

우도지역 지질유산의 세계자연유산과 천연기념물로서의 가치분석 및 보전에 관한 정책연구

Evaluation of natural heritage values in U Island for the designation of World Heritage Site and natural monuments and strategic development for conservation

주관연구기관	사단법인 한국동굴연구소
연구책임자	이광춘
발행년월	2010-12
주관부처	문화관광부
사업관리기관	국립문화재연구소
NDSL URL	http://www.ndsl.kr/ndsl/search/detail/report/reportSearchResultDetail.do?cn=TRKO201200010620
IP/ID	14.49.138.138
이용시간	2017/11/03 14:10:13

저작권 안내

- ① NDSL에서 제공하는 모든 저작물의 저작권은 원저작자에게 있으며, KISTI는 복제/배포/전송권을 확보하고 있습니다.
- ② NDSL에서 제공하는 콘텐츠를 상업적 및 기타 영리목적으로 복제/배포/전송할 경우 사전에 KISTI의 허락을 받아야 합니다.
- ③ NDSL에서 제공하는 콘텐츠를 보도, 비평, 교육, 연구 등을 위하여 정당한 범위 안에서 공정한 관행에 합치되게 인용할 수 있습니다.
- ④ NDSL에서 제공하는 콘텐츠를 무단 복제, 전송, 배포 기타 저작권법에 위반되는 방법으로 이용할 경우 저작권법 제136조에 따라 5년 이하의 징역 또는 5천만 원 이하의 벌금에 처해질 수 있습니다.

우도지역 지질유산의 세계자연유산과 천연기념물로서의
가치분석 및 보전에 관한 정책연구

Evaluation of natural heritage values in Udo Island for the designation of
World Heritage Site and natural monuments and strategic development for
conservation

주관연구기관 : 사단법인 한국동굴연구소

국립문화재연구소

우도지역
가치분석 및 보전에 관한 정책연구
지질유산의 세계자연유산과 천연기념물로서의

2010

국립문화재연구소

주 의

1. 이 보고서는 국립문화재연구소에서 시행한 용역연구개발과제의 최종 보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 국립문화재연구소에서 시행한 용역연구개발과제의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개 하여서는 아니 됩니다.
4. 이 보고서 내용을 신문, 방송 등에 홍보할 시에는 해당 주관부서 또는 연구책임자와 반드시 사전에 상의하여 주시기 바랍니다.

제 출 문

국립문화재연구소장 귀하

이 보고서를 “우도지역 지질유산의 세계자연유산과 천연기념물로서의 가치분석 및 보전에 관한 정책연구 (사단법인 한국동굴연구소/이광춘)” 과제의 연구결과보고서로 제출합니다.

2010 . 12 . ??

주관연구기관명 : 사단법인 한국동굴연구소

주관연구책임자 : 이 광 춘

연구원 : 손 영 관

연구원 : 윤 석 훈

연구원 : 김 련

연구용역 제안요구서(RFP)			
세부사업	보존복원기술개발연구		
과제명	우도지역 지질유산의 세계자연유산과 천연기념물로서의 가치분석 및 보전에 관한 정책연구		
연구기간	2010. 8. 10~2010.12.17	연구비	61,809,090원
연구과제유형	기초연구(○)	응용연구()	개발연구()
연구필요성	<ul style="list-style-type: none"> ○ 대한민국 정부는 2007년 6월에 제주도 내 세 지역을 유네스코의 세계자연유산으로 등재했으며, 등재 당시 유네스코는 제주도 지역의 지질유산의 국제적 가치를 제고하기 위하여, 타 지역을 추가로 등재 신청할 것을 권유 ○ 우도지역은 해식 및 용암동굴, 응회구, 홍조단괴해빈 등 지질다양성이 탁월하여 세계자연유산으로서의 가치분석과 평가가 요구됨 ○ 따라서 우도지역의 다양한 지질유산에 대한 천연기념물 추가지정 및 체계적인 보존관리와 활용방안 수립이 필요함 		
연구목표	<ul style="list-style-type: none"> ○ 우도지역 지질유산의 국제적인 학술적 가치 확보 ○ 천연기념물 지정 대상지 선정 ○ 세계자연유산으로서의 가치 분석과 평가 		
주요 연구내용	<ul style="list-style-type: none"> ○ 우도의 지질 및 지형 등 지질다양성에 대한 자연유산 가치 조사 <ul style="list-style-type: none"> - 조사대상 : 홍조단괴해빈, 용암동굴, 해식동굴, 백색 및 흑색해빈, 사구, 응회구 및 기타 관련 유산 ○ 우도의 자연유산 가치가 있는 지역에 대한 보전관리방안 수립 ○ 천연기념물 및 세계자연유산 지정 후보지 제시 		
최종성과물	<ul style="list-style-type: none"> ○ 최종결과보고서 30부 ○ 요약보고서 10부 ○ 최종결과보고서 내용에 포함되는 사진자료 CD 3매 		
용역수행 시 요구사항	<ul style="list-style-type: none"> ○ 과제 종료 시 연구 산물은 국가소유 원칙(Raw data 포함) ○ RFP의 내용은 반드시 수행하는 것이 원칙 ○ 연구종료 후 2년 이내 연구기술에 대한 현장적용실적, SCI급 논문, 학진 등재지 논문 등 제출 원칙 		
기대성과 및 활용방안	<ul style="list-style-type: none"> ○ 문화재청 천연기념물과의 신규 천연기념물 지정을 위한 학술적 근거 제공 ○ 문화재청 국제교류과의 세계자연유산 확대 등재를 위한 타당성 확보 ○ 제주도 자연유산의 교육 및 경제적 부가가치 창출 		

목 차

I. 총괄연구개발과제 요약문

1. 국문요약문	7
2. Summary	9
3. 총괄연구과제 요약	11

II. 총괄연구개발과제 연구결과

제1장 총괄연구개발과제의 목적 및 필요성	13
1.1 총괄연구개발과제의 목표	13
1.2 총괄연구개발과제의 목표달성을	14
1.3 국내·외 기술개발 현황	15
가. 국내·외 기술개발 현황	15
나. 기존 연구와의 차별성	16
제2장 총괄연구개발과제의 내용 및 방법	17
2.1 현장조사	17
가. 소머리오름(응회구)	18
나. 홍조단괴	18
다. 사구(사질퇴적층)	19
라. 해빈	19
마. 동굴	19
바. 수중탐사	19
2.2 실태조사	20
가. 소머리오름(응회구)	20
나. 홍조단괴	20
다. 연령측정	20
라. 퇴적물의 입도 및 구성성분	21
마. 동굴생성물	21
바. 동굴수의 성분분석	21
사. 참고자료의 정리	21

제3장 총괄연구개발과제의 최종결과 및 고찰	22
3.1. 서언	22
3.2 우도지역의 일반현황	23
가. 우도의 위치, 행정 및 도항선 현황	23
나. 우도의 자연환경	25
다. 우도의 역사·문화유산 현황	26
라. 우도의 관광자원	30
마. 우도의 관광현황	39
3.3 우도지역 내 지질유산의 지질학적 특징	44
가. 소머리오름(옹회구)	44
나. 홍조단괴	53
다. 해빈	60
라. 사구	89
마. 동굴	99
바. 패총	113
3.4 우도지역 내 자연유산의 가치	115
가. 천연기념물적 가치	115
나. 세계자연유산적 가치	119
다. 지정구역에 대한 제안	124
3.5 우도지역 내 자연유산의 보전방안	127
가. 홍조단괴	128
나. 소머리오름(옹회구-화산지형)	129
다. 기타	130
3.6 우도지역 내 자연유산의 평가와 활용방안	133
가. 우도 자연유산의 평가	133
나. 우도의 활용방안	137
3.7 결론	140
제4장 총괄연구과제의 연구성과	142
4.1 총괄활용성과	142

4.2 총괄활용계획	145
제5장 총괄주요연구 변경사항	146
제6장 총괄참고문헌	147
제7장 총괄첨부서류	151

총괄연구개발과제 연구결과

I . 총괄연구과제 요약문

1. 국문요약문
2. Summary
3. 총괄연구과제 요약

II . 총괄연구과제 연구결과

- 제1장. 총괄연구개발과제의 목적 및 필요성
- 제2장. 총괄연구개발과제의 내용 및 방법
- 제3장. 총괄연구개발과제의 최종결과 및 고찰
- 제4장. 총괄연구개발과제의 연구성과
- 제5장. 총괄주요연구 변경사항
- 제6장. 총괄참고문헌
- 제7장. 총괄첨부서류

I . 총괄연구과제 요약문

1. 국문 요약문

연구과제명	우도지역 지질유산의 세계자연유산과 천연기념물로서의 가치분석 및 보전에 관한 정책연구		
중심단어	우도, 자연유산, 세계유산지역, 천연기념물, 해식동굴		
주관연구기관	사단법인 한국동굴연구소	주관연구책임자	이 광 춘
연구기간	2010. 8. 10 – 2010. 12. 17		

