Kim은 김봉균에 의해 1969년 대한지질학회지(vol. 5, no. 4, pp.243-258)에 「함안층에서 발달되는 솔마크(sole mark)에 관한 연구」라는 제목으로 발표되었다. 새발자국 화석은 매우 높은 밀집도(100개/㎡)를 보이며 물결 자국(Ripple mark)위에 찍혀 있다(그림 74, 75). 이들 물결 자국 표면에는 *Cochlichnus*를 포함한 다양한 무척추동물의 흔적이 관찰되는데, 이들 무척추동물들은 *Koreanaornis hamanensis*와 *Jindongornipes kimi*의 좋은 먹이가 되었을 것이다.

1.3.1. 새발자국 화석 기재

용산리의 새발자국 화석산지는 1970년에 천연기념물로 지정된 이후 38년 동안 한 차례도 정밀 학술 조사 혹은 재조사가 이루어지지 않았으며, 1969년 한국 새발자국 화석을 기재한 후 설정한 *Koreanaornis hamanensis* 화석의 모식 표본(holotype)이 서울대학교 지질학과의 이전 과정 중 분실되어 새로운 모식 표본의 설정 또한 필요하다. 최근 이곳에서는 기존에 보고된 새발자국 외에도 1~2종의 새로운 새발자국 화석이 존재한다는 학자들의 의견이 있었다. 따라서 2008년 용산리 새발자국 화석산지의 정밀 학술 조사를 실시하였으며 이를 위해 새발자국 화석에 대한 분포도 작성 및 정밀 실측을 실시하여 그 값을 기록하였다(공달용과 김태형, 2008 참고). 이는 용산리 새발자국 화석산지의 기초 자료를 축적하는 한편, 향후 다른 새발자국 화석과 비교 분석 할 수 있도록 하기 위함이다. 그러나 용산리 화석산지는 새발자국 화석의 밀집도

(100개/㎡)가 높아 모든 새발자국 화석을 기록할 수 없었으며, 이를 보완하기 위해 「천연기념물 공룡발자국 3D 기록화 사업(3차)」지역으로 선정하여 기록화 작업을 실시하였다(원광연 외, 2009).

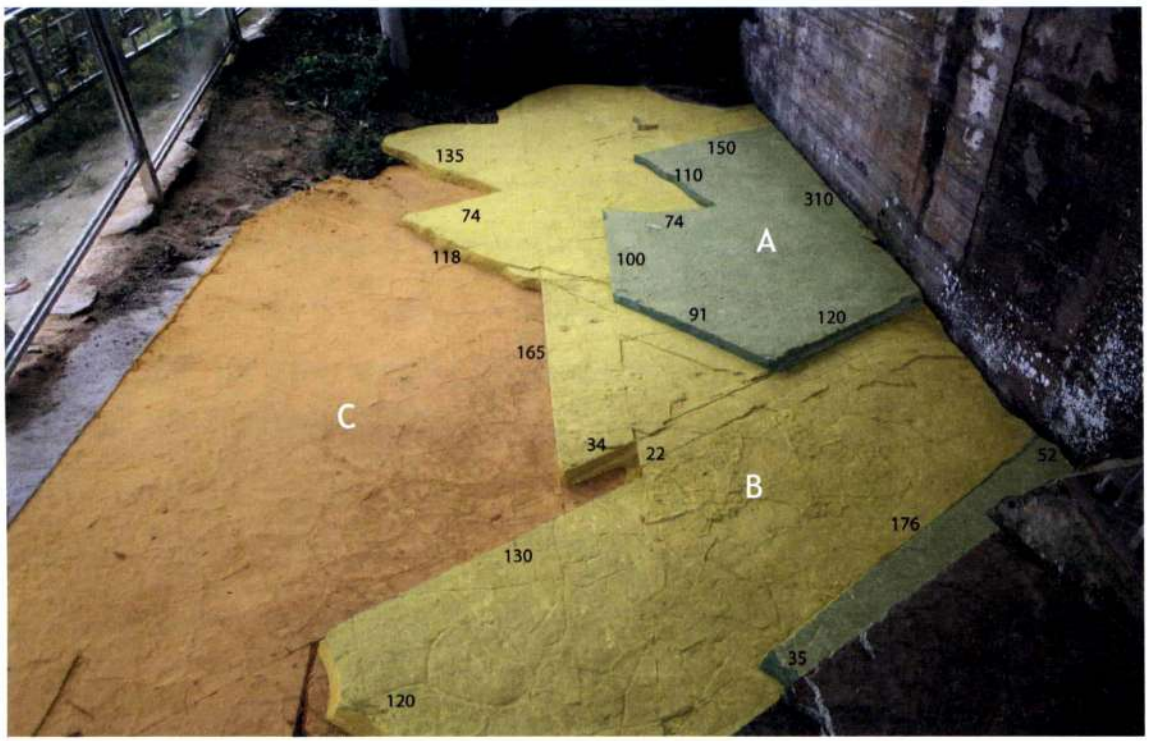


그림 74 | 새발자국 화석산지 분포 면적(단위 cm; 공달용 외, 2008).

화석산지에서 관찰되는 많은 발자국들이 서로 겹쳐 있거나 보존 상태가 좋지 않아 새발자국 화석 중 세 개의 발가락(제2~4번)을 정확히 확인할 수 있는 발자국을 대상으로 새발자국 화석의 크기를 기재하였다. 함안 용산리 새발자국 화석의 크기 측정 결과, 발자국의 폭, 길이 및 길이/폭의 평균값은 각각 32mm, 30.6mm, 0.10mm이며, 2번~4번 발가락의 길이는 평균 20.89mm, 29mm, 21.21mm이다. 그리고 사이각은 2-3각이 평균 55.4°, 3-4각이 평균 49.5°이며 2-4각은 평균 104.9°이다. 새발자국의 폭과 길이, 발가락 길이 및 발가락 사이각을 분석한 결과, 적어도 2종의 새발자국이 인지되었다(공달용과 김태형, 2008). 따라서 이 두 종류가 기존에 알려진 *Koreanaornis hamanensis*와 *Jindongornipes kimi*일 것으로 판단되나 일부 값들은 기존에 알려진 2종의 새발자국 외에 새로운 발자국의 가능성을 나타내고 있으므로 중생대 새발자국을 대상으로 비교 연구가 필요하다.

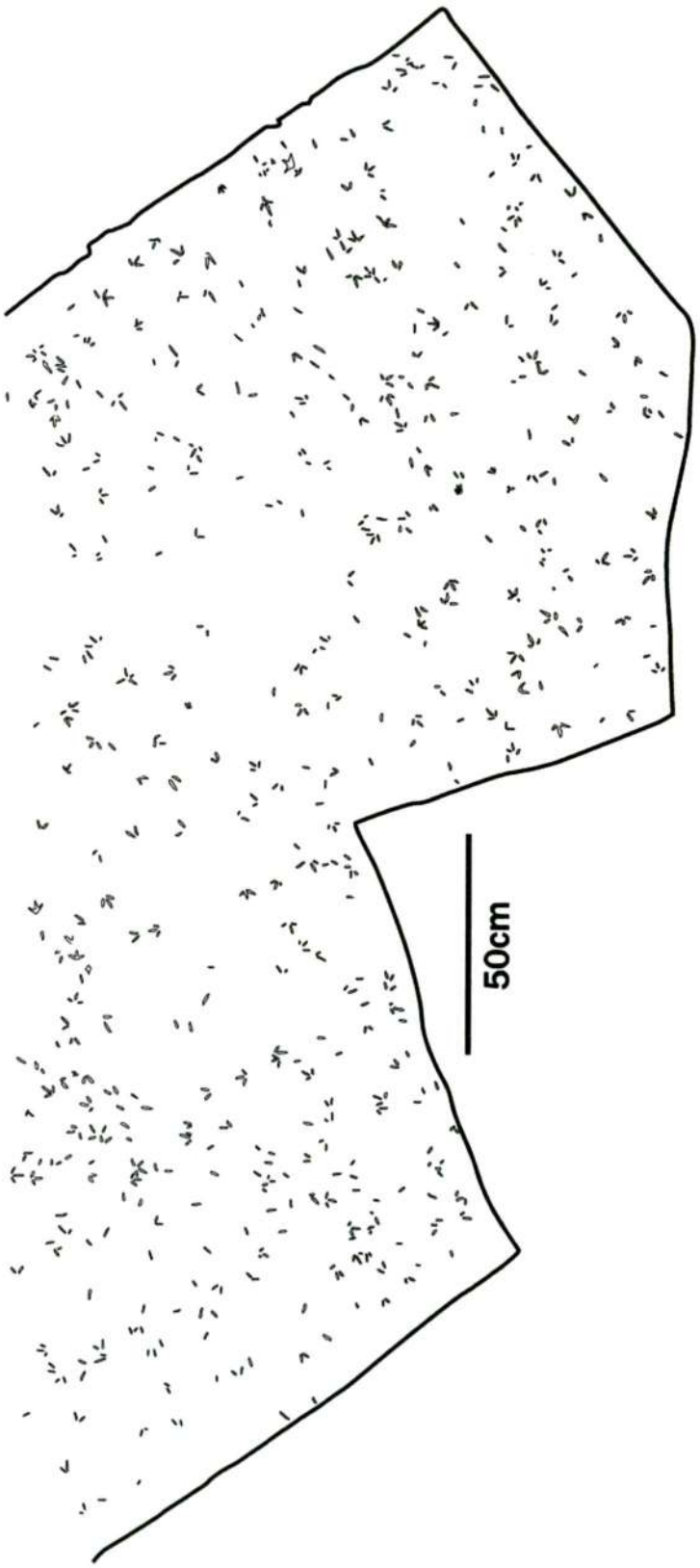


그림 75 | 새발자국 화석 분포도(그림 74의 A 층준; 공달용과 김태형, 2008).

표 55 | 현생 새발자국과 함안 용산리 새발자국 비교(공달용과 김태형, 2008)

	현생 새발자국(김성미, 2007)							
	참새형 중형(A)	참새형 섭금류 대형(B) 대형(B)	참새형 물떼새 소형(C)	참새형 산새류 중형(D)	참새형 도요류의 대형(E)	도요류 또는 물떼새류 소형(F)	참새형 산새류의 중형(G)	함안 새발자국 화석(H)
폭	43	112	33	53	79	25	36	32
길이	34	95	29	65	58	21	46	30.6
길이/폭	0.79	0.85	0.90	1.25	0.74	0.82	1.33	0.993
1번길이	21	47		24			36	
2번길이	26	71	20	47	50	17	39	20.89
3번길이	34	91	29	65	58	21	47	29
4번길이	28	75	22	41	50	16	39	21.207
1-2각	112	123		170			155	
2-3각	52	38	59	37	57	52	13	55.4
3-4각	53	49	45	37	63	59	38	49.5
2-4각	105	86	109	74	120	108	51	104.9

함안 용산리 새발자국 화석과 현생 새발자국을 비교 분석하여 어떤 종류의 새들에 의해 남겨진 발자국인지를 유추해 보았다. 현생 새들의 발의 형태에 대한 연구는 많이 수행된 바 있다(Brown *et al.*, 2003). 또한 지질시대에 형성된 새발자국 화석의 연구에서 새발자국 형성자를 알아내고자 할 때, 현생 새의 발 모양과 발자국을 참고하여 형성자를 추정하기도 한다(Lim *et al.*, 2000, 2002; 김성미, 2007). 김성미(2007)는 우리 주변에서 볼 수 있는 현생 새발자국 158개를 측정하여 모두 7개의 새발자국 유형(type A~G)으로 분류하였다.

7가지의 현생 새발자국과 함안 용산리의 새발자국에서 측정된 값을 비교하여(표 55), 그 값을 분석해 본 결과 용산리의 새발자국은 참새형 물떼새의 소형 새발자국(C)과 유사한 값을 보였다(그림 77). 그림 76은 우리나라에 서식하는 현생 물떼새의 발자국 도안이다.



그림 76 | 현생 물떼새 발자국 도안. 번호: 국립중앙과학관 표본 관리번호. 축적 1cm.

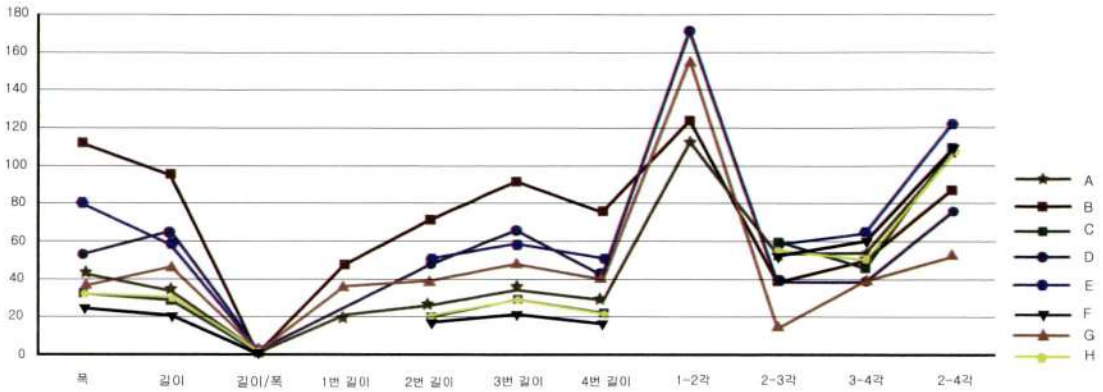


그림 77 | 현생 새발자국과 함안 용산리 새발자국 개별 요소에 대한 분석표(공달용과 김태형, 2008).

1.3.2. 물갈퀴 달린 새발자국(?) 화석 기재

용산리 화석산지에서 산출되는 *Koreanaornis hamanensis*는 물갈퀴가 없고, 제1지(hallux)는 불분명하나 제2지(digit II), 제3지(digit III) 및 제4지(digit IV)는 잘 보존되어 있으며 그 길이는 각각 18.1mm, 24.5mm, 18.5mm이다(김봉균, 1969). 김봉균은 *Koreanaornis hamanensis*를 현생 도요목(Charadriiformes)에 속하는 흰목물떼새(Long-billed Plover)와 유사한 것으로 판단하였다.

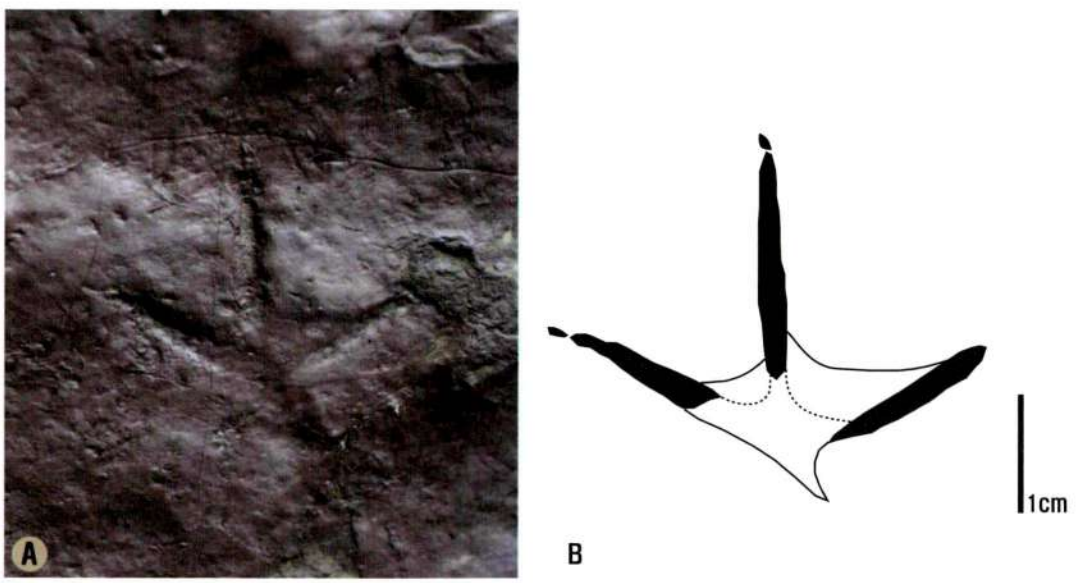


그림 78 | 용산리 화석산지에서 발견된 물갈퀴 새발자국 화석과 모식도(공달용 외, 2009C).

도요목은 주로 해안, 갯벌, 호수, 논, 하구, 모래 해안 등에 서식하며 갈매기과(Laridae)와 일부 종을 제외하고는 대부분 물갈퀴(web)가 없고 부리 모양은 가늘고 긴 것이 특징이다. 용산리 화석산지에서는 물갈퀴 달린 새발자국 화석으로 의심되는 발자국이 발견되었다(그림 78).

이에 대해 현재 연구가 진행 중이며, 일부 내용은 한국고생물학회 제25차 학술발표회에 발표되었다(공달용 외, 2009C). 용산리 화석산지의 새발자국 화석들을 실측하여 분석해 본 결과, 적어도 2종 이상의 새발자국으로 판명 되었으며, 2종의 새발자국 화석은 *Koreanaornis hamanensis*와 *Jindongornipes kimi*로 판단되나 일부 값들은 기존에 알려진 2종의 새발자국 이외에 새로운 새발자국의 가능성을 나타내고 있다(공달용과 김태형, 2008). 이 또한 현재 연구가 진행 중이며, 일부 내용은 한국고생물학회 제25차 학술발표회에 발표되었다(공달용 외, 2009C). 이번에 발견된 물갈퀴달린 새발자국 화석은 2지와 3지 사이에서 물갈퀴(web) 자국이 선명하게 관찰되나, 3지와 4지 사이에서는 물갈퀴가 덜 발달된 흔적을 보이며 비교적 희미하게 관찰된다(그림 78). 이는 일반적인 섭금류(Waders)의 조류에서 관찰되는 single-web 혹은 Symmetrical double - web의 형태와는 다른 Asymmetrical double - web의 형태를 보인다. 이들 물갈퀴 달린 새발자국은 *Koreanaornis hamanensis*와 함께 발견되었는데, 물갈퀴 달린 새발자국 화석이 갖는 정보(발자국 폭, 길이, 길이/폭, 2지 - 4지의 길이 등) 역시 물갈퀴만 없다면 기존의 *Koreanaornis hamanensis*와 유사한 값을 보인다(표 56). 따라서 본 화석산지에서 발견된 물갈퀴 달린 새발자국 화석이 「*Koreanaornis hamanensis*와 동일한 새발자국 화석인가?」아니면 「새로운 종류의 새발자국 화석인가?」 하는 의문을 갖게 된다. 실제로 물갈퀴를 갖는 현생 섭금류(Waders)의 새들이 갯벌이나 모래 해안, 호수 등지에 발자국을 남기지만 대부분의 발자국에서 물갈퀴는 잘 관찰되지 않으며, 동일한 발자국의 보행렬에서도 발자국이 찍힌 곳의 퇴적물의 상태(수분의 함량 정도 등)에 따라 일부 발자국에서만 물갈퀴가 관찰된다(공달용 외, 2009 참조). 따라서 천연기념물 제222호 함안 용산리 함안층의 새발자국 화석산지에 대한 보다 정밀한 심층 연구와 분석이 중생대 새발자국의 형태적 특징 및 분류학적 연구에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

표 56 | *Koreanaornis hamanensis*와 새로 발견된 물갈퀴 새발자국 측정값(공달용 외, 2009)

(단위: mm)

Type	W	L	L/W	Digit I	II	III	IV	II-III (°)	III-IV (°)	II-IV (°)
K. hamanensis	32	30.6	0.99	–	20.89	29	21.21	55.4	49.5	105
New	40	32	0.80	?	21	30	24	56	54	110

1.3.3. 새로운 새발자국 화석

용산리 화석산지의 새발자국 화석의 분석 값을 보면, 적어도 2종 이상의 새발자국으로 판명 되었다(*Koreanaornis hamanensis*와 *Jindongpmipes kimi*로 2종). 그러나 일부 값들은 기존에 알려진 2종의 새발자국 이외에 새로운 새발자국의 가능성을 나타내고 있다(공달용과 김태형, 2008). 이는 완전한 연구가 이루어지지 않았지만, 몇몇 발자국들은 기존에 알려진 발자국의 특징과 다른 모습을 보이고 있다(그림 79). 이 새발자국과 기존 새발자국에 대한 자세한 연구가 이루어지면 보다 정확한 해석을 할 수 있을 것으로 기대한다.

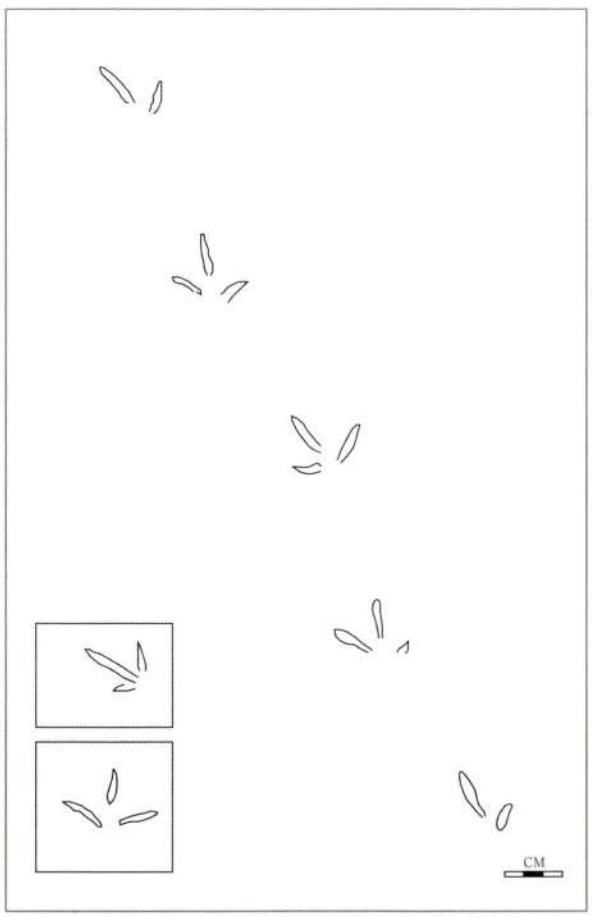


그림 79 | 용산리 화석산지에서 새로 발견된 새발자국과 보행렬(공달용 외, 2010).

1.3.4. 공룡발자국

용산리 화석산지에서는 기존에 알려진 용각류 발자국(6개) 외, 추가로 10여 개의 새로운 공룡 발자국이 발견되었다. 2009년 용산리 새발자국 화석산지에 대한 3D 정밀 실측 작업이 진행되었다. 3D 실측 후, 스캔 데이터를 메쉬화 하여 렌더링 이미지로 만드는 과정에서 기존에 보고되지 않은 새로운 공룡발자국들의 윤곽이 드러났다(그림 80). 이 발자국들은 육안으로 관찰되지 않는 발자국들이다. 발자국은 약 15개 이상이 확인되었으며 원래 발자국이 있던 모암이 사라진 뒤, 아래 층준에 남은 일종의 언더프린트(underprints)로 여겨진다.

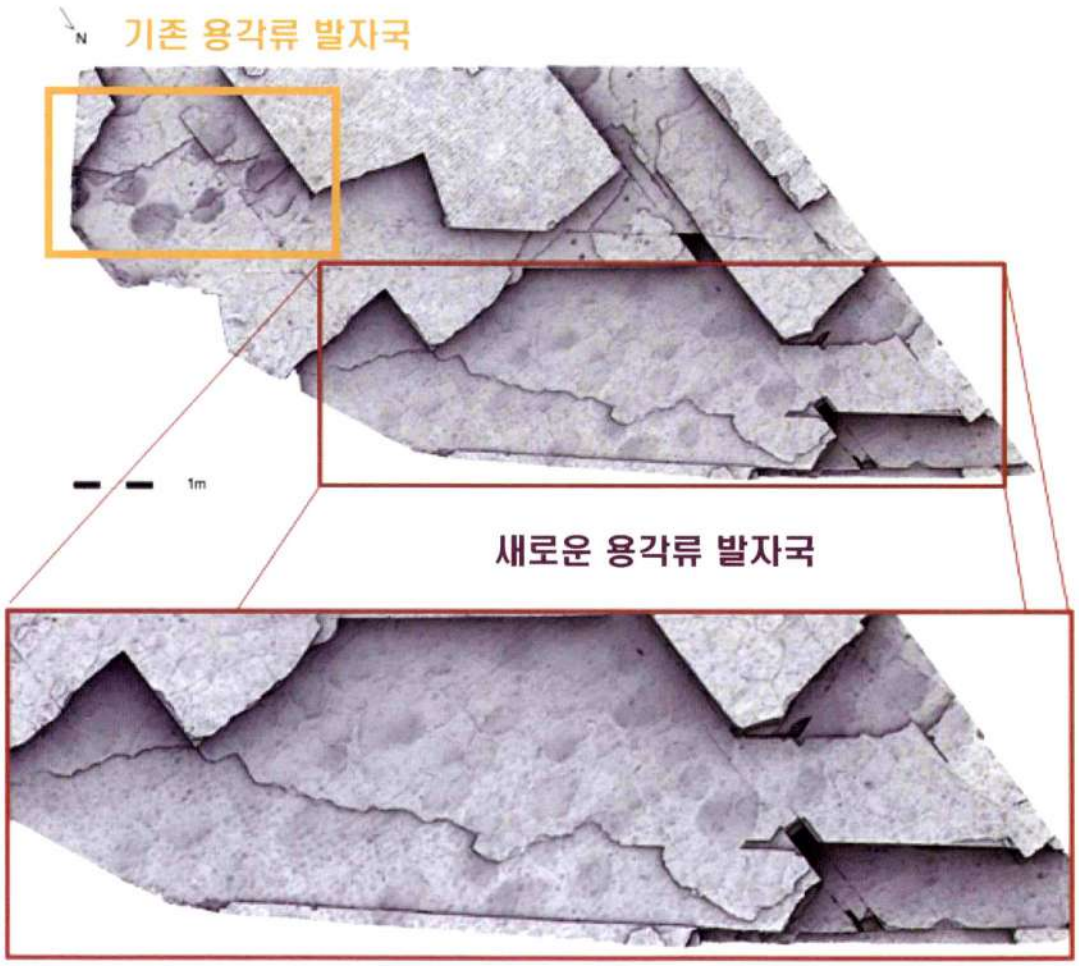


그림 80 | 용산리 화석산지에서 새로 발견된 용각류 발자국의 랜더링 이미지(공달용 외 2010).

| 2 | 화석산지 관리 실태

새발자국 화석산지는 용두산 중턱에 위치하며, 주변에는 논과 소규모 공장들이 밀집되어 있다. 화석산지 초입까지 소형 차량 진입이 가능하여 접근성은 좋은 편이다. 소규모 공장지대를 지나면 농로가 정비되어 있고, 농로가 끝나는 부분에 화석산지를 오르는 계단식 진입로(폭 4~8m, 길이 65m)가 정비되어 있다. 그러나 농로가 끝나는 부분부터 계단식 진입로까지 관리가 되지 않아 식생들로 덮여 있다(그림 81). 따라서 주기적인 환경 정비가 필요하다.

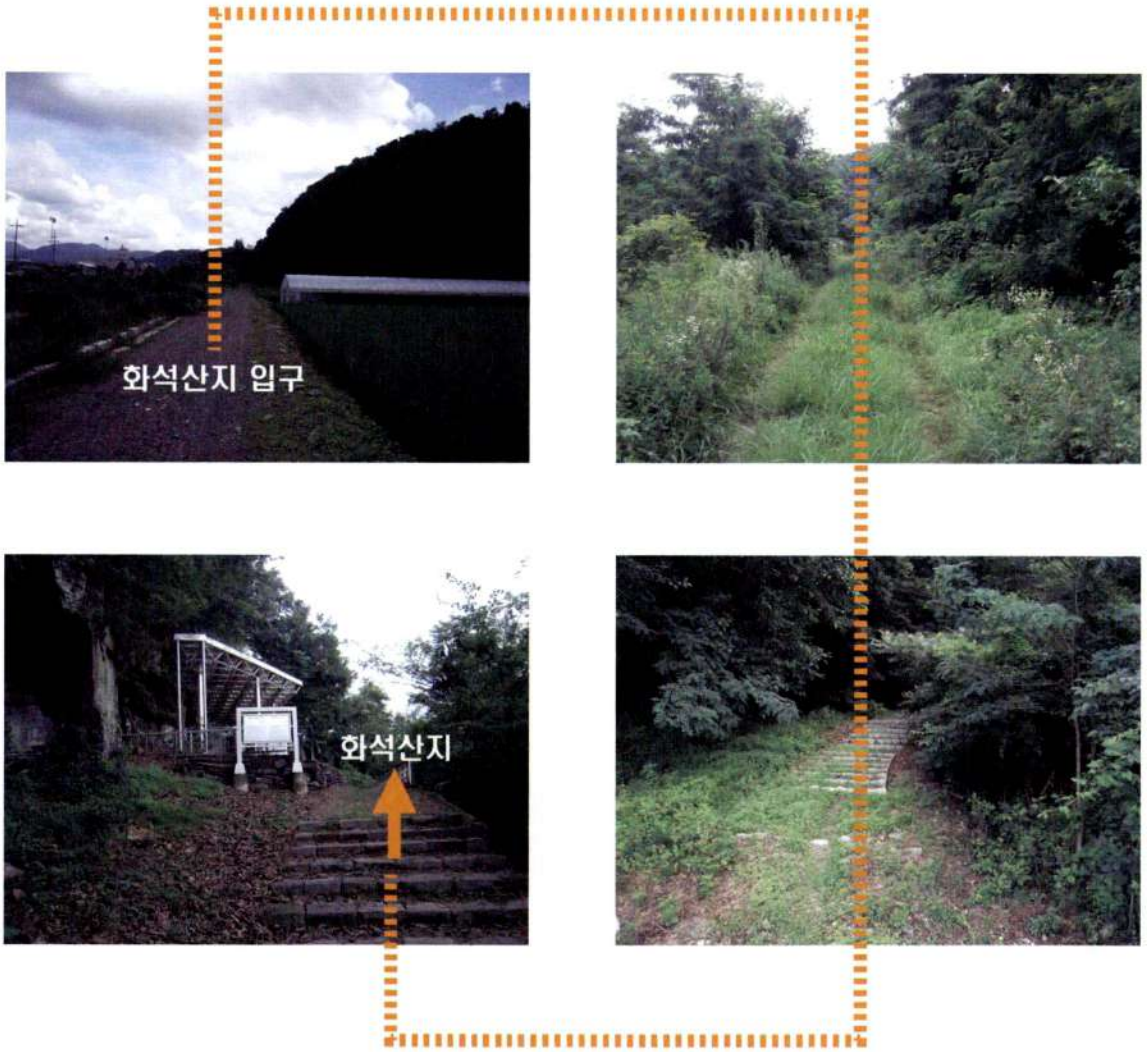


그림 81| 화석산지 입구(농로)에서 화석산지까지 발달한 진입로 전경.

또한, 화석산지에 대한 환경 정비도 필요하다. 화석산지는 산속에 위치하고 있기에 낙엽이 많이 쌓이게 되고, 이렇게 쌓인 낙엽을 주기적으로 제거해 주지 않으면 낙엽을 토양과 거름 삼아 초본 식물들이 자라게 된다(그림 82). 이는 곧 화석산지 훼손의 원인이 되기도 한다.

화석산지 설명 안내판 일부 문안에 대한 수정이 요구된다. 새로 설치된 설명판의 문안은 기존 설명판에 있던 설명 문안을 그대로 인용하여 제작한 듯하다. 작업과정에서 일부 수정이 필요한 문안이 그대로 삽입되어 있으므로 정비가 필요하다(그림 83B).



그림 82| 함안 용산리 화석산지 모습. 오래된 낙엽과 초본으로 덮여 있음.

새발자국 화석의 보호를 위해 설치한 보호각으로 인해, 보호각 밖에서는 안쪽에 찍혀 있는 새발자국 화석을 전혀 관찰할 수 없다(그림 84). 새발자국은 공룡발자국과 달리 그 크기가 매우 작고, 퇴적면에 찍힌 자국의 선명도 역시 대단히 약하기에 더욱 그러하다. 따라서 새발자국과 공룡발자국의 모습이 잘 나타난 여러 장의 사진과 자료 등을 출력하여 보호각 유리벽에 설치하여 관람객의 편의를 도모하고 보다 많은 정보를 제공하는 데 노력을 기울여야 할 것이다.

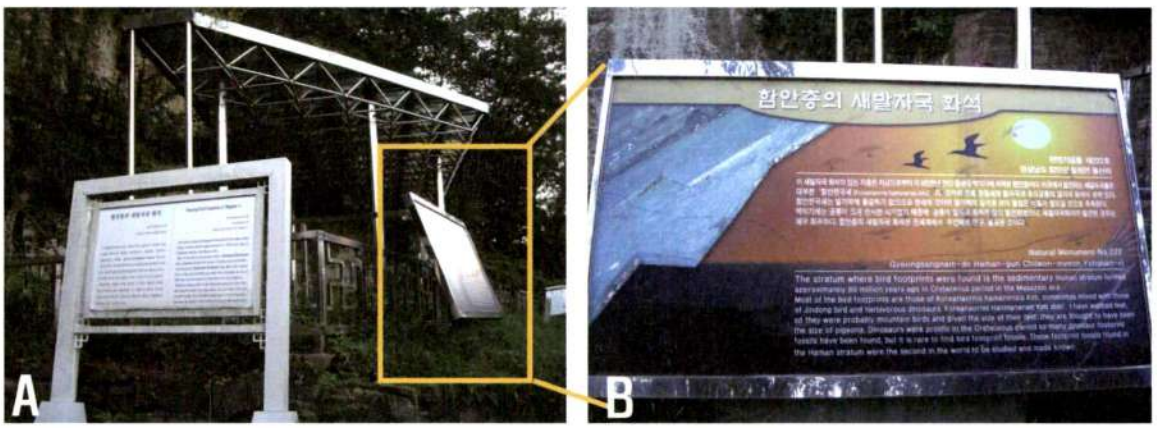


그림 83| 함안 용산리 새발자국 화석산지에 설치되어 있는 안내 설명판.
A: 기존 안내 설명판, B: 새로 설치한 안내 설명판.



그림 84| 용산리 화석산지 보호각 모습. 철재 유리부분 활용을 통해 보다 자세한 정보 제공 가능.

| 3 | 모니터링 대장 작성

표 57 | 화석산지 모니터링 체크 리스트: 천연기념물 제222호 함안 용산리 함안층의 새발자국 화석산지(2011)

화석산지 모니터링 체크 리스트 **조사일: 2011. 7. 14.**

① 지정 번호	천기 222호	**② 지정 명칭**	함안 용산리 함안층의 새발자국 화석산지
③ 소 재 지	경남 함안군 칠원면 용산리 299번지 일원		

모니터링 항목		조 사 내 용
④ 사이트 환경		☑산 ☐바닷가 ☐섬 ☐하천 ☐도로 ☐ 기타( )
⑤ 접근성	내륙(바닷가)	☐진입 불가 ☑소형 차량 진입 가능 ☐모든 차량 진입 가능
	섬	☐무인도 ☐유인도(여객선 운항 횟수 기재/일)
⑥ 관광지 개발 여부		☑해당 없음 ☐준관광지 ☐관광지
⑦ 1일 방문자 수		☑10명 미만 ☐10~30명 미만 ☐30~50명 미만 ☐50~100명 미만 ☐100명 이상
⑧ 문화재 구역 관리 실태		☑부적합 ☐보통 ☐우수 ☐대단히 우수 • 진입로, 화석산지 내부 및 외부의 식생 제거 필요 • 화석산지 내부 토양 제거 • 화석산지 보호각 청소 필요 • 화석산지 안내 설명 문안 수정 필요
⑨ 화석 현황		• 새발자국 – *Koreanaornis hamanensis*, *Jindongornipes kimi* • 물갈퀴 달린 새발자국(?) 화석 • 초식공룡 용각류 발자국 • 무척추동물의 생흔 • 기타 퇴적 구조: 물결 자국, 건열
⑩ 훼손 현황		• 지정 당시에 비해 25% 정도만 보존되어 있는 상태임. • 현재는 더 이상의 화석 훼손은 없으나, 주변 암반의 주기적인 모니터링이 필요함. 화석산지를 끼고 있는 절벽의 붕괴 가능성도 존재함.

⑪ 생물(식생) 침해	• 화석산지 내 식물이 많이 자라고 있음. 주기적인 식생 제거 및 화석산지 내부의 표토 제거 필요. 
⑫ 추가 확인된 화석	–
⑬ 조사자 의견	• 화석산지 절벽 노두에 국부적인 균열 관찰 됨. 주기적인 모니터링 필요함. 정기적인 식생의 제거와 청소를 통한 환경 정비 시급함.
⑭ 사진 촬영	화석산지 전체 및 개별 사진 촬영
	

표 58 | 화석산지 모니터링 체크 리스트: 천연기념물 제222호 함안 용산리 함안층의 새발자국 화석산지(2010)

화석산지 모니터링 체크 리스트 조사일: 2010. 9. 30.

① 지정 번호	천기 222호	② 지정 명칭	함안 용산리 함안층의 새발자국 화석산지
③ 소 재 지	경남 함안군 칠원면 용산리 299번지 일원		

모니터링 항목		조 사 내 용
④ 사이트 환경		☑산 ☐바닷가 ☐섬 ☐하천 ☐도로 ☐ 기타( )
⑤ 접근성	내륙(바닷가)	☐진입 불가 ☑소형 차량 진입 가능 ☐모든 차량 진입 가능
	섬	☐무인도 ☐유인도(여객선 운항 횟수 기재/일)
⑥ 관광지 개발 여부		☑해당 없음 ☐준관광지 ☐관광지
⑦ 1일 방문자 수		☑10명 미만 ☐10~30명 미만 ☐30~50명 미만 ☐50~100명 미만 ☐100명 이상
⑧ 문화재 구역 관리 실태		☐부적합 ☑보통 ☐우수 ☐대단히 우수 • 진입로 및 화석산지 내부 및 외부의 식생 제거 필요 • 화석산지 보호각 청소 필요 • 화석산지 내부 오물(야생 짐승, 들개 등) 주기적 청소 필요 • 화석산지 내부 토양 제거 필요
⑨ 화석 현황		• 새발자국 – *Koreanaornis hamanensis*, *Jindongornipes kimi* • 물갈퀴 달린 새발자국(?) 화석 • 초식공룡 용각류 발자국 • 무척추동물의 생흔 • 기타 퇴적 구조: 물결 자국, 건열
⑩ 훼손 현황		지정 당시에 비해 25% 정도만 보존되어 있는 상태임. 현재는 더 이상의 화석 훼손은 없으나, 주변 암반의 주기적인 모니터링이 필요함.

