



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

석사학위논문

제주도 용암동굴의 보존 및 관리 방안
-천연기념물 및 제주도기념물 지정 동굴을 대상으로-



제주대학교 교육대학원

지리교육전공

김 범 훈

2007년 8월

제주도 용암동굴의 보존 및 관리 방안

-천연기념물 및 제주도기념물 지정 동굴을 대상으로-

지도교수 김 태 호

김 범 훈

이 논문을 교육학 석사학위 논문으로 제출함

2007년 8월

김범훈의 교육학 석사학위 논문을 인준함

심사위원장 _____ (인)

위 원 _____ (인)

위 원 _____ (인)

제주대학교 교육대학원

2007년 8월

제주도 용암동굴의 보존 및 관리 방안

-천연기념물 및 제주도기념물 지정 동굴을 대상으로-*

김 범 훈

제주대학교 교육대학원 지리교육 전공

지도교수 김 태 호

본 연구는 제주도 용암동굴의 실태를 진단하고 이를 토대로 용암동굴의 보존과 관리를 위한 개선방안을 제시하고자 하였다. 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 동굴 입구는 동굴 내부환경을 보존하는 길목으로 신중하게 관리해야 함에도 일부 동굴들에서는 관리가 방치되고 있어 동굴 훼손과 안전사고가 우려된다. 따라서 입구관리를 위한 과학적 접근노력이 필요하다.

둘째, 동굴 지상의 토지 및 식생 관리가 체계적으로 이루어지고 있지 않다. 경작지를 조성하는 과정에서 제거되었던 사구층은 복구되어야 하고 심근성 식물도 제거되어야 한다. 최선의 방안은 지상의 사유지를 정부가 매입하여 공유지로 관리하는 것이다.

셋째, 일주도로와 중산간도로가 통과하는 동굴 지상은 붕괴될 수 있으므로 대체 도로가 신설되어야 한다. 동굴을 통과하는 도로에는 위험을 예고하는 경고판과 동굴 구간임을 알려주는 안내판이 설치되어야 한다.

넷째, 동굴 지상의 문화재 보호구역에 대한 모니터링 체계가 구축되어 있지 않다. 빈약한 법적 보호 장치를 보완하는 방안으로 지역주민을 관리요원으로 참여시킨다면 정기적인 모니터링 체계가 자연스럽게 구축될 수 있다.

다섯째, 동굴 지상의 지표에서 동굴 내부 천장에 이르기까지 절리와 식물 뿌리의 침투 등 위험한 곳이 매우 많다. 따라서 동굴 안정성 진단이 시급하며, 위험 구역의 동태 파악을 위한 정기 모니터링이 필요하다.

여섯째, 동굴 내부 대기환경 분석의 정확도를 높이고 장기적인 자료 축적을 토대로 대기환경 변화를 분석할 필요가 있다.

* 본 논문은 2007년 8월 제주대학교 교육대학원 위원회에서 제출된 교육학 석사학위 논문임

일곱째, 공개동굴의 조명시설은 현재 진행되고 있는 조명등 개선작업을 통하여 녹색오염을 최소화해야 한다.

여덟째, 공개동굴의 훼손 및 오염 문제의 또 다른 걸림돌은 관람객 통제가 안 되고 있다는 점이다. 1일 적정 관람객 수를 설정하고, 일정시간에 안내원이 관람객들을 인솔하는 관람 방식이 될 때 비로소 동굴훼손과 오염을 최소화할 수 있다.

이에 덧붙여 제언한다면 지하의 환경변화에 효율적으로 대처하기 위한 CGIS (Cave Geographic Information System)의 도입과 용암동굴의 가치를 교육, 홍보하기 위한 제주도 국제동굴센터의 건립이 필요하다. 이를 통하여 2007년 6월 27일 한국 최초로 UNESCO 세계 자연유산으로 등재된 만장굴, 용천동굴, 김녕굴, 당처물동굴, 선홍벵뒤굴을 비롯한 제주도 용암동굴은 보다 체계적인 보존과 관리가 이루어질 수 있을 것으로 판단되기 때문이다.



목 차

I. 서 론	1
1. 연구 필요성 및 목적	1
2. 연구 방법과 연구 대상	2
3. 선행 연구 동향	4
II. 이론적 배경	7
1. 동굴의 정의 및 분류	7
2. 동굴의 가치	7
3. 용암동굴의 형성 및 붕괴	8
4. 용암동굴의 동굴생성물	9
5. 용암동굴의 법적 보존 관리	10
6. 동굴 탐사 및 측량	10
III. 제주도 용암동굴의 분포 및 특성	12
1. 용암동굴의 분포	12
2. 연구 대상 동굴의 현황과 특성	15
IV. 용암동굴의 실태 진단	27
1. 동굴의 입구 관리	27
2. 동굴 내 낙반 현상	37
3. 동굴생성물의 보존 상태	55
4. 동굴 지상의 토지 및 식생 환경	61
5. 동굴 지상을 통과하는 도로 환경	70
6. 동굴공개와 관련한 관리 및 훼손 상태	74

V. 용암동굴의 보존 및 관리를 위한 개선 방안	84
1. 용암동굴의 외부	84
1) 입구 관리	84
2) 동굴 지상의 토지 및 식생 관리	85
3) 동굴 지상을 통과하는 도로 관리	87
4) 문화재 보호구역의 정기 모니터링	88
2. 용암동굴의 내부	89
1) 천장의 낙반 위험도 정기 모니터링	89
2) 대기 환경 관리	90
3) 공개동굴의 조명시설 개선	92
4) 관람객 출입에 따른 훼손 및 오염도 저감	93
VI. 결론 및 제언	94
참고 문헌	97
Abstract	100

표 목 차

표 1. 천연기념물 및 제주도기념물로 지정된 용암동굴 현황	4
표 2. 동굴의 관광자원으로서의 가치	8
표 3. 제주도 용암동굴의 표고별 분포	14
표 4. 김녕굴 및 만장굴 지상의 보호구역 토지 현황	62
표 5. 소천굴·협재굴·쌍용굴·황금굴 지상의 보호구역 토지 현황	63
표 6. 빌레못동굴 지상의 보호구역 토지 현황	65
표 7. 당처물동굴 지상의 보호구역 토지 현황	66
표 8. 용천동굴 지상의 보호구역 토지현황	67
표 9. 수산굴 지상의 보호구역 토지현황	68
표 10. 선흘벵뒤굴 지상의 보호구역 토지현황	68
표 11. 북촌동굴 지상의 보호구역 토지현황	70

그림 목 차

그림 1. 제주도 용암동굴 분포도와 연구대상 동굴	13
그림 2. 제주도 지질의 개요	15
그림 3. 김녕굴·만장굴·용천동굴·당처물동굴의 평면도와 위치도	21
그림 4. 소천굴·협재굴·쌍용굴·황금굴의 평면도와 위치도	22
그림 5. 빌레못동굴의 평면도와 위치도	23
그림 6. 수산굴의 평면도와 위치도	24
그림 7. 선흘벵뒤굴의 평면도와 위치도	25
그림 8. 북촌동굴의 평면도와 위치도	26
그림 9. 김녕굴의 낙반 분포도	46
그림 10. 만장굴의 낙반 및 낙석 분포도	47
그림 11. 소천굴의 낙반 및 낙석 분포도	48

그림 12. 빌레못동굴의 낙반 및 낙석 분포도	49
그림 13. 당처물동굴의 낙반 분포도	50
그림 14. 용천동굴의 낙반 및 낙석 분포도	51
그림 15. 수산굴의 낙반 및 낙석 분포도	52
그림 16. 선흘벙뒤굴의 낙반 및 낙석 분포도	53
그림 17. 북촌동굴의 낙반 분포도	54

사 진 목 차

사진 1. 출입통제 철책시설이 설치된 김녕굴 입구	28
사진 2. 정남으로 출입을 통제하고 있는 김녕굴의 또 다른 입구	28
사진 3. 만장굴의 제1입구 내부	29
사진 4. 만장굴의 제3입구 내부	30
사진 5. 만장굴의 제2입구와 관람객 모습	30
사진 6. 소천굴 제1입구의 출입통제 철책시설	31
사진 7. 소천굴 제3입구로 확인된 곳의 출입통제 철책시설	32
사진 8. 황금굴 입구의 출입통제 철책시설	32
사진 9. 빌레못동굴 입구의 출입통제 시설	33
사진 10. 당처물동굴 입구의 출입통제 밀봉시설	34
사진 11. 용천동굴 입구의 출입통제 밀봉시설	35
사진 12. 수산굴 입구의 출입통제 철책시설	35
사진 13. 선흘벙뒤굴 입구에 설치된 출입통제 철책시설 2곳 중 1곳	36
사진 14. 선흘벙뒤굴 입구 가운데 철책시설이 안된 13곳 중 1곳	36
사진 15. 북촌동굴 입구의 출입통제 철책시설	37
사진 16. 김녕굴 입구의 천장에 확연하게 드러난 절리 부분	38
사진 17. 만장굴 비공개 구간의 낙반지대	39
사진 18. 만장굴 공개구간 끝 지점의 용암석주 천장에 발달한 불연속면	39

사진 19. 소천굴의 낙반지대	40
사진 20. 협재굴의 낙반과 관람객 안내 동선	41
사진 21. 빌레못동굴의 낙반지대	42
사진 22. 당처물동굴의 낙반지대	43
사진 23. 용천동굴의 낙반지대	43
사진 24. 수산굴의 대규모 낙반지대	44
사진 25. 선흘벙뒤굴의 낙반지대	45
사진 26. 북촌동굴의 낙반지대	45
사진 27. 김녕굴의 대형 입구 모습	55
사진 28. 만장굴 비공개 구간의 용암교와 낙반	56
사진 29. 소천굴 제2입구 내부의 양치식물 군락지	56
사진 30. 협재굴의 종유석과 석순 안내표지	57
사진 31. 미로형 구조를 잘 보여주고 있는 빌레못동굴 내부	58
사진 32. 당처물동굴에 발달한 탄산염 성분의 동굴생성물 (막장부근의 석주, 종유석, 석순 군락)	58
사진 33. 용천동굴에 발달한 탄산염 성분의 동굴생성물(종유관, 석순)	59
사진 34. 수산굴의 용암주석	60
사진 35. 천장의 붕락으로 인해 파괴된 것으로 판단되나, 대형 동굴의 동굴생성물로서 위용을 잃지 않고 있는 수산굴의 용암전반	60
사진 36. 선흘벙뒤굴 입구로부터 유입되어 동굴 내부바닥을 덮은 토사층	61
사진 37. 만장굴이 통과하는 지상의 경계를 알려주는 노란색의 표지석	62
사진 38. 소천굴 지상의 식생	63
사진 39. 협재굴과 쌍용굴 지상의 식생	64
사진 40. 황금굴 지상의 식생	64
사진 41. 빌레못동굴 지상의 식생	65
사진 42. 당처물동굴 지상의 식생	66
사진 43. 용천동굴 지상의 토지 이용	67
사진 44. 수산굴 지상의 식생	68
사진 45. 선흘벙뒤굴 지상 인근의 연못	69

사진 46. 북촌동굴 입구의 식생	69
사진 47. 김녕굴 지상을 통과하는 만장굴 진입도로	70
사진 48. 소천굴 지상을 통과하는 중산간도로	71
사진 49. 빌레못동굴 지상을 통과하는 농로	72
사진 50. 용천동굴 지상을 통과하는 제주공예단지 앞 일주도로	73
사진 51. 수산굴 지상을 통과하는 중산간도로	74
사진 52. 만장굴 안내센터의 텅 빈 모습	75
사진 53. 협재굴 · 쌍용굴의 안내센터를 그냥 지나치는 단체 관람객들	76
사진 54. 새롭게 교체된 만장굴의 조명등	79
사진 55. 만장굴 조명등을 교체하기 전 거북바위 일대의 조명모습	80
사진 56. 만장굴 조명등을 교체한 후 거북바위 일대의 조명모습	80
사진 57. 협재굴 · 쌍용굴의 조명등 모습	81
사진 58. 만장굴 공개구간 900m 지점에 설치된 관람객용 의자들	82
사진 59. 만장굴 공개구간 900~950m에 세워진 철제계단주의 안내판	82
사진 60. 협재굴 · 쌍용굴 입구에 세워진 4개 국어(한국어 · 일본어 · 중국어 · 영어)로 된 동굴안내도	83
사진 61. 협재굴 입구에서 안내원이 관람객들에게 설명하는 모습	83

I. 서론

1. 연구 필요성 및 목적

제주도 전역에 분포하는 천연동굴은 모두 171개로 제주시에 101개, 서귀포시에 70개가 소재하고 있다. 이 가운데 용암동굴은 제주도 90개, 서귀포시 46개 등 모두 136개이다.¹⁾ 앞으로도 지속적인 탐사활동과 주민 제보를 통하여 동굴 분포 수는 더욱 늘어날 것으로 예상되고 있다. 따라서 제주도는 천연 용암동굴의 보고로서 그 진가가 갈수록 높아지고 있다.

이를 입증하듯 수년 전부터 경관적 아름다움과 함께 지질학적 측면에서 세계 동굴 학자들로부터 제주도 용암동굴에 대한 호평이 이어져왔다.²⁾ 제주도 용암동굴은 생성, 분포, 규모, 구조 특성, 생태 환경 등 모든 분야에 걸쳐 국내외로부터 높은 평가를 받고 있는 것이다.

특히 주목되고 있는 사항은 제주도 용암동굴이 2006년 1월 문화재청과 제주특별자치도가 외교통상부를 통하여 프랑스 파리에 있는 <UNESCO> 본부에 세계자연유산으로 등재를 신청한 「제주 화산섬과 용암동굴」에서 한라산, 성산 일출봉과 함께 핵심 내용을 이루었다는 점이다. 여기에는 거문오름 용암동굴계인 만장굴, 용천동굴, 김녕굴(김녕사굴), 당처물동굴, 선흘벙뒤굴이 주축이 되어, 2007년 6월 27일 뉴질랜드에서 열린 <UNESCO> 세계유산위원회 총회에서 「제주 화산섬과 용암동굴」은 한국에서 최초로 세계자연유산으로 등재 되었다.

이에 앞서 2006년 10월 제주 실사를 담당했던 <IUCN(국제자연보전연맹)>은 “용암동굴은 보는 이로 하여금 놀라움을 금치 못할 정도로 경관적 아름다움을 지니고 있으며, 용암동굴이면서도 다양한 색깔로 조화된 탄산염 성분의 동굴생성물이 천장과 벽면을 화려하게 장식하고 있어 독특한 심미감을 보여준다”며 2007년 5월 제주현지 평가보고서를 공개하였다. 이와 함께 「제주 화산섬과 용암동굴」을 세계자연유산으로 「등재 권고」하도록 하는 최상의 평가의견을 <UNESCO>에 제출하였다.³⁾

1) 손인석(2005), 「제주도의 천연동굴」, 나우출판사, pp.39-51.

2) 문화재청(2005a), 「제주 용천동굴 기초학술조사보고서」, (사)제주도동굴연구소, pp.132~153.

3) 제주일보, "세계자연유산 가치 충분", : 2000년 5월 19일.

이처럼 제주도 용암동굴은 미래 후손들에게 영원히 물려주어야 할 값진 세계적인 자연 유산이다. 그러나 일반인에게 개방되고 있는 만장굴과 협재굴 · 쌍용굴 외에는 그 진면목이 자세히 알려져 있지 않다. 따라서 용암동굴이 갖는 가치와 보존에 대한 인식부터가 너무 빈약할 수밖에 없다.

무엇보다 제주도 용암동굴은 지하수 등 환경요인에 의해 계속 성장하는 석회동굴과는 달리, 동굴이 생성된 이후부터 일방적인 붕괴과정을 밟기 때문에 한번 파손되거나 훼손되기 시작하면 복원이 불가능하다. 실제로 제주도 용암동굴 내부는 천장 붕락과 낙반 등으로 원형 훼손이 심각할 정도이다. 게다가 각종 개발사업 등이 계속되면서 이러한 파괴가 급속하게 진행될 위험성도 커지고 있다. 이에 따라 용암동굴의 보존 방안 마련이 시급한 상황이다.

그러한 가운데 동굴 관광을 위한 동굴내부 공개로 인해 오염과 훼손 문제도 끊이지 않고 있다. 관람객들의 출입을 위해 조명등을 비롯한 시설물이 동굴내부에 설치되고, 관람객들도 아무런 통제 없이 드나들고 있기 때문이다. 게다가 관람객 수도 갈수록 줄어들면서⁴⁾ 동굴 관광에 대한 체험 마케팅 도입 등 새로운 가치창출이 요구되고 있다.⁵⁾

그러나 이러한 복합적인 문제들을 종합적으로 진단하고 개선방안을 제시한 선행적 연구는 매우 부족한 실정이다. 따라서 본 연구는 천연기념물과 제주도 지방기념물로 지정된 용암동굴에 대한 실태 진단을 토대로 지속가능한 보존 및 관리 방안을 종합적으로 제시하는데 그 목적을 두고 있다.

2. 연구 방법과 연구 대상

천연기념물로 지정된 용암동굴과 제주도기념물로 지정된 용암동굴을 대상으로 한 실태진단 현장 조사는 2006년 1월부터 2007년 4월까지 이루어졌으며 기존 자료 분석도 병행하였다.

4) 제주도(2007a), 「만장굴 연도별 관람객 현황」, : 만장굴 관람객은 1991년 1,327,000명으로 가장 많았다. 2006년에는 1991년의 3분의 1도 안 되는 414,000명에 그쳤다.

5) 최영희 외(2005), “동굴관광지에 대한 지역주민의 태도 및 영향요인”, 「호텔경영학연구」, 제 14권 제1호, 한국호텔경영학회, p.208.

이를 위해 필자의 동굴탐사기획 보도물⁶⁾과 필자가 연구원으로 참여하고 있는 (사)제주도동굴연구소의 연구 및 용역결과들을 기본 자료로 하고, 기존의 선행연구 결과들을 분석하였다.

특히 기본 자료는 (사)제주도동굴연구소의 제주도 천연동굴 분포도와 동굴 측량도(김녕굴·만장굴·소천굴·빌레못동굴·당치물동굴·용천동굴·수산굴·선흘벙뒤굴·북촌동굴의 평면도)를 이용하였으며 (주)한림공원에서 퍼낸 동굴 평면도(협재굴·쌍용굴·황금굴의 평면도)도 활용하였다.

그리고 동굴 위치의 지상 공간범위를 확인하기 위하여 현지답사와 함께 GPS(Global Positioning System), 1:25,000 지형도 등을 이용하여 동굴 평면도와 동굴의 위치를 지형도 위에 그리는 작업도 시도하였다<그림 3> <그림 4> <그림 5> <그림 6> <그림 7> <그림 8>.

또한 자료 분석 과정에서 미비점을 보완하기 위하여 연구 대상 동굴을 수차례 탐사하였다. 탐사에는 (사)제주도동굴연구소의 연구원 2, 3명이 동행하여 동굴의 지상과 내부의 실태들을 사진에 담아 자료화 하였다.

특히 본 연구가 천연기념물로 지정된 김녕굴, 만장굴, 소천굴, 협재굴, 쌍용굴, 황금굴, 빌레못동굴, 당치물동굴, 용천동굴, 수산굴 그리고 제주도기념물로 지정된 선흘벙뒤굴, 북촌동굴을 연구 대상으로 선정한 이유는 다음과 같다.

첫째, 천연기념물로 지정된 용암동굴은 한국에서 경관 및 학술적인 면에서 그 가치를 국가가 인정한 문화재이다. 또한 제주도기념물로 지정된 용암동굴도 그 가치가 제주도를 대표하는 동굴로서 손색이 없다는 의미를 지닌 문화재다. 따라서 이들 용암동굴의 가치를 재조명하고 보존을 위한 실태를 진단할 필요가 있기 때문이다.

둘째, 그동안 제주도 용암동굴의 보존과 관리를 아우를 수 있는 종합적인 매뉴얼이 없다. 그나마 제시되고 있는 보존 관리 방안도 매우 단편적일 뿐이기 때문이다.

셋째, 관광적 측면에서 공개되고 있는 용암동굴은 관람객 출입에 따른 오염 및 훼손 문제가 제기되고 있는데도 이에 대한 개선방안 등이 미흡하기 때문이다.

6) 제주일보, “제주의 新동굴탐사”, : 1996년 1월 1일 ~1999년 7월 13일

표 1. 천연기념물 및 제주도기념물로 지정된 용암동굴 현황

동굴명	위치	문화재(지정일)	길이	비고
김녕굴	제주시 구좌읍 동김녕리	천연기념물 제98호(1962. 12.)	705m	비공개
만장굴	제주시 구좌읍 동김녕리	천연기념물 제98호(1970. 3.)	7,416m	공개(1km)
소천굴	제주시 한림읍 협재리	천연기념물 제236호(1971. 9.)	3,099m	비공개
황금굴	제주시 한림읍 협재리	천연기념물 제236호(1971. 9.)	180m	비공개
협재굴	제주시 한림읍 협재리	천연기념물 제236호(1971. 9.)	99m	공개
쌍용굴	제주시 한림읍 협재리	천연기념물 제236호(1971. 9.)	393m	공개
빌레못동굴	제주시 애월읍 어음리	천연기념물 제342호(1984. 8.)	9,020m	비공개
당처물동굴	제주시 구좌읍 월정리	천연기념물 제384호(1996. 12.)	110m	비공개
용천동굴	제주시 구좌읍 월정리	천연기념물 제466호(2006. 2.)	2,478m	비공개
수산굴	서귀포시 성산읍 수산리	천연기념물 제466호(2006. 2.)	4,520m	비공개
선흘벙뒤굴	제주시 조천읍 선흘리	제주도기념물제52호(1999. 10.)	4,481m	비공개
북촌동굴	제주시 조천읍 북촌리	제주도기념물제53호(1999. 10.)	120m	비공개

자료 : <http://www.cha.go.kr/newinfo/index.action>

3. 선행 연구 동향

지금까지 제주도의 용암동굴에 대한 선행연구는 동굴탐사를 위주로 한 학술조사 보고서가 주를 이루었다. 이를 대별하면 첫째, 개인적인 조사활동으로서 고(故) 부종휴 선생에 의한 최초의 탐사기록을 들 수 있다. 둘째, 한국동굴학회와 한국동굴환경학회 그리고 대학동굴탐험연구회 등에 의한 조직적인 단체 활동이 있다. 셋째, 동굴 전문연구소인 (사)제주도동굴연구소와 (사)한국동굴연구소 등에 의한 최근의 학술조사 및 안전진단으로 나뉘볼 수 있다. 이를 요약하면 다음과 같다.⁷⁾

우선 개인적인 동굴 탐사기록은 1946년 8월 제주 구좌출신 부종휴 선생이 아동들과 만장굴을 최초로 발견 탐사한 것이 시초다 그 후에도 그는 여러 차례 탐사를 하였다고 하나 자세한 기록은 남아있지 않다. 1971년 다시 부종휴 선생에 의해서 빌레못동굴이 최초 탐사되고 알려지기 시작하였다.

7) 남궁준(2001), “한국의 근대동굴 조사와 연구”, 「동굴연구」, 제1호, (사)제주도동굴연구소, pp. 55-61.

단체 활동으로는 1966년 1월 중앙일보사와 문화재관리국의 후원하에 우리나라에서는 처음으로 「동굴종합학술조사」가 실시됨으로써 마침내 한국에도 「동굴학」이 태동하는 계기가 되었다. 이어 2월에는 충북 단양의 온달굴과 제주도 만장굴 등에 대한 학술조사가 계속되었다. 이 때 조사활동에는 대한산악연맹이 주축이 됐다. 4~5월에는 일본국립박물관 팀과 한일합동으로 강원도 황지의 용연굴 등과 함께 제주도의 한들굴과 성굴 등에 대한 탐사가 진행됐다. 8월에는 일본의 진일보한 동굴조사와 연구에 자극을 받아 동굴연구와 탐험을 주목적으로 한 <한국동굴협회>가 결성되어 1967년 1월 제주도 용암동굴 16개소를 시작으로 전국적인 동굴탐사가 12월까지 이어졌다. 1970년 11월에는 우리나라 최초의 종합동굴보고서인 『한국의 동굴(1) 제주도 용암동굴』이 발간됐다.

그러나 한국동굴탐험의 획기적인 발전은 1970년 6월 동국대학교 「동굴탐험연구회」가 조직되면서 시작되었다. 이들은 엄격하고 잘 훈련된 조직력을 바탕으로 다수의 대형 수직 동굴을 발견, 탐험, 조사, 측량 등 활기찬 활동을 계속하고 있는데 제주도 선흘뽕뽕굴 탐사는 제주도동굴환경연구회와의 공동작품이다. 1973년 6월에는 건국대 지리학과를 주축으로 <한국동굴학회>가 발족되어, 「한국동굴학회지」를 펴내는 등 꾸준히 활동을 하고 있다. 1994년 7월에는 의욕 있는 젊은 학자들과 대학동굴탐험대 출신들이 <한국동굴환경학회>를 결성하여 동굴에 대한 이론적이고 체계적인 정립을 계속하고 있다.

이와 같이 꾸준히 동굴탐사활동이 이루어져 왔음에도 불구하고 이 기간에 나온 제주도의 천연동굴에 대한 학술조사보고서는 지엽적인 문제제기와 상식선의 대안 제시 수준에 그쳤으며, 체계적인 측량도 이루어지지 않았다.

하지만 1999년 10월 (사)제주도동굴연구소가 창립되면서 용암동굴이 지닌 문제점과 그에 대한 대안제시가 구체적으로 이루어지기 시작하였다. 이 연구소는 2007년 2월 현재까지 모두 30여 편에 이르는 제주도 천연동굴 탐사학술조사보고서를 펴냈다. 또한 2005년에는 국내 처음으로 제주도 천연동굴의 교과서라 할 수 있는 『제주도의 천연동굴』이 발간됐다.

한편 제주도의 개방동굴에 대한 연구 자료로는 협재굴동굴지대 학술조사보고서(한림공원, 1991), 만장굴 실태조사 및 안전진단보고서(북제주군, 2003), 미천 천연동굴 안전진단보고서(한국안전기술협회, 2004년) 등이 있다.

최근 들어 전국적으로 관광동굴의 자원 활성화 방안에 관한 연구들이 잇따르고 있는 추세이다. 예를 들면 동굴자원의 체험활성화를 통하여 앞으로 잠재관광객의 관심을 제고할 수 있는 마케팅 방안이 제시되었다.⁸⁾ 또한 동굴 관광지의 지속가능 지표 설정과 적용방안을 통하여 환경, 사회문화, 경제, 지역사회 참여 부분의 지속가능한

8) 유영준(2002), “동굴자원의 체험관광 활성화방안”, 「관광연구논총」, 제14호, 한양대관광연구소, p.121.

관광목표의 설정과 실천을 위한 평가 시스템도 제시 되었다.⁹⁾

이와 같이 선행 연구동향을 분석해 본 결과, 지금까지 나온 탐사 및 용역보고서와 연구 논문들은 각각 나름대로 합당한 보존 및 관리방안들을 제시하고 있다. 그러나 종합적인 보존 관리 대책이나 활용방안에 대해서는 특정 동굴만을 대상으로 제시되고 있을 뿐이다.



9) 이희연 외(2003), “동굴 관광지의 지속 가능성 지표설정과 적용방안”, 『관광학연구』, 제27권 제4호, 한국관광학회, p.332.

II. 이론적 배경

1. 동굴의 정의 및 분류

원래 동굴이란 천연동굴을 말한다. 천연동굴은 지하의 암흑세계에서 영겁의 시간과 공간의 흐름에 따라 자연의 힘으로 만들어진 공간이다.¹⁰⁾ 또 지하 암체 내에서 천연으로 만들어진 공동으로서 적어도 사람이 들어갈 수 있는 정도의 규모로 하되, 사람의 출입이 어려우나 연장 가능성이 충분히 있는 것도 포함하는 것으로 정의되고 있다.¹¹⁾

동굴의 종류는 석회암이 지하수나 빗물의 용식과 용해작용을 받아 형성되는 석회동굴, 화산작용으로 용암이 열려 분출하여 형성되는 용암동굴, 과도 조류 연안류 등의 침식작용으로 암석해안의 해식에 기저부에 발달하는 해식동굴 등으로 구분된다. 기타 동굴로는 사암층에 생기는 사암동굴, 빙하 속에 발달하는 얼음동굴, 암염광물층에 발달하는 암염동굴 등이 있다. 동굴의 형태에 착안하면 수평동굴, 수직동굴, 다층동굴, 미로형동굴, 망상형동굴, 복합형동굴 등으로 구분이 가능하나 일반적으로는 수직동굴과 수평동굴로 대별하고 있다.¹²⁾

2. 동굴의 가치

대부분의 학자들은 천연동굴을 자연 관광자원 중 지형자원으로 구분하고 있으나, 이것은 동굴의 성격 중 가장 대표적인 지형적인 면만을 관찰한데서 비롯된 것이라고 할 수 있다.¹³⁾

동굴은 지형, 지질작용과 관계가 깊은 자원이지만 지하의 신비적 경관이 관광자원으로 활용되고 그 구조의 특성에 따라 학술적, 산업적 또는 군사적 연구의 이용에 크게

10) 석동일 외(1987), 「한국의 동굴」, 아카데미서적, p.6.

11) 문화재청(2000a), 「천연동굴 보존·관리 지침」, pp.1-2.

12) 손인석(2005), 전계서, pp.15-16.

13) 유영준(2002), 전계서, p.122.

기여하는 등 다기능적 복합성을 띠고 있기 때문에 동굴은 복합자원으로서의 가치를 지닌다고 할 수 있다.