이 연구는 우도 내에 분포하는 여러 지질명소에 대한 자연유산적 및 학술적 가치를 조사하여, 이들에 대한 문화재와 세계자연유산으로서의 자격을 평가하는데 있다. 우도는 작은 제주도라고 불리워도 손색이 없을만큼 제주도 전체에 분포하는 다양한 특징들이 우도 섬 내에 나타난다. 우도 내에는 우도를 형성한 수성화산체인 소머리오름과 소모리오름이 만들어지면서 형성된 여러 화산지형이 분포한다. 수성화산 분출에 의해 형성된 응회구와 그 위에 흐른 용암, 그리고 용암 내에 발달되어 있는 용암동굴과 그 위에 다시 재동되어 퇴적된 화산쇄설물은 우도의 형성에 기본적인 지질과 지형을 이루고 있다. 플라이스토세에 이르러 수십 차례에 걸쳐 빙하기와 간빙기가 교호하면서 우도는 섬과 육지환경이 계속적으로 반복해 왔다. 우도 내에는 다양한 해안지형이 분포한다. 마지막 최대빙하기 이후에 해수면이 현재와 같이 상승한 6,000년 전부터 우도 주변의 천해환경에서는 많은 탄산염퇴적물이 형성되기 시작하였다. 특히 우도와 제주도 사이에 존재하는 수심이 20m 이내의 넓은 천해환경은 홍조단괴가 만들어지는 최적의 환경을 제공하였으며, 현재에도 많은 홍조단괴가 자라고 있다. 이렇게 만들어진 홍조단괴는 태풍에 의해 지속적으로 해안가로 운반되어 홍조단괴로만 이루어진 세계 유일의 해빈퇴적물을 형성하였다. 그 외에도 해안가를 따라 탄산염퇴적물로만 이루어진 하얀 모래의 하고수동 해빈, 화산쇄설물이 침식되어 퇴적된 검은 모래의 검멀레 해빈, 그리고 주변의 현무암이 침식되어 커다란 자갈로만 이루어진 톨칸이 해빈이 나타난다. 과거 해빈퇴적물은 바람에 의해 육지로 운반되어 탄산염퇴적물로 이루어진 사구층이 나타나며, 우도의 북쪽 해안가 지역에는 전형적인 해빈의 형성과 태풍의 영향으로 퇴적된 복합적인 성인을 가진 퇴적물도 나타난다. 화산쇄설물로 이루어진 퇴적층을 따라 발달한 해안 절벽에는 과도의 침식에 의해 형성된 해식동굴이 여러 개가 발견된다. 특히 수심 10m 부근에 나타나는 수중 해식동굴은 해수면의 변화를 반영하는 뛰어난 지형이라고 평가된다. 서광리 해변가에는 폐총이 분포하여, 우도가 자연과 인간의 조화를 보여주는 복합유산의 특징도 나타난다. 이러한 다양한 지질유산은 우도가 국내 최고의 지질다양성을 보여주는 장소라고 평가될 수 있다.

우도에 나타나는 여러 지질유산 중에 뛰어난 가치를 가지는 것으로 평가되는 것은 홍조단괴로 이루어진 해빈과 천해퇴적층, 그리고 화산쇄설물과 현무암질 용암으로 이루어진 소머리오름이다. 전세계에서 우도의 홍조단괴 해빈과 같이 거의 모든 퇴적물이 홍조단괴로만 이루어진 지역은 아주 드물다고 판단되며, 수중폭발에 의해 형성된 소머리오름은 제주도 내에 나타나는 다른 수성화산체인 성산일출봉, 수월봉, 송악산, 용머리 등과 함께 세계자연유산으로 등재될 자격이 있다고 판단된다. 현재 홍조단괴 해빈은 국가지정 천연기념물로 지정되어 있으며 소머리오름도 천연기념물로 지정할 필요가 있다. 이를 위해 우도 내의 여러 시설의 정비와 자연환경의 복원이 필요할 것으로 생각된다.

우도는 다양한 지질학적 특징을 보여주는 지질유산의 보고이다. 하지만 많은 관광객이 방문하는 우도에서 이러한 소중한 지질유산을 배우고 볼 수 있는 시스템은 거의 갖추어져 있지 않다. 하루속히 우도의 뛰어난 자연환경을 많은 사람들이 배우고 즐기며 관광할 수 있는 환경으로 바꾸어 나가야 할 것이다.

주관연구책임자 의견	
연구의 범위	<ul style="list-style-type: none"> ● 우도 내 지질유산의 분포조사 ● 우도 내 지질유산의 학술적 가치 조사 ● 홍조단괴, 소머리오름, 용암동굴, 해식동굴, 탄산염 사구에 대한 개략 학술조사 ● 지질유산 지구에 대한 문화재적 가치평가 ● 지질유산 지구에 대한 세계유산적 가치평가 ● 지질유산 지구에 대한 보전방향 수립 ● 지질유산 지구에 대한 교육적 활용방안 수립
연구의 한계점	<ul style="list-style-type: none"> ● 주어진 시간과 예산의 범위 내에서 홍조단괴의 분포를 파악하기 어려움 ● 주어진 시간과 예산의 문제점으로 홍조단괴의 성장속도 등 성장 기작에 대한 해석의 한계가 있음 ● 주어진 시간과 예산의 범위 내에서 홍조단괴의 외국의 분포지역을 문헌상으로만 조사함.
인용시 주의사항	<ul style="list-style-type: none"> ● 이 과제에 대한 인용은 국립문화재연구소와 연구책임자의 허락을 득해야 함

2. Summary

Title of Project	Evaluation of natural heritage values in U Island for the designation of World Heritage Site and natural monuments and strategic development for conservation		
Key Words	U Island, Natural Heritage, World Heritage Site, Natural Monument, Sea Cave		
Institute	Cave Research Institute of Korea	Project Leader	LEE, KWANG CHOON
Project Period	2010. 8. 10 – 2010. 12. 17		

The objectives of this study are to investigate natural heritage and scientific values of various geosites in Udo Island and to evaluate the sites as natural monuments and world natural heritages. Udo Island, which may well be called as a “Mini-Jeju Island”, includes a variety of geoheritages. Various landforms are present during the formation of the Someori Oreum formed by phreatomagmatic eruptions. The essential elements for the formation of the Udo Island are tuff cone and overflowing lava and overlying redeposited tuff sediments. U Island has been connected to Jeju Island and has become isolated as an island due to numerous sea-level fluctuations during the Pleistocene Epoch. Various coastal landforms are also present. About 6,000 years B.P. when sea-level rose almost to the present position due to deglaciation since Last Glacial Maximum, carbonate sediments have been being formed and deposited in shallow marine environment around U Island. Especially, very shallow broad shelf, less than 20 m in water depth, between U Island and Jeju Island, has provided perfect conditions for the formation of rhodoids. Significant amounts of rhodoids are now forming in this area. Occasional transport of these rhodoids by typhoons produced the unique beach environment whose sediments are entirely composed of rhodoids. Additional features are the Hagosudong Beach with white carbonate sands, the Geommeole Beach with black tuffaceous sands and Tolkani Beach with basalt cobbles and boulders. Near the Hagosudong Beach, wind-blown sands in the past produced carbonate sand dunes. On the northern part of the island, special carbonate sediments are present, because they were formed by composite processes such as beach-forming process and transportation by typhoons. Several sea caves are another feature of U Island, and they have been formed by wave and typhoon erosion within tuffaceous sedimentary rocks. Especially, one sea cave found at the 10 m deep is very special because it indicates the sea-level fluctuations in the past. Shell mounds in U Island may well represent the mixed heritage feature on this island.

The most valuable geoheritages investigated around U Isalnd are rhodoid depostis on beaches and shallow sea, and Someori Oreum composed of volcanoclastic deposits and basalt lava. Beach and shallow marine sediments, composed only of rhodoids, appear to be very rare in the world. Also, natural heritage values of the Someori Oreum are outstanding, together with other phreatomagmatic tuff cones such as Suwolbong, Songaksan and Yongmeori. Thus rhodoids deposits and Someori Oream are worth being nominated as UNESCO World Natural Heritages. Designation of Someori Oreum as Natural Monument should be a prerequisite for this procedure. However, rehabilitation and restoration of natural environments should be necessary for the goal.

U Island includes numerous valuable geoheritages. However, proper program for geotourism is absolutely lacking. It is very urgent to establish educational tourism program in order to provide pleasant and indelible visit to U Island.

Opinion of Principal Investigator	
Scope	<ul style="list-style-type: none"> ● Distribution of geoheritages in U Island. ● Scientific evaluation of geoheritages in U Island ● Preliminary scientific investigation of rhodoids, Someori Oreum, lava tube caves, sea caves and carbonate sand dunes, etc. ● Heritage evaluation of geosites ● Evaluation of geosites as World Natural Heritages ● Conservation plan for geosites ● Educational tourism plan for geosites
Limitation	<ul style="list-style-type: none"> ● Distribution of rhodoids in the study area cannot be investigated due to the limited investigation period. ● Rate of rhodoids and their formation processes cannot be investigated due to the limited investigation period and budget. ● Distribution of rhodoids in the world could be obtained only from published literature due to the limited investigation period.
Direction For Citation	<ul style="list-style-type: none"> ● Citation of this report is only possible with the permission of National Research Institute of Cultural Heritage and Primary Investigator.
Supervisory Office	

3. 총괄연구과제 요약

과제 고유번호	NRICH-1017-B18F		공개가능 여부
단위과제명	보존복원기술개발연구		
과제명	우도지역 지질유산의 세계자연유산과 천연기념물로서의 가치분석 및 보전에 관한 정책연구		
연구책임자	성명	이광춘	주민등록번호
	소속기관명	사단법인 한국동굴연구소	
	전자우편		전화번호

○ 연구목표

이 연구는 우도 내에 있는 지질유산의 분포와 자연유산적 및 학술적 가치를 평가하는 것이 목적이다. 또한 우도 내에 분포하는 여러 지질유산 중에서 천연기념물이나 세계자연유산으로 등재될 가치가 있는 자연유산을 발굴하여 이에 대한 방법과 제언을 하는 것이 또 다른 목적으로 아울러 우도 내에 분포하는 많은 지질유산을 어떻게 교육적인 관광자원으로 활용할 수 있는지를 제시하는 것으로 이 연구의 목적이다.