⑪ 생물(식생) 침해	• 화석산지 내 식물이 많이 자라고 있음. 주기적인 식생 제거 및 야생 동물의 오물 주기적 청소, 화석산지 내부의 표토 제거 필요.  
⑫ 추가 확인된 화석	• 물갈퀴 새발자국 화석 발견: Asymmetrical single-web
⑬ 조사자 의견	• 노두에 국부적인 균열 관찰. 주기적인 식생의 제거, 주변 표토의 제거 및 모니터링 필요
⑭ 사진 촬영	개별 새발자국 화석 사진



표 59 | 화석산지 모니터링 체크 리스트: 천연기념물 제222호 함안 용산리 함안층의 새발자국 화석산지(2009)

화석산지 모니터링 체크 리스트 조사일: 2009. 3. 19.

① 지정 번호	천기 222호	② 지정 명칭	함안 용산리 함안층의 새발자국 화석산지
③ 소 재 지	경남 함안군 칠원면 용산리 299번지 일원		

모니터링 항목		조 사 내 용
④ 사이트 환경		☑산 ☐바닷가 ☐섬 ☐하천 ☐도로 ☐ 기타( )
⑤ 접근성	내륙(바닷가)	☐진입 불가 ☑소형 차량 진입 가능 ☐모든 차량 진입 가능
	섬	☐무인도 ☐유인도(여객선 운항 횟수 기재/일)
⑥ 관광지 개발 여부		☑해당 없음 ☐준관광지 ☐관광지
⑦ 1일 방문자 수		☑10명 미만 ☐10~30명 미만 ☐30~50명 미만 ☐50~100명 미만 ☐100명 이상
⑧ 문화재 구역 관리 실태		☐부적합 ☑보통 ☐우수 ☐대단히 우수 • 진입로 및 화석산지 주변의 식생 제거 필요 • 1992년 이후 새발자국 화석의 훼손은 없음
⑨ 화석 현황		• 새발자국 – *Koreanaornis hamanensis*, *Jindongornipes kimi* • 물갈퀴 새발자국 화석 발견: Asymmetrical single-web – 추가 연구 진행 중. • 초식공룡 용각류 발자국 • 무척추동물의 생흔 • 기타 퇴적 구조: 물결 자국, 건열
⑩ 훼손 현황		지정 당시에 비해 25% 정도만 보존되어 있는 상태임. 현재는 더 이상의 화석 훼손은 없으나, 주기적인 모니터링이 필요

⑪ 생물(식생) 침해	• 화석산지 내 식물이 많이 자라고 있음. 주기적인 식생 제거 및 화석산지 주변의 표토 제거 필요. 
⑫ 추가 확인된 화석	• 물갈퀴 새발자국 화석 발견: Asymmetrical single-web
⑬ 조사자 의견	• 노두에 국부적인 균열 관찰. 주기적인 식생의 제거, 주변 표토의 제거 및 모니터링 필요
⑭ 사진 촬영	3D 실측 완료 및 1973년 문화재 대관 작성 당시의 사진 등 확보.



표 60 | 화석산지 모니터링 체크 리스트: 천연기념물 제222호 함안 용산리 함안층의 새발자국 화석산지(2008)

화석산지 모니터링 체크 리스트 조사일: 2008. 6. 12.

① 지정 번호	천기 222호	② 지정 명칭	함안 용산리 함안층의 새발자국 화석산지
③ 소 재 지	경남 함안군 칠원면 용산리 299번지 일원		

모니터링 항목		조 사 내 용
④ 사이트 환경		☑산 ☐바닷가 ☐섬 ☐하천 ☐도로 ☐ 기타( )
⑤ 접근성	내륙(바닷가)	☐진입 불가 ☑소형 차량 진입 가능 ☐모든 차량 진입 가능
	섬	☐무인도 ☐유인도(여객선 운항 횟수 기재/일)
⑥ 관광지 개발 여부		☑해당 없음 ☐준관광지 ☐관광지
⑦ 1일 방문자 수		☑10명 미만 ☐10~30명 미만 ☐30~50명 미만 ☐50~100명 미만 ☐100명 이상
⑧ 문화재 구역 관리 실태		☐부적합 ☑보통 ☐우수 ☐대단히 우수 • 진입로 및 화석산지 주변의 식생 제거 (특히, 화석산지 보호 시설물 내 식생 생육 환경 원인 제거를 통한 식생 발생 억제, 주기적 주변 환경 정비 필요) • 1992년 이후 새발자국 화석의 훼손은 없음 
⑨ 화석 현황		• 새발자국 – *Koreanaornis hamanensis, Jindongornipes kimi* • 초식공룡 용각류 발자국 • 무척추동물의 생흔 • 기타 퇴적 구조: 물결 자국, 건열 등

⑩ 훼손 현황	• 훼손 현상 발견되지 않음. • 지층의 사면 등에 대한 주기적인 모니터링이 필요
⑪ 생물(식생) 침해	화석산지 내 식물이 많이 자라고 있음. 화석산지 주변의 표토 제거 필요 
⑫ 추가 확인된 화석	–
⑬ 조사자 의견	• 노두에 국부적인 균열 관찰. 주기적인 모니터링 필요 * 지정 명칭 변경: (기존) 함안층의 새발자국 화석지 → (변경) 함안 용산리의 함안층의 새발자국 화석산지 • 화석산지가 있는 용두산 서북쪽 사면의 전석에서 새발자국 화석이 발견됨. 따라서 용두산 전체에 대한 정밀 조사가 요구 됨.
⑭ 사진 촬영	동 · 서 · 남 · 북 근접 촬영




표 61 | 화석산지 모니터링 체크 리스트: 천연기념물 제222호 함안 용산리 함안층의 새발자국 화석산지(2007)

화석산지 모니터링 체크 리스트 조사일: 2007. 4. .

① 지정 번호	천기 222호	② 지정 명칭	함안 용산리 함안층의 새발자국 화석산지
③ 소 재 지	경남 함안군 칠원면 용산리 299번지 일원		

모니터링 항목		조 사 내 용
④ 사이트 환경		☑산 ☐바닷가 ☐섬 ☐하천 ☐도로 ☐ 기타( )
⑤ 접근성	내륙(바닷가)	☐진입 불가 ☑소형 차량 진입 가능 ☐모든 차량 진입 가능
	섬	☐무인도 ☐유인도(여객선 운항 횟수 기재/일)
⑥ 관광지 개발 여부		☑해당 없음 ☐준관광지 ☐관광지
⑦ 1일 방문자 수		☑10명 미만 ☐10~30명 미만 ☐30~50명 미만 ☐50~100명 미만 ☐100명 이상
⑧ 문화재구역 관리실태		☐부적합 ☑보통 ☐우수 ☐대단히 우수 • 진입로 및 화석산지 주변의 식생 제거 필요 • 1992년 이후 새발자국 화석의 훼손은 없음
⑨ 화석 현황		• 새발자국 – *Koreanaornis hamanensis*, *Jindongornipes kimi* • 초식공룡 용각류 발자국 • 무척추동물의 생흔 • 기타 퇴적 구조: 물결 자국, 건열
⑩ 훼손 현황		지정 당시에 비해 25% 정도만 보존되어 있는 상태임. 현재는 더 이상의 화석 훼손은 없으나, 주기적인 모니터링이 필요

⑪ 생물(식생) 침해	화석산지 내 식물이 많이 자라고 있음. 화석지 주변의 표토 제거 필요 
⑫ 추가 확인된 화석	-
⑬ 조사자 의견	노두에 국부적인 균열 관찰. 주기적인 모니터링 필요
⑭ 사진 촬영	동 · 서 · 남 · 북 근접 촬영



10 천연기념물 제474호 사천 아두섬 공룡 화석산지 2007~2011

| 1 | 화석산지 현황

1.1. 화석산지 개요

천연기념물 제474호 사천 아두섬 공룡화석산지는 사천시 신수동에 있는 무인도서로 그 면적은 9,025㎡이다. 이 곳은 사천시 남서쪽에 위치며 사천 선착장에서 약 3.5km 떨어져 있다. 아두섬은 무인도로 관광객 등의 방문은 드문 반면 어업 활동을 위한 배들이 간혹 정박하고 있으며, 아두섬의 동쪽 약 1.5km에는 인구 600명 정도가 거주하는 신수도(신수동)가 있다. 아두섬에서의 어업 활동은 이곳 신수도 주민들에 의해서 이루어지고 있다(그림 85).

아두섬 화석산지 주변은 강한 조류(tidal current)의 흐름으로 배의 정박이 어렵다. 신수도 주민들의 어업 활동, 신수도 화석산지의 주기적인 환경 정비 및 모니터링을 수행하기 위해 2008년 배의 접안 시설이 설치되었다.

본 조사 지역에서는 공룡발자국과 익룡발자국이 동일한 지층에서 발견되고 있으며, 수십여 개의 공룡 뼈 조각들이 주변의 암석에서 관찰된다. 이 외에도 다수의 공룡알 화석과 새발자국 화석, 그리고 소형 육식공룡의 발자국들이 화석산지 곳곳에서 관찰된다.

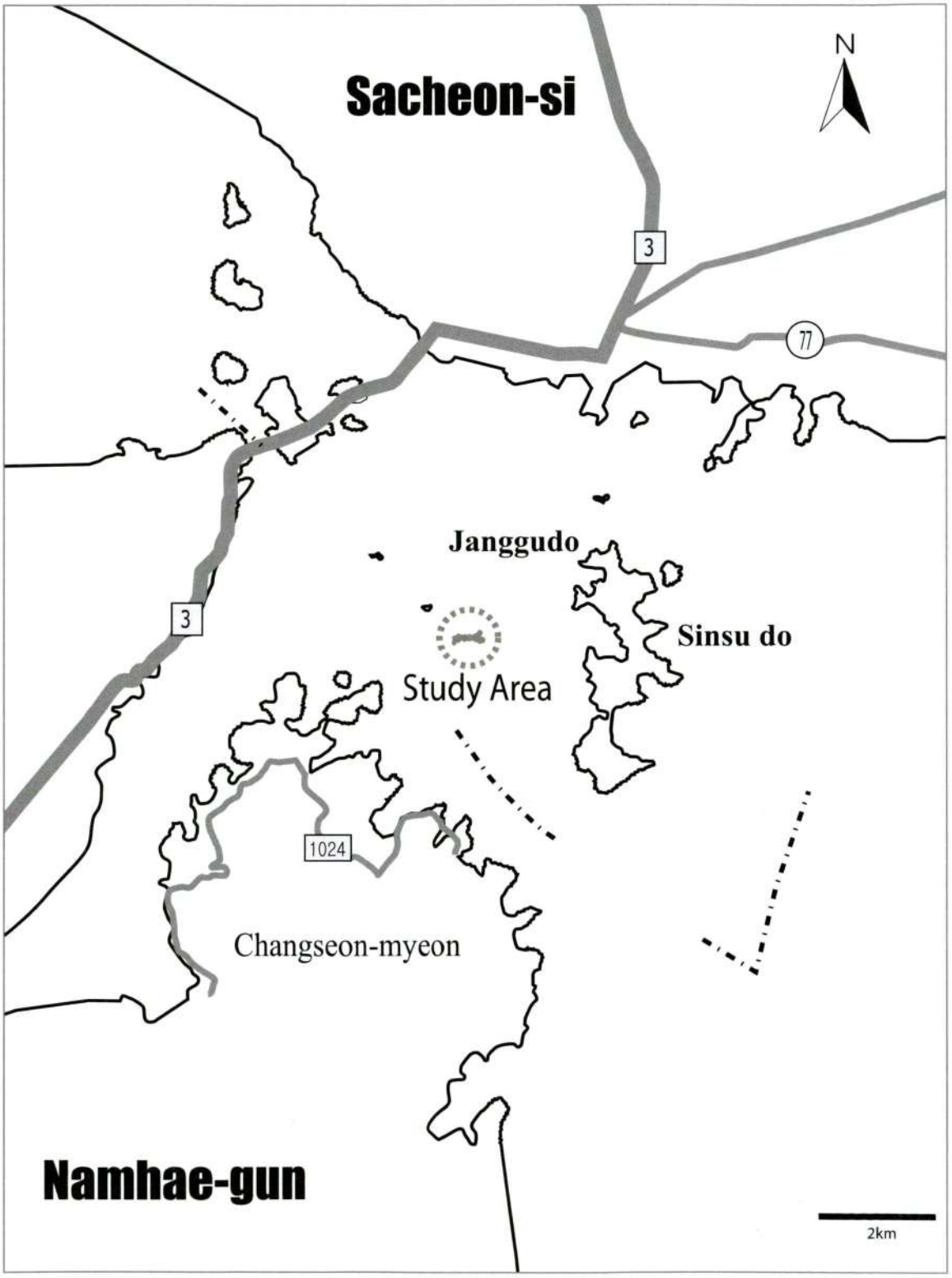


그림 85| 사천 아두섬 공룡 화석산지 위치도(공달용과 김태형, 2008).

1.2. 조사 지역의 지질

사천 아두섬 공룡화석지는 중생대 백악기 함안층에 속하며, 함안층의 세립질 사암과 녹회색 및 암회색 셰일로 이루어져 있다. 경상분지의 최남단에 위치한 아두섬과 인접한 신수도는 대부분 함안층이나 신수도 동쪽 일부와 남단에서는 진동층이 퇴적되어있다(그림 86). 진동층은 하부의 함안층과는 정합적으로 놓이며 암회색 셰일 및 사암으로 구성되며 많은 부분이 혼펠스화 되어 있다. 아두섬 주변에는 부분적으로 관입한 흔적이 관찰되며 일부 지역에서는 혼펠스화되어 치밀한 암석 조직을 보인다. 조사 지역인 함안층의 주향은 N30-40° E, 경사는 10-20° SE이다.

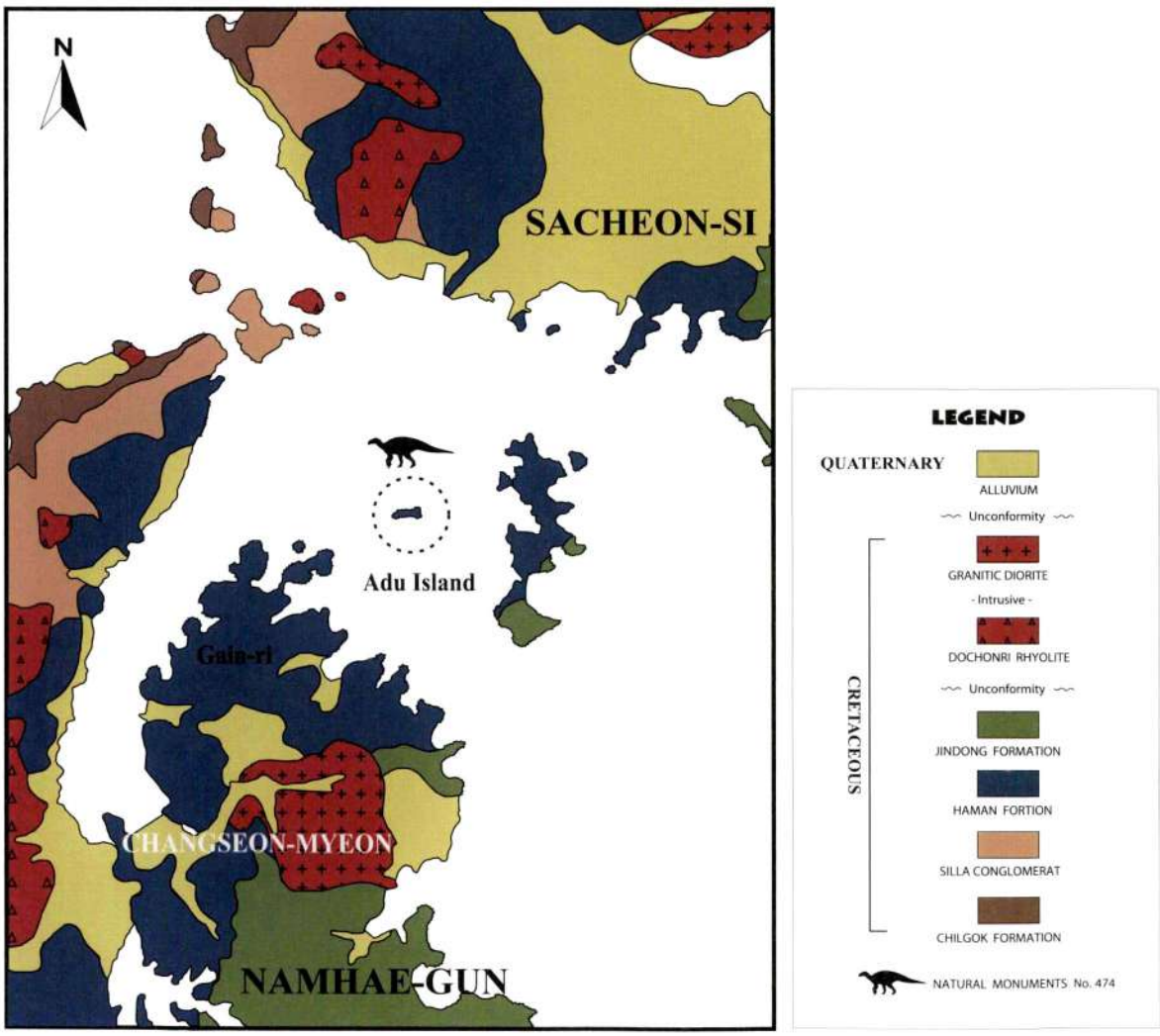


그림 86| 조사지역 및 주변지역 지질도(장기홍 외, 1989).

1.3. 아두섬 화석 개요

이곳 아두섬에서는 중요한 화석들이 많이 발견된다. 발견되는 화석들은 공룡발자국, 익룡발자국, 새발자국, 공룡알 및 공룡뼈 등이다. 공룡발자국은 아두섬의 여러 층준에서 관찰되고 있다. 그 중에서도 아두섬 서쪽 해안의 노두에서는 매우 보존상태가 좋은 공룡발자국과 익룡발자국이 관찰되며(그림 87), 접안 시설 인근 노두에서는 소형 육식공룡의 발자국이 10여 개 보존되어 있다(그림 90).

산출되는 화석에 대한 자세한 설명은 2007년~2010년 모니터링 보고서에 기재되었기에 생략한다(공달용과 남상찬, 2007; 공달용과 김태형, 2008; 공달용 외, 2009; 공달용 외, 2010 참조).

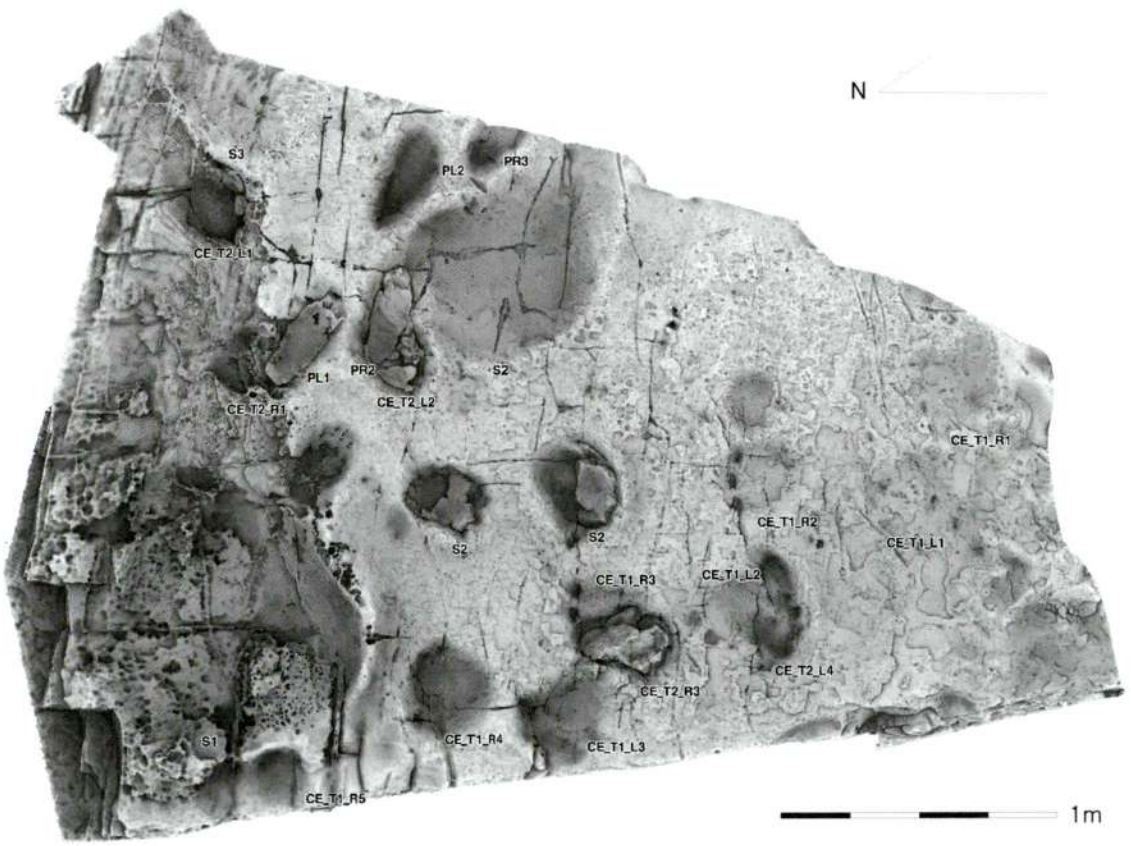


그림 87| 조사지역의 서쪽 해안 노두에서 관찰되는 공룡과 익룡발자국의 3D 스캔 데이터 렌더링 이미지(원광연 외, 2009).

1.3.1. 특이 형태 공룡발자국

아두섬에서 관찰되는 공룡발자국 중에는 매우 특이한 형태의 발자국이 있다(그림 88). 이들 발자국은 주변에서 관찰되는 조각류 발자국이나 우리나라의 다른 지역에서 관찰되는 발자국과는 확연히 구별된다. 발자국의 형태와 보행 패턴은 작은 안킬로사우루스(ankylosaur)나 각룡류(ceratopsian)의 발자국과도 유사하다. 전 세계적으로 발견되는 안킬로사우루스나 각룡류의 발자국들은 발자국의 크기가 대체로 큰 편이나 아두섬의 공룡발자국은 그에 비해 크기가 아주 작은 편에 속한다. 그러나 조각류 발자국도 배제할 수 없다. 이들에 대한 연구가 현재진행 중이며, 3차원 디지털 기술을 활용하여, 공룡발자국의 보행 패턴, 이동, 속도 변화 등 공룡발자국의 다양한 연구를 진행하고 있다(그림 89).

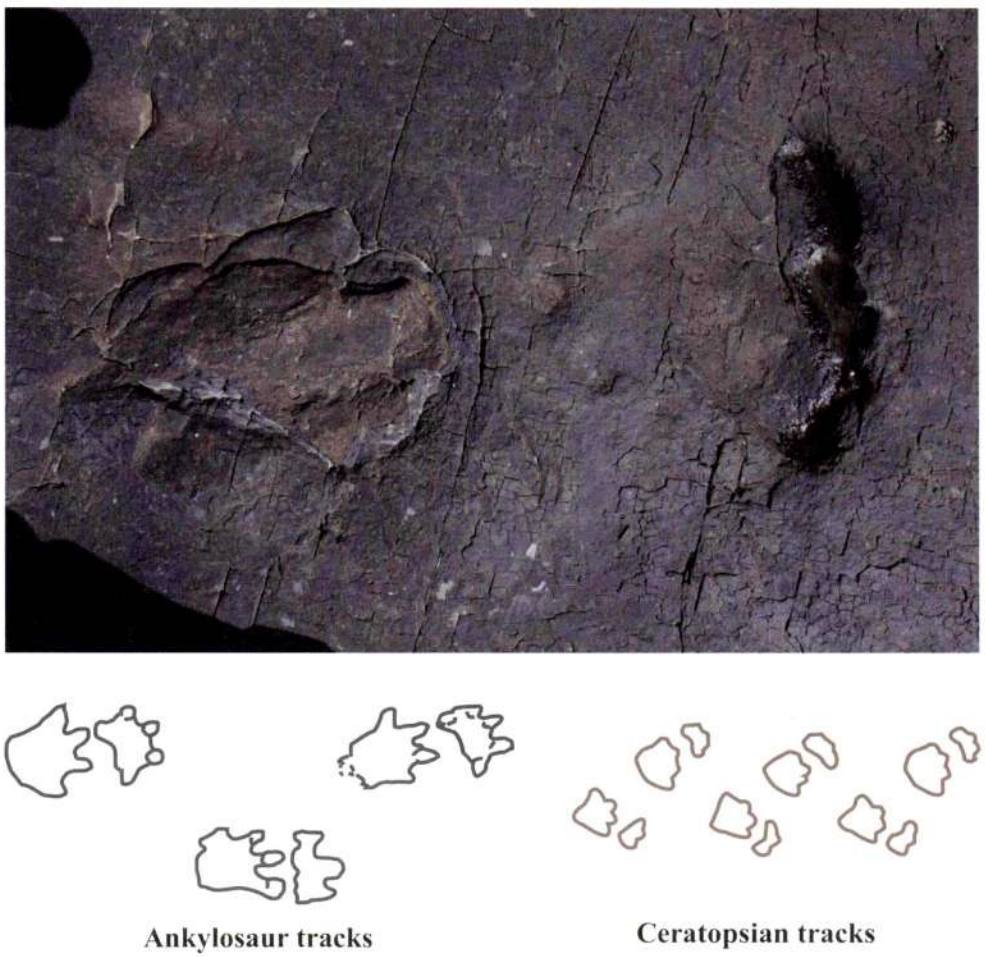


그림 88| 아두섬에서 관찰되는 특이한 형태의 공룡발자국(위)과 안킬로사우루스(ankylosaur) / 각룡류(ceratopsian) 발자국 모식도(공달용 외, 2010).

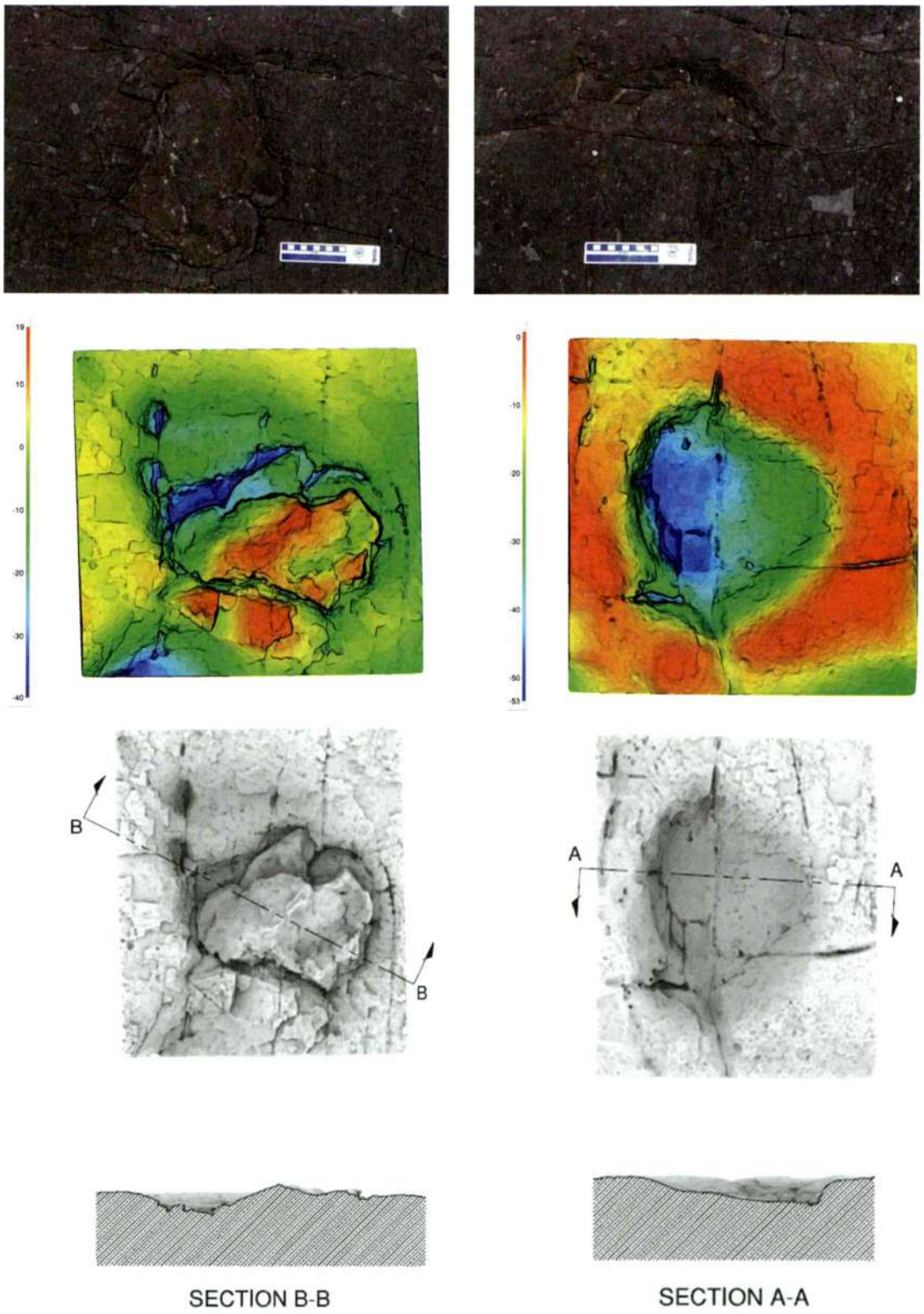


그림 89| 특이 공룡발자국의 3D 컬러램프 및 평면도와 단면도.
A, B: 특이 공룡발자국, C, D: 3D 컬러램프, E, F: 발자국의 평면도와 단면도(원광연 외, 2009).

1.3.2. 소형 육식공룡발자국

아두섬 접안 시설 인근 노두(GPS: N 34° 53′ 53.3″ E 128° 03′ 35.7″)에서 소형 육식공룡의 발자국이 19개 발견되었다(그림 90). 발자국의 길이(length)는 평균 80.45mm, 폭(width) 46.87mm이며 보폭(stride)은 33.5mm이다(표 62). 발자국은 2개의 층준에서 나타나며, 발자국 주변에는 작은 크기의 목재 화석들이 함께 보존되어 있다.

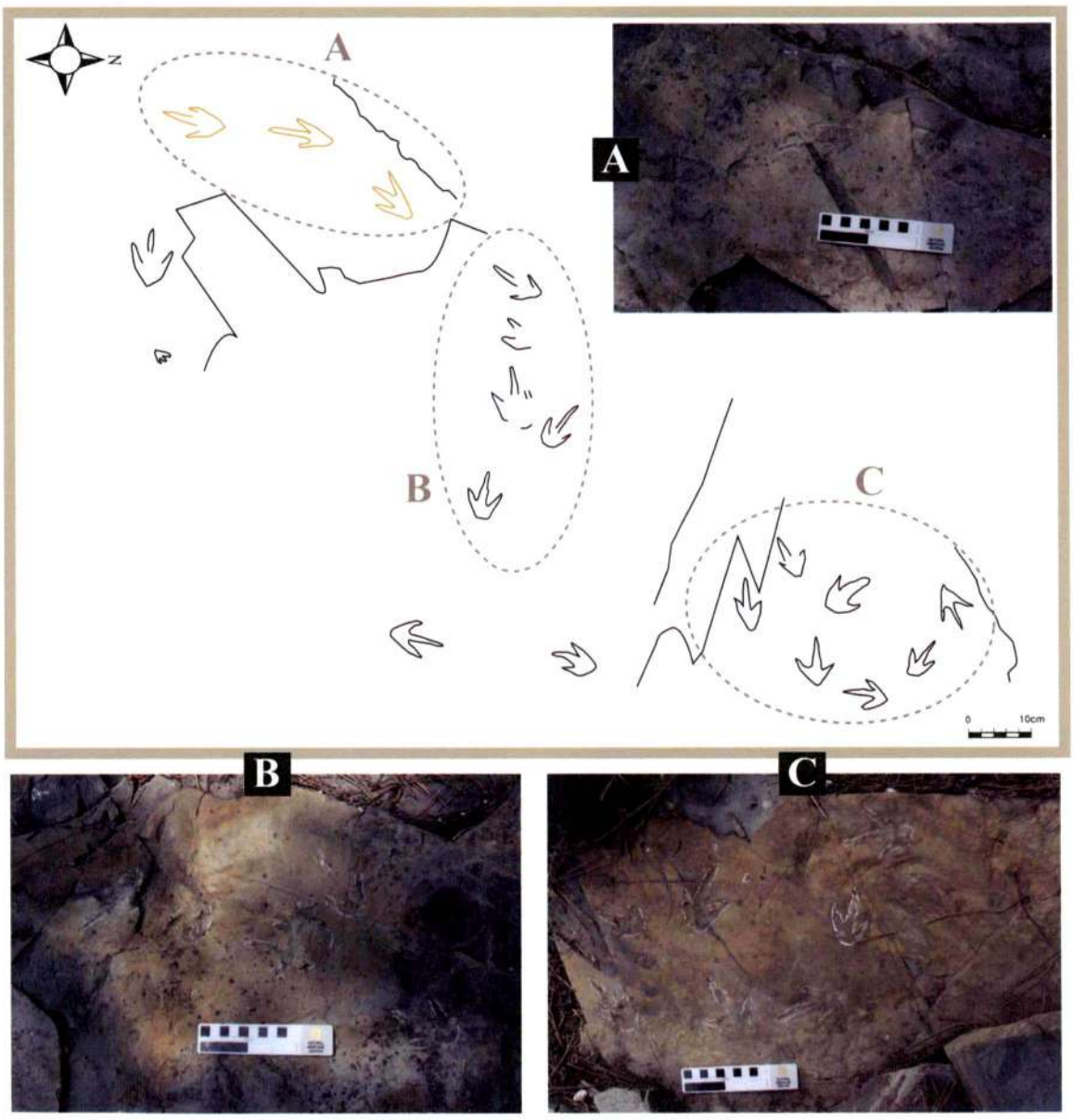


그림 90 | 아두섬 화석산지에서 산출되는 소형 육식공룡 발자국.

표 62| 아두섬 화석산지 소형 육식공룡 발자국 측정값

(단위: mm)

NO.	소형 육식공룡발자국		
	Length	Width	Stride
1	87.74	46.32	
2	91.55	37.22	
3	78.05	41.79	33.5
4	86.35	46.34	
5	72.13	42.84	
6	89.20	48.04	
7	76.50	47.65	
8	76.91	50.24	
9	78.29	40.72	
10	87.02	52.40	
11	83.30	49.85	
12	83.09	54.26	
13	80.41	43.74	
14	74.22	55.87	
15	79.70	46.96	
16	72.20	47.08	
17	71.36	43.49	
18	80.13	48.79	
Mean	80.45	46.87	33.5

총 19개의 소형 육식공룡발자국이 발견되었는데, 이 중 1개의 발자국은 보존 상태가 좋지 않아 제외 시켰다. 아두섬은 육식공룡발자국이 발견되는 지역과 달리 중 · 대형 육식공룡의 발자국은 발견되지 않고 소형 육식공룡발자국들만 산출되는 특징을 보인다. 인근 신수도에서도 많은 공룡발자국과 새발자국들이 보고되었다. 향후 아두섬과 신수도에서 산출되는 발자국 화석들에 대한 비교 연구를 실시할 예정이다.

| 2 | 화석산지 관리 실태

천연기념물 제474호 사천 아두섬 공룡 화석산지는 사람이 거주하지 않는 무인도라는 특수한 환경에 있어 인간에 의한 훼손은 상대적으로 적을 것으로 예상되었다. 그러나 이곳은 2007년 초, 공룡알 화석 1점이 누군가에 의해 인위적으로 파손되었다(공달용과 남상찬, 2007 참조). 그 이후로 더 이상의 훼손은 발생되고 있지 않다. 현재 아두섬은 2007년과 2008년 모니터링 조사에서 지적한 문화재 안내판이 설치되었으며, 공룡 및 익룡발자국 화석산지 주변에 산재되어 있던 작은 돌들이 제거되어 발자국 화석의 훼손 속도가 줄어들게 되었다. 또한, 2009년 「천연기념물 공룡발자국 3D 기록화 사업(3차)」에 의해 공룡 및 익룡발자국 화석산지에 대한 정밀 실측 작업이 수행되었다.

사천 아두섬 공룡 화석산지의 경우, 문화재로 지정된 다른 화석산지와 달리 사람의 접근이 어려운 무인도에 화석산지가 있고, 화석산지를 포함한 섬 전체가 문화재로 지정되어 있어 인위적 훼손은 다른 곳에 비해 낮은 편이다. 그러나 배의 접안 시설 설치로 더 쉽게 화석산지에 접근할 수 있게 되었다(그림 91). 그렇다고, 섬 전체에 대한 보호각의 설치, 문화재 관리인 상주 등 일반적인 보존관리 방안은 실효성이 낮으며, 인근 신수도(동)에 거주하는 주민들에게 화석산지 관리에 있어 협조를 받는 것이 필요하다. 우리 청에서 추진하고 있는 1문화재 1지킴이와 같은 형식으로 신수도(동) 주민들이 아두섬 화석지의 지킴이가 되는 방안이 한 방법일 것이다.



그림 91| 아두섬 화석산지에 설치된 접안 시설과 신수도 어민들 모습.

| 3 | 모니터링 대장 작성

표 63 | 화석산지 모니터링 체크 리스트: 천연기념물 제474호 사천 아두섬 공룡 화석산지(2011)

화석산지 모니터링 체크 리스트 조사일: 2011. 5. 19.