표 2. 동굴의 관광자원으로서의 가치

구 분	관광자원으로서의 가치
예술성	지하 경관의 신비성, 색채성, 지질 형성의 경이성
종교성	초자연적인 신비성, 사원·굴사(窟寺)의 신앙성, 원시종교의 유적성
유용성	동굴 탐험, 산업적 이용, 군사적 이용, 핵폐기물 처리장으로 이용
학문성	지구과학, 동굴학, 지질학, 지형학, 생물학, 환경학, 관광학, 종교학, 지리학, 문화인류학

자료 : 유영준(1997), “동굴의 관광자원으로서의 가치”, 「동굴」, 제49호, p.41.

3. 용암동굴의 형성 및 붕괴

일반적으로 용암동굴은 강한 염기성 용암이 열하 분출하여 사면에 흘러내려갈 때 대기에 접한 부분은 열 방산에 의해 냉각됨으로써 용암류의 표면이 굳어져 흐름이 멎게 되고, 굳지 않은 내부의 용암류는 계속 흐름으로써 형성된다.¹⁴⁾

용암동굴의 형성 및 붕괴단계에 대해서는 초기단계, 형성단계, 다층굴 형성단계, 2차 용암유입단계, 붕괴단계 등 5단계로 구분하고 동굴에 따라서 초기단계 및 형성단계에서 직접 붕괴단계로 진입되는 경우도 있다고 하였다.¹⁵⁾

여기서 용암동굴 형성의 초기단계는 유동하는 용암류 내부에 압력이 감소함에 따라 용암에서 유리된 가스가 집합체를 이루어 작은 공동을 형성하는 과정이다. 이어 형성단계는 여러 개의 공동이 연결되어 유로에 따라 긴 용암터널이 형성되었음을 뜻한다. 다층굴 형성단계는 하나의 용암류 내에서 용암 단위층의 두께가 클 때 이뤄지는 것과 수차례의 용암류에 의해 형성되는 것으로 구분된다. 2차 용암유입단계는 2차 또는 3차 용암의 유입에 의해 동혈의 크기가 작아지거나 소멸되는 단계이다. 붕괴단계는 동굴 일생의 최종단계로서 동굴 내부에서는 용암선반이 파괴되고, 천장도 파괴되어 상·하층굴이 서로 연결되거나 그 잔존물로 용암교가 남기도 한다. 석회동굴에서는 지하수 또는 다른 환경요인의 변화에 의해 동굴 생성물이 새롭게 형성되는

14) 석동일 외(1987), 전계서, pp.10-11.

15) 제주도(1989), 「빌레못동굴 학술조사보고서」, 제주대학교 과학교육연구소, p. 122.

등 회춘하는 경우도 있으나, 용암동굴에서는 회춘이 일어나지 않고 붕괴로의 일방적인 과정만을 밟는다. 동굴이 함몰된 지표면 상에는 함몰구가 형성된다.

4. 용암동굴의 동굴생성물

용암동굴의 동굴생성물은 동굴 내부의 소규모 지형인 미지형(微地形)과 동굴 속에서 형성된 고형 물체를 일컫는 지물(地物)로 나눌 수 있다. 하지만 미지형과 지물을 구분하기가 애매하여 일반적으로 2차 생성물이라고도 부른다.

미지형으로는 용암선반(용암붕)¹⁶⁾, 용암주석¹⁷⁾, 수직조흔¹⁸⁾, 용암폭포¹⁹⁾, 승상용암²⁰⁾, 천장포켓²¹⁾ 등이 있다. 지물로는 용암석주(용암주)²²⁾, 용암교²³⁾, 용암구²⁴⁾, 용암종유²⁵⁾, 용암석순²⁶⁾, 용암수형²⁷⁾, 튜브 인 튜브²⁸⁾ 등이 있다.

-
- 16) 용암선반(lava shelter · 熔岩棚) : 용암류 공급이 줄게 될 때 벽면에 선반처럼 남아있는 용암층의 일부이다.
 - 17) 용암주석(熔岩柱石 · lava rock pillar) : 외관상 용암기둥처럼 보이나, 용암류가 흘러내려갈 때 그대로 남겨진 교각 주위로 동로가 뚫리면서 형성된 교각을 말한다. 용암석주와는 다르다.
 - 18) 수직조흔(垂直條痕) : 벽면의 위쪽에서 동굴바닥으로 곧바로 흘러내린 용암류 흔적의 줄기이다.
 - 19) 용암폭포(熔岩瀑布 · lava fall) : 용암류가 벽면을 따라 바닥으로 폭포처럼 흘러내린 모양이다.
 - 20) 승상용암(繩狀熔岩 · ropy lava) : 새끼줄 모양의 용암류로서 동굴 바닥에 용암류가 뻗은 방향을 알 수 있게 한다.
 - 21) 천장포켓(ceiling pockets) : 포켓모양으로 오목하게 천장 속에 파인 기포구멍이다.
 - 22) 용암석주(熔岩石柱 · lava pillar) : 석회동굴에서 자라는 천장의 종유(鍾乳)와 바닥의 석순(石筍)이 연결된 석주와는 성인이 다르다. 이 경우는 천장부의 2차 용암류가 아래층으로 흘러내려 쌓여 굳어진 용암기둥을 말한다.
 - 23) 용암교(熔岩橋 · lava bridge) : 바닥이 침하되어 상하층을 이룰 때 상층 바닥을 말한다.
 - 24) 용암구(熔岩球 · lava ball) : 천장 또는 벽면에서 떨어진 용암 덩어리나 선반이 유동하는 용암류에 흘러가다 그대로 냉각 고결된 상태로 남아있는 암괴이다.
 - 25) 용암종유(熔岩鍾乳 · lava stalactites) : 천장 또는 벽면에 용암체가 고드름처럼 맺혀 냉각 고결된 것이다.
 - 26) 용암석순(熔岩石筍 · lava stalagmite) : 용암종유가 밑으로 점적되어 바닥에 석순과 같이 우뚝 솟은 것이다.
 - 27) 용암수형(熔岩樹型 · lava tree mold) : 지표면에서 자라고 있던 나무가 용암류에 휘말려 용융되어 타버리게 될 때 이 나무가 자라고 있던 자리에 나타난 흔적을 말한다.
 - 28) 튜브 인 튜브(tube in tube) : 「동굴 속의 동굴」이라 부르기도 하는데, 동굴이 형성된 후 바닥에 다시 2차 용암이 흘러 그 표면이 냉각돼 생긴 소형 동굴이다.

5. 용암동굴의 법적 보존 관리

용암동굴은 경관적 또는 학술적 가치가 크다는 문화재위원회의 심의결과에 따라 국가지정문화재(천연기념물)와 시·도지정문화재(지방기념물)로 지정되며, 그 외의 동굴은 매장문화재에 포함된다.

용암동굴의 보존 관리는 문화재보호법의 적용을 받는다. 즉 천연기념물로 지정된 용암동굴은 동법 제2장 국가지정문화재에 의하여, 지방기념물로 지정된 용암동굴은 동법 제5장 시·도지정문화재에 의하여, 그리고 매장문화재 용암동굴은 동법 제3장 매장문화재 규정에 의하여 각종 보호, 허가, 금지사항 등을 적용받는다.

따라서 새로운 용암동굴의 탐사·발굴은 우선 매장문화재 규정에 따라 행해져야 하며, 그 동굴의 규모나 경관 또는 학술적 가치 등에 의해서 천연기념물 또는 지방기념물로 추천 보호된다. 이에 대한 세부적인 규정은 문화재청의 천연동굴보존·관리지침과 천연보호구역 보존·관리 기본지침 등에 따른다.

제주도 차원에서 용암동굴의 법적 보호규정은 제주특별자치도특별법, 제주특별자치도문화재보호조례, 제주특별자치도환경기본조례 등이 있다.

이들을 준거로 천연기념물 용암동굴과 제주도기념물 용암동굴은 문화재보호구역으로서 보호되고 있다. 이에 따라 각종 건설공사 시행 시에는 문화재 보존에 영향을 미치는지의 여부가 선행 검토되어야 한다. 그러한 영향의 범위는 천연기념물의 경우 보호구역 외곽경계로부터 500m 이내 지역이고, 지방기념물은 보호구역 외곽경계로부터 300m 이내 지역을 원칙으로 하고 있다.

6. 동굴 탐사 및 측량

동굴 탐사는 지형에 따라 도보전진, 포복전진, 자유 등하강, 장비를 사용한 등하강, 동굴 수영, 보트 이용, 동굴 잠수 등의 기술이 필요하다. 따라서 탐사 기술이 숙달되어 있지 않거나 장비가 부족할 경우는 많은 위험성을 내포하게 되므로 신중하고 냉정하게 행동해야 한다. 동굴 탐사 능력에 문제가 있으면 안전하고 세밀한 조사를 할 수 없다. 동굴 탐사 기술의 궁극적인 목적은 완전 탐사가 아니라 살아서 동굴 밖으로

나오는 것이다.²⁹⁾

이에 따라 사전에 탐사인원(탐험조, 측량조, 지원조 등) 안전교육, 탐사 필요장비와 구급약품 및 비상식 완비, 관계 기관 신고, 무리한 탐사 금물, 장비에 문제 발생시 제 위치 고수, 정숙 유지, 개인행동 금지, 부상자 발생시 동반 탈굴 등 안전조치는 필수적이다. 동굴측량은 동굴의 내부 구조와 지형지물을 측정하여 도면화하는 것으로 동굴탐험의 2차적 성과이며 동굴보존과 관리의 가장 중요한 기본 자료가 된다. 따라서 어떠한 경우라도 철저하게 직접 확인해야 하고 짐작으로 그리거나 표현하는 것은 금물이다.³⁰⁾ 동굴을 탐사하고 측량하기 위해서는 효율적인 인원구성이 필요하다. 먼저 탐험조가 동굴의 구석구석을 뒤지고, 이를 토대로 지원조가 적합한 측량지점을 설정하면 측량작업에 들어간다. 동굴측량에 필요한 장비로는 휴대용 컴퍼스, 줄자, 클리노미터³¹⁾, 측량 기록지, 기타 방수가 가능한 소형가방 등을 들 수 있다.

이 밖에 지하 동굴의 존재여부는 그 지표상에 각종 시설을 건설할 때 함몰 사고 등 여러 가지 문제를 야기할 수 있으므로 사전에 그 위치나 규모 등을 밝혀 대비책을 마련해야 한다. 이를 위해 중력·자력 등 복합적인 탐사기법을 수행하고 그 자료들을 상호보완적으로 사용해야 동굴 탐사에 대한 결과 해석의 신뢰도를 높일 수 있다.³²⁾

29) 환경부(2002), 「전국 자연동굴 조사지침서 작성에 관한 연구보고서」, 한국동굴학회, p.29.

30) 손인석 외(2000), 「동굴측량」, 신성출판사, pp.13-27.

31) 클리노미터(Clinometer) : 경사를 측정하는 기구로 단면도와 입체모형을 그릴 때 필요하다.

32) 권병두 외(2000), “지하동굴 탐지에 효율적인 지구물리탐사기법 연구-제주도 만장굴을 대상으로”, 「한국지구과학회지」, 제21권 제4호, 한국지구과학회, p.408-409.

Ⅲ. 제주도 용암동굴의 분포 및 특성

1. 용암동굴의 분포

지금까지 확인된 제주도 용암동굴 136개의 지역별 분포를 보면 산북지방인 제주시 지역에는 90개가 있다. 이를 세분하면 동지역(옛 제주시 지역)에는 이도1동 2개, 오라동 4개, 봉개동 2개, 노형동 5개, 외도동 1개가 분포하며 읍·면지역(옛 북제주군 지역)에는 한경면 6개, 한림읍 24개, 애월읍 5개, 조천읍 11개, 구좌읍 27개, 우도면 3개가 분포하고 있다.

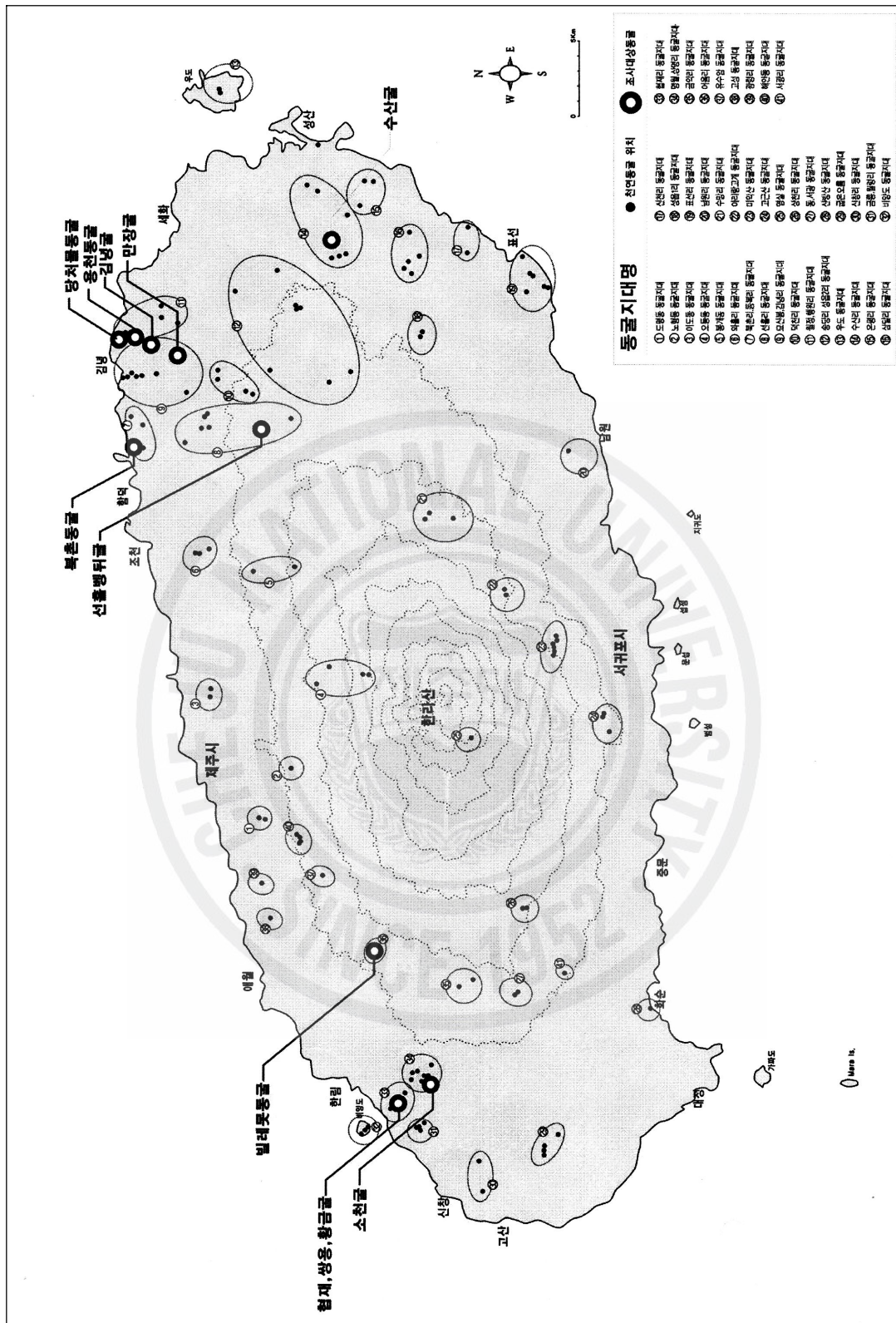
산남지방인 서귀포시 지역에는 46개가 있다. 이를 세분하면 동지역(옛 서귀포시 지역)에는 색달동 1개, 하원동 1개, 서호동 3개, 토평동 6개가 분포하며 읍·면지역(옛 남제주군 지역)에는 안덕면 5개, 남원읍 5개, 표선면 8개, 성산읍 17개가 분포하고 있다<그림 1>.

1) 표고별 분포 현황

동굴 입구를 기준으로 하여 제주도 용암동굴의 표고(해발고도)별 분포 현황을 해안지대(0~200m 미만), 중산간 지대(200~600m), 산악지대(600m 이상)로 구분한 결과는 다음과 같다.

우선, 제주시의 동지역에는 0~200m 미만 3개, 200~600m 9개, 600m 이상 2개가 분포하는 것으로 분류되었다. 제주시의 읍·면지역에는 0~200m 미만 60개, 200~600m 16개로 분류되었다. 또 서귀포시의 동지역에는 0~200m 미만 1개, 200~600m 9개, 600m 이상 1개였다. 서귀포시의 읍·면지역에는 0~200m 미만 28개, 200~600m 7개가 분포하는 것으로 분류되었다.

이상을 종합하면 제주도의 용암동굴의 표고별 분포는 0~200m 미만이 92개로 분포 비율은 전체의 67.6%로 나타났다. 그리고 중산간 지대 표고인 200~600m 지역에는 41개가 분포하여 그 비율은 30.1%였다. 이밖에 고지대인 600m 이상은 전체의 2.2%인 3개에 불과하였다.



<그림 1> 제주도의 용암동굴 분포도와 연구대상 동굴
 자료 : (사)제주도동굴연구소 (2005), 제주도 천연동굴 분포도

표 3. 제주도 용암동굴의 표고별 분포

구분		0~200m 미만	200~600m	600m 이상	계
제주시	동지역	3	9	2	14
	읍·면지역	60	16	0	76
서귀포시	동 지역	1	9	1	11
	읍·면지역	28	7	0	35
계		92	41	3	136

자료 : 문화재청(2003), 「제주도 천연동굴 일제조사보고서」, (사)제주도동굴연구소, pp.41-62.와 손인석(2005), 「제주도의 천연동굴」, pp. 41-51.에서 재구성

따라서 제주도 용암동굴 분포는 제주도의 전반적인 지세인 한라산을 정점으로 남북이 높고 동서가 낮은 원추형 방사상 하계에서 보듯이, 급경사를 이룬 남북 고지대로 갈수록 동굴 발달이 빈약하고 동서 장축방향의 저지대 드넓은 용암지대로 갈수록 동굴이 발달하였음을 알 수 있다.

2) 지질별 분포 현황

제주도에 분포하고 있는 화산암류들의 명칭은 연구자들에 따라 다르나 일반적으로 해안선을 기준하여 층서적으로 보면 기저현무암, 침상장석현무암, 비현정질현무암, 감람석휘석현무암, 장석현무암, 빈상장석현무암, 반상휘석현무암, 조면암류 등이 있다. 또 퇴적층류는 기저응회질퇴적층, 서귀포층, 성산층, 고산층, 신양리층, 분석구, 사구층류가 있다. 이들은 제주도의 화산층서를 형성하고 있음과 동시에 화산지질 특성을 잘 나타내고 있다.³³⁾

제주도 지질개요는 <그림 2>에서 보듯 Q1층에는 침상장석현무암, Q2층에는 제주도 연안에 퇴적된 응회층(우도, 성산일출봉, 당산봉, 수월봉, 용머리 등), Q3층에는 장석현무암, 비현정질현무암, 휘석현무암, 조면안산암 등이 분포한다.

따라서 제주도의 천연동굴을 형성한 암석을 보면, 주로 Q1층의 용암류에 의해 대형 용암동굴이 형성되었고, 그 외의 현무암류에서는 소형 용암동굴들이 형성되었음을 알 수 있다.³⁴⁾

33) 손인석(1997), “濟州火山島의 岩石層序 및 年代層序”, 박사학위논문, 제주대학교 대학원, pp.203~206.

34) 손인석(2005), 전계서, p.12.

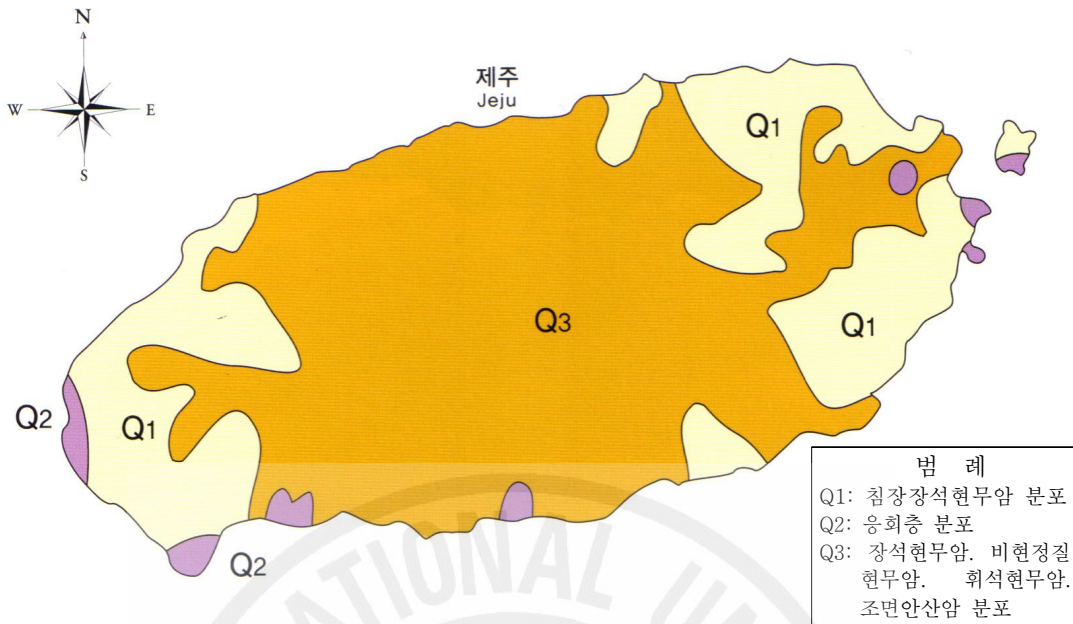


그림 2. 제주도 지질의 개요

자료 : 한국지질자원연구소(1995)

2. 연구 대상 동굴의 현황과 특성

1) 김녕굴

만장굴의 북쪽 막장에서 500여m 떨어진 곳에 위치한다. 한국 동굴로는 최초로 1962년 12월 천연기념물 제98호로 지정되었다.³⁵⁾ 입구 표고는 57m이다. 총 길이는 705m 이지만 김녕굴은 인근 만장굴과 원래 하나의 동굴계였는데 천장이 붕괴되면서 현재와 같이 두 개로 나뉘었다. 따라서 김녕굴은 만장굴과 함께 제주도 동북쪽에 있는 용암동굴지대의 대표적인 동굴이라 할 수 있다.³⁶⁾

김녕굴은 3개의 굴로 이뤄져 있고, 주굴은 길이가 50m이며 가지굴은 주굴 위와 아래로 뚫려있다. 동굴의 형태는 뱀이 기어가는 모양의 S자형을 취하고 있다. 천장 높이와 동로가 매우 크고 넓으며 용암동굴의 지물들도 발달하여 대형동굴로 손색이 없다. 하지만 파괴의 정도가 심하고 주변 낙반 및 붕락 우려 등 위험성이 있어 현재는 일반인들의 출입을 금지하고 있다.

35) 남궁준(2001), 전계서, p.56.

36) <http://cha.go.kr/newinfo/index.action>

김녕굴의 특징은 크게 세 가지로 요약할 수 있다. 우선, 동부관광지관리사무소(옛 만장굴관리사무소) 근처에 있는 짧은 2층 굴의 공동 윗부분에 용암선반이 다양한 형태로 발달하고 있다. 동굴 벽면에는 규산화(珪酸華)가 많이 부착되어 있고 남쪽의 막장 부분에는 희귀한 용암폭포를 볼 수 있다. 그리고 아래층의 천장에서는 폐사가 용해된 침전물이 나타나는 등 학술적으로 가치가 높다.

2) 만장굴

만장굴은 제주도 동북쪽에 있는 용암동굴군 지대를 대표하는 대형동굴이다. 1970년 3월 김녕굴에 편입되는 형태로 천연기념물 제98호로 지정되었다. 총 길이는 7,416m로서 제주도 용암동굴 가운데 2위, 세계 용암동굴 가운데 11위 규모이다.³⁷⁾ 일반인에게 개방된 동굴 입구(제2입구)의 표고는 84m 이다.

입구는 천장 함몰로 형성된 3개다. 1967년 4월부터 공개되고 있는 동굴구간은 관리사무소가 있는 제2입구를 관람객 출입구로 하고, 이를 기점으로 남서쪽 방향으로 뻗어나간 1km 구간이다.

만장굴은 20m가 훨씬 넘는 천장 높이와 10m 이상의 동굴 너비 등 그 규모가 세계적이다. 내부는 고드름처럼 생긴 용암중유, 바닥에서 돌출되어 올라온 용암석순, 용암석주, 용암선반, 승상용암, 용암폭포 등이 잘 발달되어 있다. 또 용암교가 15개, 용암구가 21개나 집중돼 있고 바닥에는 승상용암류가 흘러내린 흔적들이 그대로 남아있다. 동굴 생성물의 종합시장이라 할 수 있다.

이에 따라 만장굴은 용암동굴의 형성과정을 연구하는 데 학술적 가치가 매우 높은 동굴로 평가받고 있다. 현재 공개되고 있는 구간 끝에는 높이 7.8m나 되는 세계 제일 규모의 용암석주가 2층 굴에서 아래층 바닥으로 연결되어 있다. 용암석주 이후 안쪽 구간은 동굴생태보호구역으로 일반인들의 출입을 금지하고 있다.

3) 소천굴

소천굴은 협재굴, 쌍용굴, 황금굴과 함께 제주도 용암동굴지대에 포함돼 1971년 9월 30일 천연기념물 제236호로 지정된 동굴로서 길이가 3,099m이다. 제주도 용암동굴

37) Commission on Volcanic Caves of International Union of Speleology(2007), "List of the Longest Lava Tubes", Newsletter No. 48, p.23.

가운데 5위, 세계 용암동굴 가운데 39위 규모이다.³⁸⁾

제1입구는 제주시 한림읍 협재리 망오름 북동쪽인 지방도로와 율림리~협재리간 도로가 만나는 지점인 표고 140m에 위치한다. 이어 서쪽으로 내려간 곳에 제2입구가 있는데 제1입구와 같이 천장의 함몰로 이루어졌다.

동굴 막장은 공동 전체가 외부에서 유입된 모래로 완전히 막혀있다. 이 곳은 지상에서 사구층 함몰지점과 연결된 곳이어서 소천굴의 제3입구로 보고 있다. 앞으로 추가 정밀조사가 이루어진다면 함몰지점 이후로 동굴의 동로가 발달할 가능성이 크다.³⁹⁾

제2입구와 그 하단부 공동 주변은 양치식물 등 많은 이끼류들이 자라고 있어 동굴 입구로서는 보기 드물게 아름다운 장관을 연출하여 보는 이들의 탄성을 자아낼 정도이다.

동굴의 바닥은 아아용암으로 이루어져 있으며 천장은 용암중유 등 용암동굴에서 볼 수 있는 다양한 동굴 생성물들이 화려하게 발달되어 있다. 또 240m에 이르는 동굴 속의 동굴인 미니동굴은 소천굴의 자랑거리이다. 용암주석과 승상용암도 발달한다. 그리고 지상에 사구층이 형성된 곳의 동굴 내부에는 탄산염 성분의 백색 동굴 생성물이 넓게 분포한다.

4) 협재굴 · 쌍용굴 · 황금굴

협재굴 · 쌍용굴 · 황금굴은 길이는 비교적 짧지만, 다양한 동굴 생성물들이 계속 자라고 있어 그 가치가 매우 높아 천연기념물 제236호로 지정 보호되고 있다. (주)한림공원에서 관리하고 있다.

협재굴은 쌍용굴과 함께 개방동굴로서 길이는 99m, 입구 표고는 20m 이다. 하지만 동굴 위 지상에 사구층이 형성되어 있어 용해수가 천장으로부터 스며들면서 탄산염 성분의 동굴생성물인 중유관, 석순, 종유석 등이 발달되어 용암동굴에서 볼 수 없는 경관을 이루고 있다.

쌍용굴은 협재굴과 이어지는 동굴로서 두 마리의 용이 빠져 나온 모양을 닮았다하여 쌍용굴이라 붙여졌는데 길이는 393m, 입구 표고는 24m 이다. 내부는 세 갈래의 수평동굴이다. 협재굴과 동굴경관 형성 과정이 같아 탄산염 성분의 종유석은 물론이고 동굴벽면 등에는 패사로 인한 탄산염 성분이 피복된 곳이 많다. 「지(智)의 석주」⁴⁰⁾

38) 상계서, p.24.

39) 한국보훈복지의료공단(2004), 「소천굴 종합학술조사 안전진단보고서」, (사)제주도동굴연구소, p.47.

40) 지(智)의 석주 : 석주를 한바퀴 돌고 나면 머리가 좋아진다는 이야기에서 붙여진 명칭.

로 알려진 대규모 암주가 상징적이다.

황금굴은 길이 180m로 입구 표고는 32m 이다. 1969년 협재리 남쪽 1km 소나무밭에서 주민들에 의해 발견되었으나 미공개 동굴로 보호되고 있다. 협재굴과 쌍용굴보다 폐사 퇴적에 의한 탄산염 성분의 동굴 생성물이 잘 발달한다. 천장에 무수하게 달려있는 중유석 등 내부의 보존상태도 매우 양호하여 학술적 가치가 크다. 황금굴은 위치나 동로 방향 등을 보아 협재굴·쌍용굴과 연결된 것으로 보여 진다.

5) 빌레못동굴

제주시 애월읍 어음2리 증산간 지대에 위치하는 빌레못동굴은 입구 주위에 2개의 연못이 있어서, 편평한 암반을 뜻하는 ‘빌레’라는 제주도 말과 연못의 ‘못’이 합쳐져 「빌레못」이란 이름이 붙여진 동굴이다. 총 길이가 9,020m로서 제주도 용암동굴 가운데 1위, 세계 용암동굴 가운데 9위인 대형 동굴이다.⁴¹⁾ 입구 표고는 252m 이다.

그러나 내부는 주굴보다 가지굴의 길이가 세 배 이상 길 정도로 망상 미로굴이다. 이는 용암류가 덮기 이전의 원 지형면이 기복이 많은 요철형을 이루고 있었기 때문으로 판단된다. 내부에는 규산주와 용암구, 동굴 속 끝부분에서 발견되는 용암수형이 이목을 끈다. 가지굴에는 용암중유와 용암석순 등이 잘 발달한다.