○ 연구내용

이 연구를 통하여 우도 내에 분포하는 여러 지질유산의 종류, 분포, 학술적 가치, 자연유산적 가치를 평가하였다. 우도에는 이미 천연기념물로 지정되어 법적인 보호를 받고 있는 “홍조단괴 해빈”을 비롯하여, 소머리오름, 다양한 퇴적물로 이루어진 해빈(백색 퇴적물의 하고수동 해빈, 흑색 퇴적물의 검멀래 해빈, 역질 퇴적물의 톨칸이 해빈), 과거에 해빈퇴적물이 육지로 이동한 탄산염 사구 퇴적층, 탄산염 폭풍퇴적층, 용암동굴, 해식동굴이 나타난다. 특히 해안선을 따라 발달한 해식동굴 중에서 수중 약 10미터 지점에 위치하는 해식동굴은 국내에서 최초로 발견된 것이라고 평가된다. 우도에 분포하는 지질유산 중에서 “소머리오름”은 국가지정 천연기념물로 지정할 가치가 있다. 이 소머리오름 지역에는 여러 개의 해식동굴과 검멀래 해빈, 톨칸이 해빈이 포함된다. 조사결과, 현재 천연기념물로 지정된 “우도 홍조단괴 해빈”과 “소머리오름”은 세계자연유산으로 등재할 수 있는 가치가 있는 것으로 판단되었다. 하지만 이들을 세계자연유산으로 신청하기 위해서는 여러 준비단계가 필요한 것으로 제안되었다. 우도에는 현재 많은 관광객이 방문하고 있다. 하지만 이들이 우도의 가치를 느끼고 갈 수 있는 교육관광 프로그램이 매우 부족한 실정이다. 이 연구에서는 우도를 찾는 관광객이 우도를 배우고 갈 수 있는 여러 교육관광에 대한 정책이 제안되었다.

○ 연구성과(응용분야 및 활용범위포함)

이 연구에서는 우도 내에 분포하는 지질유산 중에서 “소머리오름”을 천연기념물로 지정할 것을 제안하고 있다. 또한 “소머리오름”과 현재 천연기념물로 지정되어 있는 “홍조단괴 해빈”을 세계자연유산으로 신청할 것을 제안하고 있다. 즉 이 두 지역에 대한 자연유산적 가치를 발굴하여 이에 대한 정책적 제안을 하고 있는 것이 이 연구의 가장 큰 성과라고 할 수 있다. 또한 이 연구를 통하여 홍조단괴가 현재 성장하고 있는 천해환경을 실제로 조사한 결과, 우도와 제주도 사이의 넓은 지역에 홍조단괴가 성장하고 있을 가능성을 확인하였고, 이는 국내에서 유일한 획기적인 평가라고 할 수 있다. 또한 이 결과는 현재 문화재보호구역을 확장해야 하는 당위성을 보여준 결과이다. 소머리오름은 이제까지 제주도 일원에 분포하는 360여개의 오름 중의 하나라는 것이 학계의 인식이었으나, 수성화산체로서 다양한 화산지형과 학술적 가치가 발굴된 것이 이 연구의 중요한 성과라고 판단된다. 또한 이 두 지역을 세계자연유산으로 신청하기 위해 앞으로 추진해야 할 단계를 제시한 것은 대한민국 정부가 추가적으로 세계자연유산 지역을 확보할 수 있는 좋은 연구를 수행했다고 평가할 수 있다.

○ 총괄 참여연구원

세부과제 번호	성명	주민등록번호	세부과제 번호	성명	주민등록번호
1	이 광 춘				
1	손 영 관				
1	윤 석 훈				
1	김 련				
1	김 정 숙				
1	김 영 진				
1	이 종 희				
1	최 재 훈				
1	박 재 석				
1	홍 석 우				
1	김 봉 현				
1	황 태 현				
1	허 남 국				
1	박 현 영				

Key words	한글	우도	자연유산	세계유산지역	천연기념물	해식동굴
	영문	U Island	Natural Heritage	World Heritage Site	Natural Monument	Sea Cave

II. 총괄연구과제 연구결과

제1장 총괄연구개발과제의 목적 및 필요성

1.1 총괄연구개발과제의 목표

자연유산 중에서 지질유산이란 우리가 선조로부터 물려받은 유산 중에서 지질학적 가치 있는 유산을 말한다. 이중에는 경관적으로 가치가 있는 지질유산도 있지만 순수하게 지질학적으로만 중요한 지역도 포함된다. 유네스코에서 지정하는 세계유산 중에서도 캐나다의 Joggins Fossil Cliffs 지역은 경관적으로는 거의 볼 것이 없지만 그 지역이 가지는 지질학적인 가치 때문에 지정된 경우이다. 지질유산은 지구의 역사를 우리에게 전달할 수 있는 아주 귀한 자료를 암석이 갖고 있다. 단층, 습곡과 같은 구조적인 운동(tectonic activity)으로부터, 화석과 같이 지구환경의 변화와 진화에 대한 증거를 가지고 있는 것 까지 지질유산의 종류와 범위는 매우 다양하다. 최근 경제적인 이득을 추구하고 있는 사회의 요구에 따라 지켜야 할 소중한 지질유산이 계속해서 사라져가고 있는 것은 아주 안타까운 일이기도 하다. 연구진들이 지난 수십 년 동안 나름대로 지질조사를 수행하면서, 꼭 보전되어야만 하는 여러 지질유산이 사라진 경우를 여럿 목격한 바 있다. 그동안 우리는 이러한 지질유산을 보전하기 위한 정책 수립이나 환경보호에 너무 소홀해 왔던 것이 사실이다. 하지만 경제적으로 선진국으로 나아가는 대한민국이 이제는 우리가 물려받은 지질유산을 소중하게 느끼고 지켜야할 시기에 왔다는 생각이다.

한반도와 인근지역에는 선캄브리아기의 변성암류로부터 신생대 제4기 화산암류 및 퇴적암류에 이르기까지 아주 다양한 암석이 나타난다. 이들 암석 내에는 한반도의 지질학적 역사 기간인 수십 억 년에 이르는 우리 국민이 살고 있는 땅의 역사가 담겨 있다. 생물자원과는 달리 지질유산은 짧은 기간 내에 새로이 재생될 수가 없기 때문에 한 번 훼손될 경우, 단시일 내에 복원되는 것은 불가능하다. 그럼에도 불구하고, 그동안 한반도 내 대부분의 지역에서는 개발논리에 밀려 소중한 자연유산이 엄청나게 훼손되어 왔다. 1980년대에 이르러 정부와 여러 단체들, 그리고 국민들은 자연보전의 중요성을 깨닫기 시작하였으나, 대부분의 환경정책이 주로 생물자원의 보호와 복원을 위해 세워진 것이 현실이다. 한반도는 인근 중국이나 일본에 비해 영토가 작지만, 좁은 반도 내에 다양한 지질유산을 갖고 있다. 암석의 생성시기도 선캄브리아시대, 고생대, 중생대, 신생대에 이르는 암석이 모두 분포하며, 암석의 종류도 퇴적암, 화성암, 변성암류가 모두 나타난다. 특히 환경변화를 잘 알려주는 화석도 퇴적암 내에 다수 포함되어 있어서 한반도의 환경변화를 추정하는데 매우 중요한 자료를 제공하고 있다. 이렇게 지질유산이 가지는 중요한 의미에도 불구하고 아직도 국내에서 지질유산을 대하는 보전대책이나 관리계획은 선진국의 수준에 비해 많이 부족한 편이다. 다행히도 문화재청과 지방자치단체에서는 학술적, 자연유산적으로 가치가 있는 여러 지질명소나 경관적 가치가 큰 명승지역을 국가지정 천연기념물이나 명승, 지방문화재 등으로

지정하여 보전하고 있으나, 아직도 국내에는 지정되지 않고 보호받고 있지 못한 소중한 지질유산이 다수 있을 것으로 전문가들은 추정하고 있다.