① 지정 번호	천기 474호	② 지정 명칭	사천 아두섬 공룡 화석산지
③ 소 재 지	경남 사천시 신수동 산 33-2		

모니터링 항목		조 사 내 용
④ 사이트 환경		□산 □바닷가 ☑섬 □하천 □도로 □ 기타( )
⑤ 접근성	내륙(바닷가)	□진입 불가 □소형 차량 진입 가능 □모든 차량 진입 가능
	섬	☑무인도 □유인도(여객선 운항 횟수 기재/일)
⑥ 관광지 개발 여부		☑해당 없음 □준관광지 □관광지
⑦ 1일 방문자 수		☑10명 미만 □10~30명 미만 □30~50명 미만 □50~100명 미만 □100명 이상
⑧ 문화재 구역 관리 실태		□부적합 □보통 ☑우수 □대단히 우수 전반적 관리실태 우수함
⑨ 화석 현황		초식공룡발자국 및 보행렬, 공룡알 둥지, 공룡뼈 파편, 익룡발자국 보행렬, 소형 육식공룡발자국, 목재 화석, 기타 퇴적 구조 등 

⑩ 훼손 현황	공룡알 화석 1점 인위적 훼손 발생(2007년)  훼손 전  훼손 후
⑪ 생물(식생) 침해	-
⑫ 추가 확인된 화석	소형 육식공룡 발자국(총 19개)
⑬ 조사자 의견	올해 들어 해양 쓰레기의 유입이 많음. 지속적인 환경 정비가 요구됨.
⑭ 사진 촬영	화석산지 내 개별 화석 촬영



표 64 | 중점 관리 대상 표본 체크 리스트: 천연기념물 제474호 사천 아두섬 공룡 화석산지(2011)

중점 관리 대상 표본 체크 리스트 조사일: 2011. 5. 19.

① 지정 번호	천기 474호	② 지정 명칭	사천 아두섬 공룡 화석산지		
③ 관리 대상 표본	공룡알(Dinosaur eggs)				
④ GPS 좌표	N 34° 53′ 52.4″ E 128° 03′ 31.4″			⑤ 고도	5m

모니터링 항목	내 용
사이트 환경 Site Environment	
⑥ 사이트 환경	□산 □바닷가 ☑섬 □하천 □도로 □ 기타( )
⑦ 화석지 주변 환경 변화	특이사항 없음
⑧ 바다로부터의 거리	공룡알 화석 포함 층준이 해수면에서 높아 만조 시에만 잠김 발생 (0, ①, 2, 3, 4)
풍화 훼손 현황 Damage by Weathering	
⑨ 풍화 현상	오랜 시간 외부 환경에 노출 표본의 탈색 진행(0, 1, ②, 3, 4, 5) 
⑩ 균열	공룡알 1점의 인위적 훼손으로 훼손 부위 주변 국부적 균열 발생 (0, ①, 2, 3, 4, 5)
⑪ 침하	(⓪, 1, 2, 3, 4, 5)
⑫ 훼손	공룡알 1점 인위적 채취(0, 1, 2, 3, ④, 5) 

⑬ 복제(탁본)	–
⑭ 오염	–
생물 서식 Biological colonization / Biodeterioration	
⑮ 생물 침해	(ⓞ, 1, 2, 3, 4, 5)
기타 정보 Additional Information	
⑯ 실측도 유무	–
사진 자료 Pictures	
⑰ 사진 촬영	동 · 서 · 남 · 북 근접 촬영

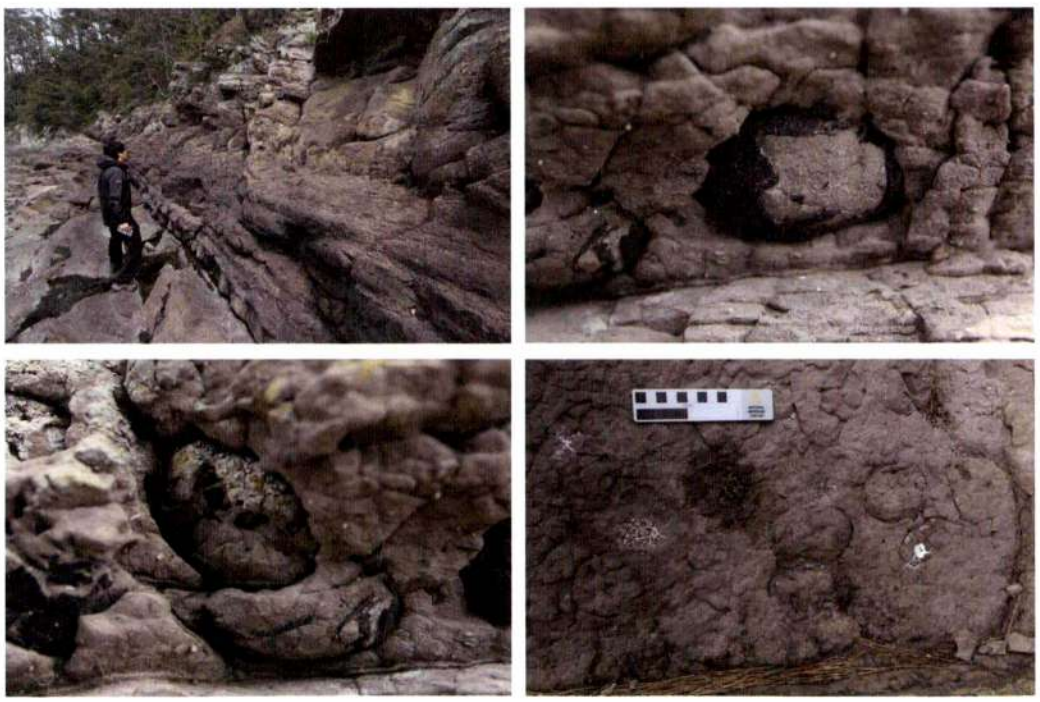


표 65 | 중점 관리 대상 표본 체크 리스트: 천연기념물 제474호 사천 아두섬 공룡 화석산지(2011)

중점 관리 대상 표본 체크 리스트 조사일: 2011. 5. 19.

① 지정 번호	천기 474호	② 지정 명칭	사천 아두섬 공룡 화석산지		
③ 관리 대상 표본	공룡 발자국 보행렬(Dinosaur trackway)				
④ GPS 좌표	N 34° 53′ 51.9″ E 128° 03′ 31.0″			⑤ 고도	1m

모니터링 항목	내 용
사이트 환경 Site Environment	
⑥ 사이트 환경	□산 □바닷가 ☑섬 □하천 □도로 □ 기타( )
⑦ 화석지 주변 환경 변화	특이사항 없음
⑧ 바다로부터의 거리	공룡발자국 화석 포함 층준이 낮아 항상 부분 잠김 발생 및 만조 시 잠김 발생 (0, 1, ②, ③, 4)
풍화 훼손 현황 Damage by Weathering	
⑨ 풍화 현상	외부 환경(파도 등)에 항상 노출로 마모 발생 우려 높음. 화석산지 주변의 작은 돌은 빨래판 효과를 유발시킴,주기적인 제거 필요 (0, 1, ②, 3, 4, 5) 
⑩ 균열	(⓪, 1, 2, 3, 4, 5)
⑪ 침하	(⓪, 1, 2, 3, 4, 5)

⑫ 훼손	• 자연적 훼손 발생 우려 높음. • 오랜 시간 파도에 노출되어 육안으로의 식별은 불가능하나 자연적 훼손이 진행되고 있음. • 화석산지 주변의 작은 돌들이 표본 마모 가속화 시킬 수 있음. 주기적 제거 필요.
⑬ 복제(탁본)	–
⑭ 오염	–
생물 서식 Biological colonization / Biodeterioration	
⑮ 생물 침해	(◎, 1, 2, 3, 4, 5)
기타 정보 Additional Information	
⑯ 실측도 유무	3D 기록화 완료(국립문화재연구소 자연문화재연구실 보관)
사진 자료 Pictures	
⑰ 사진 촬영	동 · 서 · 남 · 북 근접 촬영



표 66 | 화석산지 모니터링 체크 리스트: 천연기념물 제474호 사천 아두섬 공룡 화석산지(2010)

화석산지 모니터링 체크 리스트 조사일: 2010. 8. 25.

① 지정 번호	천기 474호	② 지정 명칭	사천 아두섬 공룡 화석산지
③ 소 재 지	경남 사천시 신수동 산 33-2		

모니터링 항목		조 사 내 용
④ 사이트 환경		□산 □바닷가 ☑섬 □하천 □도로 □ 기타( )
⑤ 접근성	내륙(바닷가)	□진입 불가 □소형 차량 진입 가능 □모든 차량 진입 가능
	섬	☑무인도 □유인도(여객선 운항 횟수 기재/일)
⑥ 관광지 개발 여부		☑해당 없음 □준관광지 □관광지
⑦ 1일 방문자 수		☑10명 미만 □10~30명 미만 □30~50명 미만 □50~100명 미만 □100명 이상
⑧ 문화재 구역 관리 실태		□부적합 □보통 ☑우수 □대단히 우수
		전반적 관리실태 우수함
⑨ 화석 현황		초식공룡발자국 및 보행렬, 공룡알 둥지, 공룡뼈 파편, 익룡발자국 보행렬, 육식 공룡발자국, 목재 화석, 기타 퇴적 구조 등



⑩ 훼손 현황	공룡알 화석 1점 인위적 훼손 발생  훼손 전  훼손 후
⑪ 생물(식생) 침해	–
⑫ 추가 확인된 화석	–
⑬ 조사자 의견	사천 아두섬과 신수도 주민의 1문화재 1지킴이 운동을 추진하여 보다 체계적인 보호 활동 전개 필요. 주기적 모니터링 실시.
⑭ 사진 촬영	공룡발자국 및 공룡알 개별 촬영



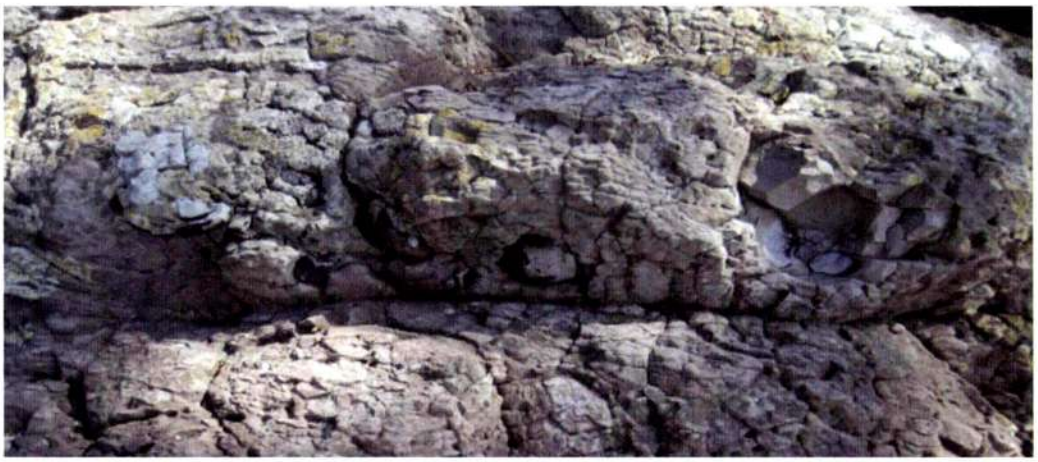
표 67 | 중점 관리 대상 표본 체크 리스트: 천연기념물 제474호 사천 아두섬 공룡 화석산지(2010)

중점 관리 대상 표본 체크 리스트 조사일: 2010. 8. 25.

① 지정 번호	천기 474호	② 지정 명칭	사천 아두섬 공룡 화석산지		
③ 관리 대상 표본	공룡알(Dinosaur eggs)				
④ GPS 좌표	N 34° 53′ 52.4″ E 128° 03′ 31.4″			⑤ 고도	5m

모니터링 항목	내 용
사이트 환경 Site Environment	
⑥ 사이트 환경	□산 □바닷가 ☑섬 □하천 □도로 □ 기타( )
⑦ 화석지 주변 환경 변화	특이사항 없음
⑧ 바다로부터의 거리	공룡알 화석 포함 층준이 해수면에서 높아 만조 시에만 잠김 발생 (0, ①, 2, 3, 4)
풍화 훼손 현황 Damage by Weathering	
⑨ 풍화 현상	오랜 시간 외부 환경에 노출되어 표본의 탈색 진행(0, 1, ②, 3, 4, 5) 
⑩ 균열	공룡알 1점의 인위적 훼손으로 훼손 부위 주변 국부적 균열 발생 (0, ①, 2, 3, 4, 5)
⑪ 침하	(⓪, 1, 2, 3, 4, 5)
⑫ 훼손	공룡알 1점 인위적 채취(0, 1, 2, 3, ④, 5) 

⑬ 복제(탁본)	–
⑭ 오염	–
생물 서식 Biological colonization / Biodeterioration	
⑮ 생물 침해	(ⓞ, 1, 2, 3, 4, 5)
기타 정보 Additional Information	
⑯ 실측도 유무	–
사진 자료 Pictures	
⑰ 사진 촬영	동 · 서 · 남 · 북 근접 촬영



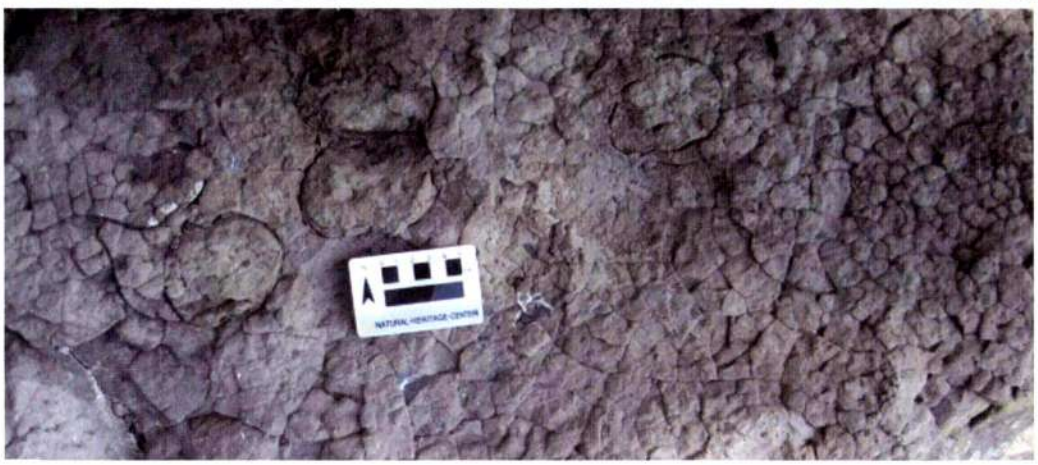


표 68 | 중점 관리 대상 표본 체크 리스트: 천연기념물 제474호 사천 아두섬 공룡 화석산지(2010)

중점 관리 대상 표본 체크 리스트 조사일: 2010. 8. 25.

① 지정 번호	천기 474호	② 지정 명칭	사천 아두섬 공룡 화석산지	
③ 관리 대상 표본	공룡 발자국 보행렬(Dinosaur trackway)			
④ GPS 좌표	N 34° 53′ 51.9″ E 128° 03′ 31.0″		⑤ 고도	1m

모니터링 항목	내 용
사이트 환경 Site Environment	
⑥ 사이트 환경	□산 □바닷가 ✓섬 □하천 □도로 □ 기타( )
⑦ 화석지 주변 환경 변화	특이사항 없음
⑧ 바다로부터의 거리	공룡발자국 화석 포함 층준이 낮아 항상 부분 잠김 발생 및 만조 시 잠김 발생(0, 1, ②, ③, 4)
풍화 훼손 현황 Damage by Weathering	
⑨ 풍화 현상	외부 환경(파도 등)에 항상 노출되어 마모 발생 우려 높음. 주변의 잔돌은 빨래판 효과를 유발시킴(0, 1, ②, 3, 4, 5) 
⑩ 균열	(⓪, 1, 2, 3, 4, 5)
⑪ 침하	(⓪, 1, 2, 3, 4, 5)

⑫ 훼손	자연적 훼손 발생의 우려가 높음. 오랜 시간 파도에 노출되어 육안으로 식별은 불가능하나 자연적 훼손이 진행되고 있음. 화석산지 주변의 작은 돌들이 표본 마모를 가속화 시킬 수 있음. 주기적 제거 필요.
⑬ 복제(탁본)	-
⑭ 오염	-
생물 서식 Biological colonization / Biodeterioration	
⑮ 생물 침해	(ⓞ, 1, 2, 3, 4, 5)
기타 정보 Additional Information	
⑯ 실측도 유무	있음. mapping 완료(국립문화재연구소 자연문화재연구실 보관)
사진 자료 Pictures	
⑰ 사진 촬영	

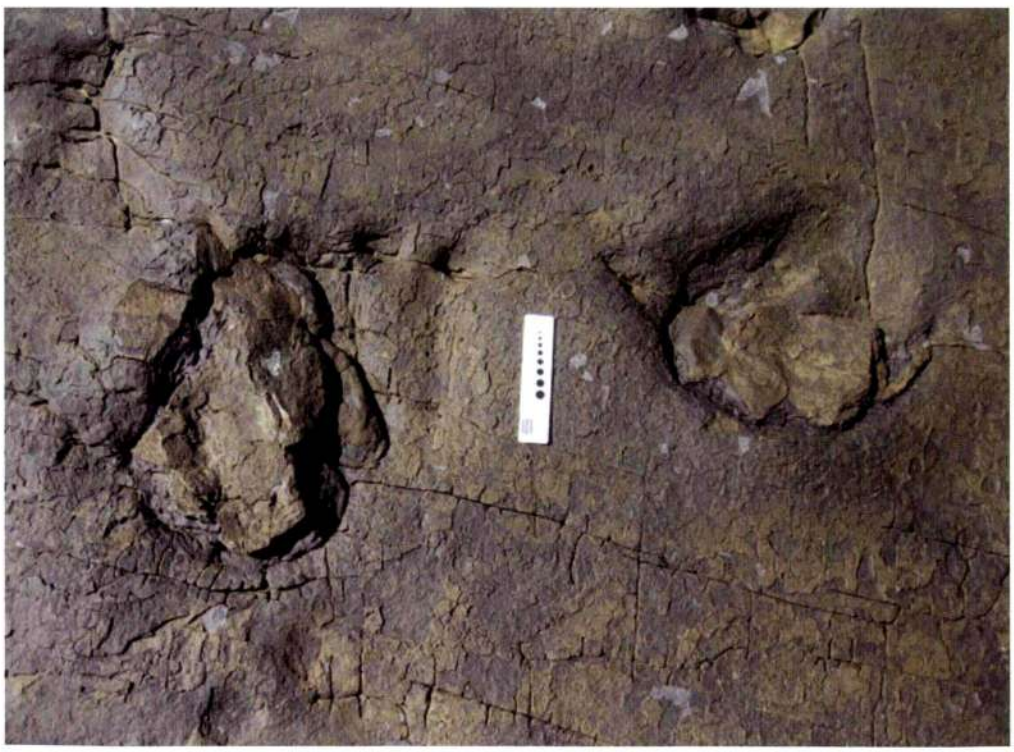


표 69 | 화석산지 모니터링 체크 리스트: 천연기념물 제474호 사천 아두섬 공룡 화석산지(2009)

화석산지 모니터링 체크 리스트 조사일: 2009. 5. 27.

① 지정 번호	천기 474호	② 지정 명칭	사천 아두섬 공룡 화석산지
③ 소 재 지	경남 사천시 신수동 산 33-2		

모니터링 항목		조 사 내 용
④ 사이트 환경		□산 □바닷가 ☑섬 □하천 □도로 □ 기타( )
⑤ 접근성	내륙(바닷가)	□진입 불가 □소형 차량 진입 가능 □모든 차량 진입 가능
	섬	☑무인도 □유인도(여객선 운항 횟수 기재/일)
⑥ 관광지 개발 여부		☑해당 없음 □준관광지 □관광지
⑦ 1일 방문자 수		☑10명 미만 □10~30명 미만 □30~50명 미만 □50~100명 미만 □100명이상
⑧ 문화재 구역 관리 실태		□부적합 □보통 ☑우수 □대단히 우수
		전반적 관리 실태 우수함. 신수도 주민의 아두섬 정화 활동 활발.
⑨ 화석 현황		초식공룡발자국 및 보행렬, 공룡알 둥지, 공룡뼈 파편, 익룡발자국 보행렬, 육식공룡발자국, 목재 화석, 기타 퇴적 구조 등 

⑩ 훼손 현황	공룡알 화석 1점 인위적 훼손 발생  훼손 전  훼손 후
⑪ 생물(식생) 침해	-
⑫ 추가 확인된 화석	공룡알 화석 2곳 발견
⑬ 조사자 의견	사천 아두섬과 신수도 주민의 1문화재 1지킴이 운동을 추진하여 보다 체계적인 보호 활동 전개 필요. 주기적 모니터링 실시.
⑭ 사진 촬영	3D 정밀 기록 실시. TIFF, JPEG 파일 다수 확보

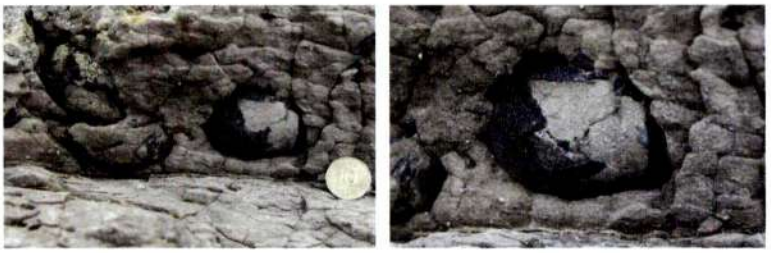
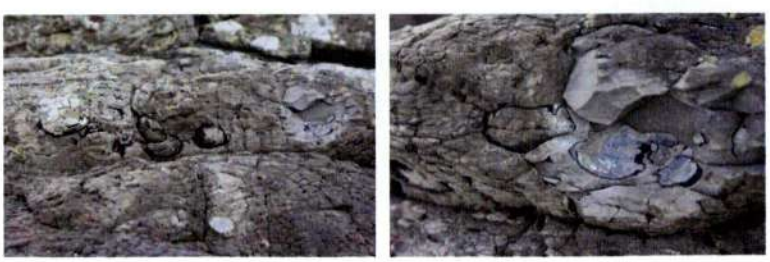
- 3D 정밀 실측 작업 완료(2009. 4. ~ 2009. 11.): 공룡 및 익룡발자국 보행렬
- 과업 수행 기관: 한국과학기술원(KAIST)
- 3D 자료 관리 기관: 국립문화재연구소 자연문화재연구실



표 70 | 중점 관리 대상 표본 체크 리스트: 천연기념물 제474호 사천 아두섬 공룡 화석산지(2009)

중점 관리 대상 표본 체크 리스트 조사일: 2009. 5. 27.

① 지정 번호	천기 474호	② 지정 명칭	사천 아두섬 공룡 화석산지		
③ 관리 대상 표본	공룡알(Dinosaur eggs)				
④ GPS 좌표	N 34° 53′ 52.4″ E 128° 03′ 31.4″			⑤ 고도	5m

모니터링 항목	내 용
사이트 환경 Site Environment	
⑥ 사이트 환경	□산 □바닷가 ☑섬 □하천 □도로 □ 기타( )
⑦ 화석지 주변 환경 변화	특이사항 없음
⑧ 바다로부터의 거리	공룡알 화석 포함 층준이 해수면에서 높아 만조 시에만 잠김 발생 (0, ①, 2, 3, 4)
풍화 훼손 현황 Damage by Weathering	
⑨ 풍화 현상	오랜 시간 외부 환경에 노출 표본의 탈색 진행(0, 1, ②, 3, 4, 5) 
⑩ 균열	공룡알 1점의 인위적 훼손으로 훼손 부위 주변 국부적 균열 발생 (0, ①, 2, 3, 4, 5)
⑪ 침하	(⓪, 1, 2, 3, 4, 5)
⑫ 훼손	공룡알 1점 인위적 채취(0, 1, 2, 3, ④, 5) 

⑬ 복제(탁본)	–
⑭ 오염	–
생물 서식 Biological colonization / Biodeterioration	
⑮ 생물 침해	(ⓞ, 1, 2, 3, 4, 5)
기타 정보 Additional Information	
⑯ 실측도 유무	–
사진 자료 Pictures	
⑰ 사진 촬영	동 · 서 · 남 · 북 근접 촬영

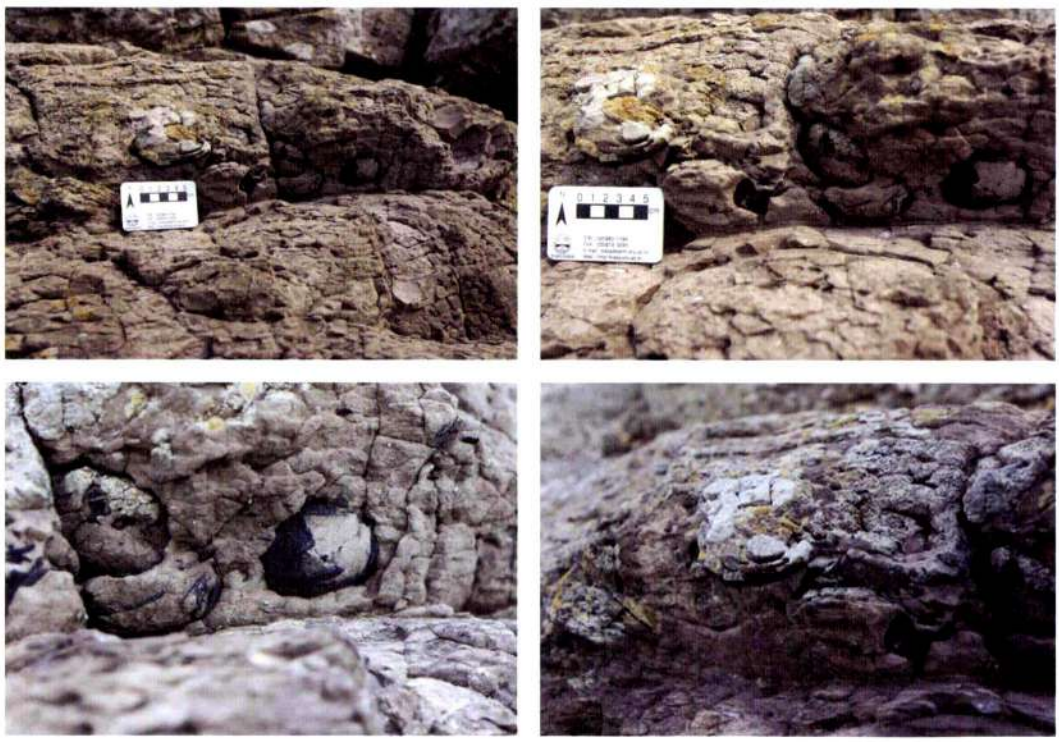


표 71| 중점 관리 대상 표본 체크 리스트: 천연기념물 제474호 사천 아두섬 공룡 화석산지(2009)

중점 관리 대상 표본 체크 리스트 조사일: 2009. 5. 27.

① 지정 번호	천기 474호	② 지정 명칭	사천 아두섬 공룡 화석산지		
③ 관리 대상 표본	공룡 발자국 보행렬(Dinosaur trackway)				
④ GPS 좌표	N 34° 53′ 51.9″ E 128° 03′ 31.0″			⑤ 고도	1m

모니터링 항목	내 용
사이트 환경 Site Environment	
⑥ 사이트 환경	□산 □바닷가 ☑섬 □하천 □도로 □ 기타( )
⑦ 화석지 주변 환경 변화	특이사항 없음
⑧ 바다로부터의 거리	공룡발자국 화석 포함 층준이 낮아 항상 부분 잠김 발생 및 만조 시 잠김 발생(0, 1, ②, ③, 4)
풍화 훼손 현황 Damage by Weathering	
⑨ 풍화 현상	외부 환경(파도 등)에 항상 노출되어 마모 발생 우려 높음. 주변의 잔돌은 빨래판 효과를 유발시킴 (0, 1, ②, 3, 4, 5) 
⑩ 균열	(⓪, 1, 2, 3, 4, 5)
⑪ 침하	(⓪, 1, 2, 3, 4, 5)

⑫ 훼손	자연적 훼손 발생 우려 높음. 표본이 위치한 곳은 지형적으로 강한 파도가 발생하는 장소로 알려져 있고, 오랜 시간 파도에 노출되어 육안으로의 식별은 불가능하나 자연적 훼손이 진행되고 있음. 또한 주변에 있는 잔 자갈 등에 의해 빨래판 효과 발생. 작은 돌들이 표본 마모 가속화 시킴. 주기적 제거 필요.
⑬ 복제(탁본)	-
⑭ 오염	-
생물 서식 Biological colonization / Biodeterioration	
⑮ 생물 침해	(◎, 1, 2, 3, 4, 5)
기타 정보 Additional Information	
⑯ 실측도 유무	있음. mapping 완료(국립문화재연구소 자연문화재연구실 보관)
사진 자료 Pictures	
⑰ 사진 촬영	3D정밀 실측 작업 완료.



표 72 | 화석산지 모니터링 체크 리스트: 천연기념물 제474호 사천 아두섬 공룡 화석산지(2008)

화석산지 모니터링 체크 리스트 조사일: 2008. 7. 10.

① 지정 번호	천기 474호	② 지정 명칭	사천 아두섬 공룡 화석산지
③ 소 재 지	경남 사천시 신수동 산 33-2		

모니터링 항목		조 사 내 용
④ 사이트 환경		□산 □바닷가 ☑섬 □하천 □도로 □ 기타( )
⑤ 접근성	내륙(바닷가)	□진입 불가 □소형 차량 진입 가능 □모든 차량 진입 가능
	섬	☑무인도 □유인도(여객선 운항 횟수 기재/일)
⑥ 관광지 개발 여부		☑해당 없음 □준관광지 □관광지
⑦ 1일 방문자 수		☑10명 미만 □10~30명 미만 □30~50명 미만 □50~100명 미만 □100명 이상
⑧ 문화재 구역 관리 실태		□부적합 □보통 ☑우수 □대단히 우수
		전반적 관리 실태 우수함.
⑨ 화석 현황		공룡발자국 보행렬, 공룡알 둥지, 공룡뼈 파편, 기타 퇴적 구조



⑩ 훼손 현황	2007년 초 훼손된 공룡알 외 훼손 발생 없음. 
⑪ 생물(식생) 침해	–
⑫ 추가 확인된 화석	공룡알 화석 site 추가 발견(보존 상태 불량)
⑬ 조사자 의견	사천시와 신수도 주민들의 자발적 환경 정화로 화석지 관리 양호. 공룡발자국 및 익룡발자국에 대한 3D 정밀 기록 필요.
⑭ 사진 촬영	동 · 서 · 남 · 북 근접 촬영



표 73 | 중점 관리 대상표 본 체크 리스트: 천연기념물 제474호 사천 아두섬 공룡 화석산지(2008)

중점 관리 대상 표본 체크 리스트 조사일: 2008. 7. 10.

① 지정 번호	천기 474호	② 지정 명칭	사천 아두섬 공룡 화석산지		
③ 관리 대상 표본	공룡 발자국 보행렬(Dinosaur trackway)				
④ GPS 좌표	N 34° 53′ 51.9″ E 128° 03′ 31.0″			⑤ 고도	1m

모니터링 항목	내 용
사이트 환경 Site Environment	
⑥ 사이트 환경	□산 □바닷가 ☑섬 □하천 □도로 □ 기타( )
⑦ 화석지 주변 환경 변화	특이사항 없음
⑧ 바다로부터의 거리	공룡발자국 화석 포함 층준이 낮아 항상 부분 잠김 발생 및 만조 시 잠김 발생(0, 1, ②, ③, 4)
풍화 훼손 현황 Damage by Weathering	
⑨ 풍화 현상	(0, 1, ②, 3, 4, 5) • 외부 환경(파도 등)에 항상 노출되어 마모 발생 우려 높음. • 주변의 잔돌은 빨래판 효과를 유발시킴. • 따라서 화석지 주변의 작은 돌들을 모두 제거하였으나 주기적인 잔돌의 제거 필요. • 파도에 의한 물리적 풍화는 여전히 진행 중.
⑩ 균열	(⓪, 1, 2, 3, 4, 5)
⑪ 침하	(⓪, 1, 2, 3, 4, 5)
⑫ 훼손	자연적 훼손 발생 우려 높음. 표본이 위치한 곳은 지형적으로 강한 파도가 발생하는 장소로 알려져 있고, 오랜 시간 파도에 노출되어 육안으로 식별은 불가능하나 자연적 훼손이 진행되고 있음. 3D 기록화 작업 필요.

⑬ 복제(탁본)	–
⑭ 오염	–
생물 서식 Biological colonization / Biodeterioration	
⑮ 생물 침해	(◎, 1, 2, 3, 4, 5)
기타 정보 Additional Information	
⑯ 실측도 유무	mapping 완료(국립문화재연구소 자연문화재연구실 보관)
사진 자료 Pictures	
⑰ 사진 촬영	동 · 서 · 남 · 북 근접 촬영



표 74 | 중점 관리 대상 표본 체크 리스트: 천연기념물 제474호 사천 아두섬 공룡 화석산지(2008)

중점 관리 대상 표본 체크 리스트 조사일: 2008. 7. 10.

① 지정 번호	천기 474호	② 지정 명칭	사천 아두섬 공룡 화석산지		
③ 관리 대상 표본	공룡알(Dinosaur eggs)				
④ GPS 좌표	N 34° 53′ 52.4″ E 128° 03′ 31.4″			⑤ 고도	5m

모니터링 항목	내 용
사이트 환경 Site Environment	
⑥ 사이트 환경	□산 □바닷가 ☑섬 □하천 □도로 □ 기타( )
⑦ 화석지 주변 환경 변화	특이사항 없음
⑧ 바다로부터의 거리	공룡알 화석 포함 층준이 해수면에서 높아 만조 시에만 잠김 발생 (0, ①, 2, 3, 4)
풍화 훼손 현황 Damage by Weathering	
⑨ 풍화 현상	오랜시간 외부 환경에 노출되어 표본의 탈색 진행(0, 1, ②, 3, 4, 5) 
⑩ 균열	공룡알 1점의 인위적 훼손으로 훼손 부위 주변 국부적 균열 발생 (0, ①, 2, 3, 4, 5) 

⑪ 침하	(ⓞ, 1, 2, 3, 4, 5)
⑫ 훼손	(ⓞ, 1, 2, 3, 4, 5)
⑬ 복제(탁본)	–
⑭ 오염	–
생물 서식 Biological colonization / Biodeterioration	
⑮ 생물 침해	(ⓞ, 1, 2, 3, 4, 5)
기타 정보 Additional Information	
⑯ 실측도 유무	–
사진 자료 Pictures	
⑰ 사진 촬영	동 · 서 · 남 · 북 근접 촬영





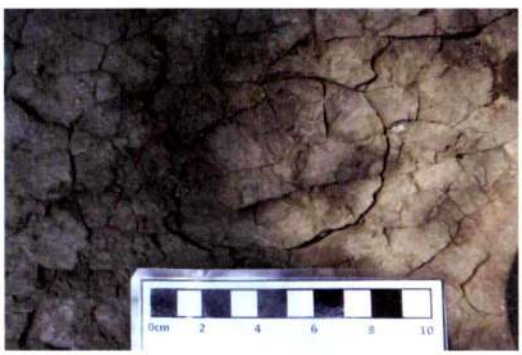



표 75 | 화석산지 모니터링 체크 리스트: 천연기념물 제474호 사천 아두섬 공룡 화석산지(2007)

화석산지 모니터링 체크 리스트 조사일: 2007. 7. .

① 지정 번호	천기 474호	② 지정 명칭	사천 아두섬 공룡 화석산지
③ 소 재 지	경남 사천시 신수동 산 33-2		

모니터링 항목		조 사 내 용
④ 사이트 환경		□산 □바닷가 ☑섬 □하천 □도로 □ 기타( )
⑤ 접근성	내륙(바닷가)	□진입 불가 □소형 차량 진입 가능 □모든 차량 진입 가능
	섬	☑무인도 □유인도(여객선 운항 횟수 기재/일)
⑥ 관광지 개발 여부		☑해당 없음 □준관광지 □관광지
⑦ 1일 방문자 수		☑10명 미만 □10~30명 미만 □30~50명 미만 □50~100명 미만 □100명 이상
⑧ 문화재 구역 관리 실태		□부적합 □보통 ☑우수 □대단히 우수
		전반적 관리 실태 우수하나 문화재 지정 안내판 미설치.
⑨ 화석 현황		공룡발자국 보행렬, 공룡알 둥지, 공룡뼈 파편, 기타 퇴적 구조





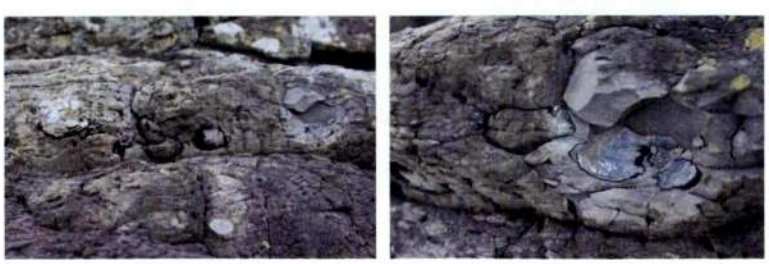

⑩ 훼손 현황	공룡알 화석 1점 인위적 훼손 발생  훼손 전  훼손 후
⑪ 생물(식생) 침해	–
⑫ 추가 확인된 화석	공룡뼈 파편 추가 발견(확인 18점)
⑬ 조사자 의견	무인도서로 일반인의 접근이 없고 섬 주변 지역이 지형적으로 배를 정박하기 어려우며 곳곳에 강한 와류 발생. 썰물 때 접근 가능. 공룡알 추가 훼손에 대한 대책 마련 및 공룡발자국 3D 정밀 기록 필요
⑭ 사진 촬영	동 · 서 · 남 · 북 근접 촬영



표 76 | 중점 관리 대상 표본 체크 리스트: 천연기념물 제474호 사천 아두섬 공룡 화석산지(2007)

중점 관리 대상 표본 체크 리스트 조사일: 2007. 7. .