또한 빌레못동굴은 대륙에서 서식하는 갈색곰의 화석이 발견⁴²⁾되는 등 학술적 가치가 매우 큰 동굴로도 평가받고 있다.

6) 당치물동굴

1995년 7월 10일 구좌읍 월정리 1457번지 소재 농경지 정리 작업 중 동굴 측벽이 중장비에 의해 무너지면서 입구가 형성되어 알려진 동굴이다. 입구 표고는 12m, 길이는 110m로 규모가 작다. 폭은 5.5~18.4m, 천장 높이 0.3~2.7m로서 천장과 동벽은 대체로 사다리꼴 또는 돔형태의 방패 모양을 하며, 동벽의 하단부는 수직 또는 급사면을 이루거나 천장과 바닥이 맞닿아 동벽이 없이 나타나기도 한다.

동굴 입구가 오랫동안 노출되지 않았기 때문에 중앙부 일부를 제외하고는 천장과 동벽의 붕괴 현상은 눈에 드러나지 않을 정도로 보존이 잘 되어 있다.

41) Commission on Volcanic Caves of International Union of Speleology(2007), 전게서, p.23.

42) 제주도(1989), 전게서, pp.157-167.

용암동굴입에도 용암종유, 용암석순 및 용암석주와 같은 용암동굴의 특징적인 동굴 생성물은 거의 발견되지 않는다. 그러나 해안으로부터 바람에 의해 운반된 탄산염 퇴적물이 동굴 지상을 덮고 있다. 이 영향으로 탄산염 성분이 동굴 내로 유입돼 좁은 동로입에도 석회동굴에서 발견되는 종유관, 종유석, 석순, 동굴산호 등이 다양하고 아름답게 발달돼 있다. 동굴 전문가들로부터 학술적 경관적 가치가 매우 높은 동굴로 평가를 받고 있다.

7) 용천동굴

제주시 구좌읍 김녕리, 월정리, 행원리 지경을 지나고 있는 용천동굴은 2005년 5월 11일 전신주 교체를 위한 시추과정에서 발견된 동굴로서 지금까지 길이는 2,478m로 조사되었다.⁴³⁾ 제주도 용암동굴 가운데 6위, 세계 용암동굴 가운데 46위에 해당한다.⁴⁴⁾ 입구 표고는 30m 이다. 그러나 동굴 내부에는 용암동굴에서는 희귀한 호수⁴⁵⁾가 있는데, 이 호수 너머로는 탐사가 이뤄지지 않았기 때문에 추가 탐사와 측량이 이뤄진다면 길이는 더 늘어날 것으로 예상되고 있다.

동굴은 폭 7~15m, 천장 높이 1.5~20m의 규모이며 일부 구간에서는 2층과 3층의 구조로 되어 있고 동굴생성물로 용암선반, 용암종유, 용암조흔과 함께 용암폭포 등이 잘 발달되어 전형적인 용암동굴의 형태를 보여준다.

특히 이 동굴은 지표면을 덮고 있는 사구층에 의해 탄산염 성분의 동굴생성물들이 다양하게 발달한다. 따라서 석회동굴의 특성도 함께 지닌 동굴로서 동굴 전문가들로부터 경관적 학술적 가치가 세계적이라는 평가를 받고 있다.

또한 8세기 전후 혹은 7~9세기에 해당되는 통일신라시대의 대표적인 인화문 토기편들과 회색 토기편들로 추정되는 병, 향아리, 반구병 등 고고학적 유물들도 발견되었다.⁴⁶⁾

43) 문화재청(2005a), 전게서, p.125.

44) Commission on Volcanic Caves of International Union of Speleology(2007), 전게서, p.24.

45) 문화재청(2005a), 전게서, pp.105-110. : 호수 규모는 길이 200m, 폭 7~15m, 깊이 6m~15m 이다. 「천년의 호수」로 명명되어짐.

46) 상게서, pp.157-158.

8) 수산굴

총 길이는 4,520m로서 제주도 용암동굴 가운데 3위, 세계 용암동굴 가운데 20위 규모이다.⁴⁷⁾ 입구 표고는 135m 이다. 그러나 입구는 천장의 함몰로 형성된 수직형이나 성인 한사람 정도 들어갈 정도로 협소하여 외부 환경이 미치는 범위도 좁아 보인다. 점토나 유기물 흔적이 거의 없고 동굴 생물들의 서식상태도 빈약하다.

내부에는 입구 근처에 작은 연못이 1곳 있고, 부분적으로 2층 또는 3층 구조를 보이는 곳도 있다. 가지굴과 용암종유, 용암교 등 각종 동굴 생성물이 잘 발달되어 있다. 특히 용암선반의 발달이 두드러진다.

9) 선홍벵뒤굴

제주시 조천읍 선홍2리 윗밤오름, 우전제비, 거문오름 사이 용암대지에 위치한 동굴로 제주도 용암동굴 가운데 가장 복잡한 구조를 지니고 있다. 주굴과 가지굴을 구분하기 어려울 정도로 상·하·좌·우로 나뭇가지처럼 뻗어 국내 최대 규모의 미로형 동굴로 평가된다.⁴⁸⁾ 천장이 함몰되어 형성된 것으로 보이는 입구 또한 현재까지 조사된 것만 15개에 이른다.

총 길이는 4,481m로 제주도 용암동굴 가운데 4위, 세계 용암동굴 가운데 21위 규모이다.⁴⁹⁾ 윗밤오름 남쪽에 있는 입구의 표고는 300m 이다. 동굴 내에는 용암석순, 용암교, 용암종유, 용암석주 등 다양한 동굴 생성물이 있다.

10) 북촌동굴

입구는 천장부가 함몰되어 형성된 것으로 농지 개간 도중에 발견되었다. 표고는 20m이다. 길이는 120m로 짧으나 용암선반, 용암종유, 용암석순 등 발달이 두드러지고 2차 용암류의 유입으로 승상용암, 아아용암 등이 발달하여 용암동굴의 특징을 잘 나타내고 있다. 동굴 환경의 유지상태도 양호하나 점토나 유기물의 유입은 거의 없어 동굴생물상은 빈약하다.

47) Commission on Volcanic Caves of International Union of Speleology(2007), 전게서, p.23.

48) <http://cha.go.kr/newinfo/index.action>

49) Commission on Volcanic caves of International Union of Speleology(2007), 전게서, p.23.

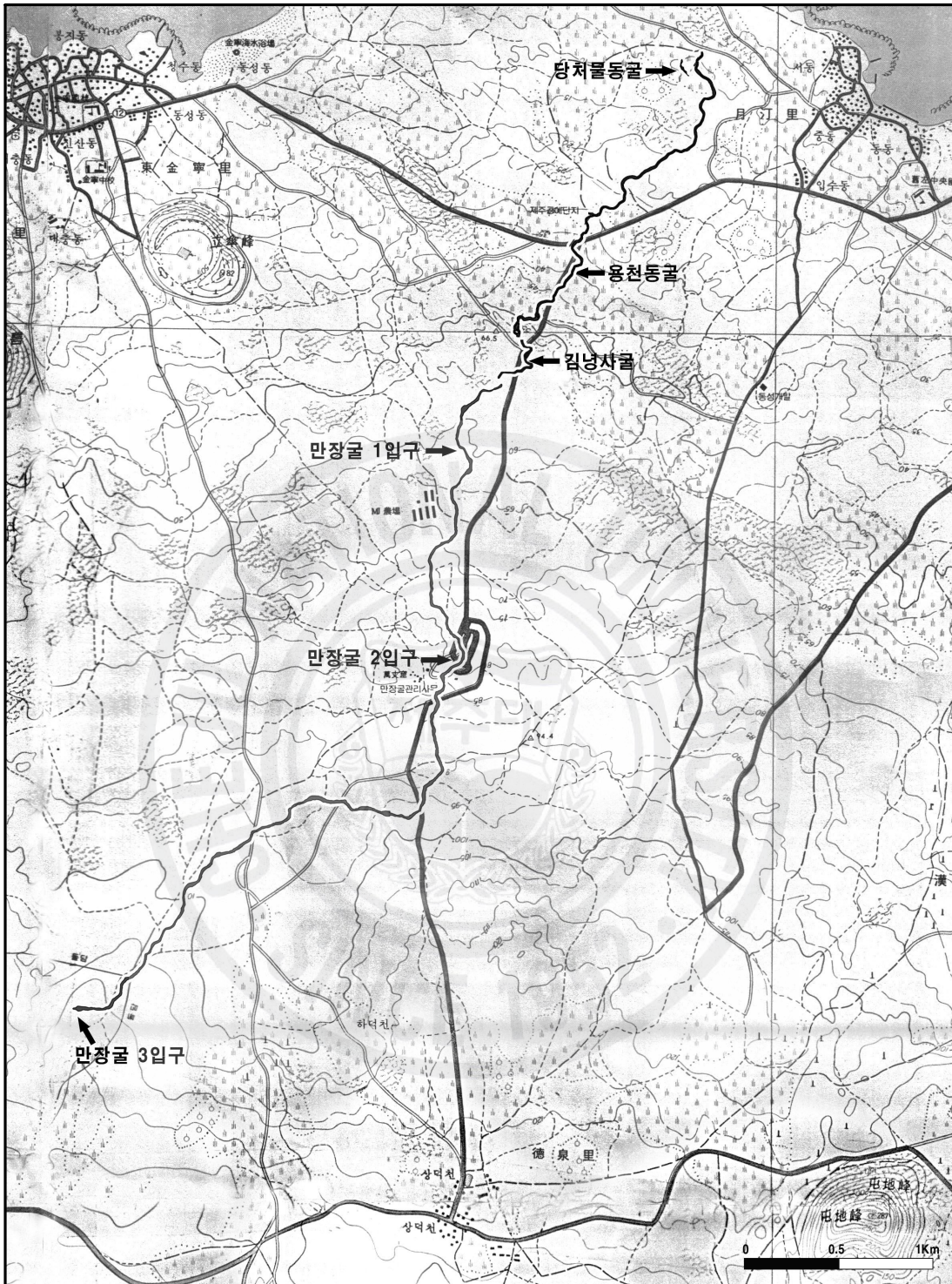


그림 3. 김녕굴 · 만장굴 · 용천동굴 · 당처물동굴의 평면도와 위치도
 자료 : (사)제주도동굴연구소의 측량도<김녕굴(2005) · 만장굴(2003) · 용천동굴(2005) · 당처물동굴(2000)>, 1:25,000 지형도를 바탕으로 작성

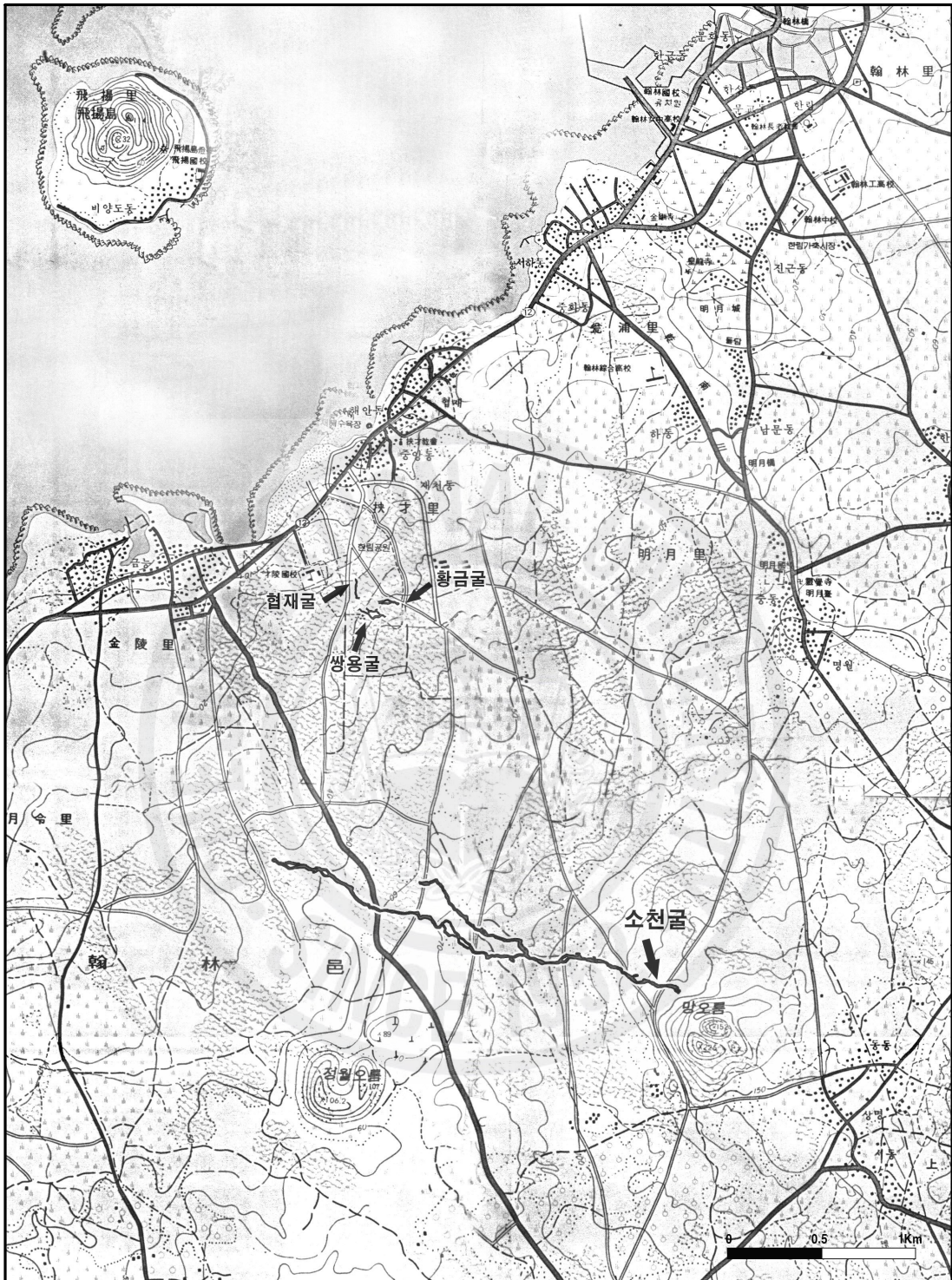


그림 4. 소천굴 · 협재굴 · 쌍용굴 · 황금굴의 평면도와 위치도

자료 : (사)제주도동굴연구소의 소천굴 측량도(2004), (주)한림공원의 측량도(협재굴 · 쌍용굴 · 황금굴, 1991), 1:25,000 지형도를 바탕으로 작성

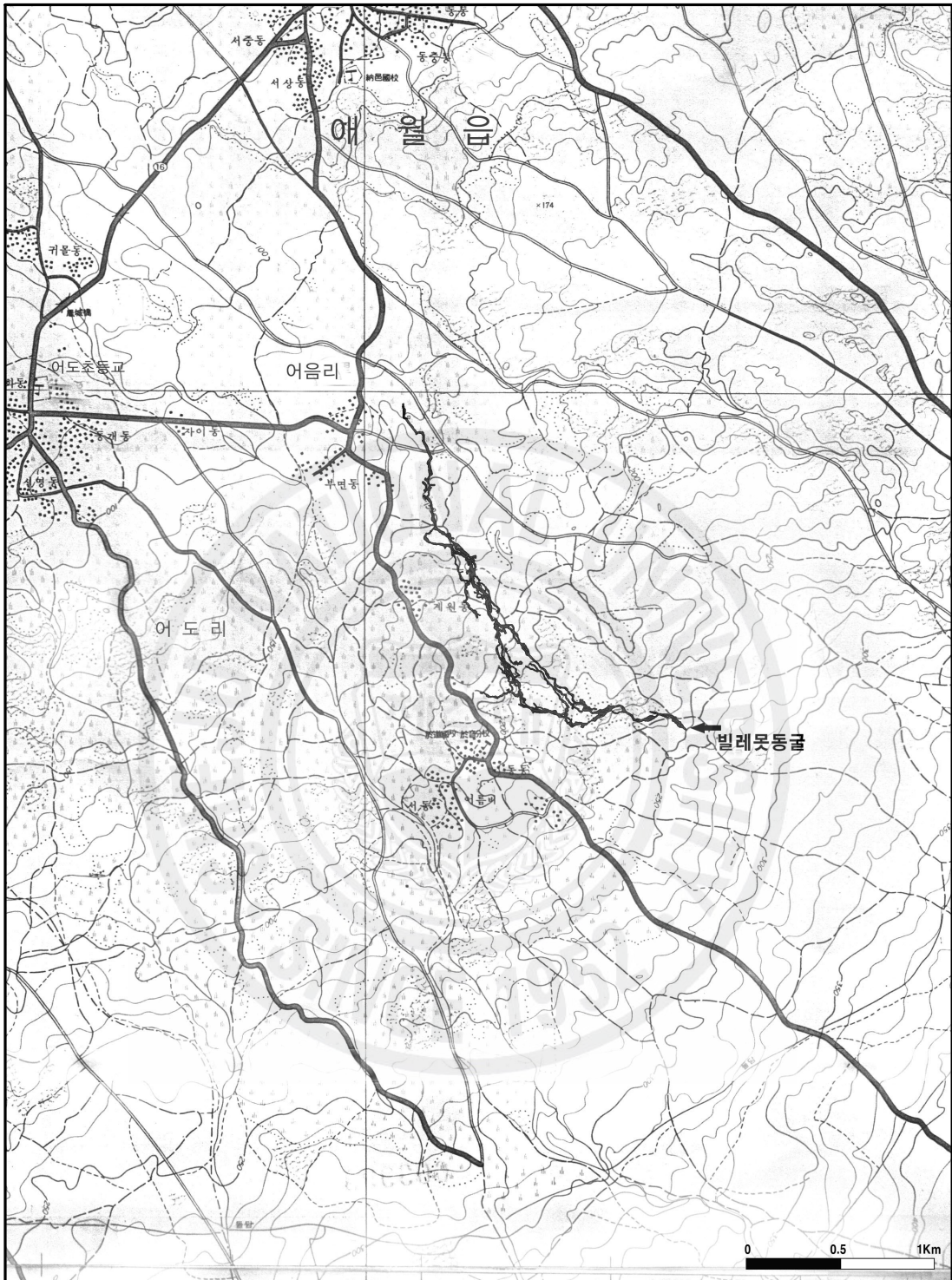


그림 5. 빌레못동굴의 평면도와 위치도

자료 : (사)제주도동굴연구소의 빌레못동굴 측량도(2005), 1:25,000 지형도를 바탕으로 작성

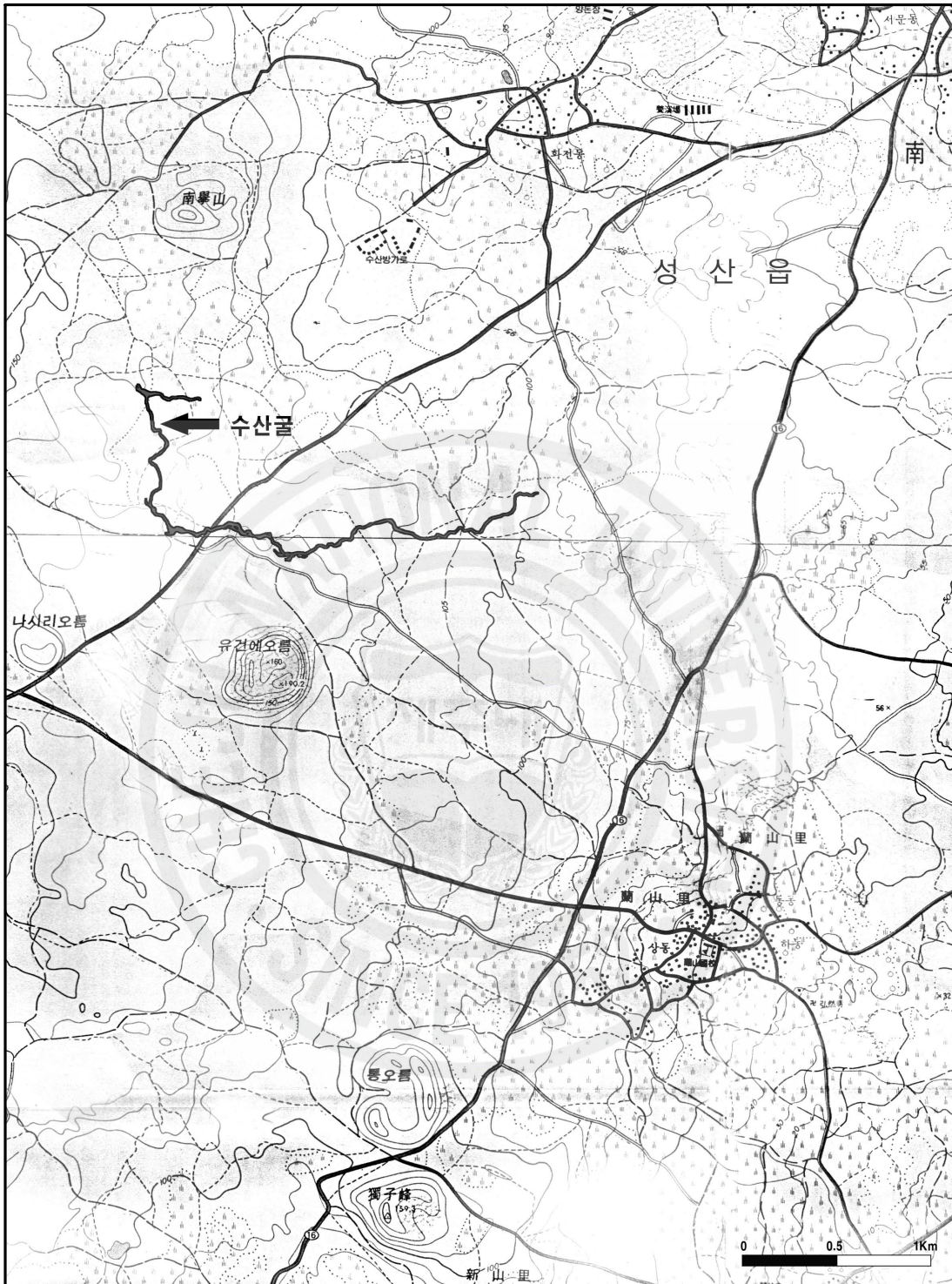


그림 6. 수산골의 평면도와 위치도

자료 : (사)제주도동굴연구소의 수산골 측량도(2004), 1:25,000 지형도를 바탕으로 작성

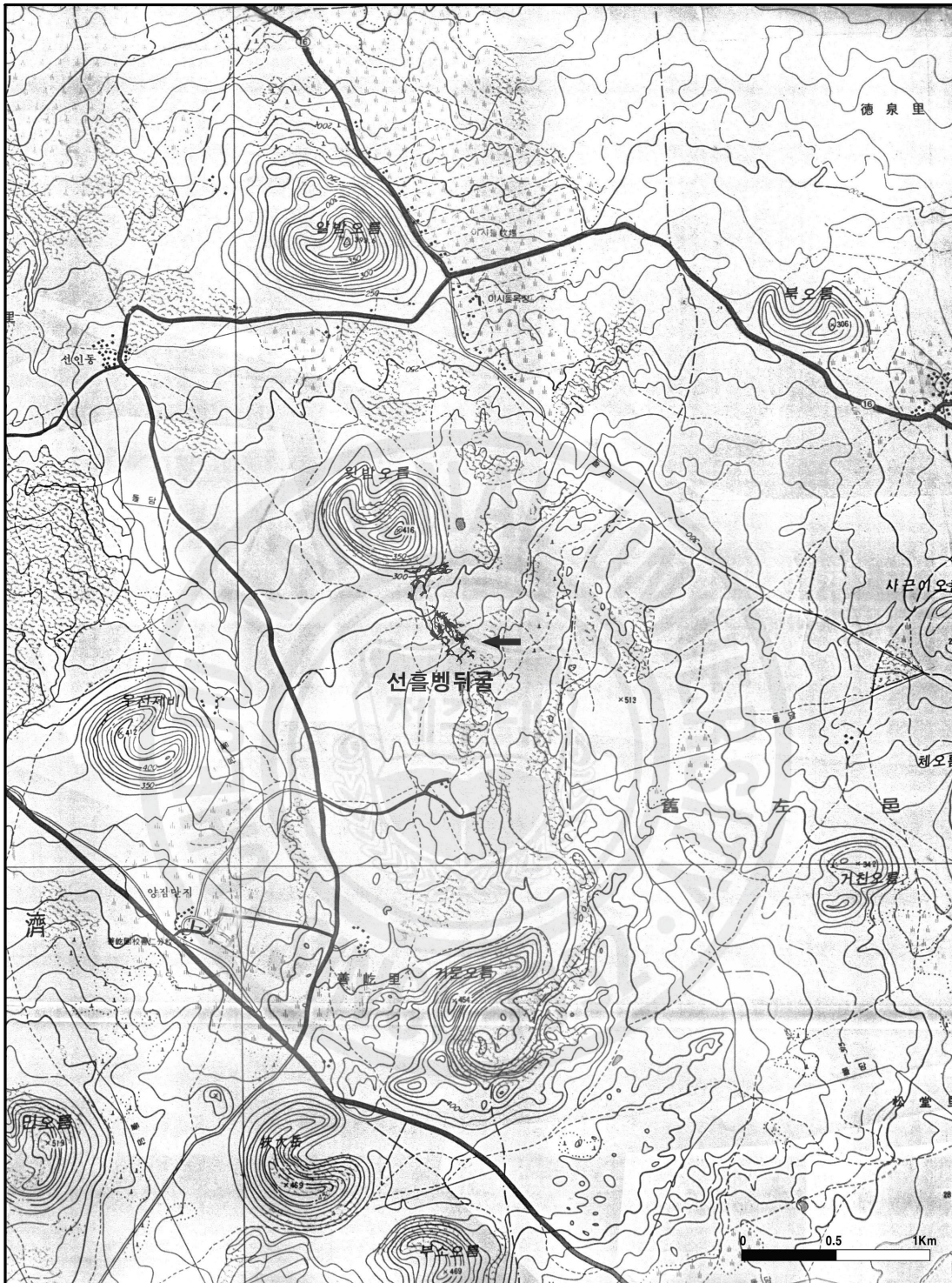


그림 7. 선흥벙뒤굴의 평면도와 위치도

자료 : (사)제주도동굴연구소의 선흥벙뒤굴 측량도(1998), 1:25,000 지형도를 바탕으로 작성

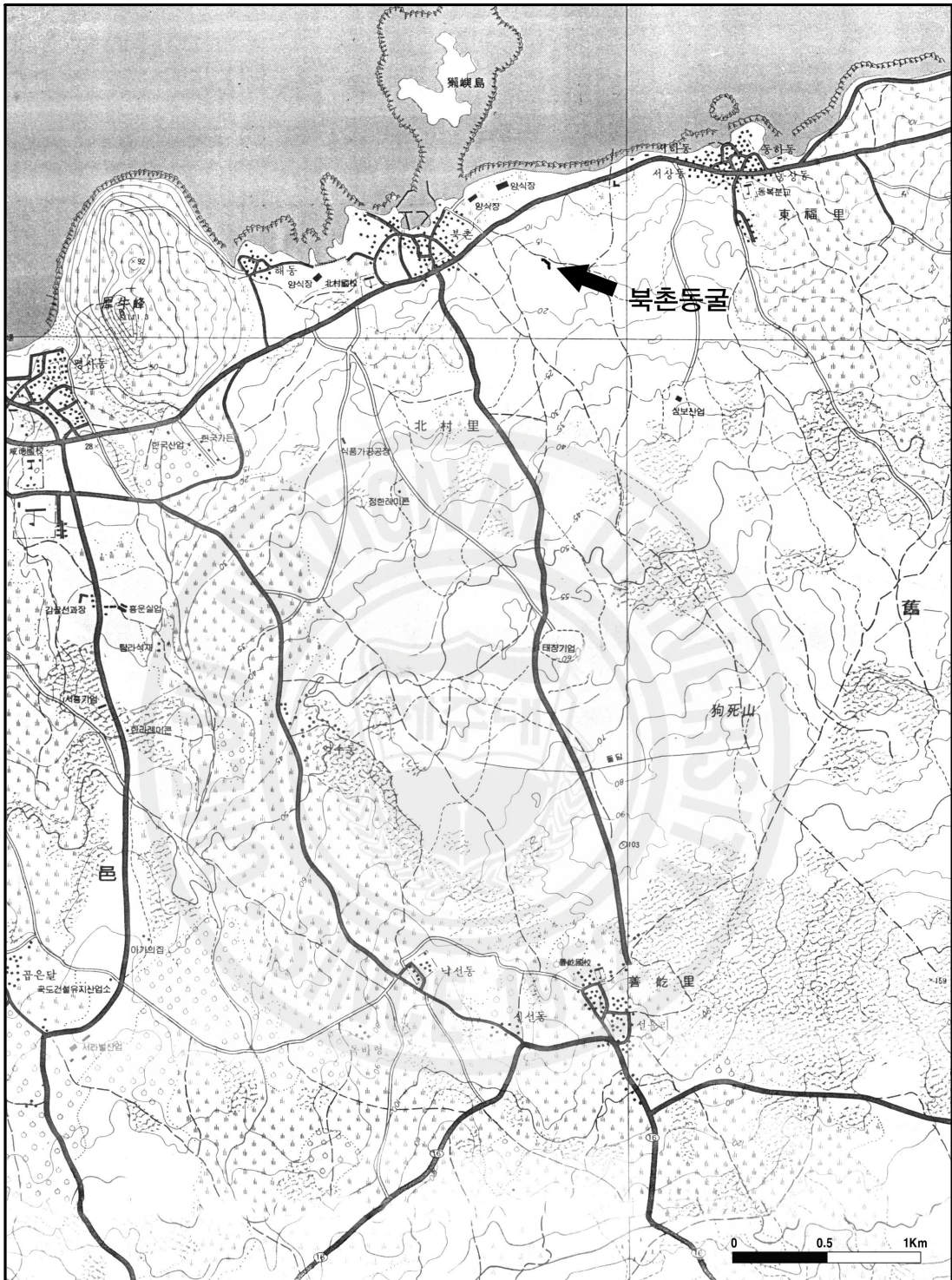


그림 8. 북촌동굴의 평면도와 위치도

자료 : (사)제주도동굴연구소의 북촌동굴 측량도(2003), 1:25,000 지형도를 바탕으로 작성

IV. 용암동굴의 실태 진단

제주도 용암동굴은 문화재보호법 등에 의해 엄정하게 보존 관리되고 있다. 그리고 문화재보호구역으로서 개발제한구역이기도하여 개발압력 또한 없다. 그러나 용암동굴은 화산활동으로 냉각 고결되어 형성된 동굴 상층부의 현무암층이 오랜 세월을 지나면서 붕괴의 과정을 밟아 동굴 곳곳에 많은 낙반지대를 이루게 된다. 이에 따라 동굴 형성 당시의 원형을 그대로 보존하는 것은 사실상 불가능하다.