이 과제는 국립문화재연구소에서 국내에 분포하고 있는 자연유산 중 지질학적인 가치가 있는 지질명소(geosites)와 지질유산(geoheritages)에 대한 최초의 학술용역으로 그 의미가 매우 크다. 이 연구에서는 우도 내에 분포하는 여러 지질명소에 대한 자연유산적 및 학술적 가치를 조사하여, 이들에 대한 문화재와 세계자연유산으로서의 자격을 평가하는데 있다. 우도에는 아주 다양한 지질유산이 존재하는 것으로 학계에 알려져 왔으나, 이들의 학술적 및 자연유산적 가치에 대해서는 거의 조사된 바가 없다. 현재 우도에는 2004년에 천연기념물 제438호로 지정된 “우도 홍조단괴 해빈”이 있다. 이 해빈도 그동안 제주도 내에서는 “산호사(珊瑚砂)”로 알려져 왔으나, 최근에 해빈의 구성물이 산호사가 아닌 홍조단괴라고 수정되었다(김진경 외, 2003). 홍조단괴 이외에도 소머리오름, 용암동굴 등의 다양한 화산지형이 우도 내에 분포하며, 여러 해빈에서 백색, 흑색 모래와 자갈로 이루어진 해빈이 분포하기도 한다. 또한 우도 내에는 탄산염 사구퇴적층이 분포하고 있으며, 화산쇄설암으로 이루어진 해안 절벽에는 해식동굴이 분포하고 있어서 그야말로 국내 최고의 지질다양성(geodiversity)를 보여준다. 이러한 다양한 지질유산에 대한 개략적인 학술조사를 실시하여, 천연기념물 지정이나 세계자연유산으로 등재할 수 있는 후보지를 선정하고, 앞으로 세계자연유산으로 등재하기 위한 기본적인 추진방향을 설정하며, 이 지역을 찾는 많은 관광객이 우도 지역을 즐기며 배울 수 있는 교육관광의 기본적인 프로그램을 만들 수 있는 방향을 제안하는 것이 이 연구의 목격이다.

1.2 총괄연구개발과제의 목표 달성을

우도 지역 내 지질·지형에 대한 자연유산적 가치 조사를 위해 우도 지역의 세계자연유산지구로서의 타당성을 조사하였으며, 우도 내 자연유산지역의 천연기념물 지정에 대한 연구, 홍조단괴 해빈의 분포와 성인에 대한 기초자료 수집, 용암동굴의 분포와 자연유산적 가치 평가, 백색 및 흑색 해빈의 특징과 자연유산적 가치 평가, 해식동굴의 분포와 자연유산적 가치 평가, 사구 및 응회구에 대한 자연유사적 가치를 조사하였다. 또한, 패총에 대해서 문화유산적 가치를 조사하려고 하였으나 개발에 의해 주변 지역이 주차장으로 변하여 흔적만 남아 있을 정도였기 때문에 조사는 거의 불가능하였다. 이번 연구를 통해 자연유산적 가치가 있다고 평가되는 지역에 대해서는 보전방안을 수립하고 자연유산에 대한 지속 가능한 활용방안, 교육을 목적으로 한 활용방안, 자연유산을 활용한 지질교육관광에 대한 방안, 안내판 설치에 대한 방안을 제시하였다.

이번 연구는 당초에 계획한 연구내용을 기간 내에 100% 달성하였으며(표 1-1), 이러한 연구 자료는 문화재청의 신규 천연기념물 지정을 위한 학술적 근거를 제공할 뿐만 아니라, 세계자연유산 확대 등재를 위한 타당성 확보, 제주특별자치도 자연유산의 교육 및 경제적 부가가치를 창출 할 것으로 판단된다.

표 1-1. 총괄연구개발 월별 추진 일정 및 실적표

구분	월별 추진 일정					비 고
연구내용	8	9	10	11	12	
세계자연유산지구로서의 타당성 조사						100%
자연유산지역의 천연기념물 지정에 대한 연구						100%
홍조단과 해빈의 분포와 성인에 대한 기초자료 수집						100%
용암동굴의 분포와 가치평가						100%
백색 및 흑색 해빈의 특징과 가치						100%
해식동굴의 분포와 자연유산적 가치평가						100%
사구에 대한 자연유산적 가치						100%
옹회구에 대한 자연유산적 가치						100%
패총의 문화유산적 가치 조사 (분포지역, 발견지)						100%
보전방안						100%
활용방안						100%

계획

실적

1.3 국내·외 기술개발 현황

가. 국내·외 기술개발 현황

국내에는 지질, 지형, 생물 등의 자연유산적인 가치가 인정되어 천연기념물이나 지방문화재로서 지정된 것이 다수 있다. 이제까지 이러한 자연유산을 지정하기 위해 대부분 수차례의 현지 실사나 개략적인 학술조사 의존해온 것이 사실이다. 이러다보니 한 지역의 자연유산이 천연기념물로서의 가치를 얼마나 가지고 있는지에 대한 객관적, 학술적 조사가 아주 미흡할 수 밖에 없었다. 이 연구는 이러한 의미에서 매우 중요한 의미를 가지고 있다. 왜냐하면 현재 국내에서는 우도에 대한 자연유산적 가치를 평가한 연구결과가 거의 없으며, 우도 내의 지질유산을 조사하고 발굴하여 천연기념물적이 가치에 대한 평가를 위한 국내 최초의 정책적 연구이기 때문이다. 또한, 2007년 “제주도 화산지형과 용암동굴”이 유네스코의 세계자연유산으로 등재되면서, 유네스코는 제주도 내의 다른 화산지형을 추가로 등재 할 것을 권고하였다. 하지만 이를 위해 제주특별자치도에서는 아무런 조사도 수행된 바가 없으며, 대한민국 정부에서도 제주도 내의 지역을 추가로 지정하기 위한 정책적, 학술적 연구가 시행되지 않았다. 이 연구를 이러한 면에서 매우 중요한 의미를 갖는다고 평가된다. 또한 이 연구는 자연유산 지역 중에서 국가지정 문화재

로 지정된 지질·지형학적 가치를 가지는 지역에 대한 보전방향과 활용대책을 제안하고 있으며, 이러한 연구도 국내에서는 아직 시행된 적이 없는 최초의 연구로 평가된다. 하지만 선진국에서는 세계자연유산으로 등재하거나 천연기념물로 지정하기 전에 충분한 학술연구를 수행하는 것이 당연한 단계로 여겨지고 있다. 또한 한 지역이 천연기념물로 지정될 경우, 그 지역을 지속적으로 보전하고 활용하기 위한 관리계획과 그 지역에 대한 지속적인 모니터링은 반드시 수행되어야 할 단계로 선진국에서는 인식되고 있다.