① 지정 번호	천기 474호	② 지정 명칭	사천 아두섬 공룡 화석산지		
③ 관리 대상 표본	공룡알(Dinosaur eggs)				
④ GPS 좌표	N 34° 53′ 52.4″ E 128° 03′ 31.4″			⑤ 고도	5m

모니터링 항목	내 용
사이트 환경 Site Environment	
⑥ 사이트 환경	□산 □바닷가 ☑섬 □하천 □도로 □ 기타( )
⑦ 화석지 주변 환경 변화	특이사항 없음
⑧ 바다로부터의 거리	공룡알 화석 포함 층준이 해수면에서 높아 만조 시에만 잠김 발생 (0, ①, 2, 3, 4)
풍화 훼손 현황 Damage by Weathering	
⑨ 풍화 현상	오랜 시간 외부 환경에 노출 표본의 탈색 진행(0, 1, ②, 3, 4, 5) 
⑩ 균열	공룡알 1점의 인위적 훼손으로 훼손 부위 주변 국부적 균열 발생 (0, ①, 2, 3, 4, 5)
⑪ 침하	(⓪, 1, 2, 3, 4, 5)
⑫ 훼손	공룡알 1점 인위적 채취(0, 1, 2, 3, ④, 5) 

⑬ 복제(탁본)	–
⑭ 오염	–
생물 서식 Biological colonization / Biodeterioration	
⑮ 생물 침해	(ⓞ, 1, 2, 3, 4, 5)
기타 정보 Additional Information	
⑯ 실측도 유무	–
사진자료 Pictures	
⑰ 사진 촬영	동 · 서 · 남 · 북 근접 촬영






11 천연기념물 제477호 하동 중평리 장구섬 화석산지 2007~2011

| 1 | 화석산지 현황

1.1. 화석산지 개요

천연기념물 제477호 하동 중평리 장구섬 화석산지는 금남면 대치리 앞바다에 있는 무인도 중 하나이다(그림 92). 장구섬은 중평리 해안 남동쪽 약 1km 지점에 위치하며 남동방향으로 길쭉한 무인도로 그 길이는 약 150m 정도이다. 섬의 형태는 이름에서 알 수 있듯이 장구처럼 중앙부가 잘록한 모양인데, 이는 섬을 가로질러 단층대(N30°E)가 발달하면서 차별침식 되었기 때문이다. 장구섬은 주변의 많은 섬들과 더불어 백악기 경상분지의 퇴적과 융기를 거쳐, 차별침식 후 해수면 상승으로 침수되어 만들어진 섬이다. 따라서 섬의 지질은 육상 하산동층의 연장이며, 동일한 층준의 주향을 따라 분포하는 주변의 무인도 및 해안과 침수된 해저 지층 내에도 화석이 포함되어 있을 것으로 추정된다(이융남 외, 2004).

장구섬은 우리나라에서 가장 완벽한 악어 머리뼈(*Hadongsuchus acerdentis*)가 발견되면서 천연기념물로 지정되었다. 이 외에도 오리주둥이 공룡의 이빨, 공룡발자국, 거북 뼈, 이매패류 등의 화석이 발견되었으며 특히, 거북 배갑 화석이 많이 산출된다.

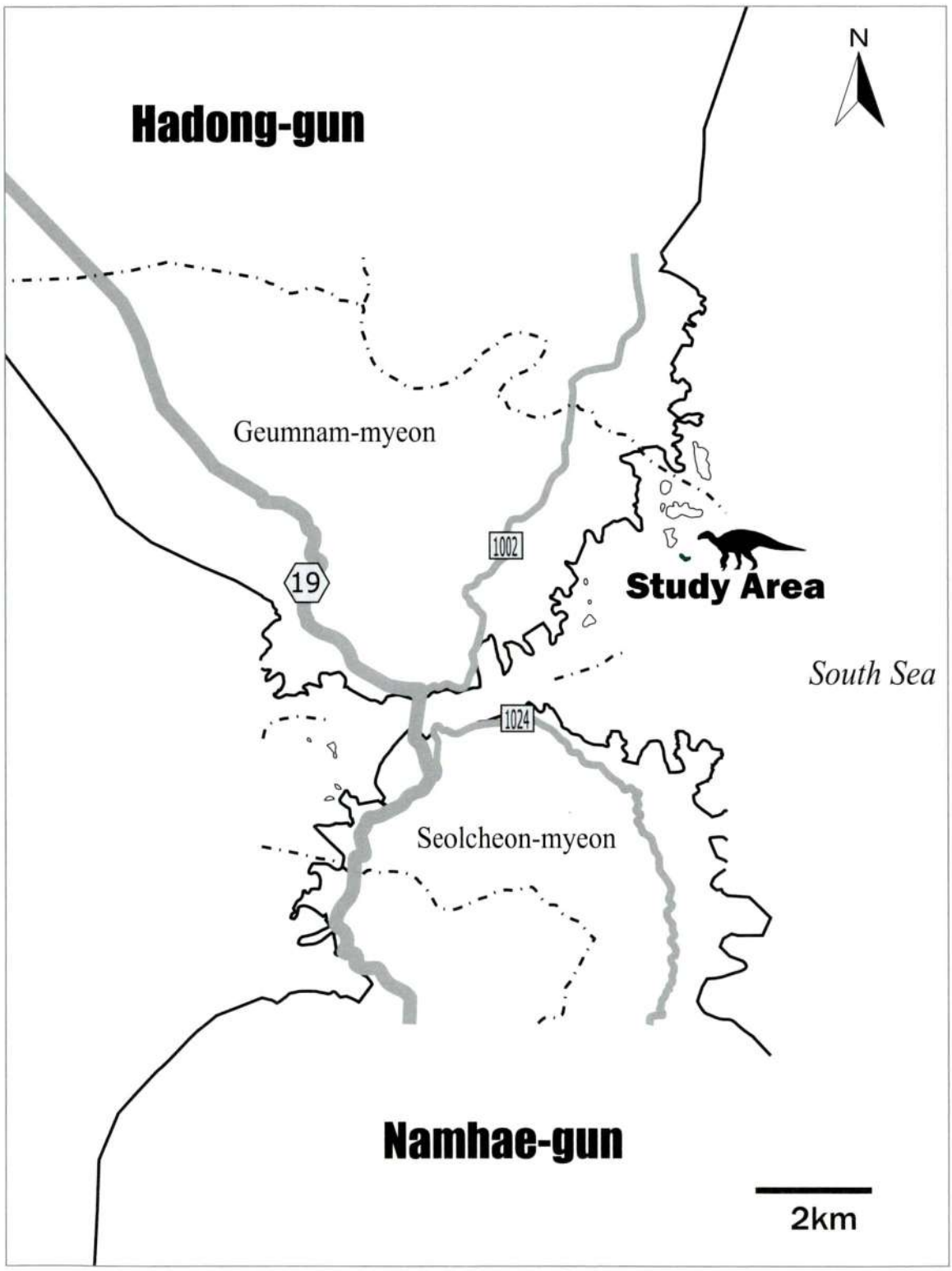


그림 92| 하동 장구섬 화석산지 위치도(공달용과 김태형, 2008).

1.2. 조사 지역의 지질

장구섬은 주변의 많은 섬들과 더불어 경상 분지의 퇴적과 융기를 거쳐 차별침식 후 해수면 상승으로 침수되어 만들어진 섬으로 육상 하산동층의 연장이며 주향 방향으로 측정해보면 장구섬은 전체적으로 하산동층의 중간 층준에 해당한다(이융남 외, 2004, 2007). 연구 대상인 하산동층은 진주층과 정합으로 놓이며 연구 지역에서 섬과 해안선을 따라 광범위하게 노출되어 있다(그림 93). 하산동층은 저색 및 담회색 이암과 사암 및 역암으로 구성되어 있다.

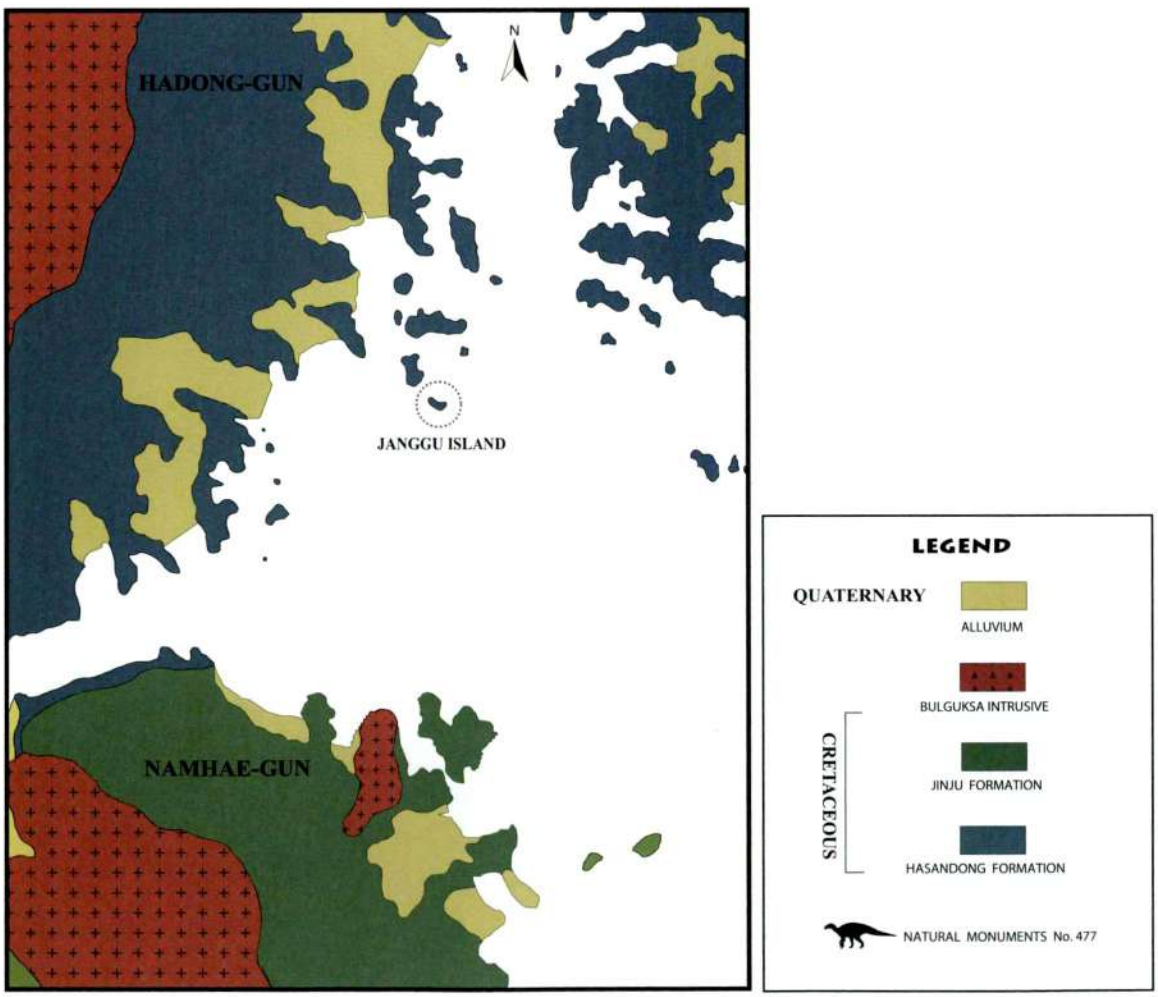


그림 93 | 장구섬과 그 주변 지역의 지질도(장기홍 외, 1989).

1.3. 장구섬 화석 개요

장구섬은 화석산지는 섬 전체가 '화석 밭' 이라 할 만큼 화석의 산출빈도가 높다(표 77). 이곳에서는 2002년 '날카로운 이빨의 하동 악어' 라는 의미의 '하동수쿠스 아세르덴티스 (*Hadongsuchus acerdentis*)' 라 명명된 완전한 형태의 악어 머리뼈 화석이 발견되었는데, 발견된 악어는 원시 악어의 머리뼈로 길이 5cm 높이 2.5cm 이며 머리 뼈와 아래턱 그리고 이빨이 제 모습으로 완벽하게 보존되어 있다(그림 94G; Lee and Lee, 2005). 이후 2007년 우리나라 중생대 거북 배갑 중 가장 완벽한 형태의 거북 배갑이 발견되어 연구가 진행 중이다(그림 94A - D; 공달용과 김태형, 2008 참조). 장구섬에서 가장 많이 산출되는 화석은 이매패류이다. 이매패류 화석은 2종(*Trigonidoides* sp., *Plicatounio* sp.)이 관찰되며 지층면을 따라 군집으로 나타나고 있는데, 마치 조개 양식장을 보는 듯하다. 장구섬에서 관찰되는 이매패류 화석은 대다수가 두 개의 패각이 열려 있는 것이 특징이다(그림 94E - F). 일반적으로 이매패류는 살아 있는 동안 두 개의 각이 하나의 근육에 의해 닫혀 있으나 급격한 환경의 변화로 조개들이 패사하면 지탱하는 근육을 사용할 수 없기에 두 개의 각은 열리게 된다. 따라서 이곳에서 관찰되는 이매패류 화석들은 살아있는 동안의 갑작스러운 화석화 작용보다는 사후에 발생한 화석화 작용에 기인한 것으로 판단된다.

표 77 | 장구섬 화석산지에서 발견된 화석

분류				설명
화석	체 화석	척추동물	악어	악어 머리뼈 *Hadongsuchus acerdentis*
			공룡	오리주둥이 공룡 이빨 Iguanodontoidea 상악치
			거북	거북거북배갑, 상완골
		연체동물	이매패류	*Trigonioides* sp. *Plicatounio* sp.
		식물 화석		식물 화석 파편
	흔적 화석	공룡발자국		조각류, 용각류 발자국
		기타 생흔 화석		
	미 화석	화석스트로마톨라이트		

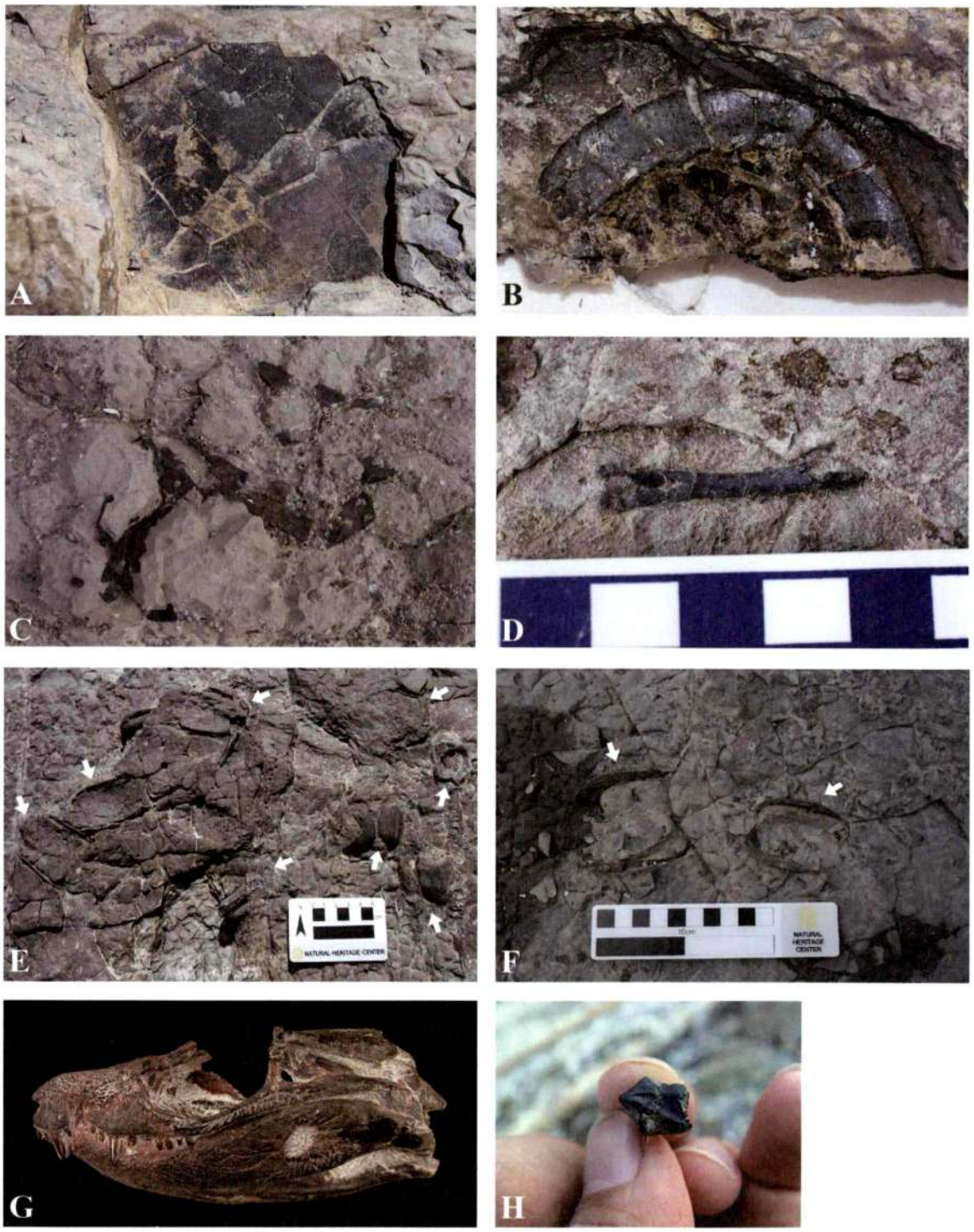


그림 94 | 화석산지에서 산출되는 대표 화석[(A - C: 거북배갑 화석, D: 거북 상완골, E - F: 이매패(조개) 화석들(화살표 부분), G: 악어 머리뼈(Lee and Lee 2005), H: 이구아노돈류 이빨(이융남 외, 2007)].

| 2 | 화석산지 관리 실태

「하동 중평리 장구섬 화석산지」는 대다수의 화석들이 저지대에 위치하여 파도, 태풍 등과 같은 자연에 의한 훼손이 지속적으로 발생하고 있다. 특히, 화석산지 주변에 흩어져 있는 크고 작은 돌들은 큰 에너지(파도, 태풍 등)에 의해 화석산지 지층 표면을 훼손시키는 작용을 하고 있다. 또한, 화석산지 인근 바다에는 대규모 양식장이 존재하고 있다(그림 95). 이들 양식장에서 나오는 각종 오염 물질들에 대한 지속적인 모니터링이 필요하다.

현재 장구섬 화석산지에는 문화재 안내판이 설치되어 있지 않다. 지정 이후, 지금까지 문화재 안내판이 설치되지 않고 있으며, 환경부 지정 특정도서 표지판만이 설치되어 있다.

중평리 장구섬 화석산지는 중평리 마을 어촌계와 주민들 스스로 화석산지를 보호하기 위해 많은 노력을 기울이고 있다. 허가 없이 들어가는 배들을 단속하고 낚시꾼들의 출입을 막으며, 주변 양식장에서 나오는 각종 오염 물질들을 수거하는 등, 많은 노력을 아끼지 않고 있어 다른 어느 곳보다 관리가 잘되고 있다.



그림 95 | 장구섬 화석산지 전경 및 화석산지 앞에 설치되어 있는 양식장 모습.

2.1. 화석산지 관리 개선 방안

장구섬 화석산지는 인위적 훼손보다 자연적 훼손이 더 위협적 요인이다. 이는 화석산지가 안고 있는 태생적 문제이지만, 중점 관리 대상 표본이 발견된 지역의 잔자갈 제거 등의 노력을 기울인다면 화석산지의 훼손 속도를 늦출 수 있다. 또한, 장구섬 화석산지처럼 파도나 태풍에 의해 침식을 잘 받는 지역에서는 정기적인 노두 관찰이 필요하다. 2007년 모니터링 조사에서 '지금까지 국내에서 발견된 가장 완벽한 거북 배갑 화석' 의 발견(그림 94A, B)을 보더라도 화석산지의 침식작용은 새로운 화석의 산출 가능성을 높이는 것과 같다. 따라서 화석산지에 대한 주기적인 모니터링이 필요하며 특히, 태풍이 지난 뒤 화석산지의 모니터링은 반드시 이루어져야 한다.

현재 장구섬 화석산지에는 문화재 안내판이 설치되어 있지 않다. 지정 이후, 지금까지 문화재 안내판이 설치되지 않고 있으며, 환경부 지정 특정도서 표지판만이 설치되어 있다. 따라서 대부분의 사람들은 장구섬이 천연기념물 지역으로 알고 있기 보다는 환경부에서 지정한 특정도서로만 알고 있다. 최소 안내판은 2곳(화석산지 입구, 중평리 선착장) 이상 설치되어야 한다. 빠른 시간에 문화재 안내판의 설치가 요구되며 이때 안내판의 디자인 정비, 개선 작업도 병행하는 것이 바람직하다. 문화재 안내판의 설치 시, 문화재청 문화재활용팀에 자문을 구하는 것도 좋은 방법일 것이다.

| 3 | 모니터링 대장 작성

표 78 | 화석산지 모니터링 체크 리스트: 천연기념물 제477호 하동 중평리 장구섬 화석산지(2011)

화석산지 모니터링 체크 리스트 조사일: 2011. 5. 17.

① 지정 번호	천기 477호	② 지정 명칭	하동 중평리 장구섬 화석산지
③ 소 재 지	경남 하동군 금남면 중평리 산6		

모니터링 항목		조 사 내 용
④ 사이트 환경		□산 □바닷가 ☑섬 □하천 □도로 □ 기타( )
⑤ 접근성	내륙(바닷가)	□진입 불가 □소형 차량 진입 가능 □모든 차량 진입 가능
	섬	☑무인도 □유인도(여객선 운항 횟수 기재/일)
⑥ 관광지 개발 여부		☑해당 없음 □준관광지 □관광지
⑦ 1일 방문자 수		☑10명 미만 □10~30 미만 □30~50명 미만 □50~100명 미만 □100명 이상
⑧ 문화재 구역 관리 실태		□부적합 □보통 ☑우수 □대단히 우수 전반적 관리 실태 우수하나 문화재 지정 안내판 미설치.
⑨ 화석 현황		공룡발자국, 스트로마톨라이트, 이매패류, 흔적화석, 거북배갑 등

분 류				설 명
화석	체 화석	척추동물	악어	악어 머리뼈 *Hadongsuchus acerdentis*
			공룡	오리주둥이 공룡 이빨 Iguanodontoidea 상악치
			거북	거북거북배갑, 상완골
		연체동물	이매패류	*Trigonioides* sp. *Plicatounio* sp.
		식물 화석		식물 화석 파편
	흔적 화석	공룡발자국		조각류, 용각류 발자국
		기타 생흔 화석		
	미 화석	화석스트로마톨라이트		

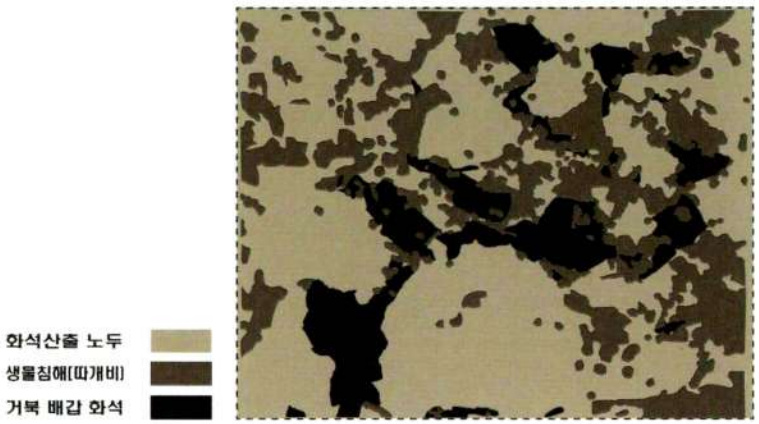
⑩ 훼손 현황	거북배갑 자연적 훼손 발생(그림 94 C) 
⑪ 생물(식생) 침해	따개비 등 해양 무척추 동물 서식
⑫ 추가 확인된 화석	거북 상완골 1점
⑬ 조사자 의견	주변 대형 양식장의 규모가 확대되는 듯함. 지속적인 관심이 필요하며 문화재 안내판의 빠른 설치가 요구됨.
⑭ 사진 촬영	개별화석 및 노두 사진 촬영



표 79 | 화석산지 모니터링 체크 리스트: 천연기념물 제477호 하동 중평리 장구섬 화석산지(2010)

화석산지 모니터링 체크 리스트 조사일: 2010. 5. 6.

① 지정 번호	천기 477호	② 지정 명칭	하동 중평리 장구섬 화석산지
③ 소 재 지	경남 하동군 금남면 중평리 산6		

모니터링 항목		조 사 내 용
④ 사이트 환경		□산 □바닷가 ☑섬 □하천 □도로 □ 기타( )
⑤ 접근성	내륙(바닷가)	□진입 불가 □소형 차량 진입 가능 □모든 차량 진입 가능
	섬	☑무인도 □유인도(여객선 운항 횟수 기재/일)
⑥ 관광지 개발 여부		☑해당 없음 □준관광지 □관광지
⑦ 1일 방문자 수		☑10명 미만 □10~30 미만 □30~50명 미만 □50~100명 미만 □100명 이상
⑧ 문화재 구역 관리 실태		□부적합 □보통 ☑우수 □대단히 우수 전반적 관리 실태 우수하나 문화재 지정 안내판 미설치.
⑨ 화석 현황		공룡발자국, 스트로마톨라이트, 이매패류, 흔적 화석, 거북배갑 등





⑩ 훼손 현황	거북배갑 자연적 훼손 발생 
⑪ 생물(식생) 침해	따개비 서식. 피복도 10% 미만.
⑫ 추가 확인된 화석	-
⑬ 조사자 의견	무인 도서로 일반인의 접근이 드물지만 낚시꾼 접근이 있음. 주변에 대형 양식장이 있어 관련 종사자의 출입 잦음.
⑭ 사진 촬영	Tiff 및 JPEG 사진 40여 장 확보.

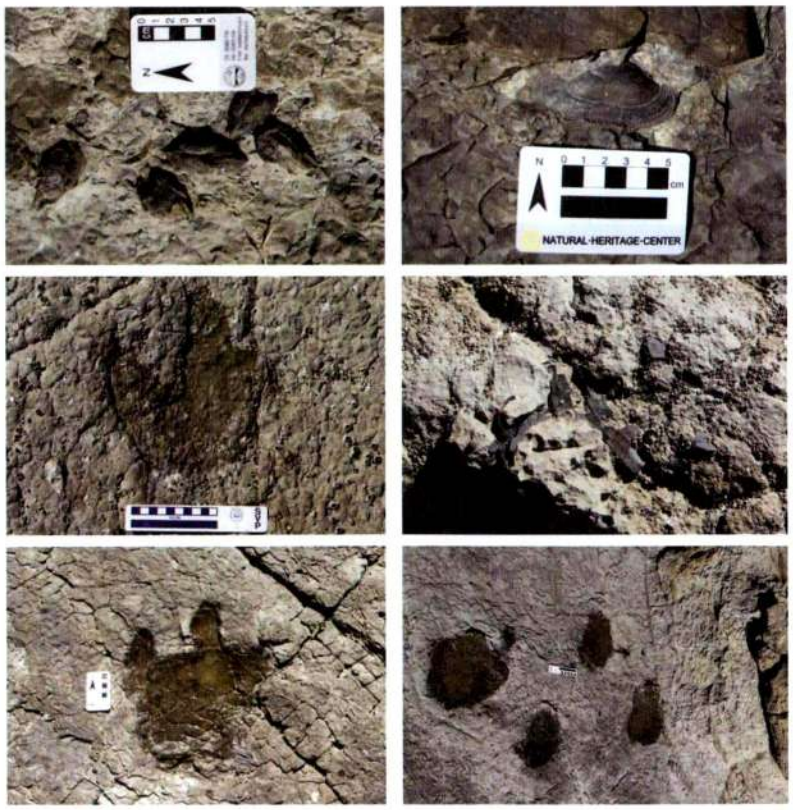


표 80 | 화석산지 모니터링 체크 리스트: 천연기념물 제477호 하동 중평리 장구섬 화석산지(2009)

화석산지 모니터링 체크 리스트 조사일: 2009. 10. 15.

① 지정 번호	천기 477호	② 지정 명칭	하동 중평리 장구섬 화석산지
③ 소 재 지	경남 하동군 금남면 중평리 산6		

모니터링 항목		조 사 내 용
④ 사이트 환경		□산 □바닷가 ☑섬 □하천 □도로 □ 기타( )
⑤ 접근성	내륙(바닷가)	□진입 불가 □소형 차량 진입 가능 □모든 차량 진입 가능
	섬	☑무인도 □유인도(여객선 운항 횟수 기재/일)
⑥ 관광지 개발 여부		☑해당 없음 □준관광지 □관광지
⑦ 1일 방문자 수		☑10명 미만 □10~30 미만 □30~50명 미만 □50~100명 미만 □100명 이상
⑧ 문화재 구역 관리 실태		□부적합 □보통 ☑우수 □대단히 우수 전반적 관리 실태 우수하나 문화재 지정 안내판 미설치.
⑨ 화석 현황		공룡발자국, 스트로마톨라이트, 이매패류, 흔적 화석, 거북배갑 등



⑩ 훼손 현황	거북배갑 자연적 훼손 발생 
⑪ 생물(식생) 침해	따개비 서식. 피복도 10% 미만 
⑫ 추가 확인된 화석	–
⑬ 조사자 의견	무인 도서로 일반인의 접근이 드물지만 낚시꾼 접근이 있음. 주변에 대형 양식장이 있어 관련 종사자의 출입 잦음. 1문화재 1지킴이 운동 추진.
⑭ 사진 촬영	Tiff 및 JPEG 사진 50여 장 확보.





표 81 | 화석산지 모니터링 체크 리스트: 천연기념물 제477호 하동 중평리 장구섬 화석산지(2008)

화석산지 모니터링 체크 리스트 조사일: 2008. 9. 24.

① 지정 번호	천기 477호	② 지정 명칭	하동 중평리 장구섬 화석산지
③ 소 재 지	경남 하동군 금남면 중평리 산6		

모니터링 항목		조 사 내 용
④ 사이트 환경		□산 □바닷가 ☑섬 □하천 □도로 □ 기타( )
⑤ 접근성	내륙(바닷가)	□진입 불가 □소형 차량 진입 가능 □모든 차량 진입 가능
	섬	☑무인도 □유인도(여객선 운항 횟수 기재/일)
⑥ 관광지 개발 여부		☑해당 없음 □준관광지 □관광지
⑦ 1일 방문자 수		☑10명 미만 □10~30명 미만 □30~50명 미만 □50~100명 미만 □100명 이상
⑧ 문화재 구역 관리 실태		□부적합 □보통 ☑우수 □대단히 우수
		전반적 관리 실태 우수하나 문화재 지정 안내판 미설치.
⑨ 화석 현황		공룡발자국, 스트로마톨라이트, 이매패류, 흔적 화석, 거북배갑 등 • 2004. 12. 남해안 화석지조사: 거북 상완골, 조각류 공룡 이빨, 악어 머리뼈 발굴(한국지질자원연구원) • 2008. 03. 거북배갑 발굴: 문화재청 국립문화재연구소









⑩ 훼손 현황	해당 없음(거북 배갑화석 발굴 완료)
⑪ 생물(식생) 침해	따개비 서식. 피복도 10% 미만. 
⑫ 추가 확인된 화석	-
⑬ 조사자 의견	지속적인 모니터링으로 화석산지 변화상 관찰 필요.
⑭ 사진 촬영	동 · 서 · 남 · 북 근접 촬영



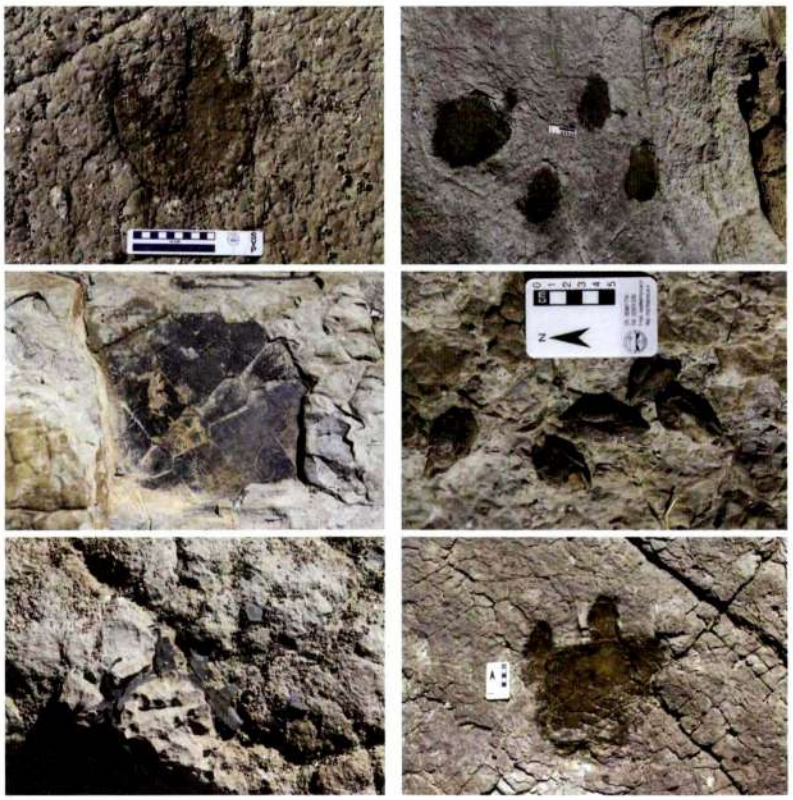



표 82 | 화석산지 모니터링 체크 리스트: 천연기념물 제477호 하동 중평리 장구섬 화석산지(2007)

화석산지 모니터링 체크 리스트 조사일: 2007. 11. 19.

① 지정 번호	천기 477호	② 지정 명칭	하동 중평리 장구섬 화석산지
③ 소 재 지	경남 하동군 금남면 중평리 산6		

모니터링 항목		조 사 내 용
④ 사이트 환경		□산 □바닷가 ☑섬 □하천 □도로 □ 기타( )
⑤ 접근성	내륙(바닷가)	□진입 불가 □소형 차량 진입 가능 □모든 차량 진입 가능
	섬	☑무인도 □유인도(여객선 운항 횟수 기재/일)
⑥ 관광지 개발 여부		☑해당 없음 □준관광지 □관광지
⑦ 1일 방문자 수		☑10명 미만 □10~30명 미만 □30~50명 미만 □50~100명 미만 □100명 이상
⑧ 문화재 구역 관리실태		□부적합 □보통 ☑우수 □대단히 우수 전반적 관리 실태 우수하나 문화재 지정 안내판 미설치.
⑨ 화석 현황		공룡발자국, 스트로마톨라이트, 이매패류, 흔적 화석, 거북배갑, 〈2004.12. 남해안 화석지 조사 연구: 거북상완골, 조각류 공룡 이빨, 악어 머리뼈 채취〉



⑩ 훼손 현황	거북배갑 자연적 훼손 발생 
⑪ 생물(식생) 침해	따개비 서식. 피복도 10% 미만 
⑫ 추가 확인된 화석	거북배갑 파편 추가 발견. 이 중 1점 배갑 형태 보존 우수
⑬ 조사자 의견	무인 도서로 일반인의 접근이 드물지만 간혹 낚시꾼 접근함. 주변에 대형 양식장이 있어 관련 종사자의 출입 잦음. 보존 상태가 좋은 거북배갑의 경우 파도 등에 의한 훼손이 진행 중으로 표본의 수습이 시급함.
⑭ 사진 촬영	동 · 서 · 남 · 북 근접 촬영






2011 천연기념물 화석산지 모니터링 조사 보고서

National Research Institute of Cultural Heritage
Natural Heritage Center



Ⅲ

천연기념물 개방동굴 조사

National Research Institute of Cultural Heritage Natural Heritage Center

1. 천연기념물 제260호 평창 백룡동굴 290

2. 천연기념물 제413호 영월 문곡리 스트로마톨라이트 298

3. 천연기념물 제416호 태백 장성 전기고생대 화석산지 306

1 천연기념물 제260호 평창 백룡동굴

| 1 | 자연환경 및 동굴 형태

백룡동굴은 강원도 평창군 미탄면 마하리 산 1번지로 북위 37°16′10″, 동경 128°34′54″에 위치한다. 평창읍에서 42번 국도를 따라 미탄면 방향으로 약 12km 정도 이동하면 미탄면사무소와 미탄중학교가 나온다. 이곳에서 42번 국도를 따라 정선방향으로 약 3km 정도 이동하면 우측으로 기화리, 마하리로 진입하는 도로가 나온다. 이 도로를 따라 약 6km 정도 이동하면 마하본동으로 연결되는 다리가 있는데, 다리를 건너지 말고 진탄나루터 방향으로 약 200m 정도 이동하면 진탄나루터와 동강이 나온다. 동강 상류 방향으로 나 있는 포장도로를 따라 3.5km 이동하면 문희마을이 있으며 이곳에서 상류방향으로 비포장도로가 끝나는 지점까지 이동한 후 절벽에 설치된 탐방 데크를 따라 이동하면 동굴 입구가 나타난다.

백룡동굴이 소재하고 있는 지역은 하부 고생대의 캄브리아기(Cambrian)에서 오르도비스기(Ordovician)에 퇴적된 조선누층군의 막골층인 석회암이 분포한다. 막골층은 두무골층 위에 정합적으로 놓이며, 직운산층에 의해 정합적으로 덮인다. 막골층의 층후는 250~400m이며, 두무골층 상부와 막골층 하부의 암상은 거의 차이가 없으나, 막골층의 하부에 나타나는 석회암 내에는 이질 성분이 거의 포함되지 않다는 것이 특징이다. 막골층은 석회질 이암, 돌로마이트질 이암, 돌로마이트질 석회질 이암, 평력석회암, skeletal wackestone, 그리고 약간의 미사 입자 크기의 석영으로 이루어진 사암, filmsy 셰일의 다양한 암질로 구성되어 있다.

백룡동굴은 전체적으로 동서 방향으로 발달해 있는 수평굴로 총 연장 약 1,875m이며 1개의 주 굴(A)과 3개의 가지 굴(B, C, D)로 이루어져 있다(그림 96). 주 굴인 A굴은 동-서 방향으로 약 785m, 가지굴인 B굴은 남서-북동 방향으로 약 185m, C굴은 동-서와 남-북 방향으로 약 605m, D굴은 동-서와 남서-북동 방향으로 발달해 있으며 약 300m의 규모를 갖는다(우경식 외, 2006).

| 1 | 동굴 대기 환경

2.1. 월별 일기 변화

강원도의 중남부에 위치한 백룡동굴의 기상 자료를 분석하기 위해 평창군의 남서쪽에 인접한 영월 기상대의 2011년 1월 1일부터 2011년 10월까지 기후요소별 월평균값을 정리하였다(표 83).

표 83 | 백룡동굴의 대기 환경 월평균 변화값 비교

기상요소	년도	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	평균
평균 온도(℃)	2010	0.2	3.8	9.4	16.9	22.3	25.1	26.0	20.3	15.5
	2011	0.3	3.3	10.6	17.3	21.8	24.7	24.8	19.4	15.3
평균 강수량(㎜)	2010	65.5	93.5	56.1	106.0	80.5	105.4	331.8	385.3	153.0
	2011	54.8	40.3	164.5	114.4	435.5	581.0	386.5	187.4	245.6
평균 상대습도(%)	2010	65.1	66.8	52.5	59.8	65.6	76.4	80.2	77.3	68
	2011	61.4	49.7	53.5	58.4	65.7	77.7	78.3	75.3	65

영월 기상대가 위치한 영월 지역은 주위에 높은 산과 남한강 상류에 위치한 내륙산간 지역으로 지형적인 특성이 기온, 바람, 강수에 영향을 미쳐 기후의 국지적인 특성을 가져온다. 2011년 월평균 기온은 15.3℃로서 2010년 월평균 기온 15.5℃에 비해 0.2℃ 낮게 관측되었다. 평균 강수량은 2011년 245.6㎜로 2010년 153.0㎜에 비해 92.6㎜가 더 높게 관측되었다. 월평균 상대습도는 2010년 68%보다 3% 낮은 65%로 관측되었다.