그러나 문화재 지정 용암동굴들은 경관적 지질학적 가치가 뛰어나 인류공동의 자연유산이라는 평가를 받고 있다. 따라서 우리는 용암동굴에 더 이상의 훼손과 파괴와 오염을 차단하고 저감해야할 당위성과 의무를 지니고 있다.

용암동굴의 보존 및 관리 방안을 제시하기 위해서는 우선 용암동굴의 실상부터 파악할 필요가 있다.

1. 동굴의 입구 관리

1) 김녕굴

김녕굴은 만장굴 동굴시스템 북쪽 하류 방향에 있다. 입구는 제주시 구좌읍 월정리 일주도로에서 만장굴 진입도로를 따라 들어가다 맨 처음 나타나는 상가 맞은편에 2곳이 있다.

동굴 천장이 붕락될 수 있으므로 2001년 12월 1일부터 2011년 12월 31일까지 10년간 비공개 되고 있다. 이에 따라 도로에서 보이는 입구 1곳은 사람들의 출입을 막기 위해 철책시설이 들어서 있다 <사진 1>.



사진 1. 출입통제 철책시설이 설치된 김녕굴 입구

하지만 왼쪽으로 30여 m 돌아 들어가면 나타나는 또 다른 입구 1곳은 사실상 출입통제가 안 되고 있다. 입구 근처에 정낭이 설치되어 있으나 출입통제 기능을 지니고 있다고 볼 수 없다 <사진 2>.



사진 2. 정낭으로 출입을 통제하고 있는 김녕굴의 또 다른 입구

이 때문에 김녕굴 입구는 안전사고 위험에 그대로 노출되어 있다. 따라서 비공개 동굴이란 의미에 맞도록 일반인의 출입을 제대로 통제할 수 있는 안전, 보호 시설이 시급하다.

2) 만장굴

만장굴 입구는 3곳이다. 2곳은 비공개 구간으로 출입을 통제하고 있고 나머지 1곳은 관람객이 출입하는 공개구간의 입구로 이용되고 있다.

현재 동부관광지관리사무소와 매표소가 있는 곳을 제2입구(관람객 출입구)로 하고, 여기서 북쪽 해안가 쪽으로 직선거리 900m 떨어진 곳(비공개구간으로 동굴 길이로는 1220m)을 제1입구로 하였다. 이 곳은 원형 가스 분출구가 형성된 후 함몰된 타원형의 동구이나 낙석이 쌓여 있다<사진 3>.



사진 3. 만장굴의 제1입구 내부

또 제2입구에서 남서방향(한라산쪽)으로 직선거리 2500m 떨어진 곳(동굴 내부로는 제2입구에서 공개구간 1000m 지점을 지나, 다시 비공개구간 2410m 더 들어간 곳으로 동굴 길이는 3,410m)에 천장의 함몰로 생긴 수직 동구를 제3입구로 하였다 <사진 4>.



사진 4. 만장굴의 제3입구 내부

제1입구와 제3입구에는 일반인들이 출입할 수 없도록 철책시설이 갖추어져 있다. 제1입구에는 잡목과 숲이, 제3입구에는 수목이 짙 들어서있다.

공개구간 입구인 제2입구는 어린이나 노인 등이 출입하기에 계단이 많고 경사가 급하다는 지적을 받는 것 이외에는 관리상태가 양호한 편이다<사진 5>.



사진 5. 만장굴의 제2입구와 관람객 모습

3) 소천굴

현재 공식적인 입구는 2곳으로 되어 있다. 협재리 망오름 북쪽 도로 건너에 있는 입구를 제1입구, 이 곳에서 서쪽 해안가 쪽으로 300여m 내려간 쪽에 있는 입구를 제2입구로 하였다. 이들 입구는 천장의 함몰로 형성된 수직구이다. 입구마다 4~6m 높이의 낙반이 쌓여 있어서 출입하기에는 어렵지 않다. 그러나 2011년 12월 31일까지 비공개여서 일반인 출입을 통제하는 철책시설이 설치되어 있다 <사진 6>.



사진 6. 소천굴 제1입구의 출입통제 철책시설

제2입구와 그 하단부는 양치식물의 보고로서 녹색의 화원이라고도 부른다. 동굴의 끝인 막장은 사구층으로 막혀있으나 이 곳은 지표의 사구층이 함몰되면서 쌓인 것으로 확인되어 이 함몰된 곳을 제3입구로 하였다. 제3입구 주변에도 철책 시설로 일반인 출입을 통제하고 있다 <사진 7>.

입구 암반 위의 표토층 두께는 2~3m 정도 밖에 되지 않는다. 군데군데 천장 절리들이 관찰되고 있다. 이 갈라진 틈을 따라 지표면의 식물 뿌리(주로 소나무)가 동굴 천장을 통해 뚫어 내리고 있다.



사진 7. 소천굴 제3입구로 확인된 곳의 출입통제 철책시설

4) 협재굴 · 쌍용굴 · 황금굴

공개동굴인 협재굴과 쌍용굴, 그리고 비공개동굴인 황금굴은 한림공원 내에 위치하여 관리되고 있기 때문에 입구를 비롯한 동굴의 보존 상태가 매우 양호하다. 특히 한림공원 구역 내 남쪽 솔밭 사이에 있는 황금굴 입구는 일반인이 출입을 막는 보호책 시설과 주변으로부터 접근을 차단하는 조치 또한 잘 되어 있다 <사진 8>.



사진 8. 황금굴 입구의 출입통제 철책시설

5) 빌레못동굴

동굴 입구를 찾아 가려면 예전에는 애월읍 어음2리 마을 진입로를 따라가다 비포장 농로를 이용하였으나, 지금은 시멘트 포장에 되어 있어 불편이 없다. 그러나 대형 동굴치고는 입구가 단 1곳뿐이다. 그것도 성인 1명이 겨우 들어갈 수 있을 정도로 매우 협소하다. 출입을 통제하기 위한 철문도 단단하게 설치되어 있다<사진 9>.

그러나 입구 안쪽 바로 밑에서부터 상당 구간에 걸쳐 바닥에는 점토가 두껍게 깔려 있다. 이는 많은 비가 내렸을 때 지상의 표토들이 지대가 낮은 동굴 입구를 통해서 동굴 안쪽으로 흘러 들어오기 때문이다. 이로 인해 동굴 입구가 많이 파괴될 수 있고, 동굴 안쪽으로도 바닥의 원형부터 훼손될 수 있다고 판단된다.



사진 9. 빌레못동굴 입구의 출입통제 시설

6) 당치물동굴

동굴 입구는 만장굴을 안내하는 대형 입간판이 세워져 있는 일주도로 3거리에서 제주공예단지 옆으로 나있는 도로를 따라 해안가 쪽으로 가야 한다. 이어 콘크리트 포장 농로를 따라가다 높이 1m 이상으로 정돈된 돌담과 철제대문이 나타나는데 동굴 입구는 이 보호구역 한가운데 있다.

10여 년 전 동굴이 발견되기 전까지 입구가 드러나지 않음으로써 동굴은 외부와

철저히 차단된 상태에 있었다. 그러나 주민이 밭을 개간하기 위하여 포크레인 작업을 하던 중 입구가 드러난 이후 상당기간 외부에 노출되었다. 이로 인해 일부 종유석, 석순, 석주 등이 도굴되면서 훼손된 것으로 보인다.⁵⁰⁾ 현재 입구는 외부와의 차단을 위해 철판과 콘크리트로 밀봉되어 있는 상태이다 <사진 10>.



사진 10. 당처물동굴 입구의 출입통제 밀봉시설

7) 용천동굴

용천동굴의 입구는 만장굴을 안내하는 대형 입간판이 세워져 있는 일주도로 3거리에서 북쪽 만장굴 진입로를 따라 50m 들어간 왼쪽 길가에 위치해 있다.

입구는 전신주 교체과정에서 천장이 인위적으로 함몰되면서 외부로 노출된 수직구이다. 그 이전까지 동굴은 완전히 밀폐된 상태였다.

하지만 발견 즉시 일반인 출입을 통제하였고, 지금은 입구를 철판과 콘크리트로 완전 밀봉함으로써 외부와 철저히 차단되어 있는 상태이다 <사진 11>.

50) 복제주군(2000), 「당처물동굴 종합학술조사보고서」, (사)제주환경연구센터, p.105.



사진 11. 용천동굴 입구의 출입통제 밀봉시설

8) 수산굴

입구는 성산읍 수산리 남거봉 정상에서 남쪽으로 약 1km 떨어진 곳으로 성읍리~수산리 간 지방도로 북쪽의 광활한 용암대지 상에 위치해 있다. 입구는 천장 함몰로 인해 형성된 소형의 수직 동구 1곳뿐이다. 이 곳에도 일반인 출입을 통제하는 철책시설이 설치돼 있으나 입구가 밀봉되어 있지는 않다 <사진 12>.



사진 12. 수산굴 입구의 출입통제 철책시설

9) 선흘벙뒤굴

이 굴은 조천읍 선흘리 윗밤오름 남측 하단 용암대지에 위치해 있다. 중산간 오지에서 일반인들이 접근하기가 어렵다. 동굴은 비록 수평굴의 단순 형태를 띠는 것 같지만, 현재까지 확인된 입구가 15곳일 정도로 동로가 복잡한 망상형이다.



사진 13. 선흘벙뒤굴 입구에 설치된 출입통제 철책시설 2곳 중 1곳



사진 14. 선흘벙뒤굴 입구 가운데 출입통제 철책시설이 안 된 13곳 중 1곳

그럼에도 일반인 출입을 막는 철책 시설은 단 2곳뿐이다 <사진 13>. 주변 오름과 임야지대에서 접근하는 입구 13곳은 그대로 개방된 상태이다 <사진 14>. 또한 대부분 입구 내부 바닥에는 강우시 유입된 것으로 보이는 토양이 두껍게 쌓여진 상태이다. 앞으로도 빗물에 의한 토사유입으로 동굴 입구와 바닥이 계속 훼손될 것으로 판단된다.

10) 북촌동굴

마을 진입로와 인접한 경작지 가에 위치한 입구는 천장이 함몰되어 형성된 것으로 당초에는 수직 동구였다. 그러나 낙반에 의해 경사도가 낮아져 입굴 하는 데 큰 어려움이 없다. 일반인 출입을 막는 철책시설이 잘 되어 있다 <사진 15>.



사진 15. 북촌동굴 입구의 출입통제 철책시설

2. 동굴 내 낙반 현상

1) 김녕굴

동굴 입구가 넓고 클 뿐만 아니라, 천장이 매우 높고, 동로 역시 광장을 방불케 할 정도로여서 대형동굴로서 손색이 없다. 현재 낙반지대는 1곳이다<그림 9>. 그러나 입구 함몰구부터 동굴 천장에 낙반우려가 매우 크다. 절리 틈이 너무 벌어져 있어

절리를 따라 암반이 떨어질 듯 하며, 과거 낙반에 대한 보수공사가 일부 진행되었다고는 하나 들어가기가 선뜻 내키지 않을 정도이다 <사진 16>.



사진 16. 김녕굴 입구의 천장에 확연하게 드러난 절리 부분

2) 만장굴

탐사결과 낙반지대는 현재 출입구(제2입구)에서 김녕굴 방향으로 뻗은 제2입구~제1입구~만장굴의 막장까지 구간이 6곳, 공개구간 용암석주~제3입구~최상류 막장 구간에 11곳이 있다. 그리고 공개구간(제2입구~용암석주)에 6곳을 포함하면 전체적으로 낙반지대가 23곳에 이르고 있다 <그림 10> <사진 17>.

지질 공학적 안정성 검토에 의하면 제2입구~제1입구 사이에 형성된 2층굴 천장 암반의 안정 상태는 지하수 유입과 심한 파쇄작용으로 인하여 ‘매우 불량’한 상태이다.⁵¹⁾ 이에 따라 향후에도 지속적인 낙반이 예상된다.

또한 제2입구~제1입구의 주굴인 1층굴에도 국부적으로 낙반현상이 발생하였다.

51) 북제주군(2003b), 「만장굴 실태(학술)조사 및 안전진단보고서」, 안전진단분야, (사)제주도동굴연구소, pp.26-31.: “암반평가방법으로 지질공학적 암반평가(RMR) 시스템이 있다. 이 시스템은 초기에는 터널과 광산용으로 개발되었지만 비탈면의 안정, 댐의 기초, 석탄광 등에 이르기까지 적용 범위가 넓어졌다. 이 시스템은 조사암반에 대한 암반의 안정 등급뿐만 아니라 터널의 유지시간, 터널의 최대 폭, 암반의 점착력과 내부 마찰각 등 암반의 물리적 성질의 값도 유도할 수 있다. 이 시스템에 의해 암반상태는 매우 양호, 양호, 보통, 불량, 매우 불량으로 평가할 수 있다.”

그러나 주굴의 천장과 측벽 모두 암질상태가 양호한 편이어서 2층굴을 충분히 지지할 수 있을 것으로 판단된다. 제3입구에 있는 2층굴도 지하수 유입과 심한 파쇄로 인해 암질상태는 불량으로 판정되었으나, 1층굴은 암질상태가 양호하여 이를 충분히 지지할 수 있을 것으로 보인다.⁵²⁾



사진 17. 만장굴 비공개 구간의 낙반지대



사진 18. 만장굴 공개구간 끝 지점의 용암석주 천장에 발달한 불연속면

52) 상계서, pp.71-80.

공개구간의 낙반지대 6곳은 천장에 발달한 불연속면들에 의해 오래 전에 발생한 것이다. 그러나 지금은 천장 보강공사가 실시되어 절리면 등 불연속면이 관찰되지 않고 있다. 따라서 차후에 천장의 붕락으로 인한 낙반현상이 발생하지 않을 것으로 판단된다.⁵³⁾ 그러나 공개구간 끝 부분인 용암석주 일대 천장 부위는 불연속면들이 발달되어 있어서 낙반 및 낙석 현상이 발생할 것으로 예상 된다 <사진 18>.

3) 소천굴

입구에서 30여m 지점부터 막장에 이르는 동안 주굴과 가지굴을 포함하여 크고 작은 낙반지대가 연이어 나타난다 <그림 11> <사진 19>. 동굴 바닥은 상당구간에 걸쳐 낙반과 낙석으로 덮여 있다. 특히 지상에 도로가 통과하는 동굴 내부 동로에는 낙반 현상이 다른 곳보다 심한 편이다. 천장에 균열이나 절리도 여러 곳에서 확인되었다.

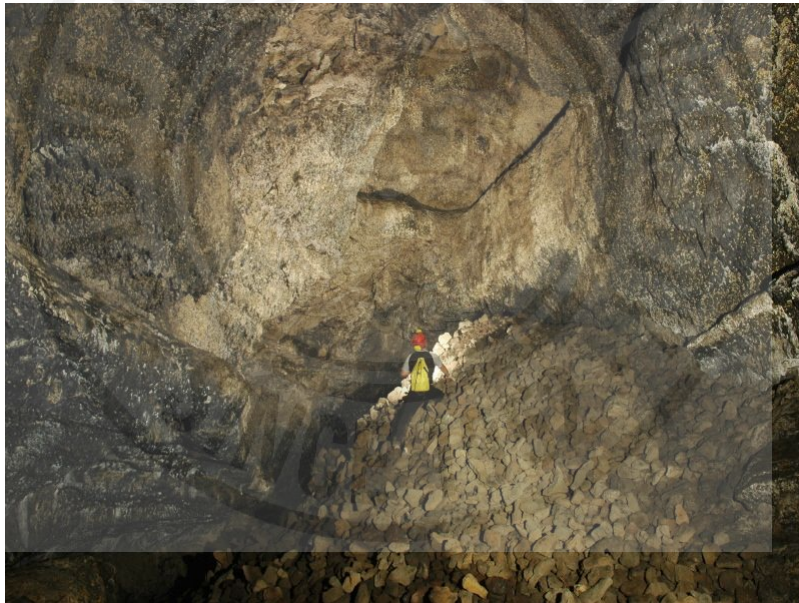


사진 19. 소천굴의 낙반지대

이들 지역은 대부분 천장의 두께가 얇고, 천장의 절리를 통해 지표의 식물 뿌리가 내부로 침입하고 있어 심각한 상태이다. 이는 식물의 뿌리가 자라면서 암석의 지질안정 상태를 붕괴시킬 수도 있을 것으로 판단되기 때문이다. 결국 이와 같은 요인으로 천장이 무너질 위험이 있다고 여겨진다.

53) 상계서, pp.62-63.

4) 협재굴 · 쌍용굴 · 황금굴

협재굴과 쌍용굴은 이격거리가 60m에 불과하여 예전에 하나였던 동굴이 위쪽의 지각이 얽어지면서 천장이 합몰되어 지금처럼 둘로 나누어 것으로 보인다.

협재굴과 쌍용굴에는 소규모 낙반지대가 존재하나 예전에 발생한 것으로 지금은 낙반 가능성이 없는 것으로 판단된다<사진 20>. 이는 일부 천장에 절리면이 관찰되고 있음에 따라 (주)한림공원에서 협재굴 30개, 쌍용굴 50개 등 모두 80개의 안전핀을 설치하여 매일 그 움직임을 세밀하게 측정한 결과, 별다른 움직임이 없는 것으로 나타나고 있기 때문이다. 그리고 (주)한림공원은 자체적으로 월 1회 대한산업안전협회에 공원 운영 전반에 대한 안전진단과 함께 동굴 안전진단도 실시하고 있는데, 양호한 것으로 나타나고 있다.



사진 20. 협재굴의 낙반과 관람객 안내 동선

황금굴은 길이 180m 구간 여러 곳에 낙석과 낙반 현상을 볼 수 있으나 이는 오래전에 발생한 것으로 보인다. 지금까지 협재굴 · 쌍용굴 · 황금굴의 보존 관리는 전반적으로 양호한 것으로 판단된다.

5) 빌레못동굴

이 동굴은 천장의 균열과 풍혈이 비교적 많은 것으로 조사되었다. 천장의 절리면을 따라 지하수가 유입하는 실태도 확인되었다. 따라서 다른 동굴에 비해서 천장의 붕락에 따른 낙반이 60곳 가까이 나타날 정도로 낙반현상이 매우 심한 편이다 <그림 12> <사진 21>. 이러한 현상은 동굴 입구에서부터 말단부에 이르기까지 이어지고 있는데, 동굴 천장이 두꺼운 지표층을 형성하지 못했기 때문으로 생각된다.

동굴은 주굴과 가지굴을 구분할 수 없을 정도로 양자가 서로 직교하거나 사교하다가도 2층 또는 3층굴과도 겹치고, 중간 중간에 함몰부도 있는 미로형 동굴이기도 하여 곳곳에 위험이 산재하고 있는 동굴이다.



사진 21. 빌레못동굴의 낙반지대

6) 당치물동굴

다른 동굴에 비해 천장 붕락이나 낙반현상이 비교적 적어, 단 3곳만 낙반이 있을 뿐이다 <그림 13>. 길이 110m 가운데 입구로부터 10m, 20m, 40m 들어간 지점에 천장 붕락에 따른 낙반으로 원지형이 훼손되어 있다<사진 22>. 이들 낙반은 그동안 동굴 환경을 위해하는 요인들이 극히 적었다는 점에서 볼 때, 동굴 형성 후 초기 단계에서 발생한 것으로 판단된다.

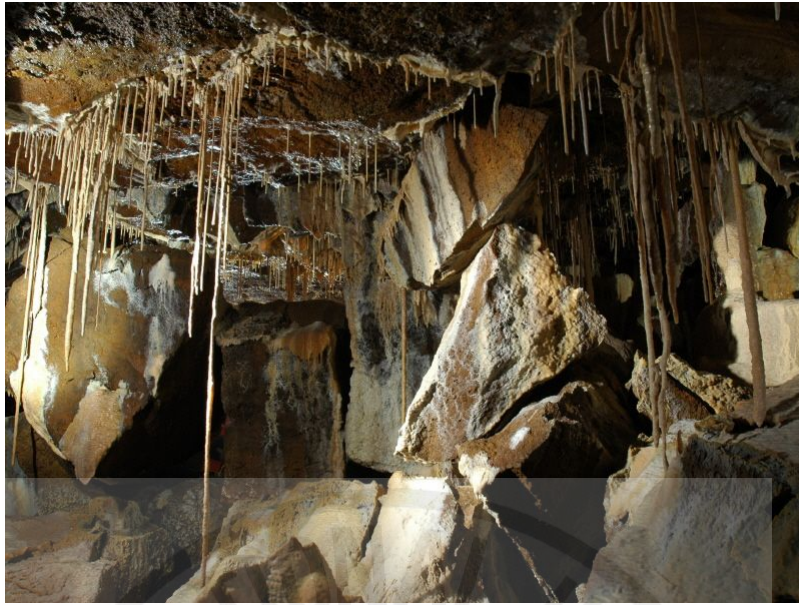


사진 22. 당치물동굴의 낙반지대

7) 용천동굴

지금까지 동굴 보존상태는 매우 양호하다. 입구로부터 남서 방향으로 이어지는 구간을 제1구역(길이 695.3m), 반대로 북쪽 방향의 일명 「천년의 호수」라는 동굴호수 직전까지 구간을 제2구역(길이 1775.5m)으로 구분한다.



사진 23. 용천동굴의 낙반지대

이어 「천년의 호수」와 그 이후 구간을 제3구역으로 구분하면, 제1구역 끝 지점에 낙반현상이 매우 심하다 <그림 14> <사진 23>. 이 곳은 천장 위쪽의 사구층의 함몰되면서 막혀 동로는 더 이상 나아가지 못한 상태다.

8) 수산굴

제주도 용암동굴 가운데 천장의 붕락과 낙반현상이 가장 심한 곳이다. 입구에서 1 km 못 미친 곳부터는 마치 덤프트럭들을 동원하여 암석들을 쏟아 부어놓은 것처럼 낙반지대가 수백m 이상에 걸쳐 이어지고 있다. 동굴바닥은 아예 보이지 않는다. 가히 낙석 광장이라는 표현이 적절한 정도다. 또한 낙반이 쌓여 이루어진 곳의 높이는 10m가 족히 넘는다 <사진 24>. 동굴 전체적으로는 낙반지대가 29곳 나타난다 <그림 15>. 천장의 절리 틈새가 수십cm 이상 되는 곳도 셀 수 없을 정도이다. 따라서 수산굴은 대형동굴이면서도 위험성이 매우 높은 동굴이다.



사진 24. 수산굴의 대규모 낙반지대

9) 선홀벙뒤굴

미로형 동굴 곳곳에 낙반과 낙석현상이 심하다 <그림 16>. 또 동굴 바닥과 천장 사이가 전반적으로 50~100cm로 높지 않아 낙반지대가 나타나면 오리걸음 또는 기어서 들어가야 하는 등 위험성이 상존하고 있다<사진 25>.



사진 25. 선흘뱅뒤굴의 낙반지대

10) 북촌동굴

총 길이가 120m에 불과한데도 입구와 동로 중앙에 낙반지대가 있다<그림 17>
<사진 26>. 그 외 지역은 보존 상태가 양호하다.