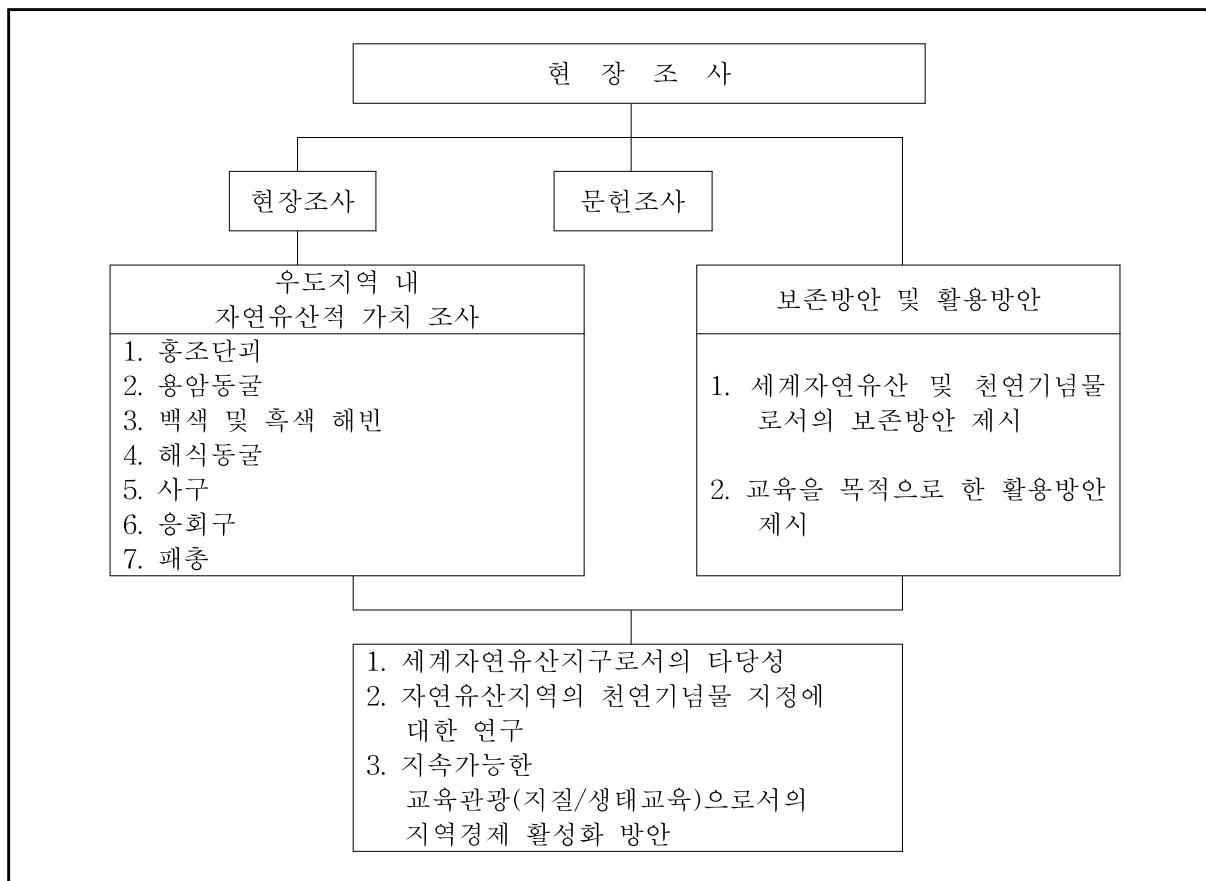
나. 기존 연구와의 차별성

이미 언급하였듯이, 이 과제와 같이 한 지역의 자연유산을 평가하여 이 자연유산이 천연기념물 적인 가치, 세계자연유산으로서의 가치를 가지는 정책적 연구는 국내에서 아직 수행된 바 없다. 이 연구에서는 우도 내에 분포하는 홍조단괴 해빈, 백색 및 흑색퇴적물로 이루어진 해빈, 탄산염퇴적물로 이루어진 사구, 용암동굴, 해식동굴, 폐총(현재는 주차장으로 개발되어 분포지를 확인할 수 없었음), 응회구와 같은 자연유산을 조사하여 세계자연유산 지역으로서, 천연기념물 보전지역으로서 지정이 가능한지에 대한 타당성 검토하였으며, 우도지역 이들 여러 자연유산을 친환경적으로 보전할 수 있는 방안과 교육관광을 통한 활용방안을 수립하였다.

제2장 총괄연구개발과제의 내용 및 방법

이번 연구에서는 우도지역 내 지질 및 지형에 대한 자연유산적 가치, 우도 내 자연유산적 가치가 있는 지역에 대한 보전방안 수립 및 활용방안 제시, 연구개발의 목표 달성과 문제점 해결을 위한 기술정보 및 전문가 활용방안, 국내·외 전문가 혹은 연구기관 등과의 협조방안 및 연구개발방법론 등을 구체적으로 기술하였다. 이번 연구를 위해 수행된 연구방법은 다음과 같다(표 2-1.)。

표 2-1. 총괄연구개발의 추진체계



2.1 현장조사

현장조사는 국립지리원에서 발간하는 1:50,000, 1:25,000 및 1:5,000 지형도, 포털사이트 다음(Daum)과 구글(Google)에서 제공하는 위성사진을 참고하여 현장조사를 실시하였다. 실버컴퍼스(SILVA SYSTEM TYPE S NL)와 클리노컴퍼스(clinocompass, 일본 Showa Sokki Co.), GPS (Global Positioning System; GPS III PLUS와 V PLUS)를 이용하여 우도 내 자연유산적 가치가 있는 지역의 분포를 조사하였다.

가. 소머리오름(옹회구)

우도 옹회구의 퇴적단위 구분과 퇴적작용 해석 그리고 지화학 분석용 시료의 채취를 위해 여러 차례의 현장조사가 이루어졌다. 현장조사는 국립지리원에서 발간한 1:5,000 지형도를 바탕으로 이루어졌다. 접근 가능한 노두에 대해서는 도보로 접근하여 자세한 퇴적학적 관찰을 하였으며, 접근이 불가능한 해안절벽 노두에 대해서는 선박을 임대하여 원거리에서 지층의 형태를 관찰하였다. 퇴적학적 기재는 퇴적구조, 입자의 크기와 형태, 기공함량, 층의 형태 등에 대해 조사되었으며, 이를 바탕으로 퇴적학적 해석이 이루어졌다. 또한 옹회암과 용암의 암석기재를 위해 여러 장소에서 대표적인 암상을 지닌 시료들을 채취하였다.

나. 홍조단괴

이 연구에서는 우도와 성산 사이의 천해환경에서 홍조단괴의 분포 여부를 조사하고 홍조단괴의 조직적 관찰을 통해 그 성장에 대한 기본적인 기작을 파악하고자 하였다. 이를 위해 성산과 우도 사이의 천해 지역 중에서 두 지역을 선정하여 직접 스쿠버다이빙을 실시하여 홍조단괴의 분포를 확인하였다. 다이빙 결과 두 지점 모두에서 홍조단괴가 성장하고 있는 것을 발견하였으며, 그 크기는 아주 다양하게 관찰되었다. 현장에서 홍조단괴의 시료를 채취하였다(그림 2-1).



그림 2-1. 연구지역 내 시료채취 지점(홍조단괴)

다. 사구(사질퇴적층)

우도 내에 분포하는 사구와 폭풍퇴적층을 이루고 있는 탄산염퇴적물의 특성을 밝히기 위하여 우도내 2개 지점(UDO-D1~19, UDO-GS-D1~14)을 선정하여 시료를 채취하였다. 시료를 채취하기 위하여 삽을 이용하여 퇴적물의 단면을 절개하였으며, 절개한 단면을 스파츌라(spatula) 등을 이용하여 평평하고 깨끗하게 만든 후, 육안으로 단면을 관찰하였다. 퇴적물의 단면을 관찰하고 시료를 채취한 후에는 최대한 원래의 모습으로 복원시키기 위해 노력하였다. 채취된 시료는 각 분야 전문가에 의해 연령측정 및 광물조성에 대한 조사를 실시하였다.

라. 해빈

우도 내 분포하는 해빈의 특성을 밝히기 위하여 하고수동 해수욕장(HGS1~3)과 검멀레 해안(GMR1)의 2개 지점에서 시료를 채취하였다. 고수동 해수욕장의 시료는 파도가 끝나는 지점을 0m로 하여 육지쪽으로 10m, 20m 간격으로 3개의 시료를 채취하고 동쪽으로 20m, 40m 떨어진 지점에서 같은 방법으로 각각 3개씩 총 9개의 시료를 채취하였다. 검멀레 해안의 시료는 같은 방법으로 0m, 3m, 6m, 9m, 12m 간격으로 채취하여 총 5개의 시료를 채취하였다. 시료 채취 시 주변 오염 물질을 제거 후 약 500g의 모종삽을 이용하여 채취하였다. 채취된 시료는 각 분야 전문가에 의해 광물조성에 대한 조사를 실시하였다.

마. 동굴

우도 내 분포하는 용암동굴 및 해식동굴 중 3개 지점의 용암동굴(동터진굴, 포겟동산굴, 조일리동굴)과 2개 지점의 해식동굴에 대해 측량도를 작성하였으며, 이용된 측정기기는 프리즘 아리다드 본체(E-Type No.9430), 나침반(silva compass), 클리노컴퍼스, 레이저거리 측정기(Leica, DISTOTM lite⁵), 줄자(100m, 50m, 30m, 8m), 막대자(5m) 등이 이용되었으며, 모든 지점에 대한 후시(뒤를 돌아보는 것)를 포함한 측량을 실시하여 측량도의 오차를 최소화 하였다. 이번 연구에서 실시된 동굴의 측량도는 토목측량이 아니기 때문에 오차가 있을 수 있다.

또한, 조일리동굴 내 동굴생성물의 조직을 관찰하기 하기 위하여 시료를 채취하여 동굴생성물 내 광물조성에 대한 조사를 실시하였다.

바. 수중탐사

우도의 홍조단괴 분포지역(서빈백사)에서 종달리 방향의 바다 속에 분포하는 홍조단괴를 채취하기 위해 수중장비를 이용하였다. 이용된 장비는 우도 지역의 거센 조류를 고려하여 다이버의 안전과 효율적인 조사를 진행하기 위해 CUDA 수중 스쿠터(미국 X-tras사)를 사용하였다. 또한, 다이버의 효율적인 조사를 위해 테크니컬 전용 호흡기(Apex, 영국)와 부력 조절기(DRX-MIDIR, 한국)를 사용하였다. 또한 다이버의 체온 유지와 부상방지를 위해 드라이슈트(DRX-DRY, 한국)을 착용하였으며 동굴탐사에는 시계

확보를 위해 고성능 수중 랜턴인 50W H.I.D.(Salvo, 미국)를 사용하였고 다이버의 감압과 잠수 계획을 위해 테크니컬 전용 컴퓨터인 X-1(liquivision, 캐나다)를 사용하였다. 또한, 수중해식동굴 중 우도동굴 답사를 실시하였으며 수중해식동굴 내부 끝 지점의 표층수(sea cave 1)와 내부와 외부방향의 중간지점의 상부(수심 약 5m 지점; sea cave 2)와 하부(수심 약 8m 지점; sea cave 3)에서 각각 동굴수를 채취하였다.

2.2 실내조사

가. 소머리오름(옹회구)

채취한 시료는 박편제작을 한 후 편광현미경을 이용하여 암석의 조암광물과 조직을 관찰하였다. 옹회암 시료의 경우 에폭시를 이용하여 단단히 굳힌 후 박편을 만들었다.

주원소 및 미량원소 분석에 이용된 시료는 LINK systems LZ5 detector, QX-2000 pulse processor, 그리고 ZAF-4/FLS matrix correction software를 이용하여 JEOL JX-5A 전자현미분석기로 분석이 이루어졌다. 주원소 및 미량원소 분석은 Siemens SRS3000 spectrometer를 이용해 X-선 형광분석을 하였다. 미량원소의 경우 36개의 국제표준시료가 보정에 이용되었고, 자료추출을 위해서는 Siemens SPECTRA 3000 software를 이용하였다. 미량원소 분석은 Australian National University의 Research School of Earth Sciences에서 LA-ICP-MS에 의해 이루어졌다.