2.2. 동굴 대기 환경 측정

백룡동굴의 내부 환경은 계절적인 변화를 인지할 수 있도록 자동 온습도 측정기(LASCAR, EL-USB-2 또는 EL-USB-2+)를 설치하여 2011년 2월부터 9월까지 30분 간격으로 백룡동굴 5지점에서 측정하였다(그림 96).

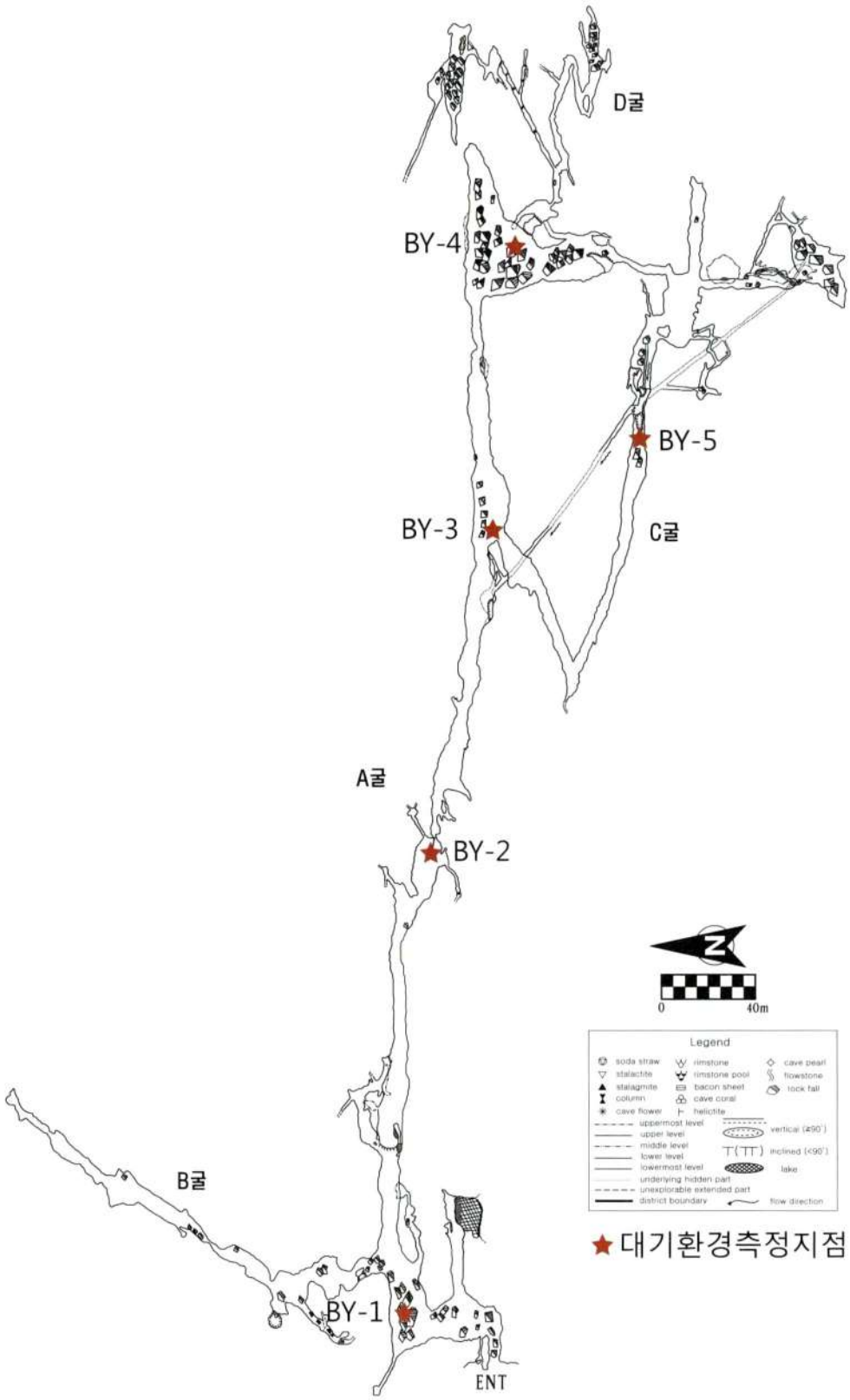


그림 96| 백룡동굴의 대기환경측정 지점(modified 박수인 외, 1999).

2.3. 동굴 대기 환경 변화

백룡동굴의 대기 환경 변화를 살펴보기 위해 자동 측정기(LASCAR, EL-USB-2 또는 EL-USB-2+)를 이용하여 온도와 습도의 변화를 2011년 2월부터 9월까지 파악하였다. 30분 간격으로 측정된 자료의 양이 방대하여 월평균값으로 변환하였다(표 84).

자동 측정기의 오작동으로 인하여 관측 지점별로 2월부터 9월까지의 측정값을 모두 얻지 못하였다. 따라서 각 지점별 마지막 달의 측정값은 한 달 동안 측정된 평균값이 아니기 때문에 대기 환경 변화를 분석하는 대상에서 제외시켰다.

표 84 | 백룡동굴의 지점별 월평균 대기 환경 측정값

측정지점	BY-1		BY-2		BY-3		BY-4		BY-5	
월별 / 기상요소	온도(℃)	습도(%)	온도(℃)	습도(%)	온도(℃)	습도(%)	온도(℃)	습도(%)	온도(℃)	습도(%)
2월	4.5	88.3	9.4	93.2	11.1	97.5	12.6	98.8	12.2	98.5
3월	4.9	89.4	9.3	95.6	11.0	99.9	12.5	100	12.0	100
4월	6.4	96.3	10.0	98.9	11.4	100	12.5	100	12.2	100
5월	8.0	99.8	11.1	100	11.9	100	13.1	100	12.5	100
6월	9.1	100	11.9	100	12.4	100	12.5	100	13.0	100
7월	10.0	98.0	12.3	100	12.5	100			13.8	100
8월	10.3	93.4	12.6	100						
9월	10	92.5	12.5	99.9						

가. 월평균 온도 변화값

백룡동굴의 월평균 온도 변화값은 상온의 온도 경사에 따라 변화하는 경향을 보이고 있어 일정 부분 계절적 영향(상온의 온도)을 받는 것으로 판단된다(그림 97). 특히 동굴 입구와 가까운 BY-1과 BY-2의 두 측정 지점은 계절적 변화를 크게 받는 것으로 나타났으나 동굴 안쪽으로 설치된 BY-3, BY-4, BY-5는 상대적으로 계절의 영향을 덜 받는 것을 볼 수 있다. BY-4 지점(광장)은 다른 측정 지점에 비해서 월평균 온도가 높게 나타나고 있다(그림 97). 이는 관람객이 10분 정도 머물면서 암흑 체험과 동굴의 생성물을 관람하는 지점으로 동굴 대기의 흐름이 거의 없는 지역적 특성과 가장 많은 관람객이 방문하고 머물기 때문인 것으로 추정된다. 이와 같은 측정 결과로 동굴의 대기 환경은 외부 대기 변화보다 내부의 환경 변화에 큰 영향을 받는다는 것을 알 수 있다.

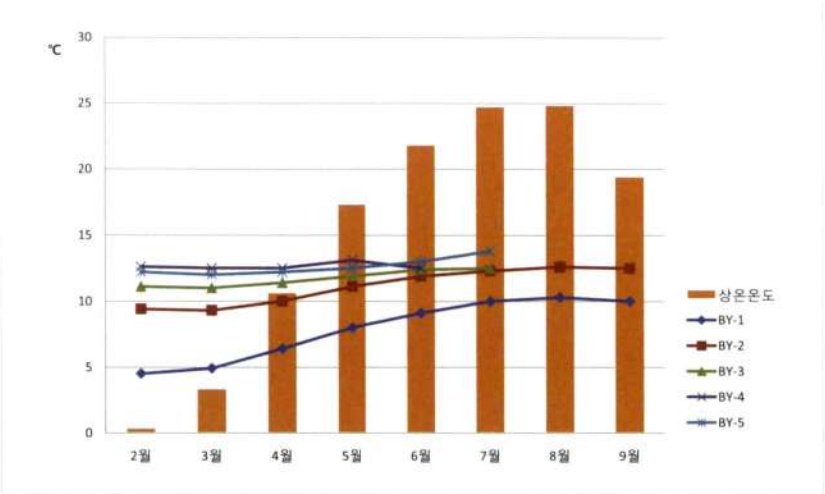


그림 97 | 백룡동굴의 월평균 온도 변화값(2011년 2월 ~ 2011년 9월).

백룡동굴의 월평균 온도 변화값을 측정 지점별로 2010년과 2011년으로 비교해 보았다(표 85). 단 각 지점별로 측정값이 수집된 같은 달까지의 평균 온도값을 비교 하였다. 그 결과 각 측정 지점별 온도 변화는 -0.4~0.5℃의 편차를 보이고 있다. BY-1 지점의 월평균 온도는 2010년에 비해 약 0.4℃가 낮게 나타났다. 이는 동굴 외부의 월평균 온도가 2010년 15.5℃이었던 것이 2011년 15.2℃로 0.3℃가 낮아진 계절적 영향을 반영한 것으로 보인다. 하지만 나머지 측정 지점의 월평균 온도는 2010년에 비해서 2011년에 0~0.5℃ 높아진 것으로 측정되었다. 관측 결과값이 많지 않아 예측하기 어렵지만 동굴 외부의 월평균 온도가 내려갔지만 동굴 내부의 온도가 올라갔다는 점은 주목해 볼 필요가 있다. 정확한 분석을 위해 주기적인 모니터링에 의한 자료의 축적이 필요하다.

표 85 | 2010년과 2011년 백룡동굴의 측정 지점별 월평균 온도 변화값 비교

측정지점	BY-1		BY-2		BY-3		BY-4		BY-5	
월별 측정년도	2010	2011	2010	2011	2010	2011	2010	2011	2010	2011
2월	5.0	4.5	8.9	9.4	11.1	11.1	12.5	12.6	12.0	12.2
3월	5.9	4.9	9.1	9.3	11.0	11.0	12.5	12.5	12.0	12.0
4월	6.8	6.4	9.6	10.0	11.3	11.4	12.5	12.5	12.0	12.2
5월	8.2	8.0	10.4	11.1	11.9	11.9	12.5	13.1	12.0	12.5
6월	9.3	9.1	11.2	11.9	12.4	12.4	12.5	12.5		13.0
7월	10.1	10.0	11.7	12.3	12.5	12.5	12.5			13.8
8월	10.5	10.3	12.0	12.6			12.5			
9월	10.7	10	12	12.5			12.5			
평균	8.3	7.9	10.6	11.1	11.7	11.7	12.5	12.6	12	12.2

나. 월평균 상대습도 변화값

백룡동굴의 내부 상대습도는 동굴 외부의 상대습도보다 전체적으로 높게 나타나고 있다(그림 98). BY-1 측정 지점의 상대습도는 2월에서 5월까지 증가하는 경향을 보이다가 6월 이후 다시 낮아지는 경향을 보이고 있다. BY-2 측정지점은 2월부터 5월까지 상승하다가 6월부터 일정하게 유지되는 경향을 보이고 있다. 이 두 측정 지점의 상대습도는 월별 편차가 눈에 띄게 나타나지만 나머지 동굴 내부의 측정 지점의 상대습도는 거의 안정하게 유지되는 상태를 보이고 있다. 이는 동굴 내의 상대습도는 동굴 외부의 상대습도 변화에 따른 영향을 거의 받지 않는다는 것을 의미한다.

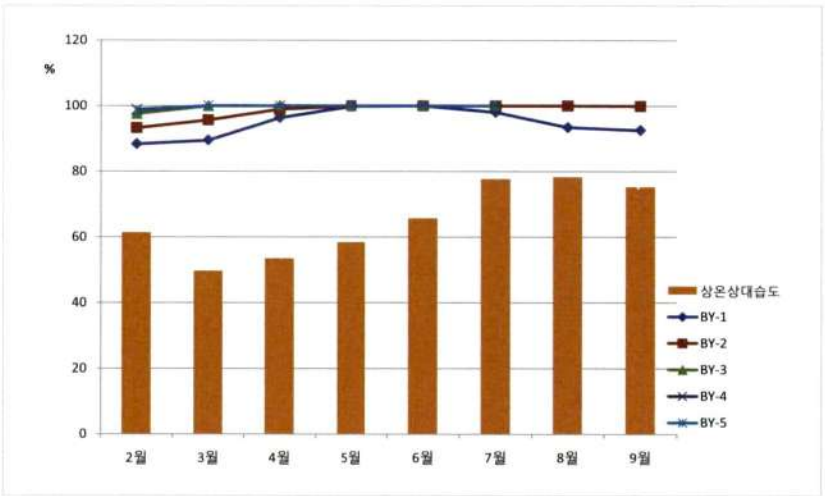


그림 98| 백룡동굴의 월평균 상대습도 변화값(2011년 2월 ~ 2011년 9월).

백룡동굴의 2010년과 2011년의 월평균 상대습도 변화값을 지점별로 살펴보았다(표 86). 단 각 지점별로 측정값이 수집된 같은 달까지의 평균 상대습도값을 비교 하였다. 그 결과 각 측정 지점별 상대습도 변화는 -2.2 ~ 0.5%의 편차를 보이고 있다. BY-3 지점의 월평균 상대습도는 2010년에 비해 0.5% 증가 하였지만, 나머지 측정 지점에서는 2010년의 상대습도에 비해 낮게 나타났다. 특히, BY-1 지점의 월평균 상대습도는 2010년에 비해 2.2%가 낮게 나타나 다른 지점보다 상대습도의 편차가 크게 나타났다.

표 86 | 2010년과 2011년 백룡동굴의 측정 지점별 월 상대습도 변화값 비교

측정지점	BY-1		BY-2		BY-3		BY-4		BY-5	
월별 측정년도	2010	2011	2010	2011	2010	2011	2010	2011	2010	2011
2월	88.6	88.3	94.3	93.2	96.7	97.5	99.1	98.8	99.1	98.5
3월	92.1	89.4	97.5	95.6	98.2	99.9	100	100	100	100
4월	95.0	96.3	99.2	98.9	99.5	100	100	100	100	100
5월	99.6	99.8	100	100	100	100	100	100	100	100
6월	100	100	100	100	100	100	100	100		100
7월	100	98.0	100	100	100	100	100			100
8월	100	93.4	100	100			100			
9월	100	92.5	100	99.9			100			
평균	96.9	94.7	98.9	98.5	99.1	99.6	99.9	99.8	99.8	99.6

다. 이산화탄소 변화값

자연동굴(비공개 구간) 내에서 이산화탄소 분압의 차이는 자연적 요인에 의해 영향을 받는다. 동굴 위를 덮고 있는 토양 내 유기물의 양과 강수량에 의해 약간의 차이를 보일 수 있으며, 일부 동굴 내에 유기물이 많은 퇴적물이나 박쥐의 배설물(구아노) 등이 있는 경우에는 이산화탄소의 분압이 높게 나타날 수 있다. 대부분 외부 대기의 값과 비슷한 350ppmv에서 550ppmv 정도의 일정한 값을 가진다. 동굴 내 이산화탄소 농도가 2,400ppmv 이상부터는 동굴생성물의 발달을 저해하거나 변질시키고 5,000ppmv 이상일 경우는 조사자 및 관람객에게 유해하다는 연구 결과가 있다(Kermode, 1979).

지점별 이산화탄소의 변화를 살펴보면 아래 표와 같다(표 87). 2011년도 9월의 이산화탄소 양은 과거 2009년 9월과 2010년 8월 10월에 비하여 많이 낮아진 것을 볼 수 있다. 축적된 자료의 기간과 양이 얼마 되지 않아 정확한 이산화탄소의 변화를 판단하기 어렵지만, 동굴 내 이산화탄소의 농도 변화는 동굴 생성물뿐만 아니라 생명체에도 유해하기 때문에 장기적인 모니터링이 반드시 필요하다.

표 87| 이산화탄소 변화값(ppmv)

측정일시 / 측정지점	09.2.26	09.7.8	09.9.29	10.2.03	10.5.29	10.8.15	10.10.21	11.9.16
BY-1	379	692	574	320	482	720	539	374
BY-2	384	680	593	329	500	840	673	355
BY-3	383	700	637	354	485	799	653	338
BY-4	404	571	493	362	472	869	729	357
BY-5	387	615	585	-	545	710	576	267

2.4. 동굴 관리

백룡동굴은 2010년 7월 20일 생태 체험 관광을 목적으로 개방되었다. 1일 9회에 걸쳐 매 회당 15명에서 20명씩 동굴 가이드의 인솔에 의해 동굴 생태 체험 관람이 이루어지고 있다. 백룡동굴은 기존 개방된 동굴보다 관리와 운영이 잘 이루어지고 있는 곳이다. 하지만, 동굴이라는 협소한 장소적 특징과 밀폐성의 특징을 갖고 있어 생태 체험 참가자에 의한 동굴 생성물의 훼손과 오염, 동굴 바닥 퇴적물의 유실이 발생할 수밖에 없다.

동굴 생태 체험 관람로에 있는 동굴 생성물들은 관람객의 손과 신발에 묻은 진흙으로 생성물들이 피복되는 문제점이 발생하고 있다(그림 99). 따라서 주기적인 진흙 제거 작업이 필요하다. 또한, 동굴 내부에 비치된 구급약품과 골절 사고를 대비한 부목들은 방습과 방수 제품이 아닌 일반 제품으로 곰팡이가 생길 수 있고, 약제가 변질될 위험성이 있으므로 방수 제품으로 교체할 필요가 있다.



그림 99| 관람객의 손에 묻은 진흙에 의해 동굴생성물이 피복된 모습.

2 천연기념물 제262호 단양 노동동굴

| 1 | 자연환경 및 동굴 형태

노동동굴은 행정구역상 충청북도 단양군 단양읍 노동리 산 1번지 등에 해당하며, 동굴 입구는 동경 128° 22' 56.9", 북위 36° 57' 11.3", 출구는 동경 128° 22' 51.3", 북위 36° 57' 08.5"에 위치한다. 노동동굴의 입구와 출구는 인공적으로 만들어 놓은 터널이며, 원래의 천연동굴 입구는 출구에서 산 정상 방향으로 약 20m 떨어진 지점에 위치한다.

노동동굴이 소재하는 지역은 하부 고생대의 캄브리아기(Cambrian)에서 오르도비스기(Ordovician)에 퇴적된 조선누층군의 막골층인 석회암이 분포한다. 막골층은 두무골층 위에 정합적으로 놓이며, 홍점통에 의해 부정합으로 덮인다. 층의 층후는 250~300m 내외이며, 막골층은 회색의 석회암으로 구성되어 있으며 돌로마이트가 함께 나타난다.

노동동굴에 대한 전체 규모에 대한 정확한 학술 조사 자료가 없어 정확한 규모와 형태를 알 수는 없지만 최근 사단법인 한국동굴연구소에서 작성한 측량도에 의하면 전체 노동동굴의 규모는 약 800m(인공 터널 구간 포함)로 이중 관람 구간은 약 430m(직선상의 거리), 개방되지 않았거나 개방되었다가 폐쇄된 미개방 구간은 약 370m으로 추정하였다(그림 100).

| 2 | 동굴 대기 환경

2.1. 월별 일기 변화

노동동굴의 기상 자료를 분석하기 위해 제천 기상대의 2011년 1월 1일부터 2011년 10월까지 기후요소별 월평균값을 정리하였다(표 88). 2011년 월평균 기온은 14.0℃로서 2010년 월평균 기온 14.4℃에 비해 0.4℃ 낮게 관측되었다. 평균 강수량은 2011년 177.7㎜로 2010년 260.1㎜에 비해 82.4㎜가 더 낮게 관측되었다. 월평균 상대습도는 2010년 69.9%보다 3.6% 낮은 66.3%로 관측되었다.

표 88 | 노동동굴의 대기 환경 월평균 변화값 비교

기상요소	년도	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	평균
평균 온도(℃)	2010	-1.3	2.7	7.9	15.7	21.4	24.1	25.3	19.5	14.4
	2011	-1.4	1.7	9.1	16.1	20.7	23.8	24.0	18.3	14.0
평균 강수량(㎜)	2010	68.6	117.3	71.5	118.1	87.6	180.1	345.7	432.8	177.7
	2011	52.9	36.5	189.8	121.8	459.0	665.2	398.5	157.2	260.1
평균 상대습도(%)	2010	67.7	66.8	56.2	62.0	67.0	78.6	81.8	79.0	69.9
	2011	66.9	55.3	56.2	61.4	67.8	77.9	75.3	69.7	66.3

2.2. 동굴 대기 환경 측정

문화재청에서는 2010년 노동동굴 환경 복원 및 시설물 철거를 실시하기로 결정하고, 2011년 단양군청에서 복원 사업을 실시하였다. 이에 노동동굴의 내부 환경 변화를 조사하기 위해 복원 사업에 지장을 초래하지 않는 범위에서 자동 온습도 측정기(LASCAR, EL-USB-2 또는 EL-USB-2+)를 설치하여 측정하였다. 자동 온습도 측정기는 노동동굴의 막장(ND-4) 한 곳에서 2011년 2월부터 9월까지 30분 간격으로 측정하였다(그림 100).

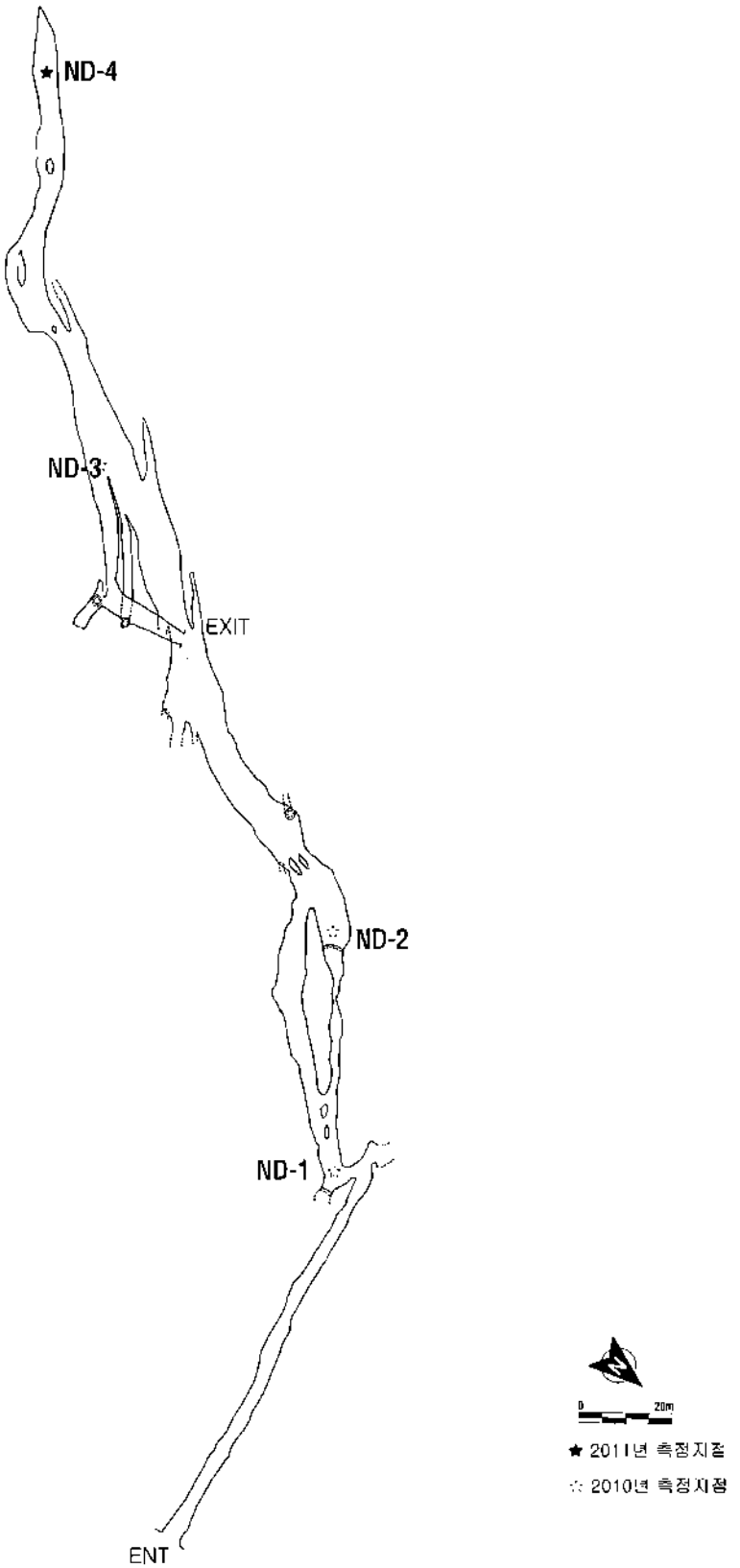


그림 100 | 노동동굴의 대기환경 측정지점(modified 우경식, 2008).

가. 월평균 온도 변화값

노동동굴의 월평균 온도 변화값을 측정 지점별로 2009년 1월부터 2011년 6월까지 측정된 온도를 정리하였다(표 90). 현재는 연도별 월평균 온도 변화를 비교하기는 어렵지만, 자료가 더 보충되면 폐쇄된 후 온도 변화의 경향을 알 수 있을 것이다. 관측값에서 흥미로운 점은 동굴 외부의 온도 변화에 영향을 받지 않는 측정 지점인 ND-3 지점의 8월과 9월 월평균 온도는 2009년도에 각각 17.2℃와 15.9℃이었던 것이 2010년 13.0℃와 12.7℃로 낮아졌고, ND-4 지점의 3월의 평균온도는 13.1℃에서 12.5℃로 낮아진 것을 볼 수 있다. 이는 폐쇄된 이후 동굴 내부 온도가 내려가고 있는 것으로 예측해 볼 수 있지만, 관측값이 매우 적기 때문에 전체적인 온도 변화라고 판단할 수 없다. 따라서 정확한 온도 변화 예측을 위해서는 더 많은 관측값을 수집하여 비교해보아야 할 것이다.

표 89 | 노동동굴의 측정 지점별 월평균 온도 변화값 비교(2009. 1. ~ 2011. 6.)

측정지점	ND-1			ND-2			ND-3			ND-4		
월별 측정년도	2009	2010	2011	2009	2010	2011	2009	2010	2011	2009	2010	2011
1월					6.6			12.3				
2월					6.9							12.5
3월		6.1			7.5						13.1	12.5
4월					7.9			15.3				12.5
5월					8.5			14.2				12.5
6월					9.0			13.8				12.5
7월					9.0			13.5				
8월	11			9.5	9.5		17.2	13.0		12.9		
9월	10.9			9.5	9.5		15.9	12.7		13.0		
10월				9.5			14.3			13.0		
11월				9.2			13.4			12.7		
12월				8.0			12.7			12.5		

나. 월평균 상대습도 변화값

노동동굴의 2009년 1월부터 2011년 6월까지의 월평균 상대습도 변화값을 지점별로 정리하였다(표 91). 현재는 연도별 월평균 상대습도 변화를 비교하기는 어렵다.

표 90 | 노동동굴의 측정 지점별 월평균 상대습도 변화값 비교(2009. 1. ~ 2011. 6.)

측정지점	ND-1			ND-2			ND-3			ND-4		
월별 측정년도	2009	2010	2011	2009	2010	2011	2009	2010	2011	2009	2010	2011
1월					97.3			100				
2월					98.3							98.5
3월		96.5			99.9						100	100
4월					100			100				100
5월					100			100				100
6월					100			100				100
7월					100			100				
8월	99.7			99.1	100		99.8	100		99.6		
9월	100			99.9	100		100	100		100		
10월	99.9			100			100			100		
11월				100			100			100		
12월				99.2			100			100		

다. 이산화탄소 변화값

노동동굴의 이산화탄소 측정값은 아래와 같다(표 92). 노동동굴의 초기 이산화탄소 측정값을 알지 못해 전체 변화를 판단하기 어렵지만 폐쇄 이후 노동동굴 막장의 이산화탄소 양은 낮아진 것을 볼 수 있다.

표 91 | 이산화탄소 변화값

측정일시 / 측정지점	08. 6.14	08. 7.15	08. 9.22	08. 9.23	08. 10.11	09. 5.1	09. 7.16	10. 10.14	11.9.17
ND-1	486	530	673	548	541	395	433	269	
ND-2	410	603	543	571	642	389	448	460	
ND-3						370	393	135	
ND-4	427	522	533	769	636			158	153

2.3. 동굴 환경 변화

노동동굴 개방 당시 관람객의 통행을 위하여 인위적으로 설치해 놓은 시설물(계단, 발판, 난간 등)의 안전에 대한 실태 조사가 2009년부터 실시되었다. 조사 결과 심각한 문제가 발견되어 2010년 문화재청에서는 노동동굴 환경 복원 및 시설물 철거를 실시하기로 결정하여 2011년 1차 사업으로 노동동굴 환경 복원 사업을 실시하고 있다. 노동동굴의 동굴 생성물 표면에 남아 있는 녹색 오염에 대한 제거를 위한 예비 실험으로 약품 처리를 한 구역의 흑색 오염이 깨끗하게 제거된 모습을 볼 수 있다(그림 101).

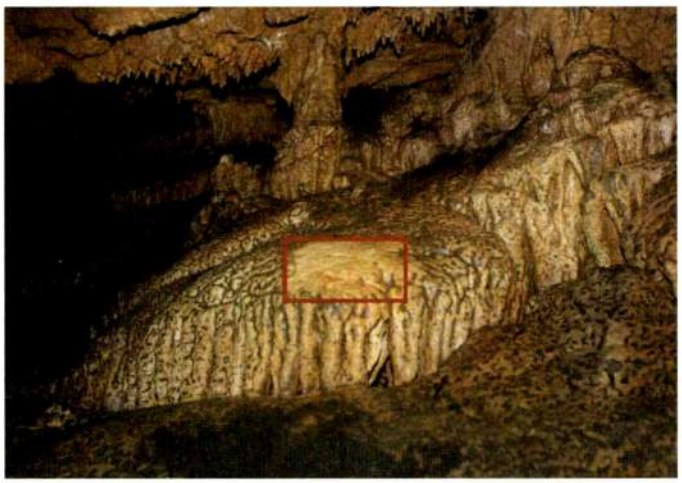


그림 101| 흑색오염물질 제거하기 위한 예비 약물실험.

또한 개방동굴에 설치된 조명에 의해 발생하는 녹색 오염 물질인 조류(algae), 균류(fungi), 지의류와 선태류(moss) 등의 제거 작업을 위해 약품 처리를 한 후 복원된 모습을 볼 수 있다(그림 102).



그림 102| 녹색오염물질 제거하기 위한 약물처리 모습(좌: 2010년, 우: 2011년).

노동동굴에서는 동굴 스스로 오염 물질을 제거하고 복원되는 모습을 확인 할 수 있다(그림 103). 폐쇄된 이후 자연적으로 흑색과 녹색 오염 물질이 서서히 줄어드는 모습을 볼 수 있는데, 이는 조명이 제거되고 관광객의 출입이 통제됨으로써 오염물들의 성장에 필요한 요소인 빛, 열, 먼지와 같은 각종 오염물이 제거된 결과이다. 또한 이후 탄산염 물질의 피복이 발생하고 있기 때문으로 판단된다.



그림 103| 폐쇄된 후 변화되는 동굴생성물의 모습(좌:2009년, 우: 2011년).

2.3.1. 동굴 대기 환경 변화 원인

자연동굴 내의 대기 환경은 외부 환경과는 매우 다르게 나타난다. 즉 연중 거의 일정하게 유지되는 동굴 내의 기온은 동굴이 위치한 지역의 연평균 기온을 반영한다. 또한 동굴 내부의 습도는 동굴 내부에 존재하는 동굴 수의 존재와 밀접한 관계를 가진다. 동굴 내부를 흐르는 동굴수의 존재는 동굴 주변의 지형과 지하수면의 위치와 밀접한 관계가 있다. 보통 대부분의 석회동굴이 지하수면 근처에서 형성되기 시작하므로 동굴 형성의 초기 단계에는 동굴 내에 동굴수가 흐르고 있으며, 동굴의 대기는 높은 습도를 보이는 것이 보통이다. 하지만 지하수면이 내려가면서 동굴류가 하층이나 지하 방향으로 이동하게 되면서 상층 혹은 상부에 존재하는 동굴 내 습도는 점차 낮아지게 된다.

동굴 내 대기 환경은 다음과 같이 요약될 수 있다.

1) 동굴 내부는 태양 광선의 영향을 받지 않는 암흑의 상태이므로 태양에너지에 의한 열 공

급이 없다. 따라서 동굴 내 기온은 동굴 주위의 지중 온도에 의하여 결정되며 기온의 일변화나 계절 변화가 거의 나타나지 않는다.

2) 동굴 내부에는 특별한 경우를 제외하고는 외부에 따른 영향을 받는 바람이 없으며 단지 동굴 내에서 공기의 밀도 차에 의한 흐름이 있을 뿐이다. 동굴 내부 기온과 외부 기온의 차이로 밀도 차이가 생기면 동굴 입구를 통한 공기의 출입이 나타나며, 그 양상은 계절적으로 변하게 된다. 특히 동굴 내 기류의 흐름은 동굴의 입구의 위치와 발달 방향에 많은 영향을 받는 것이 보통이다.

3) 동굴 수의 존재 유무 외에도 동굴 속으로 유입되는 지하수의 양이 동굴 내의 습도를 조절하며, 이는 연중 강우량과 밀접한 관계를 가진다. 동굴을 이루고 있는 모암인 석회암 내에 절리면과 층리면의 발달 정도는 동굴 내 습도에 많은 영향을 미친다. 왜냐하면 동굴 속으로 공급되는 동굴수는 주로 암석 내의 절리면이나 층리면을 따라 공급되기 때문이다. 또한 동굴 내의 기온에 따라 습도가 영향을 받기도 하는데, 보통 동굴 내의 온도가 높아질수록 수분 함유량이 높아지며 습도도 높아지게 된다.

실제로 동굴 내의 대기 환경은 이상과 같은 일반적인 요인 이외에도 동굴입구의 크기와 형태, 동굴 내부의 지형, 동굴 외부 주위의 지형 등에 따라 좌우되며 다음과 같은 과정에 의하여 동굴 내에서의 분포가 달라진다.

첫째, 동굴의 위치에 따른 고도 차이가 크면 온도 성층이 생겨서 기온과 습도가 위치에 따라 크게 달라진다.

둘째, 좁은 틈을 통한 공기의 흐름이 존재하고 이 공기에 의하여 동굴 내부의 기온도 영향을 받는다. 또한 이 공기의 건습 정도가 동굴 내부의 습도에도 영향을 미친다.

셋째, 동굴 입구가 넓고 입구에서부터 상당한 내부까지 수평으로 뻗어 있는 경우 기온 및 습도는 외부 공기의 영향을 크게 받으므로 계절변화와 일변화가 나타난다.

다시 말해 동굴 입구의 위치, 방향과 크기, 그리고 동굴의 형태 및 규모에 따라 외부의 대기환경이 동굴 내에 미치는 영향은 다소 차이를 보이지만, 대부분의 동굴은 거의 일정한 온도와 습도를 유지하고 있다. 그러나 동굴의 입구 부분은 동굴 외부의 영향을 많이 받아서 계절별 변화의 폭이 크게 나타나는 것이 일반적이다.

3 천연기념물 제155호 성류굴에 분포하는 박쥐 구아노의 탄소, 질소 안정동위원소 분석

| 1 | 성류굴 개요

울진 성류굴은 1963년 천연기념물 제155호로 지정된 석회암 동굴로서 경상북도 울진군 근남면 구산리 산 30번지에 위치한다(그림 104). 성류굴은 고생대 오르도비스기 동안에 퇴적된 두무골층 암석에 발달해 있으며 동굴의 입구는 선유산 절벽에 위치한다. 성류굴은 현재의 입구(제 1입구)와 과거 자연적인 입구(제2 입구)가 발달해 있으며, 제2 입구는 과거 성류굴의 자연적인 입구였으나 현재는 통로가 좁아 사용을 하지 않고 있다(김련 외, 2010). 성류굴은 전체적으로 북동 방향으로 발달하고 있는 수평동굴로서 동굴 내 3개 구간에 규모가 큰 호수가 분포하고 있다(그림 105). 성류굴 주굴의 길이는 약 330m, 지굴의 길이는 약 540m로 총연장은 약 870m이며 이중에서 일반인들에게 개방된 구간은 약 270m이다(김련과 우경식, 2007).

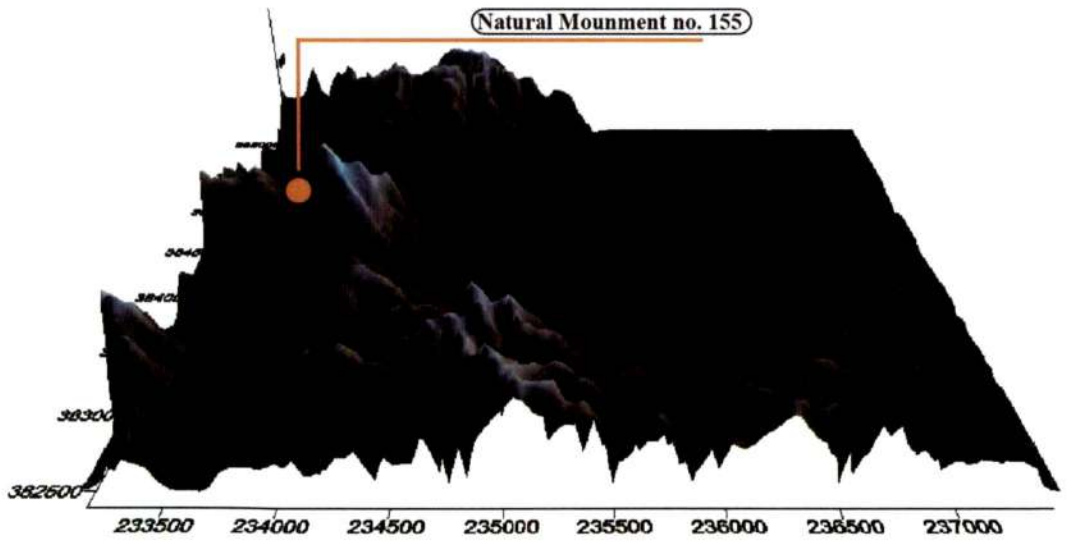


그림 104 | 성류굴 주변 지역의 3D 지형.