사진 26. 북촌동굴의 낙반지대

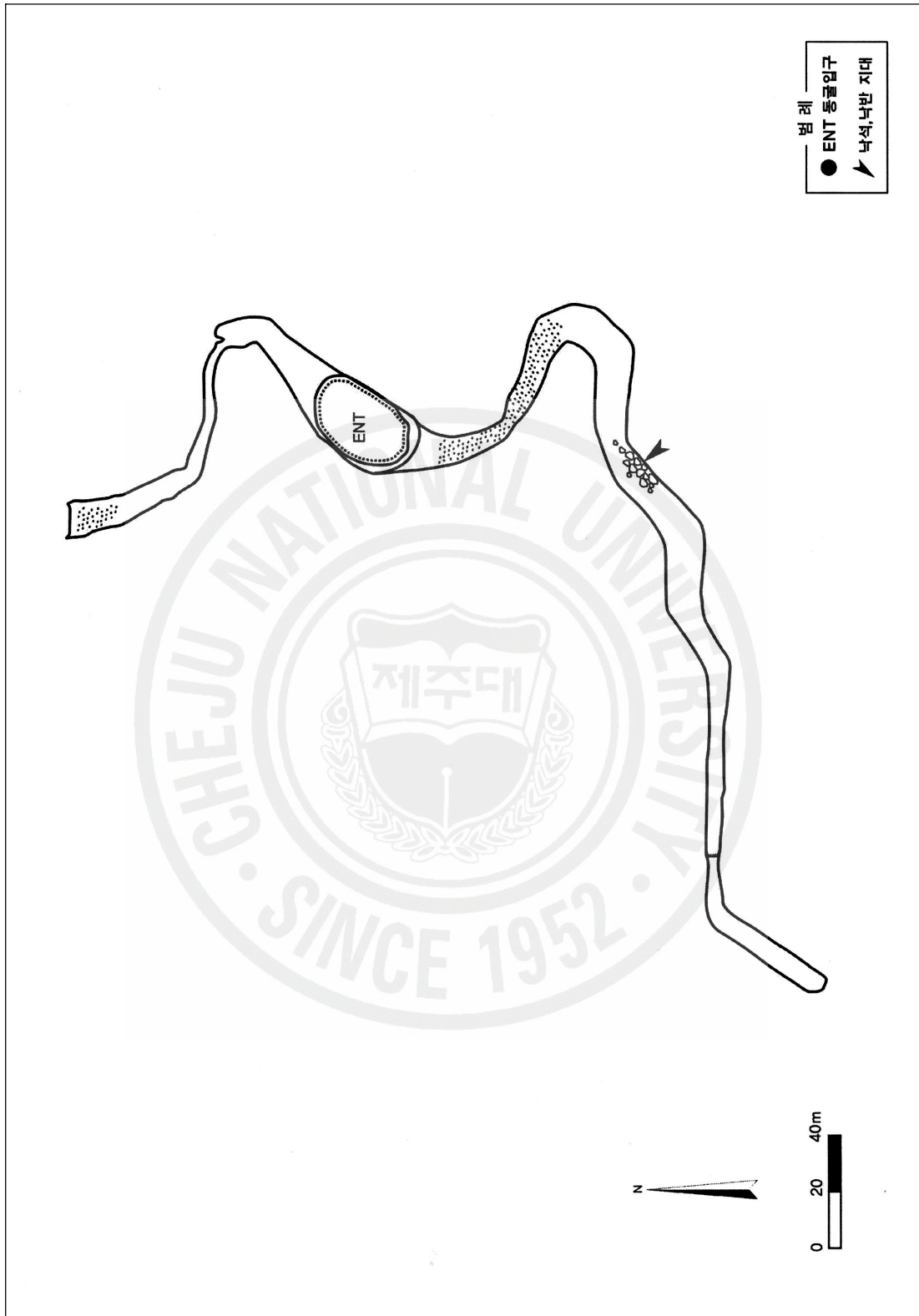


그림 9. 김녕굴의 낙반 분포도

자 료 : (사)제주도동굴연구소의 김녕굴 평면도(2005)를 바탕으로 재구성

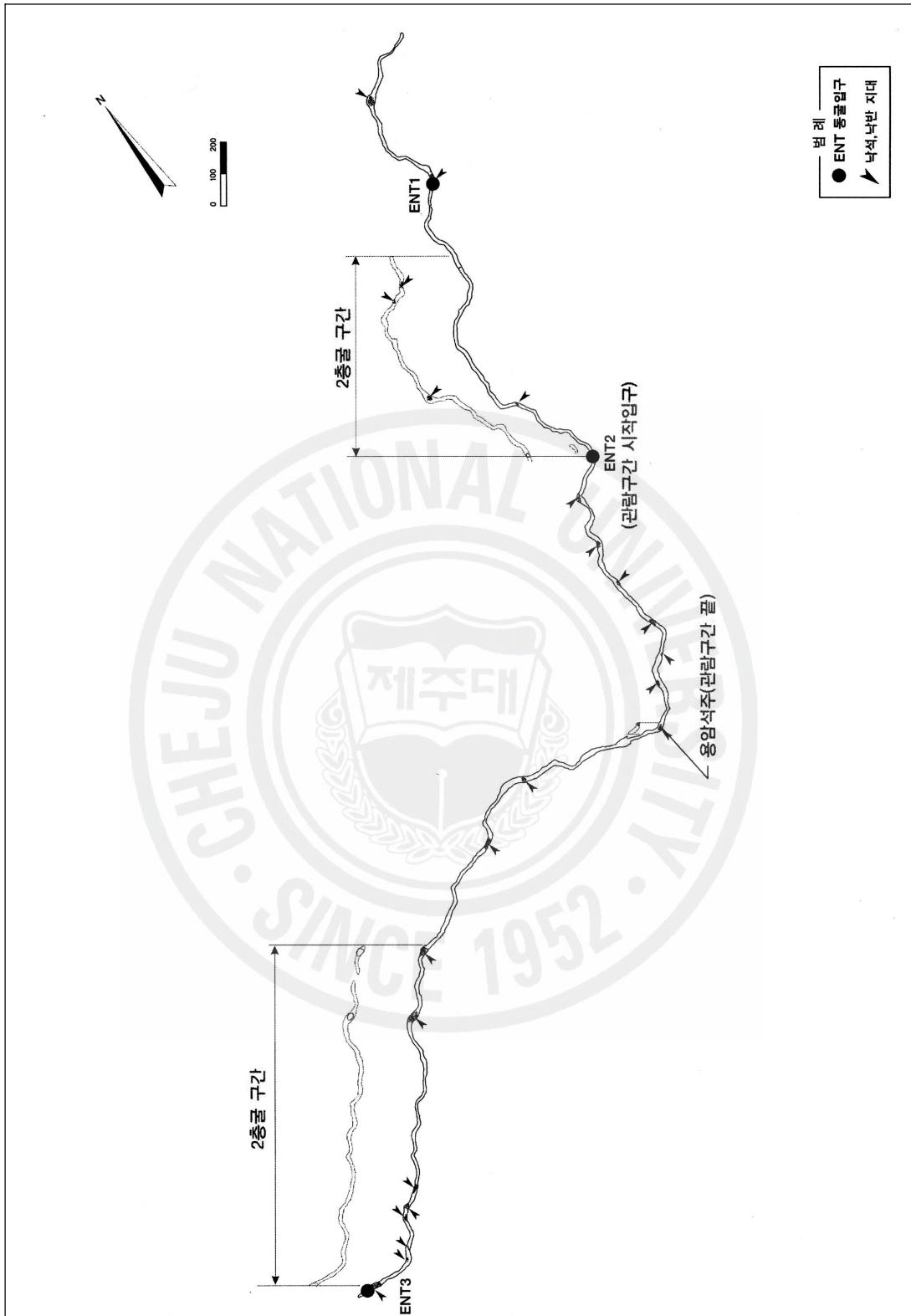


그림 10. 만장굴의 낙반 및 낙석 분포도

자료 : (사)제주도동굴연구소의 만장굴 평면도(2003)를 바탕으로 재구성

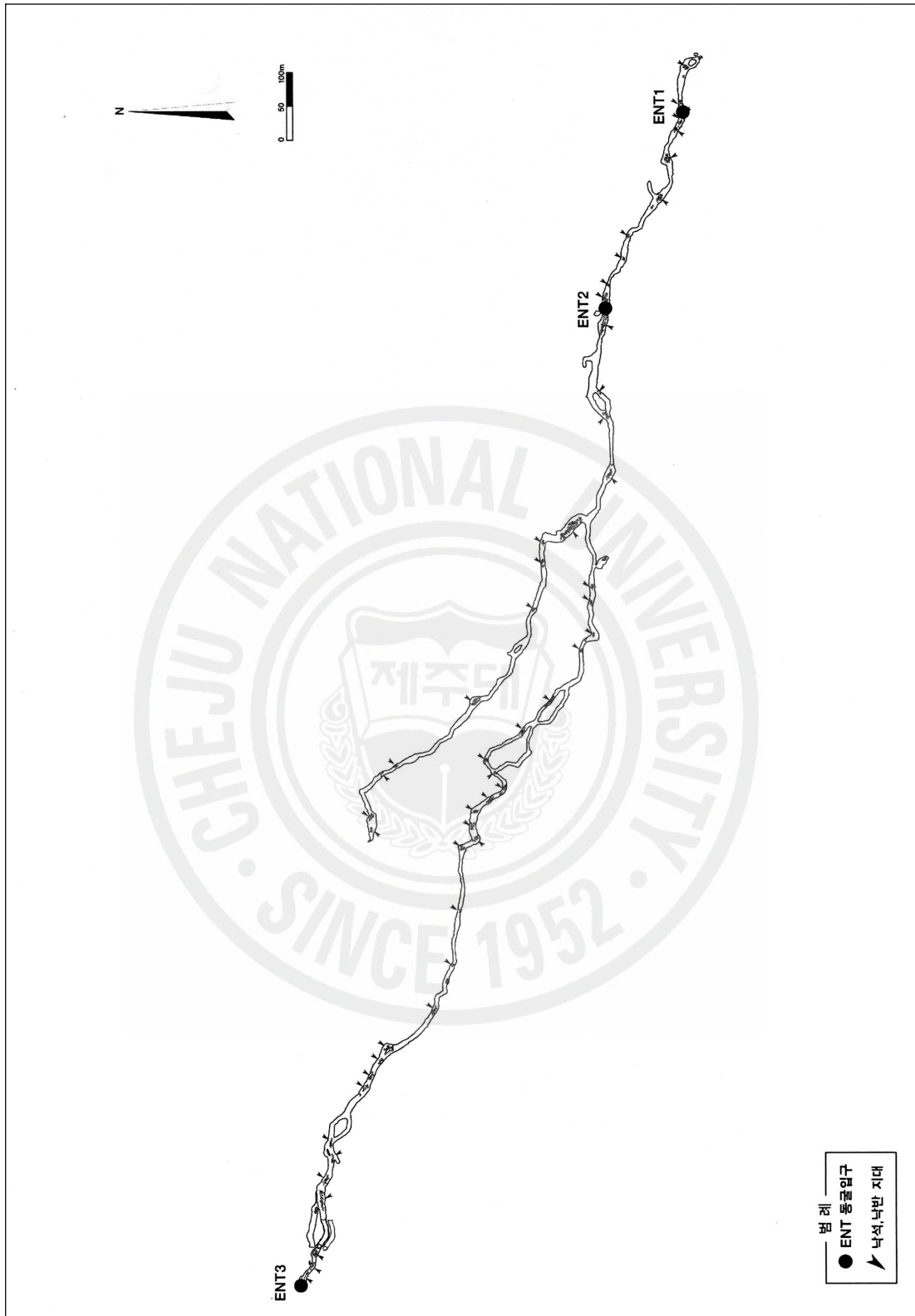


그림 11. 소천굴의 낙반 및 낙석 분포도

자료 : (사)제주도동굴연구소의 소천굴 평면도(2004)를 바탕으로 재구성

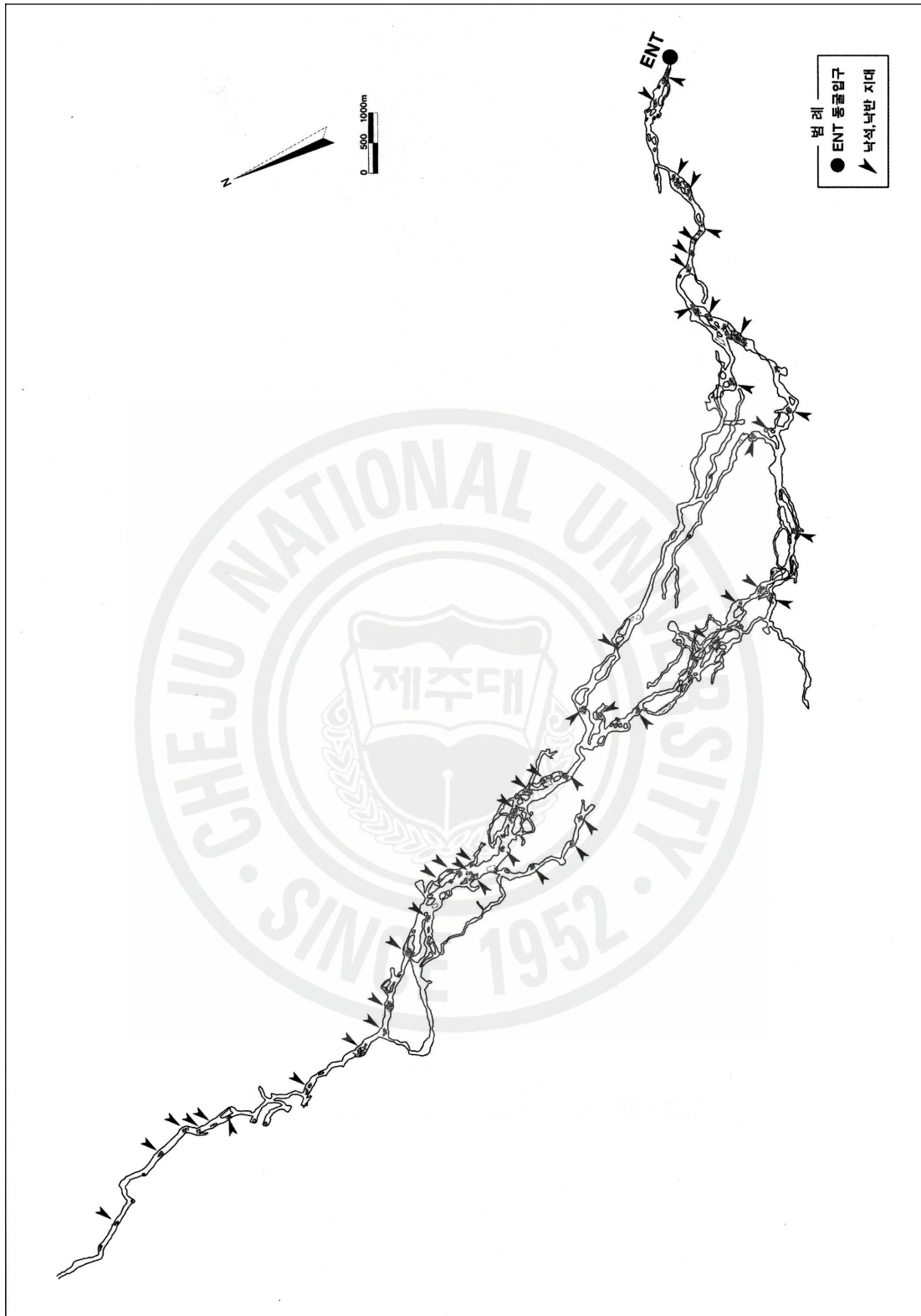


그림 12. 빌레못동굴의 낙반 및 낙석 분포도

자료 : (사)제주도동굴연구소의 빌레못동굴 평면도(2005)를 바탕으로 재구성

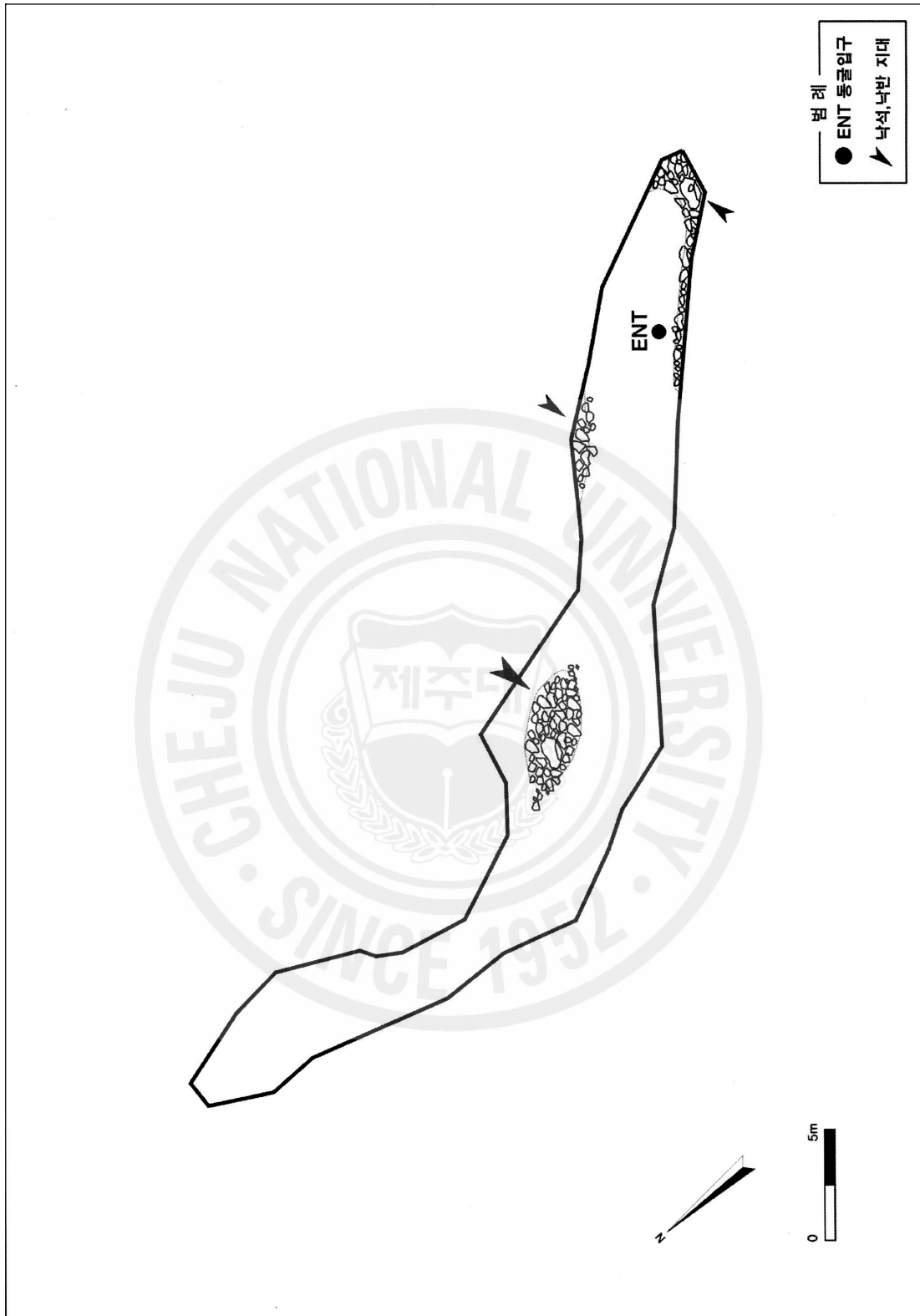


그림 13. 당처물동굴의 낙반 분포도

자료 : (사)제주도동굴연구소의 당처물동굴 평면도(2000)를 바탕으로 재구성

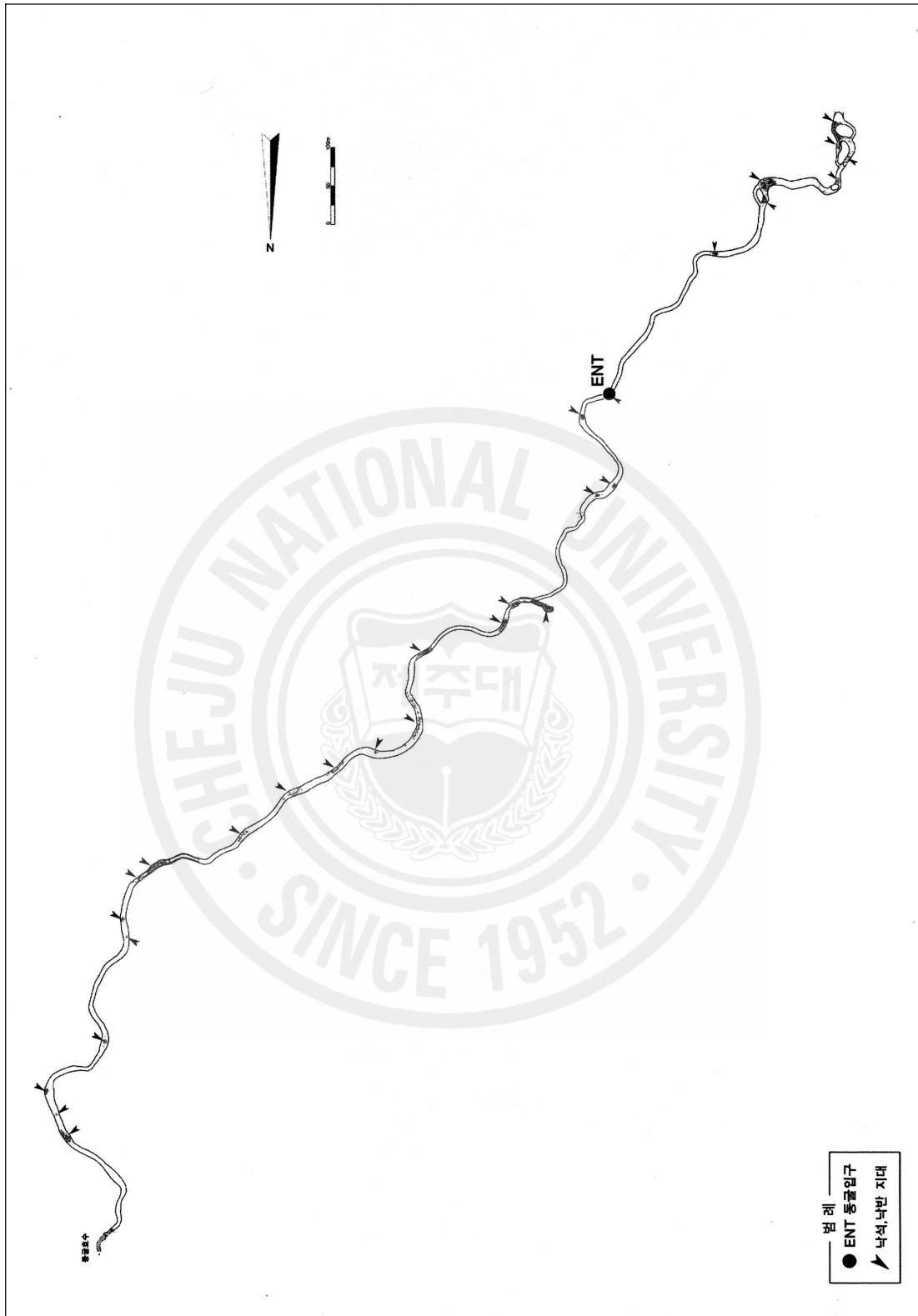


그림 14. 용천동굴의 낙석 및 낙반 분포도

자료 : (사)제주동굴연구소의 용천동굴 평면도(2005)를 바탕으로 재구성

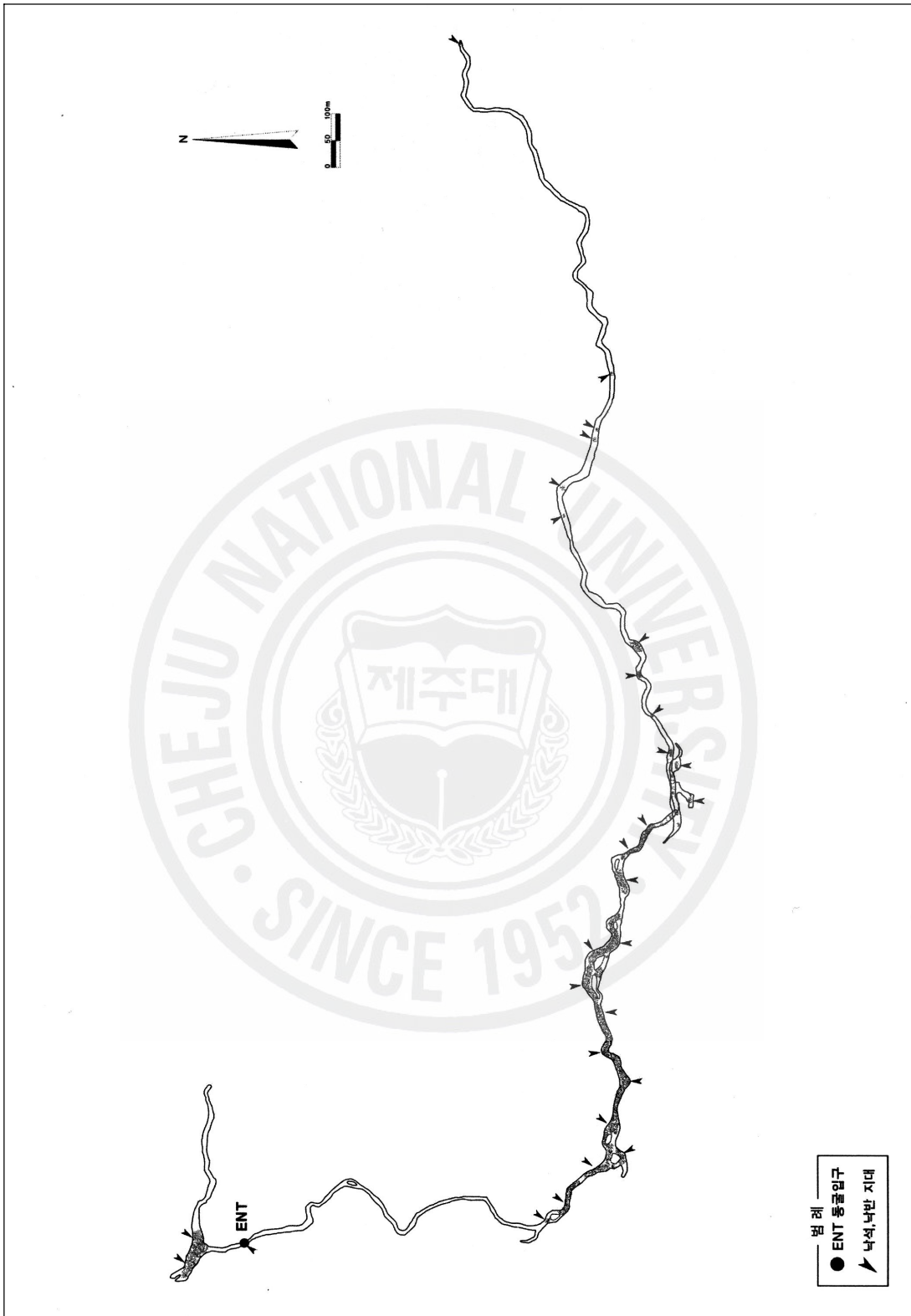


그림 15. 수산굴의 낙반 및 낙석 분포도

자료 : (사)제주도동굴연구소의 수산굴 평면도(2004)를 바탕으로 채구성

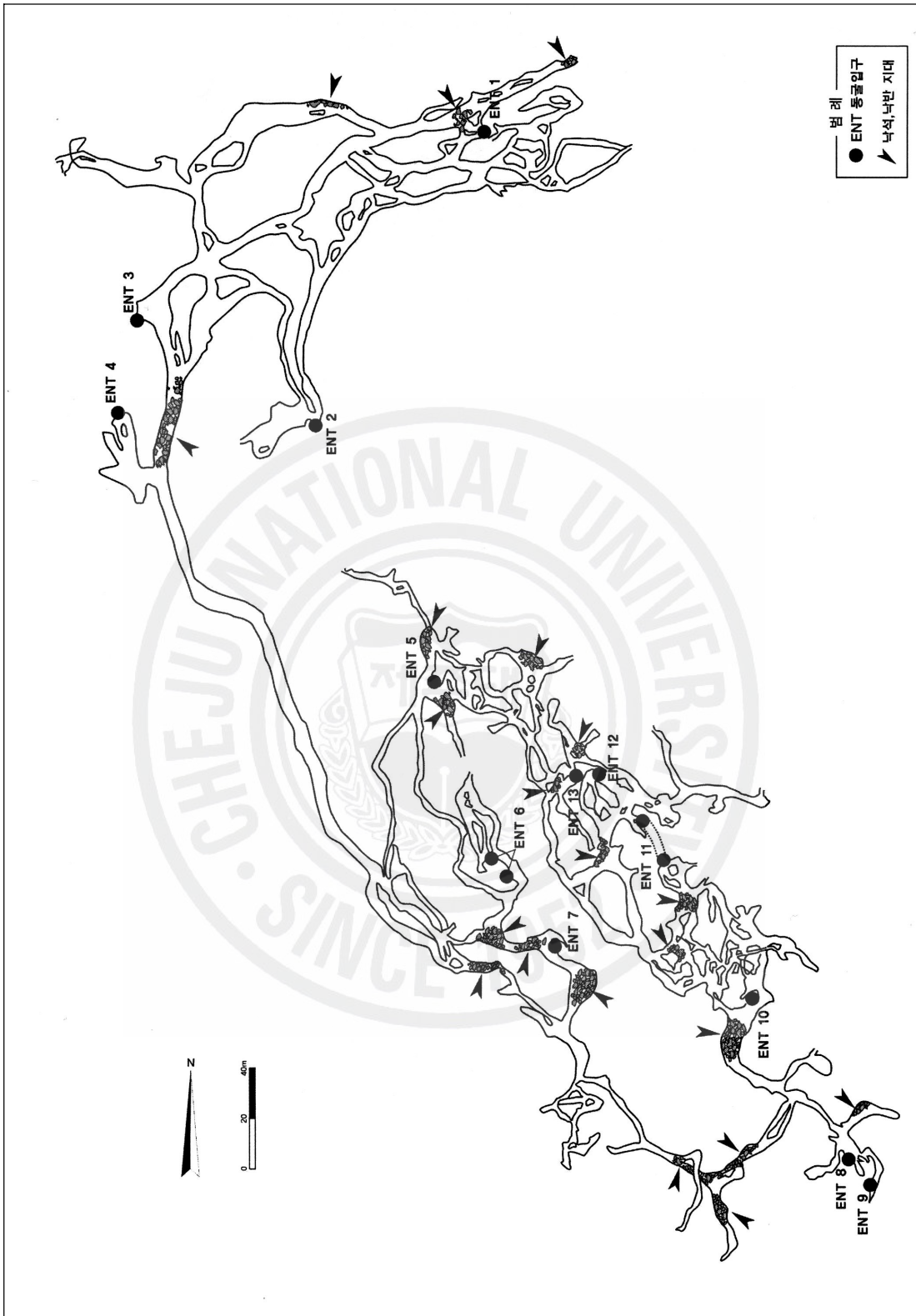


그림 16. 선흘벵뒤굴의 낙반 및 낙석 분포도

자료 : (사)제주도동굴연구소의 선흘벵뒤굴 평면도(1998)를 바탕으로 재구성

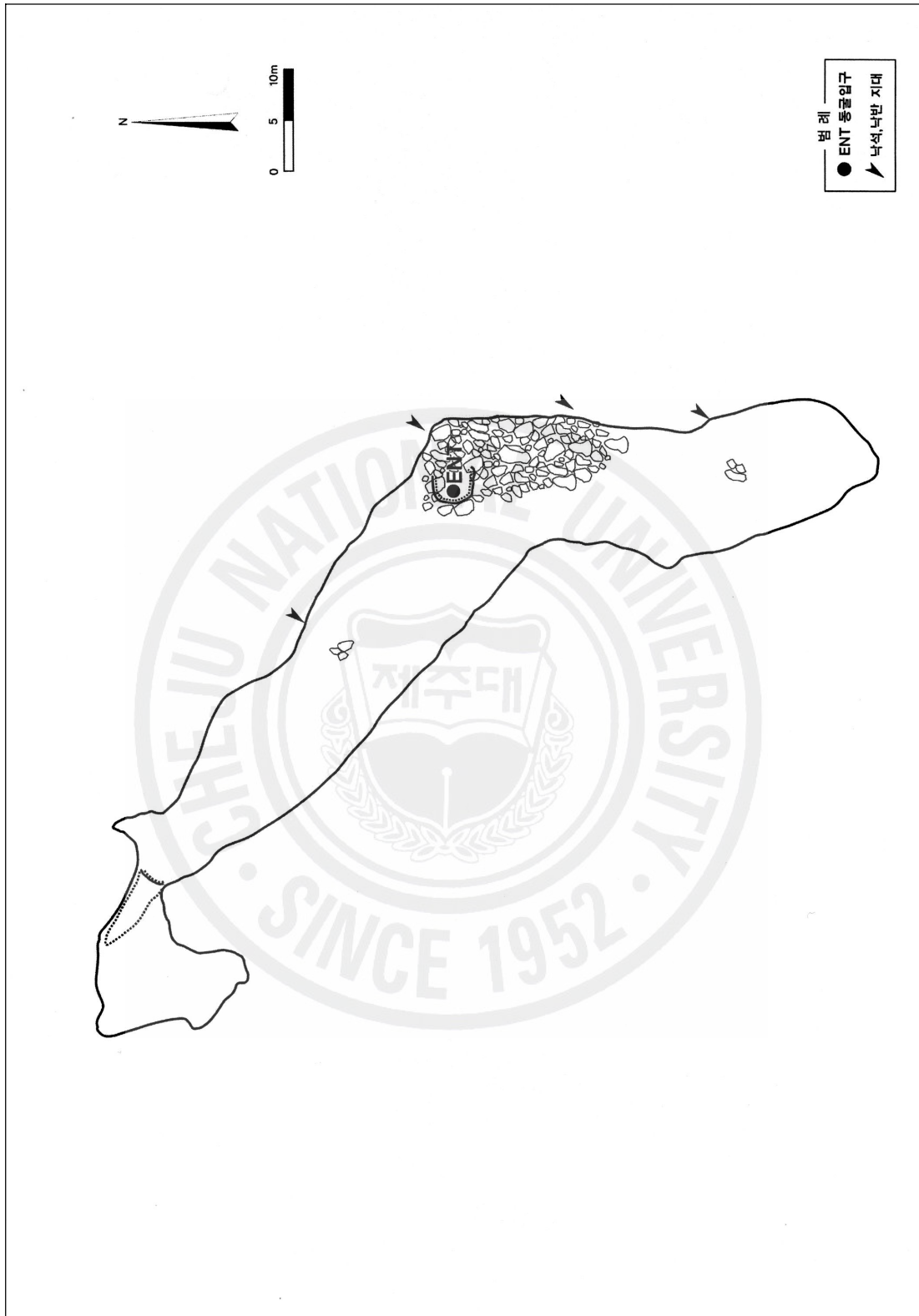


그림 17. 북촌동굴의 낙반 분포도

자료 : (사)제주도동굴연구소의 북촌동굴 평면도(2003)를 바탕으로 재구성

3. 동굴생성물의 보존 상태

1) 김녕굴

이미 오래 전부터 수많은 사람들의 출입으로 인해 동굴의 생태환경이 훼손되었으며, 이에 따라 용암동굴의 형태와 지형지물들도 심하게 파손된 상태이다. 그러나 2층 굴 끝부분에 다양한 형태로 발달된 용암선반이 남아 있고, 벽면에는 용암찰흔도 잘 관찰되며 규산화 현상과 용암폭포도 볼 수 있다.