나. 홍조단괴

채취된 시료는 헛빛에 말려서 건조시킨 후에 실내로 이동하였다. 홍조단괴가 부서질 위험이 있기 때문에 홍조단괴를 직접 박편으로 제작하기 전에 수지(resin)을 사용하여 홍조단괴를 경화(impregnation)시켰다. 경화된 홍조단괴를 박편으로 제작하여 그 조직을 관찰하였다. 채취된 시료 중에서 크기가 큰 홍조단괴를 하나를 선택하여 이 홍조단괴에 대한 연령측정을 실시하였다. 석순의 단면 관찰 결과를 토대로 $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ 연령측정 지점을 선택하였으며, 마이크로드릴(micro-drill)을 이용하여 미시료를 채취하였다. 연령측정은 미국의 미네소타 대학(University of Minnesota)에서 TIMS(Thermal Ionization Mass Spectrometry)를 이용하여 분석하였다.

다. 연령측정

우도 내 분포하는 사구와 폭풍퇴적층의 형성시기를 알아보기 위하여 사구와 폭풍퇴적층의 기반을 이루는 토양층(UDO-GS-D1, UDO-D1)의 절대연령을 측정하였다.

이번 연구에서 사용한 절대연령 측정 방법은 시료 내에 포함되어 있는 ^{14}C 의 반감기를 이용한 방사성 탄소연대측정법(Radiocarbon age dating)으로 분석하였으며, 정확한 분석을 위해서 산성과 염기성의 시약을 이용해 전처리를 한 후 Accelerator Mass Spectrometry Technique (AMS Technique) 방법으로

분석하였다. 분석은 미국의 Beta Analytic, Inc.에 의뢰하였다.

라. 퇴적물의 입도 및 구성성분

우도 내 분포하는 사구와 폭풍퇴적층에서 채취한 시료(UDO-D1~19, UDO-GS-D1~14)의 입도분석은 체분석(sieving)을 통해 분류하였으며, 해빈퇴적물(HGS1~3, GMR1)의 경우는 입도분석을 하기 전의 시료 무게와 말린 후의 시료 무게를 재서 퇴적물의 수분함량을 분석하였다. 분류한 퇴적물을 epoxy를 이용하여 경화시킨 후 박편을 제작하였다. 제작된 박편을 편광현미경(Nikon, Optiphot-pol) 하에서 관찰하여 퇴적물을 이루고 있는 구성성분을 구별하였다.

마. 동굴생성물

채취된 동굴생성물의 광물조성을 알아보기 위하여 강원대학교 공동실습관에서 고분해능 X-선 회절분석기 HRXRD(네덜란드, PANalytical, X'pert-pro MPD)를 이용하여 분석하였다. 또한, 동굴생성물들의 조직을 알아보기 위해 epoxy를 이용하여 경화시킨 후에 박편을 제작하였으며, 편광현미경(Nikon, Optiphot-pol) 하에서 관찰하였다.

바. 동굴수의 성분분석

수중탐사를 통해 채취한 동굴수(sea cave 1~3)의 성분분석은 ICP-AES (Inductively Coupled Plasma Spectroscopy)를 이용하여 Ca, K, Mg, Na, Sr 성분에 대해 기초과학지원연구원(KBSI) 서울분소에서 분석하였다.

사. 참고자료의 정리

우도지역과 관련된 인터넷 자료를 검색하였으며, 관련 문헌자료(제주도 천연동굴 일제조사 보고서, 2003; 우도지, 2007)와 전문서적 등의 자료를 참조하였다.

제3장 총괄연구개발과제의 최종결과 및 고찰

3.1 서언

우도는 오래전부터 제주도의 가장 뛰어난 관광지로 알려져 온 곳이다. 특히 최근에 이르러 우도로 갈 수 있는 교통편이 편리해 지면서 많은 관광객이 우도를 찾고 있다. 우도의 가장 유명한 관광지는 2004년 천연기념물로 지정된 “우도 홍조단괴 해빈”과 “소머리오름”이다. 특히 홍조단괴 해빈은 그동안 수십 년 간 산호가 부서져서 만들어진 “산호사(珊瑚砂)”로 알려져 있었으나, 2003년에 강원대학교 지질학과 우경식 교수팀이 우도의 서빈백사가 산호사가 아닌 홍조단괴라고 지적하면서 바른 정보를 가지게 되었다(김진경 외, 2004). 이러한 사실은 그동안 국가가 소중한 자연유산에 대한 정확한 기초지식을 가지지 못하고 그들의 진정한 가치를 전혀 몰랐다는 것을 의미한다. 소중한 자연유산을 가진 지역을 단순히 관광지로서 수입만을 추구한 지방정부의 책임도 매우 크지만, 무엇보다 안타까운 것은 정확한 학술적인 지식을 가지지 않는 학자들이 무책임하게 현지를 방문해서 책임도 질 수 없는 전문가로서의 실언을 한 결과라고 생각된다. 나중에 홍조단괴 해빈의 특징과 가치가 밝혀진 것은 그나마 매우 다행스러운 일이다.

우도 내에는 이들 이외에도 화산지형 중의 하나인 용암동굴이 다수 분포하고 해안선을 따라 여러 퇴적기원의 퇴적층이 분포한다. 또한 분석구가 해안에 있는 지역에는 다수의 해식동굴이 발달하여 그야말로 국내 최고의 지질다양성을 보여주고 있다. 하지만 우도를 찾는 수많은 관광객은 이러한 우도의 가치를 전혀 느끼고 배우지 못하고 우도를 단지 산책로나 놀이공원의 수준으로 찾고 있는 것이 매우 안타까운 현실이다. 따라서 이 연구에서는 아직 발굴되지 않는 우도의 자연유산적 가치를 발굴하여 가치있는 지질유산에 대한 기초적인 학술조사를 수행하였다. 조사의 대상은 그 지질유산의 문화재적 가치 여부와는 관계없이 우도 내에 분포하는 모든 지질유산에 대한 개략적인 조사를 수행하였다. 그 중에서 천연기념물적이나 세계자연유산적인 가치가 있는 두 지역에 대해서는 좀 더 정밀한 조사를 제안하고 있다. 특히 이 두 지역을 세계자연유산으로 지정하기 위해서는 많은 연구와 정비, 그리고 치밀한 관리계획의 수립이 선행되어야 할 것으로 보인다.

3.2 우도지역의 일반 현황

가. 우도의 위치, 행정 및 도항선 현황

우도(牛島; 소섬)는 제주도(濟州島)의 62개 부속도서 중 제일 큰 섬으로 제주도 동쪽 끝에 위치하며, 좌표는 북위 $33^{\circ}29'$ ~ $33^{\circ}31'$, 동경 $126^{\circ}56'$ ~ $126^{\circ}58'$ 에 해당하고, 행정구역으로는 제주특별자치도 제주시 우도면(濟州特別自治道 濟州市 牛島面)에 속한다(그림 3-1).

우도면은 해안선 길이 약 17km, 동서 길이 약 2.5km, 남북 길이 약 3.8km이며, 면적은 약 6.181km^2 로서 제주시에 속하는 4읍, 3면 중에서 가장 작다(표 3-1). 지목별 토지는 밭이 66.5%(4.108km^2)로서 가장 많은 면적을 차지하고 있으며 그 다음은 임야 15.3%(0.948km^2), 도로 8.0%(0.494km^2) 순이다. 우도면은 4개 리(서광리, 천진리, 조일리, 오봉리)와 12개 자연마을 및 20개 반으로 구성된다. 서광리에는 상우목동, 하우목동, 중앙동의 3개 자연마을이 있고, 천진리에는 동천진동과 서천진동의 2개 자연마을, 조일리에는 비양동과 영일동의 2개 자연마을, 오봉리에는 주홍동, 전흘동, 삼양동, 상고수동 및 하고수동의 5개 자연마을로 구성된다.



그림 3-1. 연구지역의 위치(위성사진)

표 3-1. 제주특별자치도 제주시 관할 읍, 면의 면적 현황(2010년 제주시청 홈페이지 자료)

	한림읍	애월읍	구좌읍	조천읍	한경면	추자면	우도면	계
면적(km^2)	91.18	202.15	185.93	150.68	79.10	7.16	6.18	722.38
%	12.60	28.00	25.70	20.90	10.90	1.00	0.90	100.00

우도면은 조선조 숙종 23년(1697년) 국유목장이 설치되면서부터 국마(國馬)를 관리하고 사육하기 위해 사람들의 왕래가 있었고, 현종 8년(1842년) 입경허가, 현종 10년(1844년)에 김석린 진사 일행이 입도하여 정착하였으며, 1900년(경자년)에 향교 훈장 오유학 선생이 연평(演坪)이라 명명하였다. 1915년 도제(島制)가 실시됨에 따라 전라남도 제주도(濟州島) 구좌면에 속하게 되었고, 1927년 행정구역 연평리를 2개 구(1구, 2구)로 분구하였으나, 1931년 2개 구를 연평리로 통합하였다. 1946년 미군정이 도제(道制) 실시를 허용함에 따라 전라남도 관할에서 벗어나 제주도(濟州道) 북제주군 행정구역에 속하게 되었다.