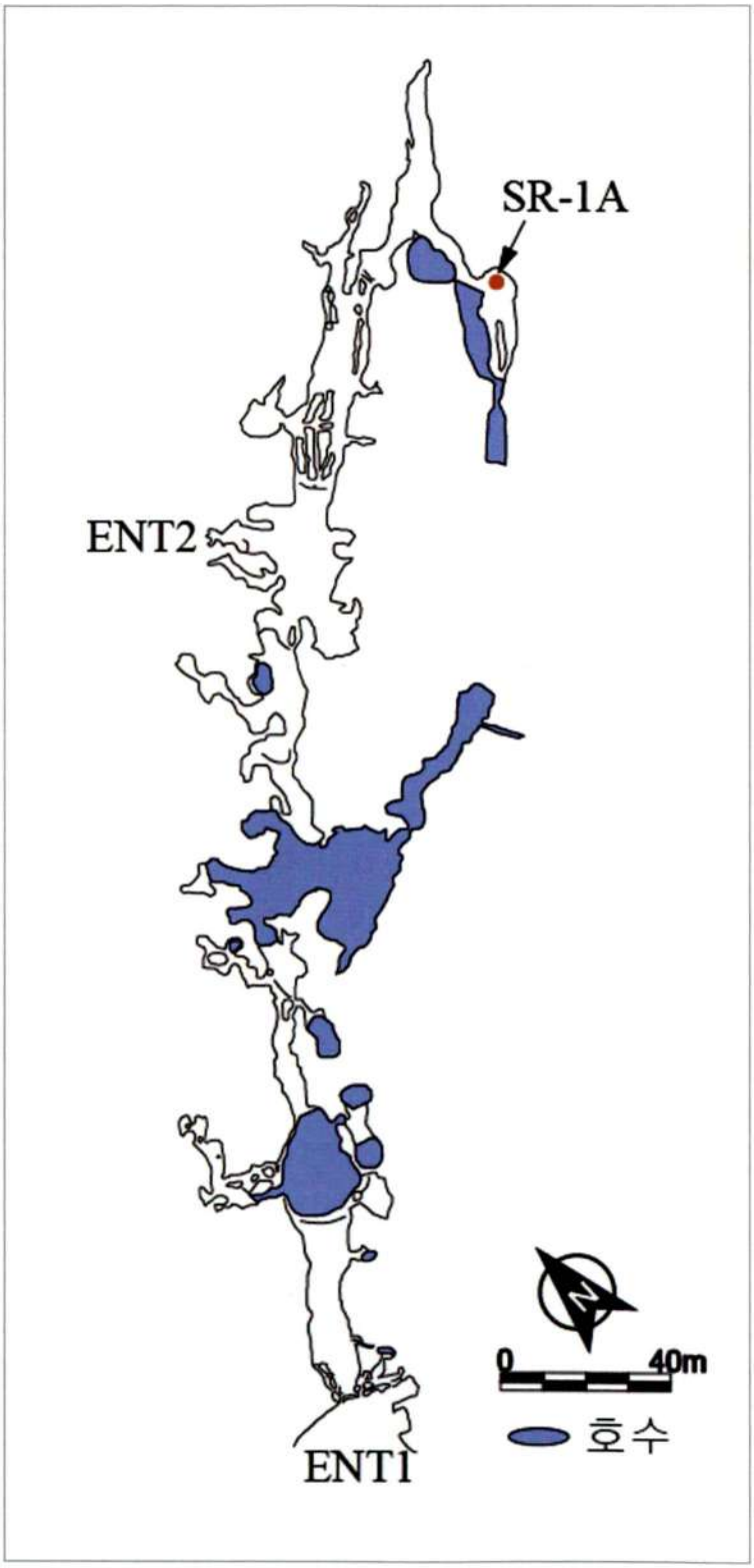


그림 105| 울진 성류굴의 측량도 및 박쥐 구아노의 시료 채취 지점
(빨간색 원은 박쥐 구아노 시료 위치를 나타낸다).

| 2 | 박쥐 구아노의 분석

울진 성류굴의 박쥐 구아노는 관람객의 출입이 금지되어 있는 미개방 구간에서 채취되었다(그림 105). 박쥐 구아노는 호수 부근의 바닥에 넓게 분포하고 있으며, 이 중 가장 두께가 두꺼운 부분에서 박스코어를 이용하여 시료를 채취하였다(그림 106 A, B). 회수된 퇴적 시료의 두께는 약 21cm이며, 상부와 하부는 박쥐구아노가 아닌 쇄설성 동굴 퇴적물로 구성되어 있다(그림 106 C). 1cm 간격으로 총 21개의 부시료로 나뉘어졌으며, 이들 시료는 고환경 및 고기후 복원을 위해 연대 측정, 탄소 및 질소 안정동위원소 분석이 실시되었다.



그림 106 | 박쥐 구아노 채취 지점 및 단면 사진(A와 B는 성류굴에 분포하는 박쥐 구아노, C는 박스코어를 이용하여 채취된 박쥐 구아노의 단면 사진).

2.1. 연대 측정

성류굴에 퇴적되어 있는 박쥐 구아노 단면의 퇴적 시기 및 정확한 고환경을 복원하기 위하여 ^{14}C 연대 측정을 실시하였다(공달용 외, 2010 참조). 주요 구간별 연대는 외삽법과 내삽법을 이용하여 연대를 추정하였다(표 93). 최하부의 연대는 약 8,000cal B.P.이며 최상부는 최근까지 퇴적된 것으로 밝혀졌다. 심도가 깊어짐에 따라 연대값이 증가하는 경향은 구아노의 교란이

없었음을 의미한다(그림 107). 다만 최하부에서 측정된 연대값은 역전 현상을 보이는데, 이는 박쥐 구아노가 아닌 쇄설성 퇴적물에서 측정된 값으로 탄소 함유량의 부족으로 인해 오차가 발생한 것으로 생각된다. 비교적 일정한 퇴적 속도는 박쥐 구아노가 퇴적된 후 현저한 다짐 현상이 없었고, 지속적인 퇴적이 이루어졌음을 알 수 있다.

표 92| 성류동굴(SR 1A) 박쥐 구아노의 방사선 탄소 동위원소 연대 결과

Depth (cm)	Sample No.	Lab. No.	$\delta^{13}C$	Conventional age (yr BP)	Calibrated age (yr BP)
5	SR 1A-5	SNU10-R091	-24.12	940±50	855±55
10	SR 1A-10	SNU10-R092	-23.31	2870±50	3005±75
13	SR 1A-13	SNU10-R093	-24.2	4900±60	5656±52
16	SR 1A-16	SNU10-R094	-24.2	5100±60	5837±70
21	SR 1A-21	SNU10-R095	-26.85	2360±80	2472±142

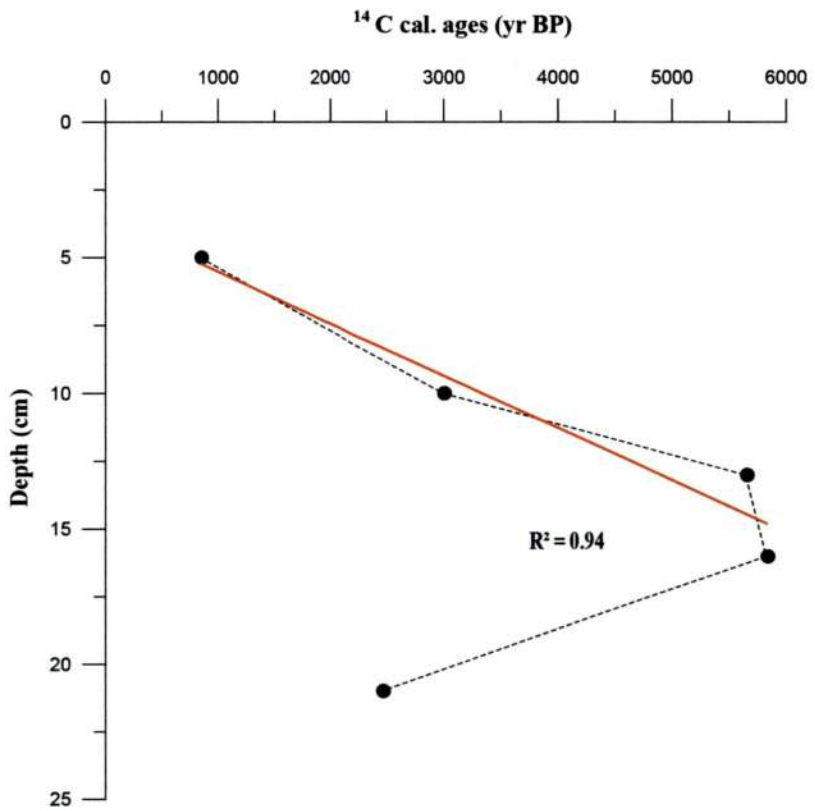


그림 107| 구아노 단면의 심도에 따른 연대 그래프.

2.2. 탄소 및 질소 안정동위원소 측정

건조시킨 박쥐 구아노 시료에 8%의 염산(HCl)을 첨가하여 무기 탄소를 제거하고 필터수로 세척하였다. 다시 건조시킨 시료를 아게이트를 이용하여 분말 처리한 후 한국기초과학지원연구원(KBSI)의 EA-IRMS(Elemental Analyzer-Isotope Ratio Mass Spectrometer, 영국 GV Instruments사의 Isoprime모델)를 이용하여 유기물의 $^{13}C/^{12}C$, $^{15}N/^{14}N$ 비를 분석하였다. 실험실 표준 시료를 3번 반복 분석한 결과 자료의 재현성은 탄소와 질소 모두 약 ±0.2‰의 신뢰도를 보였다. 탄소와 질소의 동위원소비는 아래와 같은 식으로 구해졌다.

$$\delta^{13}C \text{ or } \delta^{15}N\ (‰) = (R_{sample}/R_{standard}-1) \times 1000$$

| 3 | 탄소, 질소 안정동위원소

박쥐 구아노는 박쥐 배설물이 오랜 기간 축적된 퇴적물로서 과거 박쥐의 먹이가 되었던 곤충의 탄소와 질소 동위원소비를 반영한다. 곤충 조직의 $\delta^{13}C$와 $\delta^{15}N$값은 곤충이 섭취한 먹이를 반영하고, 곤충의 풍부도는 주로 이들이 활용 가능한 지역의 식생에 의해 결정된다. 따라서 두꺼운 퇴적물로 쌓여 있는 구아노의 안정동위원소 분석을 통해 지역 식생의 $\delta^{13}C$, $\delta^{15}N$값의 장기적인 변화 기록을 알 수 있다(Wurster *et al.*, 2008).

3.1. 탄소 안정동위원소비

모든 식물은 광합성을 통해 생장한다. 가장 원시적인 조류에서 가장 진화한 피자 식물에 이르기까지, 광합성을 하는 모든 진핵 생물체는 C_3 식물에서 처음으로 밝혀진 광합성의 탄소환원 회로라는 동일한 기본 메커니즘에 의해 CO_2를 탄수화물로 환원시킨다. 광합성에 의한 CO_2의 고정과 이와 관련된 다른 대사 경로들, 예를 들면 C_4 광합성 탄소동화 회로와 광호흡 탄소산화 회로의 유무에 따라 상기 서술한 C_3, C_4, CAM으로 구분된다. C_4 탄소 회로를 가지는 식물(C_4 식물)과 캘빈 광합성 회로에 의해서만 광합성을 수행하는 식물(C_3 식물) 사이에는 잎의 해

부학적 차이가 나타난다. 전형적인 C_3 식물을 횡 절단해보면 엽육세포(mesophyll)라고 하는 엽록체를 갖는 주요한 종류의 세포가 있음을 알 수 있다. 반면에 C_4 잎은 엽육 및 유관속초(bundle sheath) 세포라고 하는 두 종류의 세포가 존재한다. C_4 식물은 C_4 회로가 갖는 고유의 특징으로 인해 C_3 식물보다 고온에서 더 효율적으로 광합성을 할 수 있으며, 건조하고 뜨거운 기후에서 상대적으로 잘 자란다(전방욱, 2005). 이러한 세가지 타입의 식물은 각기 고유한 탄소 안정동위원소비를 갖는다(그림 108). C_3 식물에는 대부분의 수목과 한랭한 지역에서 서식하는 초본이 포함되며, 이들의 탄소 안정동위원소비는 -32~-21‰ 의 범위를 가진다. 온난한 지역에서 생장하는 초본류에 해당하는 C_4 식물은 -17~-9‰의 탄소 안정동위원소비의 범위를 보인다. CAM 식물은 사막과 같이 고온 건조한 지역에서 나타나는 식물로서 -11~-28‰의 탄소 안정동위원소비를 가진다(O' Leary, 1981, 1988; Tieszen, 1991). 따라서 탄소 안정동위원소비를 이용하여 시간의 변화에 따른 C_3 식물과 C_4 식물의 상대적인 우점도를 얻어낼 수 있으며 이는 과거의 기후 변동을 대변한다. 또한 삼림이 제거되고 농경지가 확대되는 시기에는 C_4 식물이 우점하여 $\delta^{13}C$가 높아지므로 탄소 동위원소 분석을 통해 인간의 활동으로 인한 환경 변화의 시기 및 정도를 유추할 수 있다(Lane *et al.*, 2004).

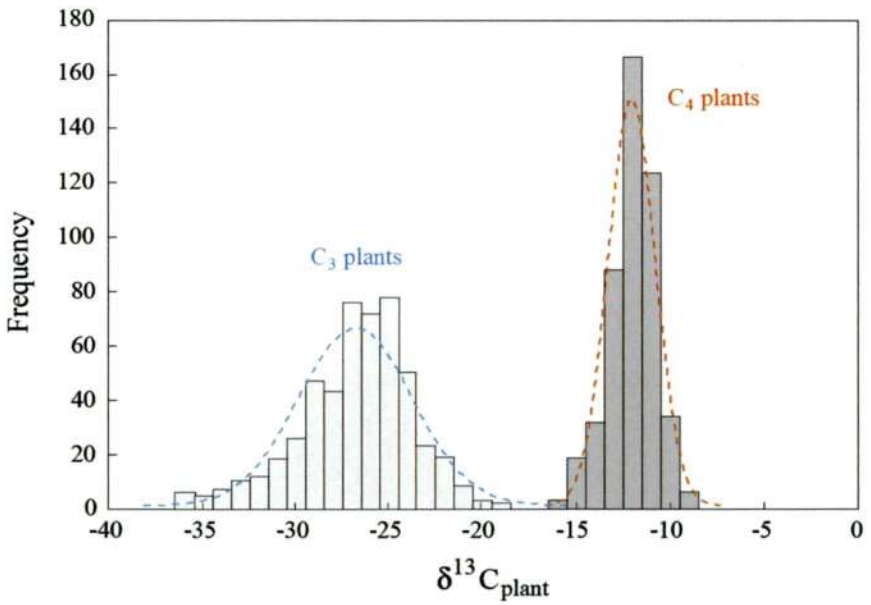


그림 108 | C_3 식물과 C_4 식물의 탄소 안정동위원소비(modified from Cerling and Harris, 1999).

3.2. 질소 안정동위원소비

질소 안정동위원소는 연평균 강수량과 밀접한 관계가 있다. 몇몇의 연구사례에 의하면 질소안정동위원소는 강수량과 반비례의 관계를 갖는다. 특히 C_3 식물은 강수량의 변화에 민감하게 반응을 한다. 강수량이 100mm 증가할 때마다 C_3 식물의 $\delta^{15}N$은 0.68‰ 감소하는 것으로 알려져 있다(Swap *et al.*, 2004). 따라서 질소 안정동위원소의 분석은 훌륭한 고강수량 지시자로 활용될 수 있다(e.g., Grocke *et al.*, 1997; Weiguo and Zheng, 2008).

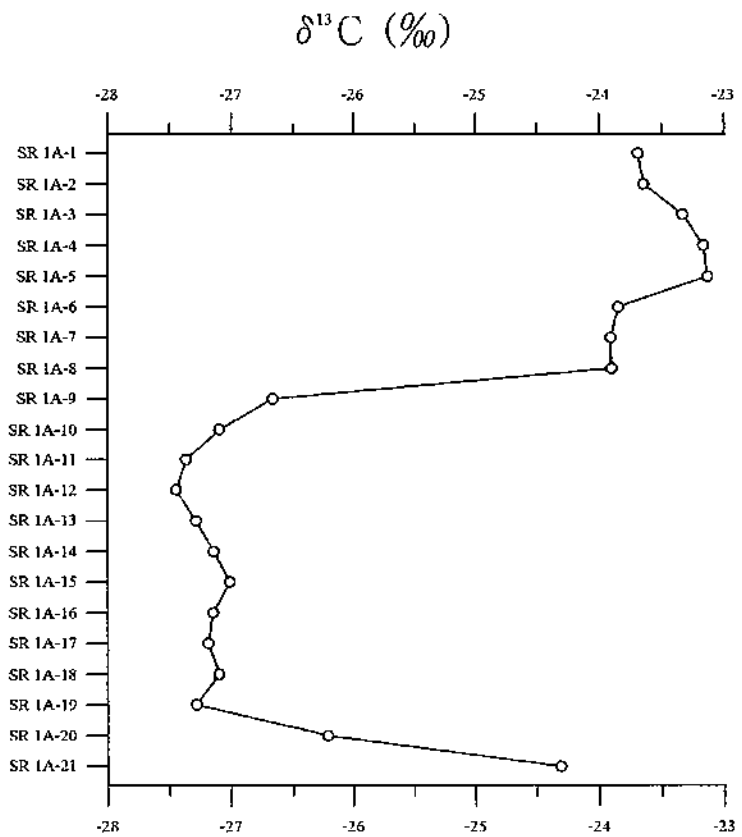


그림 10. 성류굴 박쥐 구아노의 심도에 따른 탄소 안정동위원소비 변화.

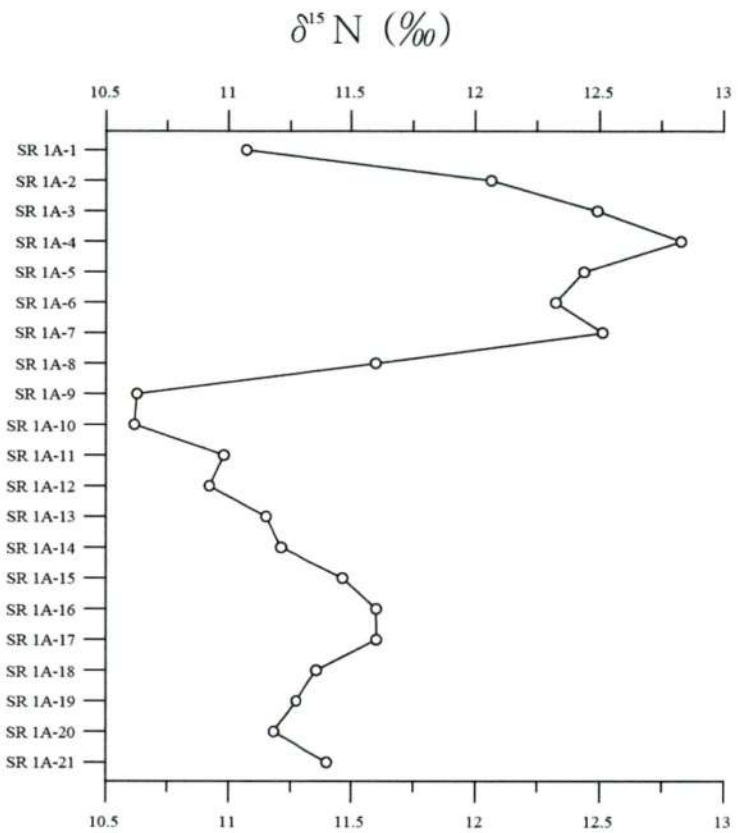


그림 110 | 성류굴 박쥐 구아노의 심도에 따른 질소 안정동위원소비 변화.

| 4 | 성류굴 주변의 고환경 복원

탄소 연대 측정 결과에 의하면 성류굴의 박쥐 구아노는 홀로세 중기~후기에 걸쳐 지속적으로 퇴적되었다. 박쥐 구아노에서 측정된 탄소와 질소 동위원소비는 층서에 따라 극적인 변화를 보여준다(그림 109과 110). 전체 21개의 시료 중 최하부와 최상부에 속하는 SR 1A-20과 SR 1A-21 및 SR 1A-1은 박쥐 구아노가 아닌 동굴 쇄설성 퇴적물로 이루어져 있는 시료이다. 박쥐 및 곤충의 신진대사가 이루어지는 동안에 증가되거나 감소되었을 동위원소비의 정확한 값이 아직 밝혀지지 않았기 때문에 정확한 고환경 복원을 위해 2개의 부시료는 논의에서 제외하고자 한다.

탄소 안정동위원소비는 하부 구간에서 비교적 낮은 값을 유지하며 SR 1A-9 시료를 기점으로 급격히 증가하는 경향을 보인다. 높아진 탄소 안정동위원소비는 상부로 갈수록 다소의 변이는 보이지만 하부 구간에 비해 대체로 높은 값을 유지한다. 이러한 변화 경향은 질소 안정동위원

소비에서도 동일하게 관찰된다. 탄소 안정동위원소비를 이용하여 C_4 식물의 과거 우점도를 구할 수 있다(그림 111). 박쥐 구아노의 탄소 안정동위원소비는 과거 서식한 C_3 식물과 C_4 식물의 탄소 안정동위원소비에 기반하므로 다음과 같은 산술식을 이용하여 C_4 식물의 과거 분포 정도를 간접적으로 파악할 수 있다.

$$\delta^{13}CTOC = (\delta^{13}Cc4)(x) + (\delta^{13}Cc3)(1-x)$$

δ^{13}CTOC은 박쥐 구아노의 탄소 동위원소비를 뜻하며, $\delta^{13}C_{c4}$는 C4 식물의 δ^{13}C 값을, $\delta^{13}C_{c3}$는 C3 식물의 δ^{13}C값을 의미한다. x는 C_4 식물로부터 유래된 탄소의 상대적인 함량을, 1-x는 C_3식물로부터 유래된 탄소의 상대적인 함량을 의미한다. C_3 식물과 C_4 식물의 과거 탄소 안정동위원소비는 알려져 있지 않으므로 지금까지 알려진 C_3 식물과 C_4 식물의 전반적인 δ^{13}C값을 이용하였다. 보다 정확한 C_4 식물의 분포비를 파악하기 위해 C_3 식물의 δ^{13}C 값은 두 가지의 값을 대입하여 각기 산출하였다. 가정된 δ^{13}C 값은 C_3 식물의 경우 -27‰과 -29‰이고 C_4 식물은 -13‰이다. 상기 산술식에 의거해 구해진 C_4 식물의 우점도를 보면, 하부는 비교적 낮은 분포를 보이는 반면 2,300~2,800cal B.P.(SR 1A-8과 SR 1A-9 시료) 사이에 급격히 증가하는 양상을 보인다. 따라서 당시 큰 기후 변화가 있었으며 하부 보다는 상부가 보다 한랭한 기후를 유지했음을 시사한다. 또한, 질소 안정동위원소비는 2,800cal B.P.까지 감소하는 양상을 보이고, 2,300~2,800cal B.P.에서 크게 증가하는 변화를 보인다. 이는 8,000cal B.P.에서 2,800cal B.P.까지 강수량은 지속적으로 증가하였으며, 이후 크게 감소하였음을 의미한다.

탄소와 질소 안정동위원소비를 이용하여 과거 홀로세 동안 성류굴 주변의 고기후를 복원하였다(그림 112). 이러한 고기후 복원은 기존에 연구된 자료들과 일부 상이한 결과를 보이고 있다. 이는 박쥐 구아노의 낮은 퇴적 속도로 인해 연대의 간격이 비교적 넓으며, 식생과 곤충, 박쥐로 연결되는 신진대사 동안의 동위원소 변화가 함께 고려되지 않았기 때문으로 생각된다. 그렇지만 성류굴 주변에 고기후를 복원하기에 적합한 4기 퇴적물이 분포하지 않는 상황에서 박쥐 구아노는 홀로세 동안의 고기후 복원을 위한 훌륭한 기록체(archive)로 평가된다.

천연기념물 제155호로 지정되어 있는 성류굴에 분포하는 박쥐 구아노의 탄소 및 질소 안정동위원소비를 이용하여 홀로세 동안의 고기후를 복원하였다. 복원된 고기후에 기반하여 파악된 기후 변화 주기는 향후 지역적인 기후 변화를 예측하는데 큰 도움을 줄 것이다. 이는 동굴 환경의 보존을 위한 계획을 수립하는데 있어 기초적인 가이드라인을 제공해 줄 것으로 기대된다.

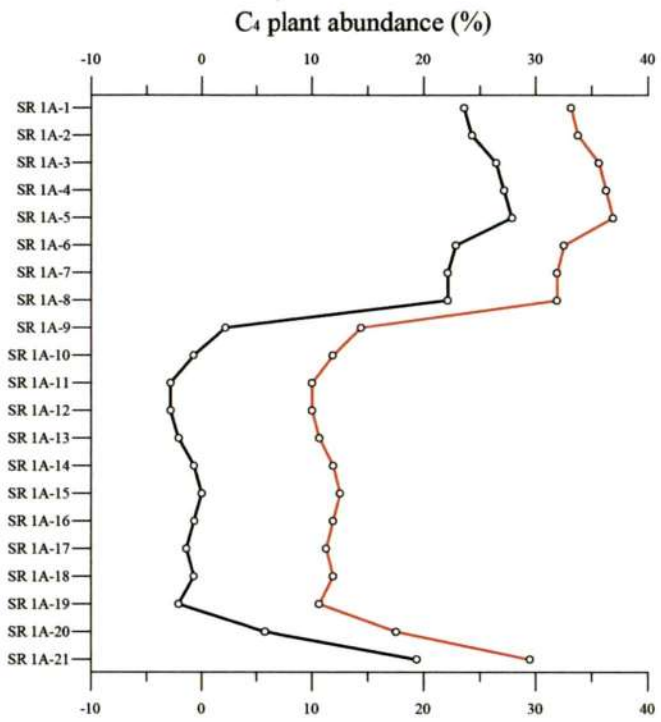


그림 111 | 홀로세 동안 성류굴 주변 지역의 C4 식물의 우점도 복원.

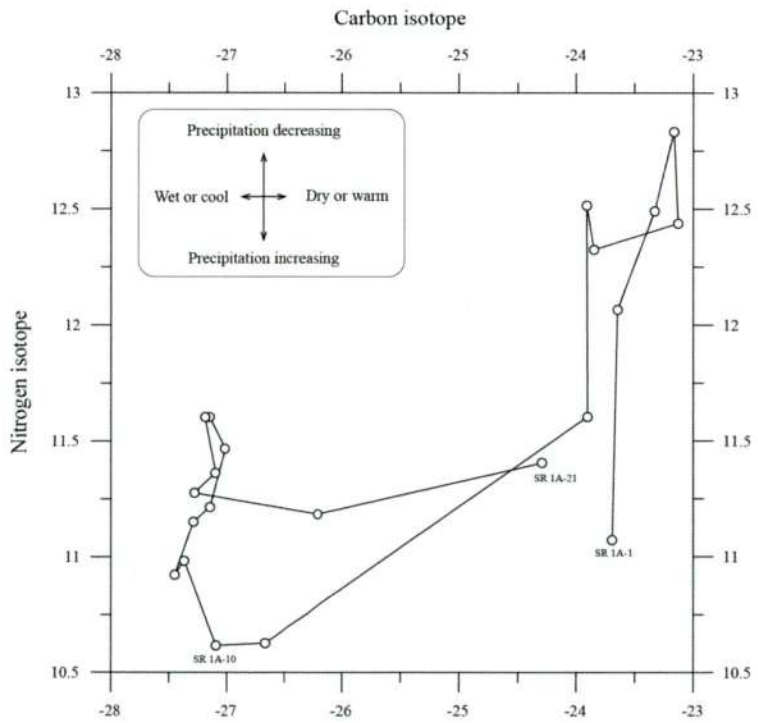


그림 112 | 성류굴 박쥐 구아노의 탄소와 질소 안정동위원소비.

2011 천연기념물 화석산지 모니터링 조사 보고서

National Research Institute of Cultural Heritage
Natural Heritage Center

Ⅳ



화석산지 모니터링 결과

National Research Institute of Cultural Heritage Natural Heritage Center

Ⅳ. 화석산지 모니터링 결과

1 천연기념물 제195호 제주 서귀포층 패류 화석산지

제주 서귀포층 패류 화석산지는 해안가에 위치하고 있어 자연적 훼손 인자를 태생적으로 갖고 있으며, 이와 함께 서귀포 최대 관광지 중 하나에 자리하고 있어 관람객에 의한 훼손이 발생될 소지가 높다.

| 화석산지 관리실태 |

서귀포층 패류 화석산지는 파도와 태풍 등과 같은 큰 에너지에 의해 많은 훼손과 변형이 발생하고 있으며, 화석층이 분포하는 해안 절벽의 식생의 성장과 우수의 지속적인 유입은 해안 절벽의 붕괴를 유발시키고 있다. 서귀포층 패류 화석산지에서 나타나는 훼손 원인은 ①해수에 의한 화학적 풍화, ②파도 · 태풍에 의한 물리적 풍화, ③생물 침해(목본식물) ④관람객(낚시꾼 포함)에 의한 화석산지 오염, ⑤수집 및 연구용 화석 채취 행위 등이다(표 8).

특히, 해수에 의한 화학적 풍화와 파도 · 태풍에 의한 물리적 풍화, 그리고 목본식물의 성장과 우수의 지속적 유입으로 인한 지반의 붕괴는 이곳 화석산지의 가장 위험한 훼손 인자이다.

| 개선 방안 |

① 해수에 의한 화학적 풍화

화석산지에서 발생되는 해수에 의한 화학적 풍화는 차단이 불가능하다. 화석산지가 안고 있는 태생적 한계이다. 화석산지에 유입되는 해수를 근본적으로 차단하기 위해서는 매우 큰 경제적 비용이 발생한다. 그러나 서귀포층 패류 화석산지와 같은 곳에서는 해수의 차단을 위한 시설물 설치와 보존 약품 처리 등은 오히려 더 큰 부작용을 발생할 수 있다.

화석산지가 더 훼손되기 전에 원형 복원 작업이 필요하다. 주기적인 사진(항공 사진 포함)이

나 동영상 촬영 등의 기록과 함께, 3D 실측을 통한 원형 보존 작업을 병행하여 제주도 형성사 연구에 매우 중요한 역할을 하고 있는 화석산지의 자사를 기록하는 작업이 이루어져야 할 것이다.

② 파도에 의한 물리적 풍화

서귀포층 패류 화석산지는 전면이 바다와 맞닿아 있어 파도와 태풍의 영향을 직접적으로 받고 있다(그림 12). 따라서 해수에 의한 화학적 풍화와 함께 파도에 의한 물리적 풍화는 화석산지의 훼손과 지형 변형 등을 빠르게 촉진하는 촉매 역할을 한다. 특히, 태풍과 같은 강한 에너지가 발생하면 화석산지에 매우 치명적인 영향을 줄 것이다.

화석산지를 보호하기 위해 1992년 해식 방지용 방파제를 17.2m 구축하였으나 현재 방파제는 그 기능을 다하지 못하고 있다. 방파제가 구축되어 있는 지점에는 화석 전석들이 거의 남아 있지 않다(그림 13). 파도나 태풍에 의해 훼손되고 멸실되는 것을 막기 위해서는 대규모 시설의 설치가 불가피하나, 화석산지의 지질학적 특성, 자연 경관, 경제적 비용 대비 효율성 등을 고려한 종합적 판단이 필요하다. 영국의 세계자연유산인 「The Dorset and East Devon Coast」의 경우에는 화석산지의 자연적 붕괴를 그대로 허용하고 있다. 대신 주기적인 모니터링과 조사를 실시하여 화석산지의 변화 모습을 지속적으로 기록하고, 새롭게 발견되는 화석이나 중요한 화석들은 방문자 센터 혹은 연구 기관으로 옮겨 연구 · 전시하고 있다. 따라서 연약한 사암과 이암으로 구성된 지층 구조와 수직에 가까운 해안 절벽으로 이루어진 서귀포층 패류 화석산지 역시 「The Dorset and East Devon Coast」와 같은 관리 방안 도입을 검토해 볼 필요가 있다.

③ 목본식물에 의한 해안 절벽 붕괴

화석산지의 해안 절벽 중 · 상부에는 목본식물들이 무성히 자라고 있다(그림 13). 이들 목본식물들이 성장하면서 식물 뿌리가 발달하여 절벽의 붕괴를 유발하고 있다. 특히, 여름철 우기에 내린 많은 빗물들은 퇴적층의 공극에 유입되어 결합력을 약화시켜 식물 뿌리에 의한 붕괴를 더욱 빠르게 촉진하게 된다. 이를 방지하기 위해서는 위험 범위에 들어가는 목본식물들의 주기적인 제거 작업이 필요하다. 주기적인 위험 범위에 들어가는 목본식물의 제거만으로도 절벽의 붕괴 시간을 지연시키는 효과가 있을 것으로 판단된다. 절벽의 붕괴는 또 다른 새로운 화석의 출현을 의미하는 것이기도 하다. 이때 전문가에게 반드시 연락하여 조사와 연구가 이루어질 수 있도록 하여야 하며, 이를 위해서는 주기적인 모니터링 체계의 구축이 선행되어야 한다.

2 천연기념물 제499호 남해 가인리 화석산지

남해 가인리 화석산지는 천연기념물로 지정되기 이전부터 「경상남도 기념물 제257호(2005년 3월)」로 지정 · 관리되어 왔기에 불법 화석 채취, 낙서 및 각인 행위, 각종 생활 쓰레기에 의한 오염 등 인위적 훼손은 다른 지역보다 덜한 편이다. 그러나 화석산지가 해안가에 발달하고 있어 자연에 의한 태생적 위험 인자를 안고 있다.

| 화석산지 관리 실태 |

가인리 화석산지에서 나타나는 훼손 원인은 ①해수에 의한 화학적 풍화, ②파도에 의한 물리적 풍화, ③암석의 균열, 박리, 박락 현상, ④생물 침해(목본식물), ⑤세심사(寺刹) 규모 확대 등이다(표 11). 특히, 해수에 의한 화학적 풍화와 파도에 의한 물리적 풍화는 이곳 화석산지의 가장 위험한 훼손 인자이다. 이로 인해 화석산지 곳곳에서는 균열, 박리 및 박락 현상 등이 발생하고 있다. 현재로는 위험 인자가 아니지만, 화석산지의 입구에 있는 세심사라는 사찰은 계속 그 규모를 확대하고 있다. 이는 앞으로 화석산지의 잠재적 위험 인자로 작용할 가능성이 있다. 또한, 창선면 상죽리 부근에서부터 가인리 화석산지로 연결되는 국도 3호선 도로에는 7개의 문화재 안내 표지판이 설치되어 있는데, 안내 표지판의 내용이 잘못 되어 있다. 이에 대한 개선 작업이 요구된다.

| 개선 방안 |

가인리 화석산지에서 나타나는 훼손 원인 중 「2010천연기념물 화석산지 모니터링 조사 보고서」에서 다룬 ①해수에 의한 화학적 풍화, ②파도에 의한 물리적 풍화, ③암석의 균열, 박리, 박락 현상, ④생물 침해(목본식물)에 대한 실태와 대책에 관한 부분은 이번 보고서에서 제외하고(2010년 보고서 pp.30~35. 참조), 세심사의 규모 확대 및 문화재 안내 표지판에 대해 논의하고자 한다.

① 세심사의 규모 확대

가인리 화석산지 입구에는 세심사라 불리는 작은 사찰이 있고, 해안 갯벌에서는 수산물 채집 활동이 일어나고 있지만 현재까지는 화석산지에 큰 위험 인자로 보이지 않는다. 다만, 세심사의 규모가 해가 갈수록 커지고 있는데 이에 대한 모니터링이 필요하다(그림 21). 화석산지의 보존에 가장 큰 영향을 주는 것은 자연재해와 더불어 토목공사와 같은 개발 행위와 이에 따른 이차적 위험도의 증가이다. 향후, 세심사와 긴밀한 협의가 요구된다.

② 문화재 안내 표지판 오류

남해군 남해읍에서 창선면 가인리 화석산지를 가다보면 도로변에 설치되어 있는 많은 안내 표지판을 볼 수 있다. 이 중 창선면 상죽리 부근에서부터 가인리 화석산지로 연결되는 국도 3호선 도로에는 화석산지를 알리는 7개의 문화재 안내 표지판이 설치되어 있는데, 안내 표지판의 내용이 잘못되어 있다(그림 22). 가인리 화석산지는 경상남도 기념물 제257호로 지정되어 있다가 2008년 12월 26일 「천연기념물 제499호 남해 가인리 화석산지」로 승격되었다. 천연기념물로 지정된 지 3년 정도의 시간이 흘렀으나 국도 3호선에 설치되어 있는 문화재 안내 표지판에는 가인리 화석산지를 경상남도 기념물 제257호로 소개하고 있다. 빠른 시일 내에 개선 작업이 이루어져야 할 것이다.

3 천연기념물 제413호 영월 문곡리 건열 구조 및 스트로마톨라이트

천연기념물 제413호 영월 문곡리 건열 구조 및 스트로마톨라이트 화석산지는 연덕천변에 위치하여 화석산지를 폭 3-4m의 하천이 감싸 흐르고 있고, 문곡리 스트로마톨라이트가 위치한 노두의 매우 가파른 경사, 그리고 일반인들과 화석 채집가들의 관심 대상이 아닌 점 등으로 화석산지가 잘 보존되어 있다(그림 25). 다만, 일명 문곡리 스트로마톨라이트의 표면에 자라는 나무, 풀 등의 식생의 제거가 필요하다. 식생의 지속적인 성장으로 화석산지가 보이지 않게 되고, 동시에 암석의 물리적인 파손을 일으키는 원인이 되고 있다(그림 32). 2011년 조사 시, 노두의 한 블록이 붕괴되어 있었는데, 이런 붕괴의 원인 역시 퇴적면과 면 사이에 자라는 식생의 물리적 작용과 빗물의 침투 및 큰 일교차 등이 복합적으로 작용하여 발생한 것으로 판단된다.