하지만 동굴 입구가 너무 크기 때문에 동굴 내부 대기환경은 외부 대기 환경의 영향을 많이 받을 수밖에 없다 <사진 27>. 따라서 동굴 환경을 좌우하는 항온, 항습 등을 유지하기가 거의 불가능하다. 동굴 생성물 즉, 지형지물이 훼손되거나 파괴될 우려가 크다고 판단된다.



사진 27. 김녕굴의 대형 입구 모습

2) 만장굴

용암석주를 비롯하여 용암석순, 21개의 용암구, 15개의 용암교 <사진 28>, 다양한 형태의 용암선반 등 동굴 생성물이 전 구간에 걸쳐 발달하고 있으며, 보존 상태도 양호하다.



사진 28. 만장굴 비공개 구간의 용암교와 낙반

3) 소천굴

용암선반, 튜브인튜브, 코핀현상, 용암종유, 승상용암, 아아용암, 동굴산호, 용암주석, 2층굴 등이 다양하게 발달하고 있으며, 보존상태도 양호한 편이다.



사진 29. 소천굴 제2입구 내부의 양치식물 군락지

그러나 낙반이 발생한 구간에서는 동굴 생성물이 심하게 파손되어 있고, 낙반이 발생하지 않은 구간에서는 파손 흔적은 극히 적다. 그리고 지표면의 사구층 영향으로 내부에는 석순, 종유석 등 탄산염 성분의 동굴생성물도 발달하고 있다. 제2입구의 양치식물 군락지도 이채롭다<사진 29>.

4) 협재굴 · 쌍용굴 · 황금굴

협재굴과 쌍용굴은 황금굴과 마찬가지로 용암동굴 생성물보다 종유관, 종유석, 석순 등 탄산염 성분의 동굴생성물이 소규모에도 불구하고 발달되어 있다<사진 30>.

황금굴은 입구가 발견된 후 지금까지 40년 가까이 일반인의 접근을 비롯하여 각종 공사나 교통소통 등 외부로부터의 환경변화 요인이 없었던 관계로 원형이 잘 보존되어 있다. 황금굴 전 구간은 황금색의 탄산염 성분으로 코팅되어 있고, 국수발같이 내려뺨은 수많은 종유석 숲 등 동굴생성물의 발달이 빼어나다.



사진 30. 협재굴의 종유석과 석순 안내표지

5) 빌레못동굴

미지형으로는 용암선반, 용암주석, 승상용암, 천장포켓 등 발달하고 있다. 지물로는 세계적 규모인 용암구를 비롯하여 용암수형, 용암석순, 규산주, 용암종유 등이 풍부하다. 그러나 동굴의 암반 구조가 약하고 천장의 자연 붕락 현상도 많은 점으로 보아 앞으로 동굴생성물의 파괴 가능성이 큰 것으로 판단된다.



사진 31. 미로형 구조를 잘 보여주고 있는 빌레못동굴 내부

6) 당처물동굴

당처물동굴은 비록 동굴 길이가 짧지만, 용암동굴 형성과정의 초기단계에 속하는 미지형과 지물들이 잘 보존되어 있다.

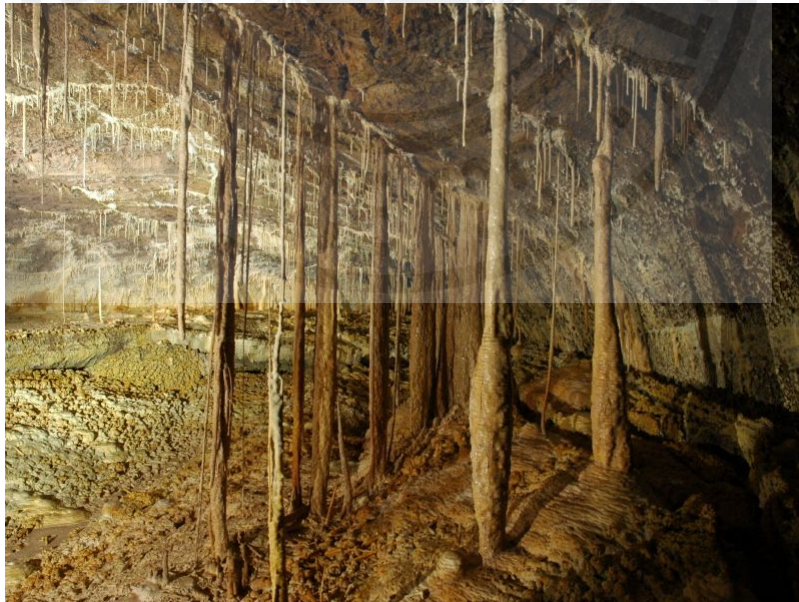


사진 32. 당처물동굴에 발달한 탄산염 성분의 동굴생성물(막장 부근의 석주, 중유석, 석순 군락)

특히 종유관, 종유석, 석순, 석주, 동굴산호 등 탄산염 성분의 동굴생성물이 다양하게 발달하고 있어 석회동굴의 특징을 잘 보여주고 있다 <사진 32>. 전반적으로 내부 환경 보존 상태가 양호하다.

7) 용천동굴

동굴 내부는 웅장하고 거대하며 용암동굴의 전형적인 모습을 보여주고 있다. 140m에 이르는 용암두루마리를 비롯하여 용암선반, 용암폭포 등 다양한 동굴생성물이 천장과 벽면에 잘 발달하고 있다. 특히 탄산염 성분의 동굴생성물인 종유석, 종유관, 석주, 석순, 동굴산호 등이 잘 발달한다 <사진 33>.

이들의 보존 상태도 매우 양호하다. 그러나 오랫동안 밀폐된 상태에서 동굴 천장이 뚫림으로서 동굴 내부환경이 변화를 부르고, 지상의 외부환경 또한 변화하고 있기 때문에 언제까지 동굴내부가 온전하게 보존될 지는 의문이다.



사진 33. 용천동굴에 발달한 탄산염 성분의 동굴생성물(종유관과 석순)

8) 수산굴

용암선반, 용암주석<사진 34>, 용암교, 승상용암, 바닥의 아아용암, 하트 모양의 용암구, 좁쌀 모양의 용암산호, 튜브 인 튜브 등 동굴생성물이 다양하게 그리고 대형으

로 발달하고 있다. 그러나 수산굴의 대형 용암선반은 여러 곳에 천장 붕락과 함께 심하게 훼손되어 있다 <사진 35>.

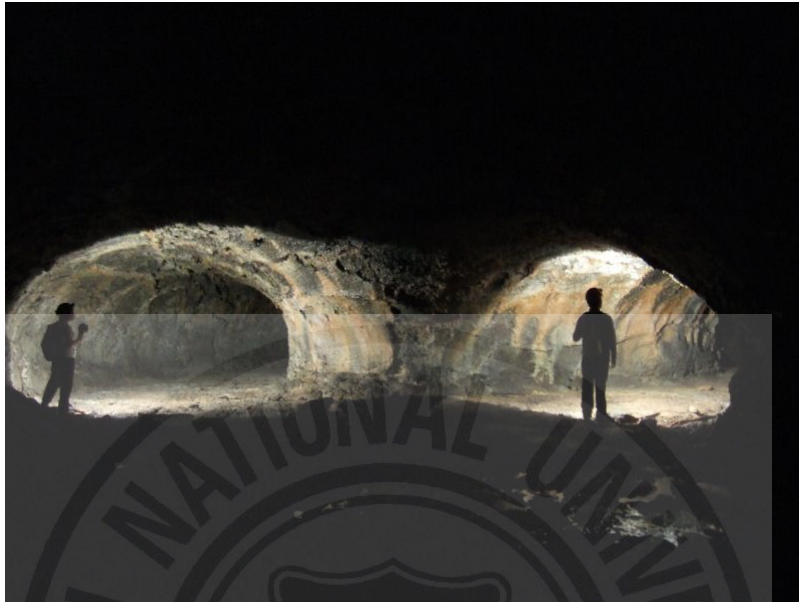


사진 34. 수산굴의 용암주석



사진 35. 천장의 붕락으로 인해 파괴된 것으로 보여 지나, 대형 위용을 잃지 않고 있는 수산굴의 용암선반

9) 선흘벙뒤굴

이 굴에서도 용암석순, 용암교 등 용암동굴의 동굴생성물을 다양하게 관찰할 수 있다. 원형 보존 상태도 비교적 양호한 편이다. 그러나 입구 근처에는 외부에서 유입된 토사층이 바닥을 덮고 있다<사진 36>.



사진 36. 선흘벙뒤굴 입구로부터 유입되어 동굴 내부 바닥을 덮은 토사층

10) 북촌동굴

동굴 바닥에는 아아용암이 잘 나타나며 막장 부근에서 역류한 용암류가 확인된다. 벽면에는 소형의 용암선반, 천장에는 용암종유 그리고 바닥에 용암석순이 작은 군락을 이루고 있다. 내부 보존상태는 전반적으로 양호하다.

4. 동굴 지상의 토지 및 식생 환경

1) 김녕굴과 만장굴

지표면은 북서쪽으로 완만하게 기울어진 평탄면으로 이루어져 있다. 사구층이 잘 발달한 지역이므로 패사가 암반 위를 5~50cm 두께로 덮고 있다. 그러나 경작지로는

매우 불량한 토양이다. 동굴이 위치하는 지상 구간은 대부분 소나무와 잣목 숲으로 되어 있기 때문이다.

이 지역은 문화재보호법에 의해 지상 토지 78필지 1,242,621㎡가 문화재 보호구역으로 지정 관리되고 있다. <표 4>에서 보여주듯이, 국유지 및 도유지가 73.1%, 사유지가 26.9%이며, 지적도상 토지 이용실태는 99.9%가 임야이다.

경작지가 없기 때문에 지상의 토지 및 식생 환경은 양호하다. 즉, 발작물 재배를 위해 농약을 사용하거나 사구층을 제거하는 등의 위해요인이 없다.

표 4. 김녕굴 및 만장굴 지상의 보호구역 토지현황

구분	계	국유지, 도유지	사유지
실태	78필지/1,242,621㎡	53필지/907,809㎡(73.1%)	25필지/334,812㎡(26.9%)
이용	임야 99.9%		
비고	만장굴 공개구간도 포함		

자료 : 제주도(2007), 천연기념물로 지정된 제주도 용암동굴 보호구역 토지현황

또한 동굴이 위치하는 지표 양쪽으로는 동굴경계 표지석 483개가 설치되어 동굴 지표 보호에 도움을 주고 있는 것으로 확인되었다 <사진 37>.



사진 37. 만장굴이 통과하는 지상의 경계를 알려주는 노란색의 표지석

2) 소천굴 · 협재굴 · 쌍용굴 · 황금굴(제주도 용암동굴지대)

제주시 한림읍 소재 망오름의 북서 사면 하단에서 시작하여 서북방향으로 전개된 소천굴 지표에는 사구층이 발달하고 있다. 사구층 식생은 1950년대 방사림으로 식재된 소나무가 주를 이루고 있다. 덩굴식물, 띠, 억새 등 초지식물도 혼생하고 순비기나무 등도 분포하고 있다. 일대는 <표 5>에서 보여주듯이, 사유지가 대부분이나, 경작지는 매우 적은 편이며, 사구층 주변에는 훼손 흔적이 없어 보인다 <사진 38>.

표 5. 소천굴 · 협재굴 · 쌍용굴 · 황금굴 지상의 보호구역 토지현황

구분	계	국유지, 도유지	사유지
실태	204필지/498,568㎡	10필지/58,747㎡(11.8%)	194필지/439,821㎡(88.2%)
이용	임야 80.2%, 밭 13.8%, 기타 6.0%		
비고	제주도 용암동굴지대는 소천굴 · 협재굴 · 쌍용굴 · 황금굴의 문화재 지정 명칭임		

자료 : 제주도(2007), 천연기념물로 지정된 제주도 용암동굴 보호구역 토지현황



사진 38. 소천굴 지상의 식생

협재굴 · 쌍용굴 · 황금굴 일대의 지상 토지는 임야로 되어 있다. 한림공원 내 잔디밭으로 잘 관리되고 있으며, 1971년 공원을 설립하면서 사방공사로 식재되었던 소나무는 그 뿌리가 지S하수와 함께 동굴 천장 암반을 뚫고 뺨어 내린다는 동굴 전문가들의 지적에 따라 25년 전에 전부 제거되었다 <사진 39, 40>.



사진 39. 협재굴과 쌍용굴 지상의 식생(지상에 식재되었던 소나무가 베어진 자국이 하얗게 뚜렷하다)



사진 40. 황금굴 지상의 식생(지상의 소나무는 제거된 상태)

3) 빌레못동굴

동굴 지상 보호구역은 <표 6>에서 보여주듯이, 임야 51.6%와 밭 44.2%의 분포를 보인다. 다른 동굴에 비해 경작지가 비교적 많은 편이다 <사진 41>. 동굴 입구 주변도 임야가 많아 토지 생산력은 낮고 소나무 식생도 좋지 않으나, 해안지대로 내려갈수록 경작지가 많아 토양의 생산력이 높아지고 있다,

그러나 빌레못동굴은 사유지가 92.2%여서 앞으로 동굴 지상을 공유화하여 보존 관리하는데 어려움이 예상된다.

표 6. 빌레못동굴 지상의 보호구역 토지현황

구분	계	국유지, 도유지	사유지
실태	86필지/227,212m ²	1필지/8,610m ² (3.8%)	85필지/218,602m ² (92.2%)
이용	임야 51.6%, 밭 44.2%, 기타 4.2%		

자료 : 제주도(2007), 천연기념물로 지정된 제주도 용암동굴 보호구역 토지현황



사진 41. 빌레못동굴 지상의 토지 이용

4) 당처물동굴

해안가에 인접한 당처물동굴은 주변에 사구층이 두텁게 퇴적되어 있다. 한때 농경지로 개간하기 위하여 사구층 상당부분을 제거함으로써 천장 두께가 얇아지는 상황

이 발생하기도 했다. 이로 인해 당처물동굴 내의 탄산염 성분의 동굴생성물 일부가 지표로부터 유입된 산도가 높은 토양수에 의해 부식되는 결과를 초래하였다.⁵⁴⁾

그러나 당시 북제주군이 인근 토지를 매입하면서 지표상에 모래 퇴적층을 보강하고 잔디를 심은 결과, 지금은 내부환경이 매우 안정된 것으로 나타났다<사진 42>. 현재 문화재보호구역 토지소유 현황은 <표 7>에서 보여주듯이, 국유지 및 도유지가 99.8%로서 제주도 용암동굴 가운데 공유지 보유율이 가장 높다.

표 7. 당처물동굴 지상의 보호구역 토지현황

구분	계	국유지, 도유지	사유지
실태	30필지/704,801㎡	26필지/45,667㎡(99.8%)	4필지/2009㎡(0.2%)
이용	임야 92.9%, 밭 5.8%, 기타 1.3%		

자료 : 제주도(2007), 천연기념물로 지정된 제주도 용암동굴 보호구역 토지현황



사진 42. 당처물동굴 지상의 식생

5) 용천동굴

용천동굴은 김녕굴 입구 북서쪽 100m 지점에서 시작하여 북동쪽으로 약 2.2km 에 걸쳐 형성되어 있다. 행정구역상으로는 김녕리에 0.2km, 월정리에 2km씩 각각 걸쳐 발달한다. 지표상에는 원래 대규모의 사구층이 발달하고 있었다 그러나 경작지로 개간

54) 북제주군(2000), 전게서, p.106.

되거나<사진 43> 건축자재 및 객토용으로 이용되면서 현재는 사구층 상당부분이 제거되면서 파괴된 상태이다. 이는 탄산염 성분의 동굴생성물 보존과 발달에 위해요인으로 작용할 것으로 판단된다.

토지는 대부분 임야로 이용되고 있으나, 도로와 경작지가 차지하는 비율도 3분의 1을 넘는다<표 8>.

표 8. 용천동굴 지상의 보호구역 토지현황

구분	계	국유지, 도유지	사유지
실태	384필지/477,519㎡	117필지/234,638㎡(49.2%)	267필지/242,881㎡(50.8%)
이용	임야 62.2%, 도로 18.3%, 밭 16.9%, 기타 2.6%		

자료 : 제주도(2007), 천연기념물로 지정된 제주도 용암동굴 보호구역 토지현황



사진 43. 용천동굴 지상의 토지 이용

6) 수산굴

지표면은 90% 이상이 임야지대로 경작을 하지 않고 주로 방목지로 이용되고 있다<표 9> <사진 44>. 그러나 동굴 지상의 토지 대부분이 사유지이므로 앞으로 보존관리 대책을 세우는데 상당한 진통이 예상된다.

표 9. 수산굴 지상의 보호구역 토지현황

구분	계	국유지.도유지	사유지
실태	136필지/457,912㎡	7필지/27,708㎡(6.1%)	129필지/430,222㎡(93.9%)
이용	임야 90.9%, 목장 4.2%, 밭 1.7%, 기타 3.2%		

자료 : 제주도(2007), 천연기념물로 지정된 제주도 용암동굴 보호구역 토지현황



사진 44. 수산굴 지상의 식생

7) 선흘벵뒤굴

동굴 주위는 상록수림과 곳자왈 숲으로 우거져 있다. 또한 작은 습지도 여러 곳에 분포하고 있다<사진 45>. 토지이용 현황은 <표 10>에서 보여주듯이, 임야가 97.2%를 차지하고 있다. 따라서 현재로서는 각종 개발로 인한 지반의 노출이나 진동 위험 등 지표변화를 일으킬 인위적 위해요인은 없는 것으로 보인다.

그러나 보호구역의 토지소유 현황이 사유지가 99%를 차지하므로 앞으로 동굴 주변에 걸쳐 토지 소유자에 의한 개발을 전혀 배제할 수 없다고 판단된다.

표 10. 선흘벵뒤굴 지상의 보호구역 토지현황

구분	계	국유지.도유지	사유지
실태	12필지/236,728㎡	2필지/2447㎡(1.0%)	10필지/234,281㎡(99.0%)
이용	임야 97.2%, 목장 2.8%		

자료 : 제주도(2007), 제주도기념물 지정된 용암동굴 보호구역 토지현황



사진 45. 선흘벙뒤굴 지상 인근의 연못

8) 북촌동굴

동굴 위 지상은 사유지 1필지로서 현재 경작지로 이용되고 있다<표 11>. 경작지와 바로 인접한 동굴 입구 주위는 잡목과 잡풀들이 자라고 있을 뿐이다<사진 46>.



사진 46. 북촌동굴의 식생

표 11. 북촌동굴 지상의 보호구역 토지현황

구분	계	국유지. 도유지	사유지
실태	1필지/3620㎡	없음	1필지/3620㎡
이용	밭 100%		

자료 : 제주도(2007), 제주도기념물로 지정된 용암동굴 보호구역 토지현황

5. 동굴 지상을 통과하는 도로 환경

1) 김녕굴

왕복 2차선의 아스콘 포장도로인 만장굴 진입로가 동굴 지상으로 2곳 지나고 있다. 교차지점은 구좌읍 월정리 산 7-1(임야)이다 <사진 47>. 그러나 만장굴 진입로는 수학여행단 등 단체관광객을 수송하는 대형버스가 빈번하게 통행하는 도로이므로 기반암인 현무암질 용암류가 교통량에 의한 외적 하중을 지탱하고 있는가에 대한 정밀진단이 필요하다.



사진 47. 김녕굴 지상을 통과하는 만장굴 진입도로

2) 만장굴

만장굴 지상을 직접 교차하는 포장도로는 없다. 과거에 도로가 통과되었던 부분도

현재 우회도로가 개설된 상태다. 다만 비포장 농로 4곳이 교차하고 있다. 따라서 지상의 도로 교차로 인한 교통량 하중의 우려는 없는 것으로 판단된다.

3) 소천굴

동굴 지상을 왕복 2차선의 아스콘 포장도로가 3곳 교차하고 있다. 교차 지점은 한림읍 금능리 2866-2(임야), 한림읍 협재리 622-1(전), 협재리 산3(임야)이다 <사진 48>. 이 도로들은 전반적으로 교통량이 많지 않은 편이나 중산간 일대 공사용 대형 화물차량이 통과하고, 일반 대형버스도 지나고 있으므로 동굴 암반에 대한 차량 하중의 영향이 있다고 판단된다.

실제로 도로와 교차되는 지점의 동굴 내부에는 다량의 낙석들이 발견되었다.⁵⁵⁾ 낙석의 크기는 수십cm에서 수m로 조사되었다. 또한 천장에 균열 및 절리가 발견되었고, 여기에 지하수에 의한 패사층의 유입 흔적도 관찰되었다. 따라서 현재 천장에는 차량에 의한 하중과 낙석 후 2차적 풍화가 진행되고 있는 것으로 판단된다.

이밖에도 시멘트로 포장된 농로가 동굴 지상을 3곳 통과하고 있다.



사진 48. 소천굴 지상을 통과하는 중산간도로

55) 한국보훈복지의료공단(2004), 「소천굴 종합학술조사 안전진단보고서」, 안전진단 분야, (사)제주도동굴연구소, p.29.

4) 협재굴 · 쌍용굴 · 황금굴

동굴 위를 직접 통과하는 도로는 없으며 주변에 농로도 개설되어 있지 않다.

5) 빌레못동굴

간선도로는 교차하지 않고 있으나, 마을에 진입하는 1차선의 아스콘 포장도로가 2곳 교차하고 있다. 교차지점은 애월읍 어음리 2705-1(밭), 어음리 2555-1(밭) 이다. 또한 시멘트로 포장된 농로도 2곳 통과하고 있다 <사진 49>.

동굴의 지질구조가 전반적으로 약하다는 조사결과⁵⁶⁾로 보아, 이들 도로를 이용하는 교통량의 하중이 천장 부근에 충격을 줌으로써 지질구조의 약화 현상을 심화시키고 있는 것으로 판단된다.

그리고 동굴의 막장인 애월읍 어음리 714번지는 경작지로 이용되고 있으나, 이 일대가 대형 차량 교통량이 많은 제주도축산물도축장에서 불과 수백m 밖에 떨어지지 않는다는 점도 동굴 천장의 안정유지에 위해요인으로 작용할 것으로 보인다.



사진 49. 빌레못동굴 지상을 통과하는 농로

56) 제주도(1989), 전계서, p.177.

6) 당치물동굴

동굴 위를 직접 교차하는 도로나 농로는 없다. 다만 동굴 지상 주변을 지나는 포장 또는 비포장 농로가 있을 뿐이다.

7) 용천동굴

제주도 용암동굴 가운데 동굴을 교차하는 교통량이 가장 많은 것으로 조사되었다. 무엇보다 일주도로인 왕복 4차선의 아스콘 포장도로가 1곳 통과하고 있다. 교차지점은 구좌읍 월정리 1825-1(밭)이다. 이곳은 만장굴로 진입하는 차량, 일주도로를 통행하는 차량, 제주공예단지 인근 해안가 쪽으로 내려가는 차량 등 교통이 매우 혼잡한 지역이다. 따라서 동굴 보존에 심대한 악영향이 우려 된다 <사진 50>.

게다가 만장굴 진입로인 왕복 2차선 아스콘 포장도로도 2곳 통과하고 있다. 통과 지점은 구좌읍 월정리 1813(밭), 월정리 1827-1(잡종지)이다.



사진 50. 용천동굴 지상을 통과하는 제주공예단지 앞 일주도로

8) 수산굴

성읍리~수산리를 연결하는 왕복 2차선의 아스콘 포장도로 1곳이 동굴 지상을 통과하고 있다. 교차 지점은 성산읍 수산리 2636(임야)이다 <사진 51>. 이 도로는 수학

여행단 등 단체 관광객을 실은 대형 버스를 비롯하여 각종 공사용 대형 화물차량 등 교통량이 많다. 이 지점의 동굴 내부는 천장의 붕락으로 인한 낙반현상이 심각한 편이다. 이밖에 콘크리트 포장 농로가 5곳에서 교차하고 있다.



사진 51. 수산굴 지상을 통과하는 중산간도로

9) 선흘벵뒤굴

주변 일대가 온통 숲 지대인 오지여서 동굴 지상을 비롯하여 주변을 지나는 도로도 없다.

10) 북촌동굴

동굴 위를 직접 교차하는 도로는 없다. 다만 바로 인근에 마을 진입로가 개설되어 있으나 교통량이 많지 않은 편이다.

6. 동굴공개와 관련한 관리 및 훼손 상태

1) 관람객 교육 안내

만장굴을 관리하고 있는 동부관광지관리사무소는 관람객들을 위하여 안내센터를 운영하고, 자연유산해설사의 지원도 받아 만장굴에 대한 주의사항 등 사전 교육을 실시

하고 있다.

그러나 단체관광객들인 경우 한꺼번에 몰리기 때문에 대부분은 동굴 입구에 설치된 안내 표지판 외에는 아무런 주의사항도 전달받지 못하고 있고, 동굴에 대한 이해를 넓히는 교육도 받지 못하고 있는 실정이다.

이것은 관리사무소의 운영 미숙 탓도 크지만, 단체 관광객들을 인솔한 관광안내원들의 무책임에도 기인한 것으로 생각된다. 상당수 안내원들은 시간을 정해놓고 동굴에 그냥 들어갔다 오면 된다는 식으로 동굴 단체관람을 너무 안일하게 여기고 있기 때문이다.

또 관리사무소 측에서 일정 시간마다 동굴 구간을 순회하면서 관람객들이 무심코 버린 각종 쓰레기 등을 수거하고는 있으나 완전수거하지 못하고 있다. 그럼에도 불구하고 사전에 이를 방지하기 위한 관람객 교육은 거의 시도되지 않고 있다.

특히 관람객들에게 만장굴 이해를 돕기 위한 방문객 안내센터는 텅텅 비어있는 때가 부지기수다<사진 52>. 안내센터는 동굴 자료에 대한 다양한 프로그램도 제공하지 못하고 있다.



사진 52. 만장굴 안내센터의 텅 빈 모습

반면에 협재굴과 쌍용굴에는 (주)한림공원이 동굴 관람객들을 입굴 전에 동굴 안내소를 경유하도록 동선을 만들어 놓았다. 이 안내소는 제주도의 생성, 용암동굴의 형성,

협재굴과 쌍용굴의 특징 등을 VTR로 상영해주면서 동굴에 대한 이해를 도와주고 있다. 특히 안내원이 상시 배치되어 관람객들에게 주의사항도 교육하고 있다. 그러나 한꺼번에 몰리는 단체 관람객들은 안내소를 그냥 지나치는 경우가 많은 실정이다 <사진 53>.



사진 53. 협재굴·쌍용굴의 안내센터를 그냥 지나치는 단체 관람객들

2) 동굴 내 대기환경 관리

지표면에서 기온의 심한 교차는 암석층의 풍화를 일으키는 주요 원인이다. 용암동굴의 경우도 동굴의 환경 특히 동굴 대기의 급격한 변화는 동굴 파괴의 원인이 될 수 있다. 본래 용암동굴이 안정을 이루기 위해서는 항상 어둡고, 항온과 항습 환경을 유지해야 한다. 따라서 동굴 내부 환경이 이상 건조상태에 있거나 기온이 높아진다면 동굴에는 건화현상으로 인해 동굴생물의 서식에도 불리한 여건이 된다.

대기는 통상 일몰 후에는 외부의 공기가 동굴 속으로 유입되고, 일출 후에는 동굴의 공기가 외부로 유출된다. 또 이산화탄소는 동굴 지상 토양층의 유기물과 강수량에 의해서도 변화를 보이지만, 공개동굴의 경우 관람객의 호흡에 의해 그 양은 높아진다. 따라서 동굴 내부의 환경변화는 관람객의 출입과 관람객 수, 조명시설 그리고 동굴의 규모와 관계된다고 볼 수 있다. 이로 인해 내부가 고온 건조하게 되고 동굴

환경이 전반적으로 변화하게 되면 동굴 오염과 생태계 변화라는 문제가 제기되기 시작하기 때문이다.

만장굴은 외부 환경의 영향을 동굴 내부 깊숙이까지 받는 편이다. 이는 3개의 커다란 동굴입구를 갖고 있는 것 외에도 공동이 대형이고, 천장 두께가 얇은 제주도 용암 동굴의 특성에도 기인한다.

현재 공개구간에는 공기질 자동측정 장치가 설치되어 있다. 기온은 대개 14℃ 내외, 습도는 80~90% 내외에서 여름철에는 그 이하, 겨울철에는 그 이상을 기록하는 것으로 나타났다. 만장굴관리사무측은 항온과 항습 등에 변화가 거의 없는 것으로 판단하고 있다.

다만 이산화탄소는 관람객 방문이 많을 때 높아지고 있다. 이는 동굴 내 녹색오염원의 광합성과 번식에 도움을 줄 수 있지만, 이러한 악영향은 관람객수 보다는 조명 등에 의해 발생하는 빛에 의한 환경조건에 더 기인하는 것으로 판단된다.

협재굴과 쌍용굴에서는 내부 환경변화 요인인 온도, 습도, 이산화탄소 농도 측정을 위해 8개소를 선정하여 동굴관람을 시작하는 오전 9시 이전에 매일 자체 측정하고 있다. (주)한림공원은 아직까지 특이한 변화는 없는 것으로 판단하고 있다.

동굴 속 온도는 겨울철엔 10℃ 내외, 여름철엔 18℃내외이다. 습도는 겨울철 80~90%, 여름철엔 75~85%이다.

3) 관람객 출입에 따른 훼손 및 오염

관람객은 조명시설과 함께 개방동굴의 환경변화를 일으키는 주요 요인이다. 관람객들이 동굴출입을 하면서 동굴 생성물을 만지거나 이들에 의해 운반된 미세먼지 등으로 인해 암석의 일부가 검게 변하는 흑색오염이 발생하기 때문이다. 의복이나 신발에 묻혀 온 흙 등에는 균류의 포자가 많이 부착되어 동굴에서 번식하게 되면 생태계에 지장을 초래하게 된다. 각종 쓰레기 발생도 무시할 수 없다. 지금은 뜸해졌지만, 동굴 생성물을 갖고 나가는 물지각한 일도 발생하였다.