1951년 7월 1일 북제주군 구좌면 연평출장소를 설치하였고, 1980년 12월 1일 북제주군 구좌읍 연평출장소로 개편하였다. 1986년 4월 1일 제주도 북제주군 구좌읍 연평리가 우도면으로 승격하고 4개 리로 나누었으며, 2006년 7월 1일 제주특별자치도로 출범하면서 제주시 우도면으로 행정구역이 개편되어 현재에 이르고 있다.

우도의 월별 주민등록 인구현황은 표 2와 같으며, 2010년 10월 현재 주민등록 인구는 1,582명(남 762명, 여 820명)으로서 남성은 762명(48.2%), 여성은 820명(51.8%)이다. 연령별로는 40대가 14.7%로서 가장 많은 분포를 나타내고 있으며(표 3-2, 3-3), 최고령자는 102세로서 여성이다.

표 3-2. 우도면 월별 주민등록 인구 현황(2010년 제주시 종합자료센터 자료)

(단위: 명)

월별	남	여	계
2009.12.	760	824	1,584
2010.01.	766	817	1,583
2010.02.	765	817	1,582
2010.03.	760	822	1,582
2010.04.	760	818	1,578
2010.05.	763	812	1,575
2010.06.	767	810	1,577
2010.07.	773	818	1,591
2010.08.	761	815	1,576
2010.09.	762	815	1,577
2010.10.	762	820	1,582

표 3-3. 우도면 연령별 인구 현황(2010.10.31. 현재; 2010년 제주시 종합자료센터 자료)

	>10세	10대	20대	30대	40대	50대	60대	70대	80대	90대	100대	계
인구수(명)	117	157	178	192	232	206	197	206	81	15	1	1,582
%	7.4	9.9	11.3	12.1	14.7	13.0	12.5	13.0	5.1	0.9	0.1	100.0

우도는 제주국제공항에서 동쪽 일주도로를 따라 약 50km 떨어진(자가용: 약 60분~70분 소요, 시외버스: 약 90분 소요) 성산포항에서 다시 북동쪽으로 약 3.8km(뱃길로 15분 정도 소요) 떨어져 있다. 우도를 출입할 수 있는 도항선은 서귀포시 성산읍 성산리에 위치하는 성산항과 제주시 구좌읍 종달리 두문포구에서 우도의 하우목동항이나 친진항(우도항)을 왕복하는 카페리(car ferry)를 이용하는 방법이 있으나, 주로 성산항을 가장 많이 이용하고 있다. 성산항-우도를 왕복하는 도항선은 성수기와 비성수기, 평일과 주말에 따라 일일 30분 내지 60분 간격으로 운행하고 있으며, 종달리 두문포구-우도간 거리는 약 2.8km로서 약 12분 소요되며, 동절기에는 일일 4회, 하절기에는 일일 7회 운항하고 있다(그림 3-2, 그림 3-3).



그림 3-2. 우도의 하우목동항



그림 3-3. 우도의 천진항(우도항)

나. 우도의 자연환경

‘섬 속의 섬’으로 잘 알려진 우도는 다양한 화산지형과 해식지형들이 발달하고 있어 제주도의 축소판이라고도 한다. 화산활동으로 형성된 우도(소섬)는 소가 누워있는 형상을 하고 있다고 하여 붙여진 이름으로서, 남쪽의 화산쇄설물이 쌓인 소머리오름(우도봉)이 해발 132.5m로서 가장 높다. 단성화산체이며 용회구인 소머리오름의 중심부에는 직경 약 600여m, 깊이 약 40여m에 달하는 분화구가 발달하고 있는데, 분화구는 북서쪽으로 열려있다. 소머리오름을 제외한 대부분의 지역은 해발 약 30m 이하의 완만한 경사를 갖는 용암순상지가 넓게 발달한다. 용암순상지 내에는 3개의 소규모 용암동굴이 발달하며, 소머리오름 주변 해안에는 해식동굴이 발달한다. 또한, 해안을 따라 해식애, 파식대지, 해빈 등이 발달하며, 해빈을 이루고 있는 퇴적물은 지역에 따라 홍조단괴, 석회질 패사, 검은 색의 화산쇄설물(화산사), 왕자갈~거력 크기의 검은 색 자갈 등으로 이루어져 있다(그림 3-4).



그림 3-4. 우도의 지형

우도가 속하는 제주도 동부(성산)의 연평균 기온은 15.2°C , 연평균 습도는 75.3%, 연평균 강수량은 1,840.9mm이다(표 3-4).

표 3-4. 제주도의 기후 평년값(제주지방기상청 자료)

	제주 (제주도 북부)	고산 (제주도 서부)	서귀포 (제주도 남부)	성산 (제주도 동부)
평균기온(℃)	15.5	15.5	16.2	15.2
최고기온(℃)	18.7	18.2	19.8	19.0
최저기온(℃)	12.4	13.1	13.0	11.3
평균습도(%)	73.3	76.5	70.7	75.3
강수량(mm)	1,456.9	1,094.7	1,850.8	1,840.9
평균풍속(ms)	3.8	6.9	3.1	3.1

다. 우도의 역사 · 문화유산 현황

우도에는 아름다운 자연 경관은 비롯하여 다양한 고고 · 역사적인 자료 및 독특한 섬 문화들이 남아



있어 제주도에 속한 부속 도서 중에서 가장 많은 관광객들이 찾고 있다. 이에 따라 우도면에서는 ‘참여와 소통’, ‘맞춤형 복지’, ‘관광 1번지’, ‘주민 소득증대’라는 2010년 4대 추진전략을 세우고 ‘모두가 잘 사는 아름다운 우도 건설’이라는 목표를 달성하려고 관민이 노력하고 있다(그림 3-5).

우도에는 섬 특유의 역사 · 문화적인 자료들이 해안일주도로를 따라 산재해 있으며, 그 중에서 우도지석묘, 방사탑, 영일동 방사탑 등대, 망대, 불터, 돈짓당(해신당), 선사문화 동굴 집자리, 드렁코지 등이 대표적이다.

그림 3-5. 우도면의 2010년 비전 · 목표 · 전략

(1) 천진리 지석묘

우도면 천진리 성산일출봉을 마주보는 해안에 있는 탐라국 전기의 지석묘(支石墓)로서 비지정문화재이다. 상석은 대체로 길이 200cm, 폭 150cm, 두께 60cm 내외의 장방형으로 장축방향은 한라산 주봉을 향하는 동-서 방향이다. 지석은 상석의 북쪽에 1매, 동쪽에 납작한 2매가 보이지만 동쪽의 2매가 확실한 지석인지의 여부는 속단하기 어렵다.

지석묘는 우리나라 청동기시대부터 사람의 무덤으로 만들어졌다. 지석묘는 돌멩(dolmen) 또는 고인돌이라고 부르기도 하며, 제주도에서는 돌배라는 전설도 것들여져 있다. 외부의 모양은 시신을



그림 3-6. 우도 천진리 지석묘

안치하도록 판자모양의 돌을 사용하여 석실을 만들고 그 위에 큰 돌을 올려 완성했다. 특히 지석묘는 한반도에서 제주를 거쳐 일본 큐슈지역으로 전파된 것으로 보여, 선사시대의 문화교류 또는 이동을 이해하는데 귀중한 자료가 된다(그림 3-6).

(2) 방사탑

방사탑(防邪塔)은 마을 어느 한 방향에 불길한 징조가 비치거나, 풍수지리설에 따라 기운이 허(虛)하다고 생각되는 곳에 액운을 막으려고 세운 돌탑이다. 또한, 마을의 안녕을 보장하며, 해상의 안전과 아이를 낳게 하고 보호해 주는 기능까지 있다고 한다. 우도 해안가를 따라 총 13개소에 방사탑이 2기1조 형식으로 세워져 있으며, 재앙을 막으려고 세운 것이 공통적이다. 하고수동과 상고수동의 경우에는 음양을 구분하고 있으며, 동천진동의 방사탑은 바다 경계를 뜻한다고 하는 특이한 양상을 갖고 있다. 우도면에 세워진 방사탑도 다른 지방의 장승이나 솟대가 갖는 방액(防厄)·방사(防邪)의 의미에서 같은 맥락을 가지며, 미륵신앙의 흔적을 엿볼 수 있다. 제주도의 방사탑은 1995년 8월25일 제주민속자료 제8호로 지정되었으며, 제주시의 38기 중 17기가 민속자료로 지정되어 있다(그림 3-7).

(3) 영일동 방사탑 등대

우도면 조일리 영일동 포구에 세워진 이 옛 등대는 마을의 허한 방향에 세워져 있던 방사탑을 개조하여 설치한 점이 특이하다. 포구에 있는 원래의 방사탑은 평면 사각형, 정면 사다리꼴 형태로 축조되었으며 높이는 5.3m, 너비는 4.5m 정도가 된다. 상단면은 시멘트로 포장되어 조그만 구멍 3개를 뚫어 놓았다. 1962년 방사탑 위의 새 모형을 일부 개조하여 등대로 축조한 것으로, 고기잡이배가 무사히 돌아올 수 있도록 하기 위하여 등불을 놓을 수 있게 하였다. 등불은 동네 어부들이 순번을 정하여 켰다고 한다(그림 3-8).