식생에 의한 화석산지 경관 저해 및 물리적 풍화 발생

| 화석산지 관리 실태 |

문곡리 화석산지는 바닷가에서 태생적인 위험 인자를 갖고 있는 공룡발자국 화석산지에 비해 내륙에 위치하고 있는데, 문곡리 화석산지가 위치한 곳의 자연 지형은 잘 보존되어 있다. 이것은 스트로마톨라이트가 다른 화석들(예: 척추동물, 식물, 삼엽충 등)에 비해 일반인들 사이에서 관심 대상이 아닌 점이 크게 좌우한 것으로 여겨진다.

문곡리 화석산지에서 가장 큰 훼손의 위험 인자는 화석산지와 건열 노두의 표면에 자라는 식생이다. 화석산지에서 발생되는 생물 침해 유형은 조류 · 균류 · 지의류, 초본류 및 목본류에 의한 생물 침해 등 크게 3가지로 나눌 수 있다. 특히, 많은 화석산지에서 조류 · 균류 · 지의류와 같은 미생물에 의한 생물 침해가 많이 발생하는데(예: 의성 제오리, 해남 우항리, 함안 용산리 등), 이는 화석산지 보호를 위해 설치한 인공 시설물(전시관 혹은 보호각)과 밀접한 관련이 있다. 반면, 이러한 보호시설이 없는 대다수의 화석산지에서의 생물 침해는 미생물이 아닌, 초본류와 목본류에 의해 발생되고 있다.

문곡리 화석산지의 2006년과 2009년~2011년 까지의 노두 사진을 비교해 본 결과, 식생의 빠른 성장을 확인할 수 있었으며 특히, 식생의 빠른 성장으로 화석산지 경관이 저해되고 있는 것을 알 수 있었다(그림 33). 이러한 식생의 성장은 필연적으로 화석산지의 물리적 풍화를 동반한다(그림 32). 일부 지점에서는 퇴적면과 퇴적면 사이의 간격이 넓어진 지점(틈, crack)에서 관찰되며, 이러한 지점(틈, crack)은 사면을 타고 내려오는 물과 빗물, 그리고 눈(snow) 등이 고이는 장소로 이용되어 더욱 빠른 물리적 풍화와 함께 암석의 화학적 풍화를 촉진시키게 된다.

| 개선 방안 |

화석산지의 노두와 건열 노두에 자라고 있는 식생의 주기적 제거가 필요하다. 주기적인 식생의 제거만으로도 화석산지에서 발생되는 훼손(풍화)의 속도를 늦출 수 있으며, 식생의 제거를 통해 화석산지 경관도 확보할 수 있다. 또한, 주기적인 모니터링과 정기 조사를 통해 화석산지의 물리적 풍화 현상 등 위험 인자를 사전에 예방하고 제거하는 노력이 필요하다.

4 천연기념물 제416호 태백 장성 전기 고생대 화석산지

태백 장성 전기 고생대 화석산지는 태백에서 산출되는 삼엽충 화석의 보고로 알려져 있을 정도로 유명하여 문화재로 지정되기 이전까지 많은 연구자와 일반 수집가들에 의해 화석산지가 훼손되었다. 아직도 화석산지에는 그 당시의 훼손 흔적들이 노두 곳곳에 남아 있다. 화석산지의 훼손은 강원 지방기념물 제57호로 지정되고 이후 2004년 4월 천연기념물 제416호 지정 · 보호되면서 더 이상의 훼손은 일어나지 않고 있다.

| 화석산지 관리 실태 |

화석산지 입구에는 경작지(밭)와 개인 묘지 등이 조성되어 있으며, 이를 지나면 화석산지로 통하는 작은 진입로가 형성되어 있으나 관리가 되지 않아 식생으로 덮여있다(그림 37).

화석산지의 주변 전석(암석)에서는 삼엽충, 두족류, 필석류 등 화석의 파편이 쉽게 관찰되어 화석의 풍부함을 짐작할 수 있다(그림 36). 화석산지의 주요 노두가 분포하는 지역에 대해서는 훼손을 방지하기 위해 2중 철조망으로 울타리를 설치하였으며 전문 관리인(차복녀)이 배치되어 화석산지를 관리하고 있다. 따라서 인위적인 훼손은 거의 발생하지 않고 있다. 화석산지에 대한 주기적인 환경 정비(예: 식생 제거 등) 작업이 이루어져야 할 것이다. 또한, 화석산지에는 크고 작은 문화재 관련 안내판이 3개가 설치되어 있다. 여기에는 화석산지의 명칭이 표기되어 있는데, 아직도 예전 명칭을 그대로 사용하고 있다(그림 38). 표기된 화석산지의 명칭은「태백 장성의 하부 고생대 화석산지」이나, 몇 해 전 개정된 화석산지의 명칭은 「태백 장성의 전기 고생대 화석산지」이다. 따라서 이에 대한 빠른 교체 작업이 필요하다.

| 개선 방안 |

태백 장성 전기 고생대 화석산지는 천연기념물로 지정되기 이전에 많은 화석들이 채집되기도 하였으나, 현재는 인위적인 훼손은 발생하지 않고 있다. 또한, 화석산지 보호를 위해서 주요 노두에 대해 철제 울타리 설치와 문화재 관리인의 상주 등은 화석산지 보호에 많은 도움이 된

다. 그러나 철제 울타리의 철거 역시 검토해 볼 필요가 있다. 문화재를 바라보는 시민 의식이 예전에 비해 높게 성숙되었고, 철제 울타리 내에 존재하는 화석을 포함하고 있는 노두들이 대부분 표토에 의해 덮여 있어 실제 현장에서 노두를 관찰하는 것도 쉽지 않다. 실제로, 철제 울타리는 문화재와 사람과의 소통을 막고 있으며, 철제 울타리 높이 만큼의 큰 장벽 역할을 하고 있다. 문화재는 사람과 소통하고 공존할 때, 그 가치가 높아지고 그 지역이 보호될 수 있다. 더불어 화석산지 주변의 환경 정비가 선행되어야 한다(그림 37-38). 화석산지의 주변 식생을 지속적으로 제거하여 쾌적한 환경이 유지될 수 있도록 노력하고, 잘못 표기된 문화재 관련 안내판들을 교체하여 정확한 정보를 제공해야 할 것이다. 이때 안내판의 디자인 정비 및 개선 작업도 병행하는 것이 바람직하다. 현재 문화재 안내판 개선 작업은 문화재청 문화재 활용팀에서 추진하고 있으며 문화재 안내판 제작 시, 문화재 활용팀의 자문을 받아 추진하는 것이 바람직하다.

5 천연기념물 제373호 의성 제오리 공룡발자국 화석산지

의성 제오리 공룡발자국 화석산지는 2008년~2010년 모니터링 조사에서 화석산지의 훼손 원인으로 5가지의 위험 인자가 확인되었다(표 21). 모니터링 조사에서는 확인된 5가지 위험 인자의 변화에 대한 조사를 실시하였으며, 이 중 ⑤진동의 발생과 소음의 증폭(관내 도로 및 보호각)은 2009년 조사 결과, 진동에 의한 화석산지의 훼손은 약한 것으로 조사되어 이 부분은 제외하였다.

2010년 9월, 문화재청과 의성군은 「의성 제오리 공룡발자국 화석산지 보호사업」을 진행하였으며, 이를 통해 화석산지 보호를 위한 배수로 정비, 잡목 제거, 보호막 도색 등을 실시하였다(공달용 외, 2010 참조). 배수로 정비 사업 후, 1년간 배수 시설 미비로 인해 발생되는 수분 유입과 생물 침해 현상이 얼마나 감소되는지를 조사 하였다. 그 결과 기존 배수로의 정비만으로는 수분 유입과 생물 침해 현상을 차단하지 못하는 것으로 나왔다. 수분의 차단과 함께 중요한 것은 오염 물질(페인트, 시멘트, 토양 등) 및 암석의 박리, 박락 현상에 대한 보존 대책이 이루어져야 한다는 것이다. 수분의 차단은 긴 시간이 걸리는 매우 어려운 과제일 것이나, 오염 물질의 제거는 중요성에 비해, 매우 쉬운 작업에 속한다. 따라서 이에 대한 단계별 계획 수립이 요구된다.

① 오염 물질(페인트, 시멘트)

| 화석산지 관리 실태 |

화석산지 곳곳에는 페인트성 물질이 칠해져 있어 화석산지를 훼손하고 있다(그림 43). 페인트성 물질은 공룡발자국을 잘 보이게 하기 위해 공룡발자국에 칠한 것으로 2003년과 2004년, 두 번에 걸쳐 발자국에 칠이 되었다. 지금 현재는 연주황색의 페인트가 발자국에 칠되어 있으나(그림 43 F), 자세히 관찰해 보면 연주황색으로 칠하기 이전에, 녹색, 노란색, 빨간색의 3가지 색이 칠이 되어 있음을 확인할 수 있다(그림 43 C-E). 이들 3가지 색은 공룡발자국에 따라 달리 칠이 되어 있는데, 초식공룡 용각류 발자국에는 녹색의 페인트가 칠되어 있고, 초식 공룡 조각류의 발자국에는 노란색 페인트가 칠되어져 있다. 또한, 육식 공룡 수각류의 발자국에는 빨간색 페인트가 칠되어 있다. 또한 일부 공룡발자국에는 시멘트성 물질을 사용하여 보수한 흔적이 뚜렷하며 이들은 기존의 암석과 이질감을 주고 있다(그림 44 B). 이는 시멘트로 공룡발자국의 윤곽을 만든 것으로 여겨지며, 이러한 행위는 시멘트와 화석산지를 이루는 암석 간의 성분 차이로 인해 화석산지 훼손을 더욱 빠르게 진행시키고 있다.

| 개선 방안 |

화석산지의 페인트 물질을 야외에서 XRF 분석기로 분석한 결과, 화석산지에 칠한 페인트에서 10% 이상의 칼슘 이온 성분이 검출되었다(공달용 외, 2008). 칼슘과 같은 이온은 수분(물)의 영향에 의하여 쉽게 이온화 될 수 있으며 여기에서 생성된 수용성 염은 화석산지 암석의 풍화를 촉진시킬 수 있다. 따라서 페인트 물질과 시멘트 물질은 반드시 제거되어야 한다. 이들은 이미 페인트 물질이 암석에서 탈락하고 있는 중이므로 건식 세척으로도 쉽게 제거가 가능할 것으로 판단된다. 다만, 시멘트 물질은 암석에서 제거 시 원암의 탈락이 불가피 할 것으로 판단되며 이에 따른 대책을 마련해야 할 것이다. 화석산지 보호 철책 내부 지면에 조성된 토양 역시 화석산지 오염원 중 하나이다. 토양은 바람 등에 날려 암석의 빈틈에 퇴적되어 식물 등의 서식지를 제공한다. 또한, 토양은 수분이 오랜 기간 머물면서 암석의 물리적, 화학적, 생물학적 풍화에 영향을 미칠 것이다. 그렇기 때문에 토양 제거가 필요하다.

외국 사례(예, Dinosaur Ridge)에서도 의성 제오리와 유사한 사례가 있다. 미국 콜로라도에 위치한 'Dinosaur Ridge' 라는 곳은 한 해에 약 10만 명 정도가 방문하고 있는 공룡발자국의 명소이다. 이곳 역시 도로 절개지에서 공룡발자국이 산출되었고, 의성 제오리와 같이 경사면에 공룡발자국들이 보존되어 있다(그림 45). 이곳 역시, 높은 경사면에 보존된 발자국들이 시간이 지나면서 잘 보이지 않자, 일반 관람객들의 편의를 위해 고생물학자의 자문을 받아 숯(charcoal)을 이용하여 발자국에 칠을 하였다(그림 45 네모 박스 참조). 이렇게 칠한 숯은 페인트 물질과 달리 암석에 스트레스를 거의 주지 않고 시간이 지나면 자연스럽게 없어지므로 의성 제오리와 같은 문제를 야기하지 않는다. 따라서 이러한 외국 사례 등에 대한 수집과 분석을 토대로 화석산지 보존 방안을 마련해야 한다.

② 수분(물) 유입과 배수 시설

| 화석산지 관리 실태 |

제오리 화석산지는 도로 확장 공사로 산사면이 절개된 후, 홍수로 인해 절개면에 새로운 지층면이 드러나면서 노출된 곳으로 산사면과 지층면은 약 40° 이상의 경사를 갖고 있다. 화석산지의 풍화 원인에서 가장 위협한 인자 중 하나는 수분(물)의 지속적인 공급이다. 보호시설물(보호각)이 설치되어 직접적인 화석산지의 접촉으로부터 보호되고 있으나 경사면을 따라 유입되는 수분(물)과 화석산지 암반의 갈라진 틈(crack)을 따라 지하에서부터 유입되는 수분(물)으로 인해 화석산지가 훼손되고 있다. 특히, 화석산지의 암석 표면에 자라고 있는 조류(algae), 균류(fungi) 및 지의류(lichens) 등의 분포 양상은 암석 표면에 지속적인 수분의 공급이 있었음을 암시한다. 이러한 수분의 유입은 암석의 훼손을 유발하고 조류와 균류 등과 같은 미생물의 서식처를 제공하여 화석산지의 2차적인 생물 침해를 일으키는 원인이 된다.

2010년 「의성 제오리 공룡발자국 화석산지 보호사업」의 일환으로 배수로 정비와 잡목 제거 등이 이루어졌다(공달용 외, 2010 참조). 배수로 정비는 총 42m 구간에 이루어졌으며, 기존 PE 배수로의 기초를 철거한 후 바닥을 잘 다지고 무근콘크리트(1:3:6)로 기초를 시공하였다. 이후 벤치플룸관(200x200x40x2000)을 설치하고 기존 지반과 연결 부분에 누수가 발생하지 않도록 되메우기를 한 뒤 무근콘크리트로 상부를 마감하는 방법이 시도되었다. 배수로 정비 공사 후, 1년간 화석산지에 유입되는 물과 물의 유입으로 인해 발생하는 생물 침해 현상을 관찰하였다. 2008년 조사 시, 제오리 화석산지에서는 전체 노두에 걸쳐 암반을 타고 물이 유입되지만 크게

물의 유입은 3곳에서 일어난 것이 확인되었다(그림 46 A). 2009년~2010년 조사 결과에서는, 수분 유입과 그에 따른 생물 침해 현상이 2008년에 비해 규모가 더 확대되고 있었다(그림 46 B). 배수로 정비 1년 후, 조사에서도 여전히 화석산지로 물이 공급되고 있으며, 이로 인해 생물 침해 현상이 감소하지 않고 있는 것을 확인하였다(그림 46 C, 그림 48 A-C).

| 개선 방안 |

화석산지로 유입되는 수분의 근본적인 차단이 필요하다. 이를 위해서는 화석산지 상부의 산사면에 기존 배수로가 아닌 새로운 배수로의 설치가 요구된다. 기존에 설치되어 있었던 배수로와 2010년에 정비된 배수로는 지하에서 유입되어 들어오는 수분 등을 차단하기에는 부족하다. 2010년 정비된 배수로는 공룡발자국 화석산지 뒤편 사면에서 내려오는 빗물의 유입을 일정부분 감소시키는 효과는 있을 것이나 공룡화석산지에 발달한 틈(crack)이나 절리(joint)를 따라 발생하는 누수를 차단하는데는 한계가 있다.

새로 설치되는 배수로는 공룡 화석산지에 발달한 틈(crack)이나 절리(joint) 방향과 누수가 발생하는 지점 등을 확인하여 누수 지점보다 더 낮은 곳에 배수로가 설치되도록 하여야 한다(그림 47). 이를 위해 유입되는 배수량 등을 측정하여 배수로의 규모(넓이, 깊이 등)와 배수 방법 등에 대해 관련 전문가(암석, 지하수 및 배수 전문가 등) 등의 자문을 거쳐 배수로 설치가 이루어져야 할 것이다.

③ 생물 침해(초본류, 목본류, 조류, 균류 및 지의류 등)

| 화석산지 관리 실태 |

공룡발자국과 같은 대부분의 화석산지들은 외부 환경에 노출되어 있어 물리·화학적 환경에 의해 훼손이 진행되고 있다. 이와 더불어 외부 환경에 노출되어 있는 화석산지들은 생물(균류, 조류, 지의류 등)에 의해 직접적인 암석의 훼손을 받고 있는데, 이들은 암석의 풍화를 촉진시키는 촉매제 역할을 하고 있다. 최근 암석의 풍화를 촉진시키는 오염 물질 중 NOx, SOx 및 분진들은 유기물로 침착되어 미생물의 영양원이 된다. 미생물이 발생한 암석은 생물막(Biofilms) 형성으로 인해 표면이 물리·화학적으로 손상될 뿐만 아니라 고등식물의 유입을 가속화하여 훼손이 가중된다(정용재 외, 2006).

제오리 화석산지에서 발생되는 생물 침해 유형은 조류 · 균류 · 지의류, 초본류, 목본류에 의한 생물 침해 등 크게 3가지로 나눌 수 있다. 특히, 조류 · 균류 · 지의류와 같은 미생물에 의한 생물 침해는 화석산지 전역에 걸쳐 발생하고 있으며 이 중 조류 · 균류의 성장이 우세하다. 이들은 제오리 화석산지의 표면 오염을 가져오며 미관상의 가치를 왜곡시키는 손상으로 발전하고 있다(그림 48). 제오리 화석산지의 표면은 검은색을 띠고 있다. 이는 암석 표면에 서식하던 남조류에 의한 현상으로 남조류는 활동 기간이 짧고 자외선에 의해 변색되는데, 육생으로 암석 표면에 녹색 또는 갈색의 두터운 층을 형성하고 건조하면 흑색이나 흑갈색으로 변한다(그림 48 A-C). 건조 시에는 표면에 단단하게 고착돼나 물로 쉽게 제거되고 제거 시에 비린내가 난다. 비가 오면 팽대하여 청록색 또는 황록색이 된다(정용재 외, 2006). 조류 · 균류의 생물 침해 외에도 이곳 화석산지에는 초본식물과 목본식물의 성장이 두드러진다(그림 48 D). 이들의 뿌리는 암석의 갈라진 틈이나 약화된 조직에서 생장하면서 암석에 팽창 압력을 가해 물리적 풍화의 원인이 된다. 이와 같은 미생물(조류 · 균류 등)과 초본식물들은 뿌리를 통해 산성 물질인 유기산을 분비하여 무기 영양분을 흡수하는 일련의 과정에서 암석의 표면에 박리, 박락 현상이 발생되는 화학적 풍화가 발생될 수 있다.

| 개선 방안 |

화석산지에 생육하는 생물 침해는 가해 생물의 제거가 필요하다. 그러나 이런 작업에서는 암석에 영향을 주지 않는 가장 효과적인 제거 방법을 찾는 것이 중요하다. 따라서 처리 방법으로는 암석의 보존 상태, 제거하고자 하는 생물체, 생물 피해의 밀도와 분포 그리고 약제의 종류에 따라서 분무(spraying), 도포(brushing), 습포제 방식(poultice) 또는 주입식 방식(injection)을 선택한다(정용재 외, 2006). 또한, 가해 생물의 제거 후 암석의 물성 검사를 통해 강화 처리 여부 등의 결정이 필요하다.

목본류와 초본류의 경우 이들 생육에 필요한 토양 제거가 우선이다. 특히, 초본류는 화석산지의 갈라진 틈(crack, joint 등)을 따라 생육하고 있다. 따라서 갈라진 틈(crack)과 절리(joint)에 있는 토양을 모두 제거한 후 토양이 쌓이지 않도록 해야 초본류의 성장을 억제할 수 있다. 이후 갈라진 틈은 가장 적절한 대체물질을 삽입하여 메우는 작업이 이루어져야 한다.

제오리 화석산지에서 발생한 조류 · 균류 및 지의류에 의한 생물 침해는 원인만 제거한다면 쉽게 해결할 수 있다. 또한 생물 침해의 가장 큰 원인은 이들이 생육하기 좋은 환경이 만들어 졌다는 것이며 여기에는 화석산지로 유입되는 수분과 보호각 내의 적당한 온도가 중요한 역할을 했을 것으로 여겨진다. 따라서 수분(물) 유입의 차단이 선행되어야 할 것이다.

④ 암석의 절리에 따른 박리, 박락 현상

| 화석산지 관리 실태 |

화석산지의 암석에서 박리와 박락 현상 관찰된다. 화석산지는 산사면이 절개된 후 압력이 제거되고 암석면에 많은 균열(crack)이 발생하였으며 오랜 시간 동안 서서히 암석의 풍화가 진행된 것으로 보인다. 육안으로 관찰될 만큼의 변형은 확인되지 않았으나 지속적인 관찰이 필요하다.

| 개선 방안 |

화석산지에서 발생하고 있는 박리와 박락 현상은 수분의 유입, 생물 침해, 그리고 화석산지로 전달되는 진동 등 여러 가지 원인이 복합되어 있다. 따라서 근본적인 원인 제거가 필요한데, 단기 대책은 박리와 박락이 발생하는 부위에 적절한 접합제를 사용하여 접합한 후 약화된 암질의 강화를 위한 강화 처리를 실시하는 것이다.

| 향후 과제 |

제오리 화석산지의 대상 사면에 영향을 미칠 수 있는 인자의 평가와 주요 영향 인자들의 관리 기준 설정이 필요하다. 제오리 화석산지의 경우, 대상 사면의 안정성 확보가 중요하다. 사면의 안정성에 직접적으로 영향을 미칠 수 있는 인자들에는 절리의 기하학적 분포, 절리의 역학적 특성, 절리를 통한 지하수 유출 정도 및 풍화 진행 상태 등이 있다. 이러한 인자들과 절리나 균열의 거동에 영향을 미칠 수 있는 외부 진동 등에 대한 평가가 선행되어야 할 것이다. 또한, 주요 영향 인자들의 관리 기준 설정이 필요하다. 지반 진동의 경우, 문화재에 적용할 수 있는 법규가 없고 과거 서울 지하철 공사 시 설정하였던 문화재에 대한 허용 수준으로서 2mm/s 또는 3mm/s 가 통용되고 있지만 적용의 문제점들이 제기되어 오고 있다. 따라서 향후 화석산지에 대한 합리적인 수준의 기준 설정이 이루어져야 할 것이다.

⑤ 의성 제오리 공룡발자국 화석 보존 대책 연구 방법

위에 열거된 의성 제오리 화석산지 암석의 보존 현황을 볼 때, 화석산지의 보존과 관리 측면에서 정밀한 연구를 시행하여 대책을 세운 후, 이에 적합한 조치를 취해야 하는 상황에 직면해 있다. 따라서 의성 제오리 화석산지 암석은 풍화 요인에 대한 정밀 조사와 지속적인 모니터링, 페인트 제거, 암석의 표면 강화 처리, 경사면의 배수로 확보, 보호각의 누수 검사, 그리고 차량 운행에 대한 진동의 영향 및 보존 처리를 내용으로 하는 연구가 진행되어야 한다. 제오리 화석산지의 보존을 위해서는 중·장기 계획을 세워 추진하고 최종 단계에서는 미국 Dinosaur Ridge 처럼 열린 교육 공간으로 활용하여 화석산지 보존과 활용을 극대화 해야 할 것이다. 다음은 제오리 화석산지 보존 연구에 대한 간략한 방향을 간략히 정리한 것이다.

1) 연구 내용

① 지질 및 지형 환경 연구

공룡발자국 화석산지 지역의 지층 분포와 노출 상태, 암석의 종류, 지질 구조 및 지형적 요인 등 화석산지의 보존과 관련 있는 지질학적 요인들에 대해 연구한다.

② 화석산지 암석의 훼손 현황 연구

화석산지 암석들의 훼손 현황을 광물학적, 생물학적 및 구조적 측면에서 분석하여 훼손 요인을 규명한다.

③ 공룡발자국 화석산지 암석의 광물학적 특성 연구

화석산지 암석의 광물 조성, 조직, 화학조성, 점토광물의 특성 등 암석이 풍화 및 훼손되는 민감도에 대한 연구를 한다.

④ 화석산지 암석의 물성적 특성 연구

화석산지 암석들의 압축강도, 물과의 반응 등 화석산지 암석의 광물학적, 환경적 및 역학적 특성을 연구한다.

⑤ 진동 영향성 연구

도로에 주행하는 차량으로 인한 진동을 주기적으로 측정하여 화석산지에 미치는 영향을 조사한다.

⑥ 공룡발자국 화석의 현상 보존 방안 연구와 보존 처리

공룡발자국 화석 자체의 보존 방안을 연구한다.

(a) 오염 물질 제거 방안

이전에 사용되었던 시멘트몰타르와 페인트성 물질을 분석한 후 암석 손상과의 관련성을 살펴본 후 제거 방법을 시험하여 적절한 방법을 선정한다.

(b) 보존 처리제(전처리제, 강화제, 발수제, 충진제, 접합제) 선정 연구

보수에 사용되는 보존 처리제는 암석과 같은 성질이어야 하고, 안정성이 높아야 하며 파손 시에도 보수 부위에서 파손이 일어나는 매우 까다로운 요구 조건을 만족해야만 한다. 화석을 구성하는 암석의 성질을 분석하고, 여러 종류의 강화제를 해당 암석에 적용 실험하여 가장 적합한 강화제를 선정해야 한다. 암석의 표면으로 수분의 침투를 제어하는 발수제 또한 시험을 거쳐 선정해야 한다. 암석들이 여러 조각으로 분리되었을때 복원을 할 경우 암석에 영향을 주지 않는 접착제를 찾는 연구가 필요하며, 파손되어 소실된 부위를 메울 충진제에 대한 선정도 해당 암석을 대상으로 실험하여 밝혀내야 한다. 암석의 주 구성 광물이 점토광물이기 때문에 점토광물과 보존 처리제와의 반응 여하는 암석의 물성 변화에 큰 영향을 준다. 따라서 사전 보존 처리제에 대한 사용 여부도 실험을 통하여 판단해야 한다.

(c) 손상된 암석의 보존 처리

균열이나 박리가 발생되었거나 또는 이러한 가능성이 있는 암석을 더 이상 훼손 현상이 일어나지 않도록 보존 처리제를 사용하여 처리한다.

(d) 3D 기록화 작업을 통한 원형 보존

2) 연구 방법

① 야외 조사

(a) 화석산지 암석의 산출 상태 관찰 및 시료 채취

(b) 발자국 화석의 암상 연구

(c) 화석산지 암석의 균열 조사

(d) 화석의 보존 상태 조사

(e) 진동 조사

② 실내 연구

(a) 물성 연구

- 밀도 분석, 공극율 분석, 강도 측정, 물 흡수 계수 측정, 물 흡수에 의한 팽창 계수 측정, 열 팽창 계수를 측정한다.

(b) 광물학적 연구

- 편광 현미경 관찰: 각 암석들의 구성 광물과 조직을 밝히기 위하여 박편을 제작한 후 편광 현미경 관찰을 한다.
- X-선 회절 분석: 암석의 구성 광물에 대한 정량 분석 및 점토광물을 감정하기 위하여 X-선 회절 분석을 실시한다.

(c) 화학 분석

- 전자 현미경 분석: 암석을 구성하고 있는 각종 광물들의 화학 조성을 규명하기 위하여 전자 현미경 분석기를 사용하여 화학 분석을 실시한다.

(d) 미세 조직 연구

- 주사전자현미경 연구: 풍화에 의한 암석의 조직 변화를 알아보기 위하여 주사전자 현미경 연구를 한다.
- 투과전자현미경 연구: 점토광물들의 구조 변화와 광물들의 변질 과정을 알아보기 위하여 투과전자현미경 연구를 실시한다.

(e) 환경컨트롤 실험

온도와 습도에 따른 암석의 물성 변화 연구를 실시하여 보존 환경에 대한 지침을 설정한다.

(f) 수용성 염 연구

빗물이나 주변의 수분에 의해 용해될 수 있는 수용성 염 성분에 대해서 이온크로마토그래피와 원자흡광분광기를 이용하여 연구한다.

6 천연기념물 제394호 해남 우항리 공룡·익룡·새발자국 화석산지

국립문화재연구소에서 실시한 「천연기념물 화석산지 모니터링 조사 보고서(2008년~2009년)」에 의거하여 현재 우항리 화석산지는 2010년 10월부터 2011년 12월까지 「해남 공룡 화석산지 보존 학술 연구 용역」이 진행되고 있다. 따라서 이번 모니터링에서는 학술 용역이 진행되고 있는 관계로 【해남 우항리 화석산지의 주요 훼손 원인 및 대책】에 대한 부분은 보고서에서 제외하도록 한다. 기존 조사 자료는 「천연기념물 화석산지 모니터링 조사 보고서(2008년~2010년)」에 수록되어 있으며 「해남 공룡 화석산지 보존 학술 연구 용역」의 주요 연구 내용은 표 28과 같다.

표 28 | 해남 공룡 화석산지 보존 학술 연구 용역 과업 내용 요약

연구 항목	연구 내용
선행 연구 문헌 검토	· 국내외 공룡 화석지에 대한 자료 수집 · 세계자연유산 등재 기준에 대한 종합 모니터링 및 점검 사항 기록 · 공룡 화석산지 주변의 지질학적 도면 작성 및 보존 환경 조사 · 해남 공룡 화석산지에 대한 선행 보고서와 연구 결과 검토
화석산지 손상도 진단 · 평가	· 화석산지 사이트 및 보존 환경 조사 · 화석산지 암석의 광물학적 특성 조사 · 화석산지의 풍화 및 훼손 상태에 대한 종합 손상도 평가 · 화석산지에 대한 비 파괴 물성 측정 및 초음파 탐사 · 변색 및 화학적 풍화를 유발하는 오염원 규명을 위한 P-XRF 분석 · 화석산지 암석의 내부 결함 탐색 및 적외선 열화상 분석
가해 생물 손상도 평가	· 사이트 환경 및 미기후 환경 모니터링 · 화석산지 서식 오염 생물군 채취 및 분석, 제어 방안 제시 · 화석산지 암석의 생물 오염지수(BPI) 산출 · 화석산지 서식 미생물 분리 동정
지표수 및 지하수 영향 분석	· 보호각 내부 및 화석산지로 유입되는 지하수와 온 · 습도 모니터링 · 지하수와 염수의 유입 경로 파악 및 방지 대책 모색 · 양수정 상태 검토, 지하수위 모니터링 · 화석산지 일대의 지하수 및 지표수가 암석 풍화에 미치는 영향 분석
화석산지의 정밀보존처리	· 생물 손상 방지, 친환경적 제어 방안 제시 · 화석산지 암석의 훼손도 진단, 손상 인자 정립 및 보존 처리 방안 제시 · 손상된 화석산지 암석 정밀 보존 처리 · 보존 처리 재료의 적합성 검증 및 임상 실험

7 천연기념물 제418호 보성 비봉리 공룡알 화석산지

천연기념물 제418호 보성 비봉리 공룡알 화석산지는 화성 고정리 공룡알 화석산지와 더불어 우리나라 최대의 공룡알 화석산지임에도 불구하고, 화석산지에 공룡알을 비롯한 다른 화석들이 거의 남아 있지 않다. 따라서 다른 모니터링 대상 지역처럼 화석산지 내의 중요한 화석을 중심으로 일어나는 각종 훼손과 멸실 등에 대한 정보를 얻을 수 없었다(공달용과 김태형, 2008).

| 화석산지 관리 실태 및 개선 방안 |

화석산지는 입구에 설치되어 있는 방문객 휴게 시설에 대한 관리가 전혀 이루어지고 있지 않는 듯하다. 이는 2008년부터 해마다 문제점으로 지적하고 있으나 개선되지 않고 있다. 화석산지 주변에 설치되어 있는 전시품과 시설물들은 탈색 · 변색되었거나 훼손되어 미관상 불쾌할 뿐만 아니라, 화석산지 입구에 설치되어 있는 전시품은 아크릴 오염으로 인해 내용물이 전혀 보이지 않으며 전시 설명판들은 훼손되어 읽을 수 조차 없다(그림 63). 특히, 아크릴판의 훼손 부위는 관람객의 안전을 위협할 수 있어 빠른 보수나 철거가 필요하다(그림 63 C, D). 또한, 화석산지의 지층에서 실리콘 복제 흔적이 관찰된다(표 45의 ⑧ 참조). 실리콘 복제는 암석의 훼손을 일으키는 원인이 되기도 하지만, 미관상으로도 매우 좋지 않다.

화석산지는 해안에 위치하고 있어 해양 쓰레기들로 몸살을 앓고 있다. 이는 해안가에 존재하는 모든 화석산지들이 갖고 있는 문제 중 하나이다. 보성 비봉리 화석산지 역시 해양 쓰레기들이 많이 산적해 있다. 2010년 모니터링에서 관찰되었던 쓰레기들이 현재까지 남아 있는 것으로 보아 환경 정비가 이루어지고 있지 않는 듯하다(그림 64). 비봉리 공룡알 화석산지는 현재 유네스코 세계자연유산으로 등재하기 위해 노력 중인 「한반도 백악기 공룡 해안」 중 한 곳이다. 따라서 화석산지의 쾌적한 환경을 위해 지속적인 관리가 필요하다.

8 천연기념물 제146호 칠곡 금무봉 나무고사리 화석산지

칠곡 금무봉 나무고사리 화석산지에 대한 조사는 2007년부터 시작하여 올해로 5년째이다. 2009년 화석산지에는 새로운 안내 설명판이 설치되었다(그림 71 A). 그러나 안내판은 문화재 이름과 내용의 오류 때문에 2011년에 새로 설치되었다(그림 71 B). 안내 표지판 및 설명판의 정비로 화석산지의 모습이 개선되고 있지만 새로 설치된 안내 설명판의 설명이 1980년대 설명 문안을 그대로 사용하고 있어 새로운 안내 설명판의 문안(국문, 영문)을 제시한다(표49). 2007년~2011년 모니터링 조사 등 총 10차례에 걸쳐 화석산지의 조사가 이루어졌으나, 나무고사리 줄기 화석에 대한 단서를 찾을 수 없었다. 기존 연구자 [Tateiwa (1925), Ogura(1940)]에 의해 알려지고 연구된 나무고사리 화석의 채집 지점은 '경북 칠곡군 금무산' 으로만 기록되 있고, 정확한 화석 산출 지역에 대한 어떠한 정보도 알려져 있지 않다.

| 화석산지에 대한 새로운 생각 |

지금까지 수년째 금무봉 일대의 계곡 노두에 대한 정밀 조사를 실시하였으나 나무고사리 화석과 나무고사리 화석을 포함하고 있을 만한 역암층준이 발견되지 않은 점, 지금까지 한번도 노두에서 발견된 적이 없는 점, 극소수 연구자들만이 전석 상태의 화석편을 발견한 점 등 여러 정황으로 볼 때, 칠곡 금무봉 나무고사리 화석산지에 대한 새로운 시각의 접근이 필요할 때라 판단된다. 지금까지 노두 및 추가 화석이 발견되지 않는 이유로 몇 가지를 생각해 볼 수 있을 것이다. 그 중에서 이전 연구자들이 나무고사리 화석산지를 정확히 발견하지 못한 것과 전석 상태의 화석이 발견된 지점 또한 정확히 기록하지 않았던 것이 결정적이다. 이와 더불어 ①함화석층 내의 화석 고갈 가능성, ②초기 연구자들이 화석 산출지로 언급한 금무산이 현재의 위치가 아닌 다른 산일 가능성, ③금무산 내에서도 함화석층은 계곡부가 아닌 능선이나 표토로 덮여 있어 확인이 쉽지 않은 지역에 분포할 가능성 등을 생각해 볼 수 있다.

표 49 | 금무봉 나무고사리 화석산지 설명 문안(참고용).

칠곡 금무봉 나무고사리 화석산지
(漆谷 錦舞峰 木本性羊齒植物 化石産地)

지정 번호　천연기념물 제146호
소 재 지　경상북도 칠곡군 왜관읍 낙산리 산 28-3
지 정 일　1962. 12. 03.
지정 면적　1,579,586㎡

나무고사리는 고생대 말에 나타나 현재까지 생육하는 고사리 종류로 지상에 직립하는 목본성 줄기를 가지고 있다. 이들은 특히 중생대 쥐라기 후기(1억 8000만 년~1억 4000만 년 전)에서 백악기 초기(1억 4000만 년~1억 년 전)에 번성하였다. 경상북도 칠곡군 왜관읍 금무산(해발 268.4m)에서 발견되는 나무고사리 화석은 조직 내에 2산화규소(SiO_2)가 침적되어 석화된 줄기 조각들이다. 1925년 일본 지질학자 다테이와(立岩巖)에 의해서 처음 발견되었으며, 1930년대에는 일본인 오구라(小倉 謙)가 석화된 줄기 조각 약 70개를 채집하여 해부학적 연구를 수행한 바 있다. 그 이후 1992년에 1개체에서 분리된 4개의 줄기 조각이 채집되어 해부학적 구조가 연구된 바 있으나 현재 화석 발견은 거의 산출되지 않는다.

나무고사리는 현재 열대, 아열대 또는 온대 강우림 지역에 주로 분포하고 있어 일본 남부, 대만, 중국 남부, 호주, 뉴질랜드 등을 중심으로 생육하고 있다. 한반도에는 현 생종이 없고 백악기 초기의 지층에서 화석으로 발견된다. 따라서 당시의 한반도 기후가 열대 또는 아열대성이었을 가능성을 나타내주는 식물 화석이다. 금무봉에서 발견된 나무고사리는 현생 나무고사리와는 달리 줄기 중심주의 분주(分柱) 모양이 굴곡되어 U자, W자, S자를 이루며, U자와 W자의 터진 부분이 외측과 내측으로 향하고 있어 현생종과는 쉽게 구분된다. 금무봉에서는 나무고사리 화석 이외에도 13종의 고사리 화석을 포함하여 식물 화석 40여 종이 산출된다.

Tree Fern Fossil Site, Mt. Geummubong, Chilgok

Pebbles of fossilized stems of tree fern have been found in this site. Tree ferns is still live today after it appeared at the Late Paleozoic. Tree ferns are characterized by having erected trunk-like stems on the ground. They were flourished from the Late Jurassic to the Early Cretaceous. Fossil stems found this site were permineralized by SiO_2. The tree ferns was discovered first by Tateiwa who was a Japanese geologist in 1925. In the 1930's, Ogura who was a Japanese geologist collected about 70 permineralized parts of stem and studied the anatomical structure of them. Since then, four stem pieces of only one sample were studied anatomically in 1992. No more tree fern discovered at this site.