만장굴에서는 관람객들에 의한 흑색오염 문제와 관련 두 가지 용역 결과가 나와 있다.

하나, 만장굴은 용암동굴로서 모암자체가 검은 색이기 때문에 석회동굴과는 달리 관람객들이 만져서 생기는 흑색오염은 구별하기 어렵다는 것이다. 또한 동로의 규모가 커서 관람객들이 만지는 것이 별로 관찰되지 않기 때문에 만장굴의 경우 흑색오염은 그리 심각하지 않다고 판단하였다.⁵⁷⁾

반면에 다른 하나는, 관람객들을 통한 미세먼지의 유입으로 동굴 벽 내부에 흑색오염이 부분적으로 발생하고 있기 때문에 일시적으로 많은 관람객이 입굴할 경우 이산화탄소 농도가 증가하여 흑색오염을 더욱 가중시킬 수 있다는 것이다.⁵⁸⁾

하지만 예전에 많이 볼 수 있었던 각종 쓰레기 문제는 상당히 개선되고 있다. 공개 구간 끝 부분에서 용암석주를 설명하는 안내원들이 시간대별 교대하면서 수거하거나, 일정 시간마다 쓰레기를 치우고 있어 환경미화는 양호한 편이다. 최근엔 동굴에 CCTV 6대가 설치되어 오염행위를 감시하는 역할을 하고 있다.

협재굴과 쌍용굴에서는 동굴생성물과 암석의 일부를 관람객들이 직접 만져보기가 어렵다. 동굴 가운데 쪽으로 관람객 이동 안내 라인이 설치되어 있기 때문이다. 또 동굴 환경정화 전담요원이 항시 다니고 있어 쓰레기 오염 문제는 크게 발생하지 않고 있다. 그러나 수학여행단 등 단체관광객들이 한꺼번에 동굴 속으로 몰릴 경우, 암석의 일부를 손으로 직접 만지거나 과자봉지나 음료수 캔 등을 버리는 돌발적인 상황은 배제할 수 없을 것으로 판단된다.

4) 조명시설 관리

조명시설은 크게 관람객들이 동굴 내 각종 경관을 보여주는 경관조명, 이동을 안전하게 안내토록 하는 보도조명이 있다. 그러나 조명의 설치는 원래 빛이 없던 환경에서 빛이 공급된다는 것으로, 이는 빛을 필요로 광합성을 하는 녹색생물이 동굴 내에서 번식할 수 있게 된다는 점을 의미한다. 결국 동굴 내 녹색오염의 발생이라는 것은 녹색생물의 성장을 말한다. 따라서 밝은 조명과 함께 외부와 이어진 출입구로 인해 동굴 내부는 고온건조해지고 녹색공해 발생과 동굴생물의 생태변화는 불가피하다.

57) 북제주군(2003b), 전계서, p.83.

58) 제주도(2005), 「제주자연유산 등록신청서작성 학술용역보고서」, 한국지질자원연구원 · 경기대학교 산학협력단, p.44.

그동안 만장굴에서는 1976년 설치된 내부 조명등 185개가 동로 양쪽 벽면에 고정되어 개장시각부터 폐장시각까지 켜져 있었다. 게다가 조명등은 항상 같은 곳을 장시간 비추게 됨으로써 녹색공해를 유발하였고 심한 곳에는 하등식물이 자라는 상황도 발생하였다.⁵⁹⁾

당시 조명에 의한 오염상황을 조사한 결과에 의하면, 조명등 93%에서 녹색오염이 발생한 것으로 조사되었다. 이 중에서 곰팡이류가 조명등의 21.1%에서, 조류가 조명등의 32.9%에서, 선태류(이끼)가 조명등의 95.6%에서, 양치류가 조명등의 77.6%에서 발생하였다. 즉 한 개의 조명등에서 대부분 두 가지 이상의 녹색오염이 복합적으로 발생하였다. 만장굴 내의 조명등에 의한 오염은 이끼류인 선태류와 양치류가 대부분이었다.⁶⁰⁾



사진 54. 새롭게 교체된 만장굴의 조명등(오른쪽)

또한 조명등은 직접조명을 취함으로써 관람객들의 시야를 방해하였고, 조명의 위치가 높아 동선에도 지장을 초래했을 뿐만 아니라 동굴생성물도 제대로 보여주지 못하였다<사진 55>. 이에 따라 조명등 교체와 위치이동이 시급한 것으로 대두되어, 지난해 9월부터 만장굴 조명시설 전면교체작업을 시작하여 현재 마무리작업 중이다.

59) 복제주군(1993), 「만장굴 학술조사보고서」, 한국동굴학회, p.213.

60) 복제주군(2003b), 전계서, p. 121.



사진 55. 만장굴 조명등을 교체하기 전 거북바위 일대의 조명모습



사진 56. 만장굴 조명등을 교체한 후 거북바위 일대의 조명모습

현재 새롭게 설치된 조명등은 동굴생성물을 바로 비추는 직접조명 방식이 아니라 옆으로 비추는 간접조명 방식을 취하고, 조명등 이동이 가능토록 하여 한 곳에 장시간 비추는 것을 개선하였다<사진 54>. 그리고 관람객들의 동선을 위한 조명등 밝기는 최소한의 빛으로 하여 동굴의 신비감도 높여주고 있다<사진 56>. 그렇지만 관람객들 다수는 현재 개선된 조명등의 밝기가 어둡다는 평이다.

협재굴과 쌍용굴에는 91개의 조명등이 설치되어 있다. 관람하는데 필요한 최소한의 조도를 유지하고 있어 아직까지 녹색오염 문제가 크게 발생하지 않고 있다. 또한 주기적으로 조명등을 이동하고 있다<사진 57>. 이는 한 장소를 장기간 비추게 됨으로써 발생하는 녹색오염을 미연에 방지하기 위해서이다.



사진 57. 협재굴·쌍용굴의 조명등 모습

5) 관람객 동선

만장굴의 경우 관람객들은 공개구간을 자유롭게 다닐 수 있다. 어쩌면 이 점이 만장굴 관람의 장점일 수도 있다. 그러나 이로 인해 문제도 많이 발생하고 있다. 먼저, 관람 인원 에 대한 통제가 전혀 이루어지지 않는다. 때문에 동굴에 들어오고 나가는 관람객들끼리 서로를 피해 가느라 애를 먹는다. 단체 관광객들이 한꺼번에 입굴하게 되면 너무 시끄럽다. 질서 있는 관람이 되지 못하는 실정이다. 동굴 관람으로 40~50분 소요되는 시간 동안 노약자들에게 불편이 가중될 수밖에 없다. 일부 관람객들은 육안으로 확인되지 않는다하여 낙반 및 낙석 우려가 있는 천장 밑으로 지나가기도 한다. 안전사고 위험이 곳곳에 내포되어 있는 실정이다.

협재굴과 쌍용굴의 동선은 양호한 것으로 판단된다. 동굴 내부에는 관람객들이 일방

통행식으로 이동할 수 있도록 안내 라인이 설치되어 있다. 즉, 협재굴 입구→출구→60m 이동→쌍용굴 입구→출구로 자연스럽게 나가게 되어 있다.

6) 편의시설 및 안전 보호시설

만장굴에서는 공개구간 1km에 편의시설은 1곳뿐이다. 그것도 최근해야 입구에서 900m 지점 광장에 공동 벤치 7개가 설치되었다 <사진 58>. 한번 입굴 하면 다른 출구도 없기 때문에 마땅히 앉을 곳이라고는 공개구간 끝 지점에 다다라야 가능하다. 그러나 이것도 성인 2인이 1개씩 앉으면 수용가능 인원은 14명에 불과하다.

경사가 심한 동굴입구에는 관람객들의 안전을 위해 하층 바닥까지 계단과 난간이 잘 만들어져 있다. 그럼에도 노약자들이 이용하기에는 경사가 가파르고 계단 수도 너무 많아 보인다. 공개 마지막 구간에는 바닥이 낙반과 낙석으로 인하여 위험스럽지만 철제 통로를 설치하여 관람객들을 안전하게 유도하고 있다<사진 59>.



사진 58. 만장굴 공개구간 900m지점에 설치된 관람객용 의자들



사진 59. 만장굴 공개구간 900~950m 지점에 세워진 철계단주의 안내판

또한 CCTV가 설치되어 있어 관리사무실에서 응급상황에 즉시 대처하게끔 되어 있다. CCTV에는 버튼으로 눌러 호출하는 비상전화까지 설치돼 관람객들도 비상시 응급요원을 호출을 할 수 있다. 그러나 지난 5월 10~11일 확인 결과, 비상전화가 설치되어 있는 사실을 아는 관람객은 단 한 명도 없었다.

협재굴과 쌍용굴의 공개구간은 비교적 짧고 특별한 위험지역도 없기 때문에 동굴 내부에 편의시설이나 안전 보호시설을 별도로 설치할 필요가 없어 보인다. 동굴 입굴

전에 4개 국어로 된 동굴 안내도와 의자 등 편의시설이 갖추어져 있다<사진 60>
<사진 61>.

그렇지만, 동굴에는 예고치 않은 상황이 벌어질 수 있다는 점에서 협재굴과 쌍용굴
에도 동굴 내부를 상시 관리할 모니터링 시설이 필요하다고 생각된다.



사진 60. 협재굴 · 쌍용굴 입구에 세워진 한국어 · 영어 · 중국어 · 영어로 된 동굴안내도
사진 61. 협재굴 입구에서 안내원이 관람객들에게 설명하는 모습



V. 용암동굴의 보존 및 관리를 위한 개선 방안

이상의 실태 진단은 제주도 용암동굴의 보존과 관리 대책이 매우 시급하다는 점을 일깨워주고 있다. 동굴의 지상과 지하 환경이 급속히 변화하고 있을 뿐만 아니라 앞으로 자연적인 훼손과 파괴에다 인위적 위해요인들도 가세하게 됨으로써 동굴 붕괴로까지 이어질 위험성이 큰 것으로 판단되기 때문이다.

따라서 동굴의 경관적 아름다움을 유지하고 학술적 가치를 보호하는 일은 더 이상 미룰 수 없는 현안이다. 이에 동굴 지상과 지하에서 발생하고 있는 위해요인들을 제거하는 것을 중심으로 제주도 용암동굴의 보존 및 관리를 위한 개선방안을 동굴의 외부와 내부 측면으로 나누어 고찰하여 보았다.

1. 용암동굴의 외부

1) 입구 관리

제주도 용암동굴의 입구는 대부분 천장의 자연적인 붕락이나 함몰에 의하여 형성된 것이다. 최근에는 각종 공사를 굴착하는 과정에서 혹은 경작지를 개간하는 과정에서 천장이 뚫림으로써 수직형 동구가 형성되기도 한다.

천연기념물과 제주도기념물로 지정된 용암동굴의 입구 관리는 비공개동굴의 경우 일반인 출입을 통제하는 철책시설이 설치되어 있어 대체로 양호한 편이다. 그러나 김녕굴은 입구 2곳 가운데 1곳은 사실상 통제가 안 된 상태로 방치되어 있다. 선홍벙뒤굴은 입구 15곳 가운데 단 2곳만 일반인 통제시설이 들어서 있을 뿐이어서 출입통제를 포기한 상태이다. 하지만 이런 상태로 방치하는 것은 동굴 내부 생성물의 도굴 등 인위적 위해요인이 가세하게 되고, 이로써 동굴 훼손과 파괴를 조장하는 셈이다. 김녕굴과 선홍벙뒤굴에는 추가적인 출입 통제시설이 필요하다.

또한 미공개 동굴의 입구 통제가 잘 되고 있다 할지라도 동굴 내부 훼손 또는 파괴 방지 차원에서 보다 과학적인 관리 기법이 필요하다. 빌레못동굴 입구의 경우 주변보다 지대가 낮은 관계로 많은 비가 내리면 주변 경작지의 세립질 토양입자가 빗

물과 함께 동굴입구를 통해 동굴 내부로 유입되고 있다. 앞으로도 동굴 바닥은 이들 토양입자로 계속 덮여질 것이고 이는 동굴 바닥의 훼손으로 이어지게 된다. 따라서 이 문제를 해결하기 위한 방안으로 우선 입구를 포함하여 주변을 아예 매립하는 방안, 이곳 저지대로 흘러들어오는 빗물을 다른 곳으로 우회시키는 방안, 입구만 별도로 밀봉하는 방안 등을 고려해볼 수 있다. 그러나 동굴의 입구는 동굴 내부 환경을 유지하는 길목이 된다는 점에서 어떠한 방안이 동굴 보존에 적합할지에 대해서는 보다 신중한 과학적 접근노력이 필요하다.

다만 입구를 너무 완벽하게 밀봉하다보면 동굴 내 생태계를 유지하는 중요한 동물인 박쥐가 외부로 출입하는 데 지장을 받을 수 있다. 이는 박쥐의 배설물인 구아노가 동굴 미생물의 필수적인 영양분이 되는 등 동굴 생태계 유지에 일정 역할을 하고 있기 때문이다. 따라서 동굴입구 밀봉문제는 동굴 동물 전문가의 자문도 함께 받아야 한다.

2) 동굴 지상의 토지 및 식생 관리

동굴 지상의 토지와 식생 관리는 도로 관리, 개발행위 관리와 함께 문화재 보호구역 관리를 관리하는 4대 핵심 요인이다.

지상의 토지가 어떻게 이용되고 있는가, 또 어떠한 식생들이 자라고 있는가 하는 문제는 동굴 위 토층을 제대로 확보 유지하고 있는가, 정상적인 지형 윤회를 유지하고 있는가와 직결되는 사안이다. 다시 말해 토지 활용도와 식생에 따라 토층과 지형윤회에 변화가 일어나고 결국은 지반의 침하나 함몰 등 동굴의 붕괴를 초래할 수 있기 때문이다.

따라서 인위적으로 지표면 토층이 훼손되거나 식재된 나무로 인해 지반의 안정을 위협하는 경우는 이미 동굴 변화가 진행되고 있다고 볼 수 있다.

대표적인 예를 두 가지 들면 우선 토지 관리 차원에서 용천동굴의 경우, 동굴 내부 탄산염 성분의 동굴생성물로 인해 동굴학자들로부터 경관적 아름다움과 지질학적 가치가 높다고 평가받고 있는 배경에는 동굴의 지표면이 사구층으로 형성되어 있기 때문이다. 그러나 이들 대규모 사구층은 이미 상당부분 훼손된 상태이거나 파헤쳐져 경작지로 이용되고 있는 실정이다. 탄산염 성분의 동굴생성물 근원인 사구층이 파괴되고 없어진다는 것은 결국 동굴 내부에 탄산염 동굴생성물이 앞으로 자라지 못할

가능성을 높여주기 때문에 동굴 보존에 매우 위험스러운 상황이라고 판단된다. 더욱이 경작지에 농작물을 파종하기 위해 농약이나 화학비료를 사용할 경우, 이들 성분이 동굴 내로 침투하게 됨에 따라 동굴생성물이 훼손될 가능성도 크다.

따라서 동굴 보존을 위해서는 주변 경작지를 조성하는 과정에서 제거되었던 사구층을 복구하고 농약과 비료에 의한 오염원을 차단할 수 있어야 한다.

그러나 사구층을 어느 정도로 복구해야 하는지, 동굴생성물의 오염원을 어떻게 차단할 수 있을 것인지는 전문가의 과학적 진단과 함께 토지 매입과 같은 행정 차원의 지원이 병행되어야 하는 문제다.

두 번째로 식생 관리차원에서 볼때 소천굴의 경우는 천장이 얇기도 하지만 지표 식물의 뿌리가 동굴 내부로 이미 침투한 상태다. 제1입구와 제2입구 천장만 하더라도 절리 틈 사이로 소나무 뿌리가 파고들고 있음을 볼 수 있다.⁶¹⁾ 이는 동굴 천장 암반의 안정성 유지에 심대한 악영향을 주는 요인이다. 이에 따라 같은 제주도용암동굴지대인 협재굴·쌍용굴·황금굴은 지상에 식재되었던 소나무가 관리자인 (주)한림공원에 의해 모두 제거된 상태다. 다만 소천굴 일대의 소나무는 1950년대 사방림 사업에 의해 인위적으로 조성된 식생이라는 점에서 소나무 수종 교체나 제거 문제는 행정당국과 주민과의 협의 하에 검토해야 할 것으로 생각된다.

그러나 문화재보호구역의 토지현황에서 나타났듯이 용천동굴은 사유지 비율이 50.8%이고 소천굴은 사유지 비율이 90%에 근접하고 있다. 결국 동굴 지상의 토지와 식생관리는 사유재산과 직결되는 문제이기 때문에 그만큼 어려울 수 있다.

그렇다면 최선의 방안은 동굴 지상의 사유지를 동굴관리 주체인 정부와 제주특별

61) (주)한림공원(1991), 「협재동굴지대 학술조사보고서」, 한국동굴학회, pp.178-179. : "소나무 뿌리의 길이는 최대 20m로 지하 10m 이하까지 뻗으며 뿌리에서 유기산이 분비된다고 한다. 지표면과 동굴 천장과의 두께가 약 1~5m라고 하면 시간이 경과함에 따라 식물의 뿌리가 동굴에 미치는 영향은 클 것으로 생각된다. 소천굴 입구를 비롯해 내부에 나타난 뿌리의 길이는 30cm~3m, 뿌리의 굵기는 직경이 1~4cm로서 심각성을 드러내고 있다...(중략)...물론 천장의 절리를 통하여 침투된 식물의 뿌리를 따라 지하수가 유입되면서 지하수에 포함된 CaCO₃에 의해 폐사의 석회질이 조금씩 용해되어 석회동굴의 형태를 이룬다는 측면에서 학술적인 가치는 있을지 모르나 동굴의 보존을 고려한다면 동굴 지표면의 곱슬림을 다른 수종으로 교체하는 것이 좋을 것으로 생각된다. 특히 소천굴을 비롯한 협재굴, 쌍용굴, 황금굴 등을 포함한 일대는 지표면이 폐사로 덮여 있으며 동굴 천장과의 두께가 두꺼운 것도 있으나 대개는 1~5m 내외이므로, 동굴의 안전성을 고려한다면 동굴 바로 위의 심근성 식물은 제거함이 좋을 것이며 아울러 동굴 지표면은 친근성의 수목을 선택해야 할 것으로 생각된다."

자치도에서 매입하는 것이다. 다행히 정부와 제주도는 UNESCO 세계자연유산 관리 차원에서 이를 연차적으로 공유지화할 방침이다. 거문오름 용암동굴계에 속한 용천동굴, 선흘벙뒤굴(사유지 99.0%) 등의 사유지 매입계획을 세우고 2007년부터 2013년까지 125억원(정부 70%, 지방비 30%)을 투자할 방침으로 있다. 그러나 소천굴을 비롯하여 빌레못동굴(사유지 92.2%), 수산굴(사유지 93.9%), 북촌굴(사유지 100%)은 아직 토지를 매입할 계획이 세워져 있지 않은 상태다.

하지만 보존가치의 선후를 가린다는 것은 제주도 용암동굴이 각기 나름대로 경관적 아름다움과 지형 지질학적 가치를 지니고 있다는 점에 비추어볼 때 근시안적 시각이라고 할 수 있다.

따라서 이번 정부가 거문오름 용암동굴계에 속한 동굴 지상의 사유지를 매입한다는 방침이 세계자연유산으로서의 관리 차원임을 모르는 바 아니지만, 이에 포함되지 않은 동굴들도 보존 가치에 거문오름 용암동굴계와 손색이 없다는 점에서 소천굴, 빌레못동굴, 수산굴, 북촌굴 등에 대한 사유지 매입계획도 연차적으로 제시되어야 한다. 이는 모든 동굴이 다 소중히 보존하고 관리해야 할 제주도 유산이기 때문이다.

3) 동굴 지상을 통과하는 도로 관리

용암동굴의 지상을 통과하는 도로로는 왕복 4차선 일주도로 1곳(용천동굴)을 비롯하여 왕복 2차선의 중산간도로 4곳(소천굴 3, 수산굴 1), 왕복 2차선의 마을 우회도로 및 진입도로 4곳(김녕굴 2, 용천동굴 2), 1차선의 마을 진입로 2곳(빌레못동굴 2)이 있다. 이 밖에 시멘트 포장 농로 10곳(소천굴 3, 빌레못동굴 2, 수산굴 5)과 비포장 농로 4곳(만장굴 4)으로 조사되었다.

여기에서 중요한 문제는 교통량의 많고 적음이다. 교통량에 비례하는 하중에 따라 진동은 동굴 지반의 안정성에 악영향을 미치게 되고, 이러한 현상이 지속되면 균열 등이 발생하여 결국은 천장의 붕락에 따른 낙반 현상으로 이어질 수 있기 때문이다. 실제 진단에서도 소천굴의 경우 낙반이 많거나 천장에 균열이 발달한 곳의 지상은 도로가 통과하고 있는 것으로 조사되었다. 따라서 차량 통행과 교통량이 많은 동굴 지상의 도로를 이설 또는 정비하는 것이 동굴 보존을 위한 기본적인 방안이다. 그러나 이 문제는 동굴 지상의 문화재 보호구역 지정보다 도로 개설이 먼저 이루어졌고, 각각의 도로는 교통량에 차이가 나고 있다는 점에서 도로 활용도에 따라 검토되어야 한다.

이에 따라 도로 이설 및 정비 문제는 크게 세 가지 차원에서 다뤄질 수 있다고 본다. 첫째, 교통량이 많은 일주도로가 관통하고 있는 동굴의 경우 정밀진단을 거쳐 기존 도로에 영향을 미치지 않는 범위 내에서 도로를 신설하는 방안이 추진되어야 한다. 이렇게 되면 교통량으로 인해 동굴에 미치는 영향은 거의 없을 것으로 전망된다. 여기에 유일하게 해당되는 용천동굴의 지상에는 정부와 제주도의 세계자연유산 관리 계획에 의해 2010년부터 2015년까지 총 26억원이 투자되어 동굴 관통 도로 위에 새로운 교량(길이 30m, 폭 20m)이 건설될 계획이다.

둘째, 중산간도로나 마을 진입로가 동굴 지상을 통과하는 경우에는, 우회도로를 신설해야 한다. 이미 만장굴의 경우 진입도로 정비계획에 따라 2002년에 우회도로 2,895m를 개설하여 지금은 만장굴을 통과하는 포장도로는 없다. 그러나 수산굴의 지상을 통과하는 도로의 경우 단체 관광객을 실은 대형 버스와 공사용 차량 등 교통량이 많아지고 있는데도 이에 대한 대책이 없다. 더구나 이 도로는 앞으로도 교통량이 더 많아질 것으로 보여 새로운 우회도로 건설이 필요하다.

셋째, 새로운 교량이나 우회도로 등을 신설하기 전까지는 예방 차원의 대책이 나와야 한다. 도로에 진입하기 수십m 전부터 동굴 지상을 통과하는 도로임을 알려주는 위험 경고판을 설치하고, 동굴을 통과하는 도로 구간에는 표지석도 설치해야 한다. 또한 차량의 적재량을 제한함으로써 대형차량은 인근 도로로 우회하도록 유도해야 한다. 왜냐하면 동굴 함몰은 24시간 예고가 없기 때문이다.

4) 문화재 보호구역의 정기 모니터링

천연기념물과 제주도기념물 동굴은 문화재보호법상 문화재보호구역으로 지정 보호되고 있다. 또한 제주특별자치도 특별법에 의해 절대보존지역으로도 지정되어 있다. 이에 따라 각종 개발사업은 엄격하게 제한되어 있는 지역이다.

제주특별자치도 문화재보호조례에도 해당지역에서 건설공사 인·허가 등을 받기 전에 건설공사의 시행이 문화재 보존에 영향을 미치는지의 여부를 면밀하게 검토해야 한다고 규정하고 있다.

천연기념물 동굴인 경우 보호구역 외곽 경계로부터 500m 이내 지역, 제주도기념물 동굴인 경우 보호구역 외곽 경계로부터 300m 이내 지역에서는 이를 반드시 준수하도록 하고 있다.

하지만 보호해야할 지역이 광범위할 뿐만 아니라 각종 행위 역시 은밀하게 이루어지는 경향이 많다. 그럼에도 불구하고 이를 지도하고 감시해야할 제주도 등 행정당국의 인력은 부족하다. 따라서 당국의 감시가 미치지 못하는 경우가 발생할 가능성이 크다. 그렇지 않아도 제주도 중산간 지대 각종 건설공사에 불법 행위가 끊이지 않고 있다.

이 때문에 문화재 보호구역인 동굴의 지상 일대는 각종 개발에 노출되고 있다하여도 과언이 아니다. 게다가 건설공사 과정에서 인·허가 상에 규정된 사항을 지키지 않는 불법에다 문화재 주변의 경관이나 조망을 훼손하는 일도 발생할 수 있다. 시공 후에는 시설물의 오·폐수 발생, 유해가스, 화학물질 방출 등도 우려된다. 특히 문화재 보존에 영향을 미칠 수 있는 과도한 지하굴착 행위도 배제할 수 없다.

또 농경지로 이용하려고 동굴 지상의 사구층이나 임야를 개간하는 경우도 예상할 수 있다. 용천동굴의 지상에 있는 사구층 파괴가 대표적인 예라 할 수 있다. 따라서 동굴 지상의 보호구역에 대한 정기 모니터링 체계를 보다 확실하게 구축할 필요가 있다.

그 일환으로서 지역주민들을 동굴 보존 프로그램 참여시키는 방안이 적극 추진되어야 한다. 지역주민들을 문화재 보호구역 관리요원으로 정식 임명하여 파괴된 사구층의 복구와 손상된 식생의 복원에 참여시키고 보호구역을 모니터링하는 역할을 담당하게 한다면 동굴 지상의 보존 감시는 자연스럽게 이루어질 것으로 판단된다. 물론 이러한 프로그램에 참여하는 주민들에게는 일정의 인센티브를 지원해야한다. 이렇게 되면 제주의 세계자연유산을 지키는 자긍심도 고취시킬 수 있다고 본다.

2. 용암동굴의 내부

1) 천장의 낙반 위험도 정기 모니터링

제주도 용암동굴은 오랜 세월을 거쳐 오면서 천장에 자연 붕락 현상이 일어나고 동굴 내부 곳곳에 많은 낙반지대를 이루고 있다. 또 천장의 붕락과 낙반 현상은 벽면의 파괴로까지 이어지고 있다. 결국은 동굴 환경의 급격한 변화로 인해 천장과 벽면, 그리고 동굴 내부에 형성된 동굴생성물들은 본래의 모습을 잃어갈 수밖에 없다. 특히 동굴 길이가 길고, 천장이 높으며, 폭이 넓은 대형동굴일수록 천장 붕락과 낙반현상이 심하다. 이에 따라 동굴 환경의 위해요인을 차단하거나 저감하는 문제가 천장 붕

락과 낙반현상을 최대한 방지할 수 있는 동굴 보존의 핵심이라 할 수 있다.

그러나 토지, 식생, 도로, 각종 개발 등 동굴 천장의 낙반현상을 일으키는 위해요인들은 동굴 지상과 동굴 내부에 언제든지 상존하고 있다. 그만큼 위해요인들을 차단하거나 저감하는 것이 어렵다는 의미다.

따라서 동굴 지상의 지표면으로부터 동굴 내부 천장 상부까지의 안정성 진단은 필수적이다. 여기에는 지반 두께에 대한 물리탐사를 시작으로 암석의 공학적 특성 조사, 천장 절리의 발달상태 분석, 외부의 하중에 의한 진동이나 충격에 따른 균열의 움직임 측정 등이 종합적으로 실시되어야 한다.

그러나 이러한 안정성 진단은 모든 문화재 동굴을 대상으로 하기에는 범위가 너무 광범위하다. 비록 일부 용역에 따른 진단결과물들이 나와 있지만 그것만으로는 동굴 천장에 대한 과학적인 안정성 진단을 확신하기에는 미흡하다는 생각이다. 이는 그동안 제주도 용암동굴의 안정성에 대한 연구, 진단 이력이나 실적들이 너무 일천하기 때문이다. 그렇다고 이 문제를 외국의 전문기관에만 맡길 수도 없다.

따라서 현실적으로 내놓을 수 있는 방안부터 강구해야 한다. 우선 동굴 천장에 붕락이나 낙반현상이 심한 곳부터 정기적으로 모니터링 하는 방안을 제시할 수 있다. 절리가 발달한 곳, 균열이 드러나 보이는 곳, 식물 뿌리가 깊게 침투한 곳 등의 움직임을 모니터링을 해야 한다.⁶²⁾ 그나마 협재굴과 쌍용굴은 천장의 절리가 심한 곳에 핀을 꽂아 그 움직임을 일일 점검하고 있을 뿐이다.

이러한 모니터링 과정에서 이상 징후가 포착되면 그 주변을 중심으로 보강 대책을 세울 수 있다. 물론 보강 대책은 국내외 전문가들이 참여한 가운데 이루어져야 한다.

2) 대기 환경 관리

원래 동굴의 내부는 어둡고 캄캄하며, 온도가 일정하고, 습도가 많은 환경을 유지하는 것이 최적의 환경이다. 따라서 동굴 내부 대기환경을 원래대로 유지하는 것은 동굴 보존의 주요한 관건 가운데 하나다. 하지만 동굴 내부 역시 자연적인 작용과 인위적인 요인에 의해 환경변화가 일어나게 되며 이는 동굴 붕괴로 이어질 수 있다.

하지만 그동안 각종 용역 보고서 등에 의하면 제주도 용암동굴의 대기 변화는 거의

62) 문화재청(2000a), 전게서 : “동굴의 안전진단-공개동굴 관리자(단체)는 실태조사보고서와 안전진단보고서를 격년으로 작성하여 문화재청에 제출하고 조사결과에 따른 대책을 강구하여야 함.”