Modern tree ferns exist in tropical, subtropical, and temperate rainforest areas such as southern part of Japan, Taiwan, southern China, Australia, and New Zealand. No living tree ferns exist in Korea. Only fossil tree ferns are discovered from the Early Cretaceous deposit. Therefore, it indicates that the climate of Korean Peninsula at the time might be tropical or subtropical. Unlike the living tree ferns, fossil tree fern from this site have the U-shaped, W-shaped, and S-shaped meristele. They are easily distinguished with the living tree ferns by the spaced leaf-gap of the U-shaped and W-shaped meristele facing the internal or external. In addition to the fossil tree fern, more than 40 types of fossil plants including 13 ferns were found this site.

9 천연기념물 제222호 함안 용산리 함안층의 새발자국 화석산지

새발자국 화석산지는 용두산 중턱에 위치하며 주변에는 논과 소규모 공장들이 밀집되어 있다. 화석산지 초입까지 소형 차량 진입이 가능하여 접근성은 좋은 편이다. 소규모 공장 지대를 지나면 농로가 정비되어 있고, 농로가 끝나는 부분에 화석산지를 오르는 계단식 진입로(폭 4~8m, 길이 65m)가 정비되어 있다.

| 화석산지 관리 실태 및 개선 방안 |

농로가 끝나는 부분부터 계단식 진입로까지 관리가 되지 않아 식생들로 덮여 있다(그림 81). 따라서 주기적인 환경 정비가 필요하다. 또한, 화석산지에 대한 환경 정비도 필요하다. 화석산지는 산속에 위치하고 있기에 낙엽이 많이 쌓이게 되고, 이렇게 쌓인 낙엽을 주기적으로 제거해 주지 않으면 낙엽을 토양과 거름 삼아 초본 식물들이 자라게 된다(그림 82). 이는 곧 화석산지 훼손의 원인이 되기도 한다.

화석산지 설명 안내판 일부 문안에 대한 수정이 요구된다. 새로 설치된 설명판의 문안은 기존 설명판에 있던 설명 문안을 그대로 인용하여 제작한 듯하다. 또한, 작업 과정에서 일부 수정이 필요한 문안이 그대로 삽입되어 있으므로 정비가 필요하다(그림 83B).

새발자국 화석의 보호를 위해 설치한 보호각 밖에서는 안쪽에 찍혀 있는 새발자국 화석을 전혀 관찰할 수 없다(그림 84). 새발자국은 공룡발자국과 달리 그 크기가 매우 작고, 퇴적면에 찍힌 자국의 선명도 역시 대단히 약하기에 더욱 그러하다. 따라서 새발자국과 공룡발자국의 모습이 잘 나타난 여러 장의 사진과 자료 등을 출력하여 보호각 유리벽에 설치하여 관람객의 편의를 도모하고, 보다 많은 정보를 제공하는 데 노력을 기울여야 할 것이다.

10 천연기념물 제474호 사천 아두섬 공룡 화석산지

천연기념물 제474호 사천 아두섬 공룡 화석산지는 사람이 거주하지 않는 무인도라는 특수한 환경에 있어 인간에 의한 훼손은 상대적으로 적을 것으로 예상되었다.

| 화석산지 관리 실태 및 개선 방안 |

아두섬 공룡 화석산지는 2007년 초, 공룡알 화석 1점이 누군가에 의해 인위적으로 파손되었다(공달용 외, 2007 참조). 그 이후로 더 이상의 훼손은 발생되고 있지 않다. 현재 아두섬은 2007년과 2008년 모니터링 조사에서 지적한 문화재 안내판이 설치되었으며, 공룡 및 익룡발자국 화석산지 주변에 산재되어 있던 작은 돌들이 제거되어 발자국 화석의 훼손 속도가 줄어들게 되었다.

사천 아두섬 공룡 화석산지의 경우, 문화재로 지정된 다른 화석산지와 달리 사람의 접근이 어려운 무인도에 화석산지가 있고, 화석산지를 포함한 섬 전체가 문화재로 지정되어 있어 인위적 훼손은 다른 곳에 비해 낮은 편이다. 그러나 배의 접안 시설 설치로 더 쉽게 화석산지에 접근할 수 있게 되었다(그림 91). 그렇다고, 섬 전체에 대한 보호각의 설치, 문화재 관리인 상주 등 일반적인 보존 관리 방안은 실효성이 낮으며, 인근 신수도(동)에 거주하는 주민들에게 화석산지 관리에 있어 협조를 받는 것이 필요하다. 우리 청에서 추진하고 있는 1문화재 1지킴이와 같은 형식으로 신수도(동) 주민들이 아두섬 화석산지의 지킴이가 되는 방안이 한 방법일 것이다.

11 천연기념물 제477호 하동 중평리 장구섬 화석산지

「하동 중평리 장구섬 화석산지」는 대다수의 화석들이 저지대에 위치하여 파도, 태풍 등과 같은 자연에 의한 훼손이 지속적으로 발생하고 있다. 특히, 화석산지 주변에 흩어져 있는 크고 작은 돌들은 큰 에너지(파도, 태풍 등)에 의해 화석산지 지층 표면을 훼손시키는 작용을 하고 있다. 또한, 화석산지 인근 바다에는 대규모 양식장이 존재하고 있다(그림 95). 이들 양식장에서 나오는 각종 오염 물질들에 대한 지속적인 모니터링이 필요하다.

| 화석산지 관리 실태 |

현재 장구섬 화석산지에는 문화재 안내판이 설치되어 있지 않다. 지정 이후, 지금까지 문화재 안내판이 설치되지 않고 있으며, 환경부 지정 특정도서 표지판만이 설치되어 있다.

중평리 장구섬 화석산지는 중평리 마을 어촌계와 주민들 스스로 화석산지를 보호하기 위해 많은 노력을 기울이고 있다. 허가 없이 들어가는 배들을 단속하고 낚시꾼들의 출입을 막으며, 주변 양식장에서 나오는 각종 오염 물질들을 수거하는 등, 많은 노력을 아끼지 않고 있어 다른 어느 곳보다 관리가 잘되고 있다.

| 개선 방안 |

장구섬 화석산지는 인위적 훼손보다 자연적 훼손이 더 위협적 요인이다. 이는 화석산지가 안고 있는 태생적 문제이지만, 중점 관리 대상 표본이 발견된 지역의 잔자갈 제거 등의 노력을 기울인다면 화석산지의 훼손 속도를 늦출 수 있다. 또한, 장구섬 화석산지처럼 파도나 태풍에 의해 침식을 잘 받는 지역에서는 정기적인 노두 관찰이 필요하다. 2007년 모니터링 조사에서 '지금까지 국내에서 발견된 가장 완벽한 거북 배갑 화석' 의 발견(그림 94A, B)을 보더라도 화석산지의 침식작용은 새로운 화석의 산출 가능성을 높이는 것과 같다. 따라서 화석산지에 대한 주기적인 모니터링이 필요하며 특히, 태풍이 지나간 뒤 화석산지의 모니터링은 반드시 이루어져야 한다.

현재 장구섬 화석산지는 문화재로 지정된 이후 지금까지 안내판이 설치되어 않았으며, 지정 이후로 환경부 지정 특정 도서 표지판만이 설치되어 있다. 따라서 대부분의 사람들은 장구섬을 천연기념물 지역으로 알고있기 보다는 환경부에서 지정한 특정 도서로만 알고 있다. 최소 안내판은 2곳(화석산지 입구, 중평리 선착장) 이상 설치되어야 한다. 빠른 시간에 문화재 안내판의 설치가 요구되며 이때 안내판의 디자인 정비, 개선 작업도 병행하는 것이 바람직하다. 문화재 안내판의 설치 시, 문화재청 문화재활용팀에 자문을 하는 것도 좋은 방법일 것이다.

2011 천연기념물 화석산지 모니터링 조사 보고서

National Research Institute of Cultural Heritage
Natural Heritage Center





참고문헌

National Research Institute of Cultural Heritage Natural Heritage Center

고기원, 1997, 제주도의 지하수 부존특성과 서귀포층의 수문지질학적 관련성. 부산대학교 박사학위 논문, 326 p.

공달용, 2004, 경남 남해지역 백악기 비해성 스트로마톨라이트에 관한 연구. 경북대학교 석사학위논문.

공달용, 2010, 「공룡, 새로 진화하다」. 오신단, 국립문화재 연구소, p. 26-29

공달용, 남상찬, 2007, 2007 천연기념물 화석지 모니터링 조사 보고서. 국립문화재연구소, 129 p.

공달용, 김태형, 2008, 2008 천연기념물 화석산지 모니터링 조사 보고서. 국립문화재연구소, 194 p.

공달용, 이성주, 2009, 천연기념물 제413호 영월 문곡리 스트로마톨라이트에 대한 고찰. 지질학회지, v. 45.

공달용, 김태형, 남상찬, 임종덕, 2008, 천연기념물 화석산지 모니터링 Data sheet 개발. 한국고생물학회지, v. 24, p. 21-33.

공달용, 임종덕, 김태형, 최돈원, 이성주, 2009a, 천연기념물 제413호 영월 문곡리 스트로마톨라이트에 대한 고찰. 2009년 춘계지질과학기술 공동학술대회 논문집, p. 314.

공달용, 최돈원, 김태형, 임종덕, 2009b, 천연기념물 화석산지 모니터링 조사보고서. 국립문화재연구소, 250 p.

공달용, 임종덕, 김태형, 남상찬, 강정훈, 최돈원, 2009c, 천연기념물 제222호 함안층의 새발자국 화석산지에서 발견된 물갈퀴달린 새발자국 화석의 의미. 2009년도 한국고생물학회 제25차 학술발표회 초록집, p. 19

공달용, 최돈원, 김태형, 임종덕, 2009, 2009 천연기념물 화석산지 모니터링 조사 보고서. 국립문화재연구소, 251 p.

공달용, 최돈원, 김태형, 전창표, 임종덕, 2010, 천연기념물 개방동굴의 특성연구 보고서. 국립문화재연구소, 202p.

공달용, 최돈원, 김태형, 임종덕, 2010, 2010 천연기념물 화석산지 모니터링 조사 보고서. 국립문화재연구소, 303 p.

김경수, 2009, 가인리 화석산지 보존관리 및 활용 방안 기본계획 경상남도 남해군, 113 p.

김련, 우경식, 2007, 성류굴의 지질학적 연구. 2007 추계지질과학연합학술대회, 108p.

김련, 우경식, 김봉현, 박재석, 박현영, 정혜정, 이종희, 2010, 성류굴(천연기념물 제155호)의 과학적 중요성. 문화재지, 43, 236-259.

김봉균, 1969, 함안층에 발달하는 솔마크에 관한 연구. 지질학회지, 5:243-258.

김봉균, 1972, 서귀포층의 층서 및 고생물학적 연구. 손치무 교수 송수기념논문집. p. 196-187.

김봉균, 김기현, 1992, 咸安層 새 발자국 化石. 天然記念物(化石 · 岩石類) 및 恐龍발자국 化石類 調査報告書, p. 43-60.

김봉균외 3인, 1991, 서귀포층 패류화석 화석의 지형 · 지질 및 고생물상보고, 123-29 p.

김성미, 2007, 현생 새 발자국의 분석을 통한 새 발자국 화석의 분류 방안의 검토. 한국교원대학교 대학원 학위 논문, 75 p.

김수진, 이정후, 노진환, 안중호 , 최진범, 조현구, 최현수, 유재영, 정기영, 2000, 해남 공룡화석지 보존방안 학술연구. 전라남도 해남군, 271 p.

김옥준, 이하영, 이대성, 윤석규, 1973, 남한 대석화암통의 층서와 지질구조. 광산지질, 6, p. 81-114.

김인수, 이동호, 2000, 제주도 서귀포층과 서귀포조면암층 노두의 자기층서와 대자율. 지질학회지, 36, 163-180.

김정률, 김경수, 박찬홍, 2007, 공룡발자국 화석지 3D 기록 보존 및 보존 처리 방안 연구. 국립문화재연구소, 178 p.

김종관 외, 2006, 생흔학의 중요성 및 활용, 한국석유지질학회, 12, 34-42

김항묵, 1983, 한국에서 발견된 백악기 공룡화석과 그 층서. 지질학회지, v. 19, p. 115-126.

민경덕, 원중선, 황석연, 1986, 제주도에 분포하는 화사암류 및 퇴적암류에 대한 고지자기 연구. 광산지질, 19, 153-163.

박근배, 이의형, 백광호, 1986, 제주도 서귀포층(플라이오-플라이스토세)산 개형충의 군집분석 및 고환경 해석. 고려대학교 이학론집, 27, 133-147.

서승조, 1997, 남해군 창선면 함안층산 공룡 및 익룡족인 화석. 진주교육대학교 과학교육연구, 23: 1-10

서승조, 1998, 남해군 창선면 함안층산 공룡 및 익룡족인 화석. 한국고생물학회 춘계학술대회.

손진담, 임성규, 권석기, 1998, 경북 의성지역 전기 백악기 점곡층의 공룡발자국 화석. 한국고생물학회 제14차 학술 발표회 초록집, p. 8.

우경식, 최용근, 박재석, 최송길, 2006, 백룡동굴 종합학술조사보고서. 평창군,(사)한국동굴연구소, 222p.

우경식, 김련, 최용근, 2008, 노동동굴의 실태 및 보존가치에 대한 기초학술조사 보고서. 단양군, (사)한국동굴연구소, 100p.

원광연, 김경수, 안재홍, 박진호, 천연기념물 공룡발자국 3D 기록 보고서(3차). 국립문화재연구소, 170 p.

유환수 고영구, 김주용, 1986, 제주 서귀포층의 미고생물학 및 퇴적암석학적 연구. 전남대학교 논문집 (자연과학편), 31, 127-136.

유환수, 고영구, 김주용, 1987, 제주 서귀포층의 미고생물학 및 퇴적암석학적 연구. 전남대학교 논문집 (자연과학편), 32, 23-35.

윤상규, 한대석, 이동영, 1986, 제주도 남부지역 제4기 지질조사연구. 한국동력자원연구소, 연구보고 KR-86-2(B)-2, 64 P.

윤석훈, 조성권, 2006, 제주도 서귀포층의 퇴적상과 퇴적환경. 지질학회지, 42, p. 1-17.

이경제, 양승영, 2006, 경상층군 하부에서 산출되는 나무줄기 화석. 한국고생물학회지, v. 22(2), p. 263-280.

이대길, 허민, 임종덕, 백인성, 박준, Shen Jing, 2008, 한반도에서 발견된 원시 조각류(Basal Ornithopoda) 공룡 골격화석과 그의 학술적 의의. 한국고생물학회 제24차 학술발표회 초록, p. 10.

이동진, 유찬민, 1993, 영흥층에서 산출된 스트로마토포로이드 화석. 고생물학회지, 9, 131-142.

이성주, 1990, 강원도 영월지역에 분포하는 영흥층(하부고생대층)에서 산출된 코노돈트 화석군의 생층서 및 고생태학적 연구. 연세대학교 지질학과, 석사학위논문, 107 p.

이성주, 2008, 고생대 미화석산지 연구 보고서. 국립문화재연구소, 146 p.

이융남, 2004, 공룡뼈. 한국고생물학회 창립 20주년 기념-한국고생물, 한국고생물학회지, 특별호 7, p. 295-304.

이융남, 김유봉, 김복철, 이윤수, 2004, 남해안 화석지조사 · 연구 보고서. 문화재청, p. 47-52.

이융남, 김복철, 이윤수, 기원서, 2007, 경기도 화성시 남양분지에서 발견된 새로운 공룡알 화석산지. 고생물학회, v. 23, p. 15-26.

이하영, 정창희, 이종덕, 이종승, 1980, 한국 조선누층군산 삼엽충화석군에 대한 생층서학적 및 생물구 특성에 관한 연구 : 특히 직운산 세일의 삼엽충을 중심으로. 학술원논문집, 자연과학편 제19집, p. 111-131.

장기홍, 서승조, 박순옥, 1982, 의성군 탑리 부근의 공룡지골화석. 지질학회지, v. 18(1), p. 195-202.

장기홍, 이윤종, 박병권,1981, 한국지질도 군위도폭(1:50,000) 한국동력자원연구소, 20 p.

장기홍, 이영길, 김규한, 1989, 남해 · 서상도폭 지질보고서(1:50,000). 한국동력자원연구소, p. 1-28.

장태우, 2009, 층상 암석에서 절리의 특성 연구. 지질공학회, 19, 145-152.

전방욱, 2005, 식물 생리학. 라이프사이언스, 637p.

정용재, 양희제, 정소영, 2006, 석조문화재 침해와 처리방안. 국립문화재연구소, 13 p.

정창희, 백광호, 1992, 錦舞峰 나무고사리 化石 産地에 對한 硏究. 天然記念物(化石 · 岩石類) 및 恐龍 발자국 化石類 調査報告書, p. 3-41.

정창희, 이돈명, 유양수, 강기우, 1979, 한국지질도 1:50,000 평창, 영월 도폭. 자원개발연구소, 19 p.

제주도, 2000, 서귀포 · 하효리도폭 지질보고서(1:50,000). 제주도, 163 p.

조선총독부 지질조사소, 1928, 조선지질도(1:50,000) 경주, 연천, 대구, 왜관도폭 및 설명서

조성주, 최덕근, 원달기, 1998, 직운산층에서 산출된 바다나리 화석에 대한 분류학적 연구. 한국고생물학회 정기총회 및 제14차 학술발표회 요약집, p. 14-15.

해남군, 2004, 해남 우항리 퇴적층조사 및 화석복원, 해남군, 207 p.

허민, 임성규, 양승영, 1996, 아시아 최초 익룡 발자국 발견. 지질학회지, v. 32, p. 526-528.

허민, 백인성, 이용일, 김해경, 1999a, 〈short note〉전남 보성에서 발견된 공룡알화석과 공룡알 둥지. 지질학회지, 35 : 229-232.

허민, 백인성, 이용일, 이영업, 정대교, 김경식, 1999b, 전남 도서 해안지역 지질환경연구. 전남대학교, 전라남도, p. 15-26.

허민, 이융남, 임성규, 황구근, 1998, 해남 공룡화석지 종합학술연구. 전남대학교 박물관 · 전라남도 · 해남군, 499 p.

허민, 백인성, 박준, 황구근, 이용일, 양승영, 2006a, 남한의 공룡알화석 산출 현황. 지질학회지, 42: 523-547.

허민, 황구근, 박준, 임종덕, 김정률, 백인성, 2008, 남해안 공룡화석산지 종합 학술조사. 전라남도, 전남대학교, 465 p.

황인전, 정창순, 1968, 한국지질도 보성도폭(1:50,000). 국립지질조사소.

Aitken, J.D., 1967, Classification and environmental significance of cyptalgal limestones and dolomites, with illustrations from the Cambrian and Ordovician of southwestern Allberta. Journal of Sedimentary Petrology, 37, p. 1163-1178.

Bathurst, R.G.C., 1971, Carbonate Sediments and Their Diagenesis: Develipments in Sedimentology 12, New York, Elsevier, 658 p.

Benton M.J. and Harper.D.A.T., 1997, Basic Palaeontology. Addison Wesley Longman, 360 p.

Boardman and Carney, 1991, Origin and accumulation of lime mud in ooid tidal channels, Bahamas. Journal of Sedimentary Petrology, v. 61, no. 5, p. 661-680.

Bromley, R.G. (1996). Trace Fossils--Biology, Taphonomy, and Applications, Chapman and Hall, London, 361 p.

Brown, R., Ferguson, J., Lawrence, M., and Lees, D., 2003, Tracks and signs of the birds of Britain and Europe (2nd ed.). Christopher Helm, London, U.K., 232 p.

Buatois, L.A. and Ma´ngano, M.G. (1995). The paleoenvironmental and paleoecological significance of the lactusrine Mermia ichnofacies: an archetypical subaqueous nonmarine trace fossil assemblage. Ichnos, 4, 151-161.

Cerling, T.E. and Harris, J.M., 1999, Carbon isotope fractionation between diet and bioapatite in ungulate mammals and implications for ecological and paleoecological studies. Oecologia, 120, 347-363.

Choi, D.K., 1998, The YongWol Group (Cambrian-Ordovician) redefined a proposal for thestratigraphic nomenclature of the Choson Supergroup. Geosciences Journal, v. 2, p. 220-234.

Chun, S.S., 1990, Sedimentary processes, depositional environments and tectonic settings ofthe Cretaceous Uhangri Formation, southwest Korea. Unpublished Ph.D. thesis, Seoul National University, 328 p.

Chun, S.S. and Chough, S.K., 1995, The Cretaceous Uhangri Formation, SW Korea: lacustrine margin facies. Sedimentology, v. 42, p. 293-322.

Chung, G.S., 2007, The Upper Cambrian Wagok Formation and the Lower Ordovician Mungok Formation in Buk-myon, Yeongwol, Korea. In: Lee, C.Z. *et al.* (eds.), Fieldtrip guidebook for the first international earth science olympiad. Korean Earth Science Society, Seoul, Korea, p. 19-30.

Clough, J.G. and Goldhammer, R.K., 2000, Evolution of the Neoproterozoic Katakturuk Dolomite ramp complex, northeastern Brooks Ranges, Alaska. In: Grotzinger, J.P. and James, N.P. (eds.), Carbonate Sedimentation and Diagenesis in the Evolving Precambrian Worlds, SEPM, v. 67, p. 209-241.

Cuffey, R.J., 1985, Expanded reef-rock textural classification and the geologic history of bryozoan reefs. Geology, v. 13, p. 307-310.

Cumings, E.R., 1930 List of species from the New Corydin, Kokomo and Kenneth Formations of Indiana, and from reefs in the Mississinewa and Lisron Creek Formations. Indiana Academy of Science Proceedings, v. 39. 204-211.

Dunne, W.D. and Hancock, P.L., 1994, Paleostress analysis of small-scale brittle structures. In: Hancock, P.L.(ed.), Continental Deformation, Pergamon Press, 101-120.

Engelder, T., 1985, Loading paths to joint propagation during a tectonic cycle: an Example from the Appalachian Plateau, U.S.A.. 7, 459-476.

Gerdes, G., Krumbein, W.E. and Noffke, N., 2000, Evaporite microbial sediments. In: Riding,R. and Awramik, A. (eds.), Microbial Sediments. Springer-Verlag, Berlin, p. 198-208.

Grocke, D.R., Bocherens, H. and Mariotti, A., 1997, Annual rainfall and nitrogen-isotope correlation in macropod collagen: application as a palaeoprecipitation indicator. Earth and Planetary Science Letters, 153, 279-285.

Hancock, P.L., 1985, Brittle microtectonics: principles and practice. Journal of Structural Geology, 7, 437-457.

Haraguchi, K., 1931, Geology of Cheju Island. Bull. Geol. Surv. Korea, 10, 1-34.

Hofmann, H.J, 1973, Stromatolites : Characteristics and utility. Earth Science Reviews, v. 9, p. 339-373

Hoffman, P., 1976, Stromatolite morphogenesis in Shark Bay, Western Australia. In: Walter, M.R. (ed.), Stromatolites. Elsevier, Amsterdam, 261-271.

Kang, S,S., 1995, Reconstruction of paleoenvironment and molluscan assemblage of the Lower Pleistocene Sogwipo Formation, Cheju Island, Korea. Ph. D. thesis, Niigata University, Niigata, Japan.

Kennard, J.M. and James, N.P., 1986, Thrombolites and stromatolites: two distinct types of microbial structures. Palaios, v. 1, p. 492-503.

Kim, B.K., 1965, The stratigraphic and paleontologic study on the Tertiary (Mioscene) of the Pohang area. Seoul Nat. Univ. Jour. Sci. and Techno. Ser., 15, 32-121

Kim, B.K., 1984, Pliocene brachiopods from the Seogwipo Formation of Jeju Island, Korea. Jour. Acad. Sic. Natu. Sic. Ser., v. 23, p. 167-190.

Kim, H.M., Gishlick, A.D., and Tsuihiji, T. 2005, The first non-avian maniraptoran skeletalremains from the Lower Cretaceous of Korea. Cretaceous Research 26, p. 299-306.

Kim, J.Y. and Heo, W. H., 1995, Paleoenvironmental Implications of Sedimentary Structures and Trace Fossils from the Seogwipo Formation, Jeju Island, Korea. Jour. Korean Earth Science Society, v. 16, p. 232-246.

Kim, J.Y., Kim, S.H., Kim, K.S., and Lockley, M.G. 2006, The oldest record of webbed bird and pterosaur tracks from South Korea (Cretaceous Haman Formation, Changseon and Sinsu Islands): more evidence of high avian divesity in East Asia. Cretaceous Research, v. 27, p.56-69.

Kobayashi, T., 1934a, The Cambro-Ordovician formations and faunas of Chosen Palaeontology, Part I, Middle Ordovician faunas. Journal of the Faculty of Science, Imperial University of Tokyo, Section II, v. 3, p. 329-519.

Kobayashi, T., 1934b, The Cambro-Oderovician formations and faunas of Chosen Palaeontology, Part II, Middle Orbovician faunas. Journal of the Faculty of Science, Imperial University of Tokyo, Section II, v. 3, p. 521-585.

Kobayashi, T., 1966, Stratigraphy of the Chosen Group in Korea and south Manchuria and its relation to the Cambro-Ordovician formations and other areas, Section A, The Chosen Gropup of South Korea. Journal of the Faculty of Science, University of Tokyo, Section 2, v.16, p. 1-84.

Kwon, Y.K., Chough, S.K., Choi, D.K., and Lee, D.J. 2006, Sequence stratigratphy of the TaebaekGroup (Cambrian-Ordovician), mideast Korea. Sedimentary Geology. v. 192, p. 19-55.

Lane, C.S., Horn, S.P. and Mora, C.I., 2004, Stable carbon isotope ratios in lake and swamp sediments as a proxy for prehistoric forest clearance and crop cultivation in the Neotropics. Journal of Palcolimnology, 32, 375-381.

Lee, D.C., and Choi, D.K., 1992, Reappraisal of the Middle Ordovician trilobites from the Jigunsan Formation, Korea. Journal of the Geological Society of Korea, v. 28, p. 167-183.

Lee, E.H., 1990 Pleistocene Ostracoda from the Marine Sedimentary Strata of the Cheju Island Korea. Ph. D. thesis, Korea University, Seoul, Korea, 436p.

Lee, E.H., Paik, K.H., and Choi, D.K., 1996, Ordovician ostracods from the upper Joseon Supergroup in Dongjeom area, Korea. Journal of the Paleontological Society of Korea, v. 12,p. 203-224.

Lee, H.Y., 1976, Conodonts from the Maggol and the Jeonseon Formation (Ordovician),Kangweon-Do, South Korea. Journal of the Geological Society of Korea, v. 12, p. 151-181.

Lee, K., and Lee, H.Y., 1990, Conodont biostratigraphy of the upper Choseon Supergroup in Jangsung-Dongjeom area, Gangweon-Do. ournal of the Paleontological Society of Korea, v.6, p. 188-210.

Lee, Y.-N. and Lee, H.-J., 2005, A new protosuchian (Archosauria: Crocodyliforms) skull from the Hasandong Formation (Lower Cretaeous) of Hadong County, South Korea, Journal of the Paleontological Society of Korea, Special Publication 2.

Lee, Y.N., and Lee, H.Y., 1986, Conodont biostratigraphy of the Jigunsan Shale and Duwibong Formation in the Nokjeon-Sangdong area, Yeongwoel-gun, Kangweondo, Korea. Journal of the Paleontological Society of Korea, v. 2, p. 114-136.

Lee, Y.-N., Yu, K.-M., and Wood, C. B., 2001, A review of vertebrate faunas from the Gyeongsang Supergroup(Cretaceous) in South Korea. Palaeogeography, Paleoclimatology, Palaeoecology, v. 165, p.375-373.

Lee, Y.-N., Yang, S.Y., and Park, E.J., 1997, Sauropod dinosaur remains from the Gyeongsang Supergroup, Korea. In: Yang, S.Y., Hun, M.,Lee, Y.-N., and Lockley, M.G. (des.),International Dinosaur Symposium for Uhangri Dinosaur Center and Theme Park in Korea. Journal of Paleontological Society of Korea, Special Publication no. 2, p. 103-114.

Li, B., Park, B.K., Kim, D. and Woo, H. J., 1999, The geological age and paleoenvironment of the lower Seogwipo Formation, Cheju Island Korea. Geosciences Journal, 3, 181-190.

Lim, J.D., Zhou, Z., Martin, L.D., Baek, K.S., and Yang, S.Y., 2000, The oldest known tracks of web-footed birds from the Lower Cretaceous of South Korea. Naturwissenschaften, v. 87, p.256-259.

Lim, J.D., Martin, L.D., Zhou, A., Baek, K.S., and Yang, S.Y.,2002, The significance of Early Cretaceous bird tracks. In: Zhou, Z., and Zhang. F.,(eds.), Proceedings of the fifthsymposium of the society of Avian Paleontolgy and Evolution, p. 157-163.

Lim. J.D., Kong, D.Y., Kim, S.Y., Kim, T.Y., and Nam, S.C., 2008, Discovery of the Longest Baby Sauropod Trackway from Korea.

Lockley, M.G., *et al.*, 1992, The track record of Mesozoic birds: evidence and implication. Philosphical Transactions of Royal Society of London, B336, p. 113-134.

Lockley, M. G., Kim, J. Y., Kim, K. S., Kim, S. H., Matsukawa, M., Rihui, L., Jianjun, L., and Yang, S. Y., 2008, Minisauripus-the track of a diminutive dinosaur from the Cretaceous of China and South Korea: implication for stratigraphic correlation and theropod foot morphodynamics. Cretaceous Research, 29: 115-130.

Ma, H.Y., 1938, Notes on the phylogenetic relation and classification of the Korean species of the Asaphidae, Bulletin of the Geological Society of China, v. 18, p. 121-135.

Mehl, M.G., 1931, Additions to the vertebrate record of the Dakota Sandstone. American Journal of Science, v. 21, p. 441-452.

Nakamura, S., 1924, On the knowledge of the Ordovician formations in Korea up to present. Chikyu, v. 1, p. 361-371. (in Japanese)

Ogura, Y., 1927, On the structure and affinities of some fossil tree-ferns from Japan. Jour. Fac. Sci. Imp. Univ. Tokyo. Sect. III, v. 1, p. 351-387.

Ogura, Y., 1938, Anatomie der Vegetationsorgane der Pteridophyten. Handb. d. Pflanzenanat. 2,Abt. 7. 476p. Berlin.

Ogura, Y., 1941b, Additional notes on the structure of fossil tree ferns. The Botanical Magazine of Tokyo, 55, p. 453-461.

O´Leary, M.H., 1981, Carbon isotope fractionation in plnats. Phytochemistry, 20, 553-567.

O´Leary, M.H., 1988, Carbon isotopes in photosynthesis. Bioscience, 38, 328-335.

Paik, I.S., Woo, K.S. and Chung, G.S., 1991, Stratigraphic, sedimentologic and paleontologic investigation of the Paleozoic sedimentary rocks in Yeongweol and Gabsan areas: depositional environments of the Lower Ordovician Mungok Formation in the vicinity of Yeongweol. Journal of the Geological Society of Korea, 27, 357-370.

Paik, K.H. and Lee, E.H., 1984, A Plio-Pleistocence ostracod assemblage from the Seoguipo Formation, Cheju Island, South Sea of Korea. Proceedings of US-KOREA Seminar and Workshop on Yellow Sea (1984, Seoul), 223-234.

Paik, K.H. and Lee, E.H., 1986, Ostracode fauna from the Seogwipo Formation, Cheju Island. The Memoris for Prof. Bong-Kyun Kim°Øs Retirement, 375-389.

Park, K.H., Choi, D.K., and Kim, J.H., 1994, The Mungog formation (Lower Ordovician) in the northern part of Yeongweol area: lithostratigraphic subdivision and trilobite faunal assemblages. Journal of the Geological Society of Korea, v. 30, p. 168-181.

Park, R.K., 1976, A note on the significance of lamination in stromatolites. Sedimentology 24, 379-393.

Pemberton, S.G., Spila M., Pulham, A.J., Saunders, T., MacEachern, J.A., Robbins, D. and Sinclair, I.K. (2001). Ichnology and sedimentology of shallow to marginal marine systems: Ben Nevis and Avalon Reservoirs, Jeanne d'´Arc Basin. Geological Association of Canada, St. John'´s Newfoundland, Short Course Notes, 15, 353 p.

Pratt, B.R., 1995, The origin, biota and evolution of deep-water mud-mounds. Special Publication of International Association of Sedimentology, v. 23, p. 49-123.

Riding, R., 1979, Origin and diagenesis of lacustrine algal bioherm at the margin of the Reiscrator, Upper Miocene, southern Germany. Sedimentology, v. 26, p. 645-680.

Riding, R., 1991, Classification of microbial carbonates. In: Riding, R.(ed.), Calcareous Algae and Stromatolites. Springer-Verlag, Berlin, p.21-51.

Roylance, M.H., 1990, Depositional and diagenetic history of a Pennsylvanian algal-mound complex: Bug and Pappose Canyon Fields, Paradox Basin, Utah and Colorado. The American Association of Petroleum Geologists, v. 74, p. 1087-1099.

Semikhatov, M.A., Gebelein, G.D., Cloud, P., Awramik, S.M. and Benmore, W.C., 1979,Stromatolite morphogenesiswol progress and problems. Canadian Journal of Earth Science, 16, 992-1015.

Seong-Joo, L. and Golubic, S., 1999, Microfossil populations in the context synsedimentary micrite deposition and acicular carbonate precipitation: Mesoproterozonic Gaoyuzhuang Formation, China. Precambrian Research, v. 96, p.183-208.

Seong-Joo, L., Browne, K. and Golubic, S., 2000, On stromatolite lamination. In: Riding, R.and Awramik, A. (eds.), Microbial Sediments. Springer-Verlag, Berlin, 16-24.

Shikama, T., and Ozaki, K., 1969, Palaeoecological notes on the Ordovician Jigunsan Shale Formation in the Jangseongri area, Samcheog-gun, Kangwon-do, Republic of Korea. Science Report of Yokohama National University, Section 2, 15, 35-52.

Southgate, P.N., 1989, Relationships between cyclicity and stromatolite form in the Late Proterozoic Bitter Springs Formation, Australia. Sedimentology, v. 36, p. 323-339.

Stolz, J.F., 2000, Structure of microbial mats and biofilms. In: Riding, R. and Awramik, A.(eds.), Microbial Sediments. Springer-Verlag, Berlin, p. 1-8.

Sumner, D.Y. and Grotzinger, J.P., 2000, Late Archean aragonite precipitation: petrography, facies associations, and environmental significance. In: Grotzinger, J.P. and James, N.P. (eds.), Carbonate Sedimentation and Diagenesis in the Evolving Precambrian Worlds, SEPM, v. 67, p. 123-144.

Swap, R.J., Aranibar, J.N., Dowty, P.R., Gilhooly, W.P. and Macko, S.A., 2004, Natural abundance of 13C and 15N in C3 and C4 vegetation of southern Africa: patterns and implications. Global Change Biology, 10, 350-358.

Tieszen, L.L., 1991, Natural variations in the carbon isotope values of plants: Implications for archaeology, ecology, and paleoecology. Journal of Archaeological Science, 18, 227-248.

Twiss, R.J. and Moores, E.M., 2007, Structural Geology(2th ed). Freeman, 532p.

Von der Borch, C.C., 1976, Stratigraphy of stromatolite occurrences in carbonate lakes of the Coorong Lagoon area, South Australia. In: Walter, M.R. (ed.), Stromatolites. Elsevier, Amsterdam, p. 413-420.

Walter, M.R. and Heys G.R., 1985, Links between the rise of the metazoa and the decline of stromatolites. Precambrian Research, v.29 p. 149-174.

Walter, M.R., Grotzinger, J.P. and Schopf, J.W., 1992, Proterozoic stromatolites. In: Schopf, J.W.. and Klein, C. (ed.), The Proterozoic Biosphere. Cambridge University Press, Cambridge, p. 153-260.

Ward, D.M., Beck, E., Revsbech, N.P., Sandbeck, K.A. and Winfrey, M.R., 1984, Decomposition of hot spring microbial mats. In: Cohen, Y, Castenholz, R.W. and Halvorson,H.O. (eds.) Microbial Mats: Stromatolites. Alan R. Liss, New York, p. 191-214.

Weiguo, L. and Zheng, W., 2008, Nitron isotopic composition of plant-soil in the Loess Plateau and its responding to environmental change. Chinese Science Bulletin, 54, 272-279.

Winefield, P.R., 2000, Development of Late Proterozoic aragonitic seafloor cements in the McArthur Group, Northren Australia. In: Grotzinger, J.P. and James, N.P. (eds.), Carbonate Sedimentation and Diagenesis in the Evolving Precambrian Worlds, SEPM, v. 67, p. 145-159.

Wurster, C.M., Patterson, W.P., McFarlance, D.A., Wassenaar, L.I., Hobson, K.A., Athfield, N.B. and Bird, M.I., 2008, Stable carbon and hydrogen isotopes from bat guano in the Grand Canyon, USA, reveal Younger Dryas and 8.2 ka events. Geology, 36, 683-686.

Yamanari, F., 1926, On the imbricate structure I Kogendo. Geographical Review of Japan, 2, 572-590. (in Japanese)

Yi, S., Yun, H. and Yoon S., 1998 Calcareous nannoplankton from the Seoguipo Formation of Cheju Island, Korea and its paleoceanographic implications. Paleontological Reaserch, 2, 253-265.

Yokoyama, M., 1923, On some fossils and shells from the island of Siashu(Jaeju) in Strait of Tusushima, Journal of Imperial University of Tokyo, College Science, 44, art 7, 1-9.

Yoon, S., 1981, The Seoguipo fauna (Mollusca) of the Jeju Island, Korea(abstract). Proc. 6th Internat. Work. Group Meet. IGCP-114, 149.

Yoon, S., 1988, The Seoguipo Molluscan Fauna of Jeju Island, Korea. Saito Ho-on Kai Special Publication, 539-545.

Yosimura, I., 1940, Geology of the Neietsu district, Kogendo, Tyosen. Journal of the Geological Society of Japan. 47, 112-122.

2011 천연기념물 화석산지 모니터링 조사 보고서

총괄	김영원(국립문화재연구소 소장)
기획	이위수(자연문화재연구실장)
조사 · 집필	임종덕, 공달용, 김태형, 원상호, 전창표, 정승호
교정	청주대학교 국어문화원
발행일	2011년 12월
발행처	국립문화재연구소 천연기념물센터
제작	청구디자인

발간등록번호 11-1550011-000276-10
ISBN 978-89-6325-759-4 93450

※ 이 책에 수록된 내용은 문화재청 국립문화재연구소와의 협의 없이 무단으로 복제하거나 전재할 수 없습니다.

〈비매품〉