없는 것으로 보고 되고 있으며, 공개동굴 관리사무소 측도 그렇게 판단하고 있다. 그러나 이러한 결과와 판단에는 커다란 문제점을 내포하고 있다.

첫째, 온도와 습도 등 대기환경의 측정 결과를 평가하는 데 과학적 기준이 없이 이루어지고 있다는 점이다. 즉, 측정결과를 놓고 어느 정도의 변화 차이가 있어야 '변화가 크다'고 할 것인지, 아니면 '변화가 적다'고 할 것인지, 아예 '변화가 없다'고 할 것인지 평가기준이 모호하다. 이로써 대기환경의 변화에 따른 동굴 보존의 위험 예측과 같은 중대한 문제는 전혀 진단할 수 없다. 다만 측정 결과 비교시점을 기준으로 변화가 있으면 '변화가 있다'고 적고, 변화가 없으면 '비교적 안정적인 상태를 보이고 있다'고 기록하는 정도에 그치고 있다. 물론 그러한 비교시점 변화를 평가하는 것도 대기환경을 측정하는 기관(용역 수행자)의 주관적 판단에 의할 뿐이다.

둘째, 온도와 습도 등 대기환경을 측정하며 변화를 비교하는 시점 역시 너무 편의적이고 형식적이다. 이를 테면 온도 측정치 비교의 경우, 지난 수년간 측정치를 비교 평가해야 대기변화의 추이를 파악할 수 있는데도, 실제로는 1년 이내의 기간에 한해(심지어 수개월 내에 한해) 월별·주별·일별 온도 변화만을 측정하고 있을 뿐이다. 이것으로 온도 변화 추이를 진단하는 것은 무리다.

셋째, 지구 온난화 현상으로 생태계가 급변하고 있다는 점을 동굴 진단에서는 너무 간과하고 있다는 점이다. 용암동굴의 경우도 지상의 대기환경 변화는 물론이고 내부의 대기환경도 변화하고 있다고 판단된다. 다만, 그러한 변화가 눈에 확연히 드러나지 않고 있을 뿐이다. 그럼에도 그동안 발표된 여러 용역은 이러한 문제를 전혀 고려하지 않은 채 단지 온도나 습도의 측정치만을 그대로 옮겨 적고 있는데 그치고 있다. 따라서 지금까지 동굴 대기환경의 변화 추이를 판단할 자료도 거의 없다시피 하므로, 그에 따른 동굴 안정성 진단과 예측도 하기 어려운 실정이다.

결국 동굴 보존을 위해서는 향후 최소 3~5년 측정치를 놓고 동굴 대기환경 변화를 비교 평가하고 진단토록 해야 한다. 각종 학술용역이나 안정성 진단용역을 발주할 경우, 이러한 항목을 과업 지시에 반드시 포함시키고 그 책임자는 관련 전문가로 정해야 할 것이다. 이를 토대로 대기환경 변화를 평가하고 진단하는 기준치가 만들어질 것으로 생각한다.

3) 공개동굴의 조명시설 개선

원래 빛이 없는 환경인 동굴이 공개되려면 빛이 공급되어야 한다. 이 때문에 조명시설은 공개동굴의 필수시설이다. 하지만 빛을 공급하는 조명 아래서 광합성을 하는 녹색 생물이 동굴 내에 서식하게 되고 이로 인해 녹색오염 등의 문제가 발생하게 된다.

이에 따라 동굴 관리자(단체)는 녹색오염을 방지하기 위하여 조명등을 최소의 수로 제한하고, 빛의 밝기를 관람객이 다닐 수 있는 최소로 해야 하며, 관람객이 없을 때는 자동적으로 조명등이 꺼지게 해야 하고, 조명 전문가의 관리체계를 갖추어야 한다는 등의 기본수칙을 준수해야하는 것은 너무나 당연한 일이다. 현행 법규에도 동굴 내 조명 시설의 설치 기준을 마련하고 이를 엄격히 지킬 것을 요구하고 있다.⁶³⁾

또한 조명등을 설치할 때 조명등이 관람객들에게 보이지 않도록 하고, 신비하면서도 색다른 분위기를 연출하여 관람객들이 지루한 느낌을 갖지 않도록 하는 것도 필요하다.

이에 따라 특히 조명등을 신설, 개수, 보수하고자 할 경우에는 조명의 종류, 설치장소 등 제반사항에 대하여 동굴 관계 전문가 및 조명관계 전문기관 등의 점검을 받도록 하고 이를 기록으로 남겨 문화재청에 보고하도록 규정하고 있다. 그만큼 공개동굴 관리에 있어 조명시설의 비중이 중요하다는 의미다.

앞서 실태진단에서 나왔듯이, 만장굴 공개구간과 협재굴·쌍용굴의 조명시설 관리는 개선되고 있는 것으로 판단된다. 만장굴 조명시설은 그동안 녹색오염을 심화시키고 관람객의 시야까지 방해한다는 지적을 술하게 받아왔다. 하지만 2005년부터 국제전문가들을 초청하며 조명설계와 정비공사 자문을 받고 현재 전면교체 작업이 마무리 중이다.

하지만 천연동굴 보존, 관리지침 규정대로 조명시설이 녹색오염 발생을 억제하고 관람객의 편의를 증진시키고 있는지에 대한 평가는 설치완료 후 일정기간 간격을 두고 관계 전문가들의 진단을 거쳐야할 것이다.

⁶³⁾ 상거서 : "동굴 내 조명의 설치-(가)조명이 조도를 가급적 최대한 낮추어 녹색오염의 발생을 억제하여야 함. (나)조명에 색을 넣는 것을 지양(가급적 무색)하고, 필요시 일부 조명은 살균등으로 교체하여 녹색오염의 성장을 억제하도록 함. (다)조명의 설치 위치는 관람객의 통행에 지장이 없는 범위를 기준으로 하고, 꼭 필요한 지역 이외의 조명은 억제해야 함. (라)모든 조명에 갓을 설치하여 조명 방향을 조절할 수 있도록 하고, 가급적 열의 발생이 적은 종류의 조명을 사용해야 함. (마)관람객이 없을 경우 조명은 소등 되도록 하며, 안내원에 의한 단체관람이 이뤄지도록 함. (단, 비수기에는 자동센서 장치가 부착된 조명을 사용하여 항상 소등상태가 유지 되도록 함). (사)조명의 설치 시에는 화재 등 안전사고가 발생하지 않도록 안전한 배선체계를 세워야 함."

4) 관람객 출입에 따른 훼손 및 오염도 저감

관람객 출입에 따른 훼손 및 오염문제는 원천적으로 차단할 수는 없다. 동굴에 들어가기 전 예방교육을 강화하고, 동굴 속에서 감시를 하더라도 불특정 관람객들이 슬하게 출입하는 이상, 동굴생성물에 위해가 가해지고 곳곳에 쓰레기 투기 등의 가능성을 배제할 수 없기 때문이다. 따라서 이 문제는 어떻게 하면 훼손 및 오염의 정도를 최소한으로 저감할 수 있을까하는 차원에서 접근하는 것이 최대의 예방법이다.

이 문제와 관련, 최대의 복병은 현재 제주도 공개동굴의 관람객 통제가 전혀 안 되고 있다는 점이다. 제주관광의 특성이기도 하지만, 학생 수학여행 등 단체관광객들이 한꺼번에 몰려들고 있기 때문에 동굴 관리자(단체)도 이를 그대로 방치하고 있는 실정이다. 더군다나 이 경우에는 사전에 관람객들에게 아무런 주의사항도 전달하지 못하고 있다. 그러다보니 일부 관람객들에 의한 음식물 쓰레기 등이 동굴 속 곳곳에 버려지고 동굴생성물에 관람객들의 접촉이 행해질 수밖에 없다.

또한 아직은 큰 문제가 아니라고 하여 방심할 수 없는 것이 관람객의 출입을 통해 대기분진이 유입되고, 이로 인하여 동굴 벽 내부가 검게 변하는 흑색오염이 부분적으로 발생하고 있다는 점이다. 일시적으로 많은 관람객들이 동굴에 출입할 경우 이들이 내뿜는 이산화탄소의 농도가 증가하여 흑색오염은 더욱 가중된다고 본다.

따라서 관람객이 직접 운반하는 흑색 오염원 제거문제도 중요하다. 오염원은 주로 관람객의 머리, 피부, 의복, 신발 등을 통하여 운반되고 있기 때문에 입구에 앞서 관람객의 복장을 청결하게 하는 사전교육도 필요하다.

제주도 용암동굴은 주황색 등의 색깔을 보이는 석회동굴과는 달리 암석 색깔이 검기 때문에, 그리고 아직은 흑색오염의 정도가 심하지 않다는 이유 등으로 흑색오염에 대한 방지대책을 등한시 한다면 오염문제가 심화되고 이로인해 오염 문제는 치유할 수 없을 정도로 큰 화를 맞을 수 있다.

이에 따라 동굴 훼손 및 오염도 저감을 위한 가장 근본적인 개선책은 1일 동굴 관람인원에 대한 적절한 통제다. 이를 통해 동굴 안내원 인솔에 의한 입굴 전 관람객 교육, 관람시간 편성, 동굴 내 관람코스 유도로 설정 등으로 개선하면 효과를 거둘 수 있을 것이다. 이를 위해서는 단체 관광객들을 안내하고 있는 여행사들과의 사전 협의가 전적으로 필요하다. 결국 이 문제는 제주도 행정당국과 제주관광협회가 나서서 여행사들과의 상호 협의를 모색해 나가야한다.

VII. 결론 및 제언

제주도 용암동굴의 보존 및 관리 방안을 위한 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 동굴 입구는 동굴의 내부 환경을 보존하는 길목이 된다는 점에서 입구관리에 대한 신중한 과학적 접근노력이 필요하다. 빌레못동굴 입구의 경우, 주변보다 지대가 낮은 관계로 많은 비가 내리면 주변의 세립질 토양입자가 빗물과 함께 동굴 내부로 들어와 쌓이고 있다. 그리고 입구 2곳 가운데 1곳을 일반인의 출입통제 철책시설 없이 방치한 김녕굴과 입구 15곳 가운데 13곳을 아무런 통제시설 없이 방치한 선흘벵뒤굴은 입구 보완이 절실하다.

2. 동굴 지상의 토지 관리와 관련하여, 용천동굴의 경우는 지표면의 대규모 사구층이 상당부분 파헤쳐져 경작지로 이용되고 있다. 이 때문에 탄산염 성분의 동굴생성물이 앞으로 자라지 못할 가능성을 높여주고 있다. 따라서 경작지를 조성하는 과정에서 제거되었던 사구층을 복구해야 한다. 이와 함께 농작물을 경작하는 과정에서 농약과 비료 등에 의한 오염원도 사전에 차단할 수 있어야 동굴 내부 탄산염 성분의 동굴생성물을 보존할 수 있다. 또 지상의 식생관리와 관련하여, 소천굴의 경우는 식물의 뿌리가 동굴 내부로 침투한 상태다. 동굴 지상의 심근성 식물을 제거하는 것이 동굴 보존을 위해 필요하다. 따라서 최선의 관리방안은 지상의 사유지를 정부와 제주특별자치도에서 매입하여 공유지로 관리하는 것이다.

3. 일주도로와 중산간도로가 동굴 지상을 통과하고 있어 동굴 보존에 위협 요인이 되고 있다. 현재 왕복 4차선의 일주도로 1곳(용천동굴), 왕복 2차선의 중산간도로 4곳(소천굴 3, 수산굴 1), 왕복 2차선의 마을 우회도로 및 진입도로 4곳(김녕굴 2, 용천동굴 2), 1차선의 마을 진입로 2곳(빌레못동굴 2)이 동굴 지상을 통과하고 있는 것으로 조사되었다. 이밖에도 시멘트 포장농로 10곳(소천굴 3, 빌레못동굴 2, 수산굴 5)과 비포장 농로 4곳(만장굴)이 통과하는 것으로 조사되었다. 따라서 동굴 위를 교차하는 도로를 이설 또는 정비해야 한다. 우선 일주도로가 통과하는 경우는 기존 도로를 이설하거나 기존 도로 위에 교량을 건설하는 방안을 강구해야 한다. 중산간도로와 마을 진입로가 통과하는 경우는 우회도로를 신설해야 한다. 그리고 동굴 지상을 통과하는

도로라는 것을 알려주는 위험 경고판과 함께 동굴 위를 통과하는 도로구간에는 표지 석도 설치해야 한다.

4. 동굴 지상의 문화재 보호구역에 대한 모니터링 체계가 구축되어 있지 않다. 법적으로 보호망이 갖추어져 있으나 보호지역이 원체 넓은데다, 이를 담당할 행정기관의 인력은 너무 부족하다. 따라서 지역주민들을 문화재 보호구역 관리요원으로 정식 임명하여 파괴된 사구층의 복구와 손상된 식생의 복원에 참여토록 한다면 자연스럽게 동굴 지상의 보존 감시가 이루어질 수 있다.

5. 용암동굴은 오랜 세월을 거쳐 오면서 인위적 요인들까지 가세, 천장에 자연 붕락이 일어나고 곳곳에 많은 낙반지대를 이루며 동굴생성물의 파괴로까지 이어지고 있다. 이 때문에 천장 붕락과 낙반현상을 최대한 방지할 수 있는 것이 동굴 보존의 핵심이다. 따라서 천장에 붕락이나 낙반현상이 심한 곳부터 모니터링할 필요가 있다. 현실적으로 천장 절리현상이 발달한 곳, 균열이 잘 드러나 보이는 곳, 식물뿌리가 깊게 침투한 곳 등의 움직임을 정기적으로 모니터링 하는 방안을 모색할 수 있다.

6. 지금까지 동굴 내부의 대기환경에 대한 측정결과 진단은 과학적 평가 기준이 없이 이루어져왔다. 측정치의 변화에 대한 비교 시점도 단 1년 이내의 기간 또는 몇 개 월간에 그쳐왔다. 따라서 대기환경 변화에 대한 진단은 적어도 3~5년 정도의 자료 축적을 놓고 이루어져야 한다. 이러한 과정에서 과학적 평가기준도 갖추어질 수 있다. 또한 지구 온난화 현상으로 생태계가 급변하고 있다는 점도 동굴 내부의 대기환경 진단에서는 너무 간과하고 있다.

7. 공개동굴의 조명시설과 관련, 녹색오염을 어떻게 방지하고 최소화하느냐가 관건이다. 그리고 관람객들에게 어떻게 하면 신비하고 색다른 느낌을 줄 수 있도록 설치하느냐 하는 문제도 중요하다. 그동안 제주도 공개동굴은 녹색오염 문제가 동굴 보존의 위협요인으로 지적되어 왔다. 이에 따라 만장굴 등의 조명시설이 현재 전면 교체 중이다.

8. 관람객 출입에 따른 동굴 훼손 및 오염도 저감 문제와 관련하여 최대의 걸림돌은 제주도 공개동굴의 관람객 통제가 전혀 안 되고 있다는 점이다. 1일 적정한 관람객 수 설정이 필요하다. 그리고 일정시간을 정하여 안내원이 인솔하는 동굴 관람이 이루어진다면 동굴 훼손도 최소화할 수 있다.

이상과 같은 연구결과는 제주도 용암동굴의 지속가능한 보존과 관리 방안을 위한 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다. 이를 바탕으로 앞으로 체계적인 연구들이 지속되어질 때 제주도의 용암동굴은 UNESCO 세계자연유산으로서의 가치를 더 높여나갈 수 있을 것으로 보인다. 이와 함께 국제적으로 용암동굴이 넓게 분포한 지역과의 보존 관리 방안을 비교 연구하는데도 한국적인 모델로 의미를 부여할 수 있을 것이다.

이에 덧붙여 제주도 용암동굴의 보다 체계적인 보존과 관리를 위한 방안으로 다음과 같이 두 가지를 제안하고자 한다.

첫째, 동굴에도 GIS(Geographic Information System)를 도입해야 한다. 이른바 CGIS(Cave Geographic Information System) 구축이다. 그러나 아직까지는 세계적으로 CGIS를 구축하여 활용하고 있는 사례는 확인되지 않고 있다. 다만, 문화재청은 일차적인 단계로 CGIS 구축이 가능할 것으로 예상되는 수요로서 「천연동굴의 위치 정보(동굴의 규모, 종류, 가치), 천연동굴의 위치도, 구조도(평면, 종단, 횡단), 지질도, 동굴생성물 정보」를 제시하고 있다.⁶⁴⁾ 그러나 이러한 CGIS 수요분석은 이미 (사)제주도동굴연구소 등에 의해 자료 축적이 되어 있다. 따라서 제주지역 CGIS 구축은 동굴 지하환경구조와 안정성을 조사, 활용하는 수준까지 상향 추진되어야 한다.

둘째, 가칭 제주도 국제동굴센터를 건립해야 한다. 무엇보다 제주도 용암동굴은 경관적 아름다움과 지질학적 가치를 인정받아 한국 최초로 2007년 6월 27일 UNESCO 세계자연유산으로 등재 되었기 때문이다. 따라서 제주도 용암동굴의 가치를 보다 체계적으로 보존하고 관리하기 위해서는 국제동굴센터는 필수적이다. 세계적으로 그 가치를 공유하고 홍보하기 위해서도 그러하다. 국제동굴센터에는 동굴박물관을 비롯하여 동굴체험관, 국제적 동굴연구 교류관, 청소년 학습장 등이 들어설 수 있을 것이다. 이에 따라 국제동굴센터는 UNESCO 세계자연유산으로서의 제주도 용암동굴의 보존과 관리체계를 더욱 확고히 하는 모체가 될 것으로 판단된다.

⁶⁴⁾ 문화재청(2005b), 「문화재 지리정보체계 구축사업 문화재GIS 개발보고서 표준보고서」, p. 42.

VIII. 참고문헌

<단행본>

- 석동일. 서무송. 남궁준(1987), 「한국의 동굴」, 아카데미서적
손인석. 최용근. 김봉현(2000), 「동굴측량」, 신성출판
손인석(2005), 「제주도의 천연동굴」, 나우출판사
우경식(2002), 「동굴」, 지성사
이문원. 손인석(1983), 「제주화산도의 지질과 암석」, 도서출판 춘광
최용근(1997), 「동굴탐험의 세계」, 한림미디어
최용근(1999), 「한국의 동굴을 찾아서」, 한림미디어

<논문>

- 권병두 · 이희순 · 이규호 · 임형래 · 오석훈(2000), “지하동굴 탐지에 효율적인 지구물리탐사기법 연구 : 제주도 만장굴을 대상으로”, 「한국지구과학회지」, 한국지구과학회
- 김주환(2004), “동굴의 성인 및 형태”, 「지리학연구」, 제38권 제4호, 국토지리학회
- 김태호(2001), “제주도의 화산지형과 보전”, 「자연보존」, 제114호, 자연보존협회
- 남궁준(2001), “한국의 근대동굴 조사와 연구”, 「동굴연구」, 제1호, (사)제주도동굴연구소
- 손인석(1981), “濟州道에 分布하는 寄生火山의 類型分類에 關한 研究”, 석사학위논문, 고려대학교 교육대학원
- 손인석(1997), “濟州火山島의 岩石層序 및 年代層序”, 박사학위논문, 제주대학교 대학원
- 유영준(1997), “동굴의 관광자원으로서의 가치”, 「동굴」, 49 : 41
- 유영준(2002), “동굴자원의 체험관광 활성화 방안”, 한양대 관광연구소
- 이희연 · 차승훈(2003), “동굴관광지의 지속가능성 지표설정과 적용방안”, 「관광학연구」, 제27권 제4호, 한국관광학회
- 최영희 · 이원철 · 이훈(2005), “동굴관광지에 대한 지역주민의 태도 및 영향요인”, 「호텔경영학연구」, 제14권 제1호, 한국호텔경영학회

<기타 문헌>

- 남제주군(2004), 「수산굴 · 마장굴 실태조사보고서」, (사) 제주도동굴연구소
- 문화재청(2000a), 「천연동굴 보존 · 관리지침」
- 문화재청(2000b), 「천연기념물 공개동굴 실태조사 및 보존대책 보고서」
- 문화재청(2001), 「동굴 흑색오염 방지 및 제거방안 연구보고서」, (사)자연유산보전협회
- 문화재청(2003), 「제주도 천연동굴일제조사보고서」, (사)제주도동굴연구소
- 문화재청(2005a), 「제주 용천동굴 기초학술조사보고서」, (사)제주도동굴연구소
- 문화재청(2005b), 「문화재 지리정보체계구축사업 문화재 GIS 개발보고서」,
- 북제주군(1993), 「만장굴 학술조사보고서」, 한국동굴학회
- 북제주군(2000), 「당처물동굴 종합학술조사보고서」, (사)제주환경연구센터
- 북제주군(2003a), 「당처물동굴 활용방안을 위한 타당성조사 및 기본계획 용역」, KBS 아트비전
- 북제주군(2003b), 「만장굴 실태(학술)조사 및 안전진단보고서」, (사)제주도동굴연구소 · KSM기술(주)
- (사)제주도동굴연구소(1998), 「선흘벵뒤굴 측량도」
- (사)제주도동굴연구소(2000), 「당처물동굴 측량도」
- (사)제주도동굴연구소(2001), 「동굴연구」, 제1호
- (사)제주도동굴연구소(2002), 「동굴연구」, 제2호
- (사)제주도동굴연구소(2003a), 「만장굴 측량도」
- (사)제주도동굴연구소(2003b), 「북촌동굴 측량도」
- (사)제주도동굴연구소(2004a), 「수산굴 측량도」
- (사)제주도동굴연구소(2004b), 「소천굴 측량도」
- (사)제주도동굴연구소(2005a), 「빌레못동굴 측량도」
- (사)제주도동굴연구소(2005b), 「김녕굴 측량도」
- (사)제주도동굴연구소(2005c), 「용천동굴 측량도」
- (사)제주환경연구센터(1998), 「선흘벵뒤굴 학술조사보고서」
- (사)제주환경연구센터 · 서울대학교 지구환경시스템 지질공학연구그룹(1999), 「제주도 용암동굴 보전을 위한 학술조사보고서」
- 제주도(1989), 「빌레못동굴 학술조사보고서」, 제주대학교 교육과학연구소

- 제주도(2003), 「유네스코 지정을 위한 제주도자연유산지구 학술조사보고서」,
제주문화예술재단
- 제주도(2005), 「제주자연유산 등록신청서작성 학술용역보고서」, 한국지질자원연구원
· 경기대학교 산학협력단
- 제주도(2007a), 「만장굴 연도별 관람객 현황」
- 제주도(2007b), 「천연기념물로 지정된 제주도 용암동굴 보호구역 토지현황」
- 제주도(2007c), 「제주도기념물로 지정된 용암동굴 보호구역 토지현황」
- 제주일보, “제주의 新동굴탐사”, : 1996년 1월 1일~1999년 7월 13일
- 제주일보, “세계자연유산 가치 충분”, : 2007년 5월 19일
- (주)한림공원(1991), 「협재동굴지대 학술조사보고서」, 한국동굴학회
- 한국건설안전기술협회(2004), 「제주미천굴 안전진단보고서」
- 한국지질자원연구소(1995), 「제주도 지질의 개요」
- 한국보훈복지의료공단(2004), 「소천굴 종합학술조사 안전진단 보고서」,
(사)제주도동굴연구소
- 환경부(2002), 「전국 자연동굴 조사지침서 작성에 관한 연구보고서」, 한국동굴학회
- Commission on Volcanic Caves of International Union of Speleology(2007), “List of
the Longest Lava Tubes”, Newsletter No. 48.
- Cultural Heritage Administration of Korea · Jeju Special Self-governing
Province(2006), “Jeju World Natural Heritage Revised Management Plan”
<http://www.cha.go.kr/newinfo/index.action>

<Abstract>

Preserving and Managing Lava Tubes in Jeju Island

-With Special Reference to the Lava Tubes Designated as Natural and Local Monuments-*

Kim, Beom-Hoon

Geographic Education Major

Graduate School of Education, Cheju National University

Jeju, Korea

Supervised by Professor Kim, Tae-Ho

This thesis is to examine the present conditions of the lava tubes in Jeju Island and to suggest the ways of preserving and managing them. The results of study are summarized as follows.

First, even though the entrances of the lava tubes serve as pathways for maintaining the interior environments of the lava tubes, some of the lava tubes are neglected in management. Damage to the lava tubes is worrisome. It is necessary to take a scientific approach to manage the entrance.

Second, the management of land and vegetation on the ground is not systematic. The layer of sand dune which has been removed while making arable lands should be recovered and also the plants with deep roots into the ground must be weeded out. The best way is that the national government buy the private lands, and then manage them as public areas.

Third, the costal and mountain roads are very dangerous because they pass over the lava tubes. Some other roads should be newly constructed to replace them. In the roads passing the lava tubes, warning systems which alert danger have to be established as well as sign-stones need to be made which indicate the passing section of the lava tubes.

Fourth, a monitoring system of protection areas of cultural properties above the lava tubes has not been established. The protection areas of cultural properties are

* This thesis submitted to the Committee of Graduate School of Education, Cheju National University in partial fulfillment of requirements for the degree of Master of Education in August, 2007

supposed to be protected by the law, but the areas are too wide to be protected by a few personnel. If we make the residents serve as managers, we can establish a regular monitoring system.

Fifth, there are numerous places where joints and cracks have occurred and even areas into which the roots of plants have been deepened ranging from the ground surface to the interior roof of the lava tubes. Thus, it is urgent to make a diagnosis of stability of the lava tubes. We must start with monitoring the conditions of those areas.

Sixth, the analysis of measurement results of the atmospheric environments is arbitrarily conducted without using scientific criteria. The measuring time, less than a year, is not meaningful for examining the environmental changes. It makes sense to analyze the data gathered for 3-5 years to examine the change of atmospheric environments.

Seventh, the lighting apparatus of the lava tubes open to the public must have minimum green pollution, the over-propagation of green plants inside the lava tubes. The equipment has to provide the sense of mystery and novelty to visitors. In fact, the lava tubes in Jeju Island for the public have had green pollution for a long time. It is fortunate that repair work to the lighting equipment has almost come to a completion.

Eighth, damage and pollution of the public lava tubes are caused by the uncontrolled spectators. If we decide the appropriate number of visitors to the lava tubes per day and arrange guided tours within a limited time, we can minimize damage and pollution of the lava tubes.

The results discussed above can be used as a primary data for better ways of preserving and managing the lava tubes in Jeju Island, which are sure to be highlighted in their values as world natural heritages.

Finally, the following suggestions are to be added to the ways for more systematic preservation and management of lava tubes in Jeju Island.

First, a geographic information system for the lava tubes in Jeju Island should be established, called "Cave Geographic Information System", to cope with the underground environmental changes of the lava tubes.

Second, it is necessary for Jeju Island with many lava tubes to establish a tentatively named "Jeju Island International Lava Tube Center", to preserve and maintain the beautiful scenery of the lava tubes systematically, to keep the geological values of the lava tubes and to strengthen publicity acknowledgements.

감사의 글

부족함이 많은 저에게 「제주도 용암동굴의 보존 및 방안」이란 연구 논문의 완성도를 높이는데 있어 많은 도움을 주신 소중한 분들에게 지면을 빌어 감사의 인사를 드립니다.

먼저, 논문의 구상에서부터 완성에 이르기까지 다양한 연구방법론을 제시하며 제주도 용암동굴의 실태진단과 분석에 눈을 뜨게 해주시고 끝까지 항상 따뜻한 격려를 아끼지 않으신 김태호 교수님께 진심으로 감사의 마음을 전합니다. 그리고 대학원 입학 이전부터 지금까지도 늘 아낌없는 조언과 정보를 제공해주시면서 문화 지리학적 감각을 길러주신 송성대 교수님께 무한한 감사의 말씀을 드립니다. 또한 논문의 방향 모색과 참고문헌 활용법 그리고 지리학에 보다 큰 매력을 갖는 데에 이르기까지 많은 자료를 챙겨주시며 소주잔도 같이 기울여주신 손명철 교수님, 권상철 교수님, 오상학 교수님께 깊은 감사를 드립니다.

무엇보다 이 논문은 (사)제주도동굴연구소의 식구들이 있었기에 가능했습니다. 1995년 만장굴 길이조작을 취재하면서 제주도 용암동굴과 인연을 맺은 이래 지금까지 동굴탐사와 연구를 이끌어주신 연구소 소장이신 손인석 박사님, 논문 연구기간 내내 현지탐사와 자료 구성까지 함께한 친동생 같은 이규섭 부소장과 박화용·송지인 연구원에게 고마운 말씀을 전합니다.

또한 멀리 떨어져 있어도 항상 동굴탐사와 연구에 많은 자료를 제공해주신 강원대 우경식 교수님, 상지대 이광춘 교수님 그리고 논문 마지막 과정에 전체 흐름을 지도해주신 제주특별자치도 문화재과 최돈원 박사님에게도 감사를 드립니다.

특히 대학원 재학과 논문완성에 이르기까지 많은 배려를 해주신 저의 변함없는 선배님이신 제주일보 부영주 논설실장님, 그리고 어렵고 지칠 때 옆에서 굳굳하게 이겨내라고 격려를 해주신 김승석 변호사님과 이성주 고운이치과원장님, 오황영 제주약국 대표약사님, 김종석 제주정형외과원장님, 이진호 거북이한의원 원장님께도 감사드립니다.

물론 지난 5학기 동안 동기생으로 고락을 같이하며 힘이 되어준 고성원, 김란영, 이영임, 박정미, 임미정, 송미화 선생님과 만남은 저에게는 커다란 축복이었음을 잊지 않겠습니다.

끝으로 올해로 아흔을 맞으신 어머니님과 세훈 형님을 비롯한 가족, 특히 논문에 전념할 수 있도록 언제나 변함없는 애정과 응원을 아끼지 않은 사랑하는 아내에게 고마운 마음을 전합니다.

2007년 8월 김 범 훈