그림 3-7. 오봉리 하고수동의 방사탑



그림 3-8. 영일동 방사탑 등대

(4) 망대

우도의 망대(望臺)는 조일리 비양동의 비양도 망대와 오봉리 전흘동에 있는 담다니탑 망대로서 두 곳에 있다. 우도의 망대는 제주도에 있는 연대(煙臺)와 흡사한 형태를 하고 있으며, 용도는 관찰을 하기 위한 것이지만, 연대처럼 관찰하고 신호로서 적을 알리던 것과는 약간 다르다. 우도의 망대 두 곳은 모두 우도의 북쪽에 있으며, 우리나라 남해안 쪽을 관찰하게 되어 있다. 망대의 축조시기는 제주도의 4·3 사건(1948년) 당시 우도 사람들에 의하여 만들어졌다. 따라서, 조선시대의 연대와는 다르나, 근대의 4·3 사건 관련 유적으로 의미가 깊다. 또한, 석축과 흡사한 점이 많으므로 석축방법을 연구하는 데도 중요한 역할을 할 수 있을 것이다. 완만한 경사를 갖는 바닷가의 암반 위에 평면 사각, 정면 사다리꼴 형태로 만들어졌다. 주요 관측 방향은 북, 동, 서쪽으로 보이며 올라가는 계단은 남쪽(담다니탑 망대) 또는 동쪽(비양도 망대)으로 놓여 있다(그림 3-9, 그림 3-10).



그림 3-9. 전흘동의 담다니탑 망대



그림 3-10. 비양도 망대

(5) 불턱

불턱이란 ‘불을 피우는 자리’를 뜻하는 제주어이며, 해녀들이 옷을 갈아 입거나 물질에서 언 몸을 녹이기 위하여 불을 지피고, 삶을 이야기했던 공간이다. 해안마을 깃가에는 마을마다 불턱이 마련되어 있다. 바람막이가 될 만한 공터나 바위그늘을 이용해 불을 피우는 곳도 있었지만 대개는 돌담을 네모형이나 원형으로 쌓아 공간을 마련하고 있다. 입구는 이중 돌담으로 터서 바깥에서는 안쪽이 바로 보이지 않도록 하였으며, 지붕은 없다. 불턱은 해녀들의 위험한 물질에서 서로를 살피고 도왔던 독특한 제주 해녀 공동체 문화의 상징이라 할 수 있다. 1980년대 중반부터 관의 지원을 받아 온수시설을 갖춘 현대식 탈의장인 ‘해녀의 집’이 들어서서 불턱을 대신하고 있다(그림 3-11, 그림 3-12).



그림 3-11. 해녀



그림 3-12. 불턱

(6) 돈짓당

해신당이라고도 부르는 돈짓당은 바다를 다스리는 신령을 모신 마을의 수호신 또는 어업의 수호신으로 여겨왔다. 특히 조선시대부터 매년 2월 영등제, 7월 백중제, 8월 용왕제의 당제를 봉행했으며, 지금은 마을에서 상시 의례를 행하고 있다. 바다의 풍어 및 주민의 무사안녕과 면 곳으로 가거나 돌아올 때, 무사히 일을 마치고 돌아 올 수 있도록 빌었고, 어부들이 출어할 때 풍어를 기원하였던 곳으로 우도 주민의 공동체적인 희망과 소망을 담았던 문화유적지라 할 수 있다(그림 3-13).



그림 3-13. 돈짓당

(7) 선사문화 동굴 집자리

우도면 서광리 포제동산에 위치한다. 선사인들의 주거지인 동굴입구 집자리이며, 제주 특유의 주거유형이다. 용암동굴이 함몰되어 생긴 곳으로 입구의 규모는 길이 6.5m, 높이 1.4m이며, 동굴 안쪽으로 13m 들어간 곳에는 직경 4.5m 가량의 원형 방이 있다. 이러한 형식의 집자는 구석기시대에 보편적으로 이용되었으며, 신석기시대 이후는 매우 드물다. 내륙지방 선사인들은 움집을 만들어 생활했으나, 우도는 신생대 제4기 플라이스토세(Pleisto世; 홍적세)에 일어난 화산활동으로 크고 작은 용암동굴이나 바위그늘이 만들어져 선사인들에게는 훌륭한 보금자리 역할을 하였다. 동굴내부에서는 탐라 초기의 유물인 곽지리식 적갈색 경질무문토기, 회색 토기를 비롯하여 가로 28cm, 세로 16cm의



그림 3-14. 서광리 포제동산의 동굴집자리 선사문화
(포켓동산굴의 입구)

대형 갈판(곡물이나 야생열매를 가는 데 사용했던 신석기·청동기 시대의 석기)도 출토되었다. 갈판의 출토는 농경채집 생활이 이루어졌음을 보여준다. 그러나 섬의 여건상 주로 어로생활을 했을 것으로 보이며, 계절에 따라 야외 거주지에서의 어로생활과 병행해서 겨울철 등 기후조건이 열악한 때에는 동굴을 집자리로 이용했을 것이다. 우도는 탐라시대 전기 2,000년 전~1,500년 전 사이에 주거문화가 있었다고 할 수 있다(그림 3-14).

(8) 드렁코지

우도면 천진리 서천진동 해안에 있는 곳으로서, 제주도의 전통 뗏목인 테우배를 타고 이곳을 통하여 최초로 우도에 사람이 왕래한 해안이다. ‘드렁’은 ‘들어오다’, 코지는 ‘곶’을 일컫는 제주도 방언이다. 드렁코지, 들어온 코지라고도 한다. 순조 23년(1679년) 유한명 제주목사 당시 말 150필을 우도에 하사하여 자연방목하였고, 그 이후 국유목장으로서 국마(國馬)를 관리·사육하면서 목자들이 이곳을 통하여 왕래를 하였으며, 그 이전에는 해산물을 채취하기 위하여 가끔씩 사람들이 드나들었다고 한다(그림 3-15).



그림 3-15. 서천진동의 드렁코지

라. 우도의 관광자원

우도의 빼어난 자연환경과 해양자원을 효율적으로 관리하고, 보호하기 위하여 2000년 8월 31일 우도해양군립공원으로 지정한 이후, 2006년 7월 제주특별자치도 출범과 함께 우도해양도립공원으로 승격되었다. 우도해양도립공원 지정 구역은 우도면 전해상과 육상일부가 포함되며, 지정 면적은 25,863km²이다.

우도의 관광자원에는 잘 알려진 우도팔경 이외에도 하고수동 사빈, 우도등대공원, 검멸레, 톨칸이 해안, 한반도 여, 갈대 화석산출지, 우도올레 등이 대표적이다. 또한, 우도에서는 여러 가지 축제가 열리고 있는데, 우도사랑 건강걷기, 소라 축제 등이 대표적이다.

(1) 우도팔경

우도해양도립공원의 대표적 풍경인 우도팔경은 우도의 낮과 밤의 풍광을 표현한 주간명월(晝間明月)과 야항어범(夜航漁帆), 하늘과 땅의 풍광을 표현한 천진관산(天津觀山)과 지두청사(地頭青莎), 앞과 뒤의 풍광을 표현한 전포망도(前浦望島)와 후해석벽(後海石壁), 동쪽과 서쪽의 풍광을 표현한 동안경굴(東岸鯨窟)과 서빈백사(西濱白沙) 등 8가지이다. 우도팔경은 1983년 연평중학교 제16대 김찬흡 교장선생님이 재직 당시 발굴하여 명명하였다고 한다(그림 3-16).



그림 3-16. 우도팔경을 감상할 수 있는 위치 안내도.

1=서빈백사, 2=전포망도, 3=천진관산, 4=주간
명월, 5=지두청사, 6=후해석벽, 7=동안경굴,
8=야항어벌

(가) 서빈백사(그림 3-16의 1번 지점)

우도면 서광리 서쪽 바닷가의 하얀 홍조
단괴(紅藻團塊) 해변으로서 2004년 4월9일
천연기념물 제438호로 지정되었다. 이 해변
은 홍조류가 만든 둥근 공모양의 단괴와 단
괴가 잘게 부서진 홍조사(紅藻砂)로 구성된
다. 눈이 부실 정도로 하얗다 못해 푸른빛이
도는데, 우리나라뿐만 아니라 전 세계에서도
유일하게 우도에서만 볼 수 있는 풍광으로
알려지고 있으며, 해수욕장으로 이용되고 있
다. 과거에는 산호가 부서진 모래로 되어 있
는 것으로 판단하여 산호사 해수욕장으로 불
렸으나 이는 잘 못된 명칭이다(그림 3-17,
3-18).

(나) 전포망도(그림 3-16의 2번 지점)

제주 본도와 우도 사이의 해상에서 배를 타고 바라본 우도의 아름다운 경관을 말하는데, 동쪽으로
야트막하게 우도봉이 솟아있고, 서쪽 기슭을 따라 평평하게 섬의 중앙부가 이어지다가 섬의 서쪽 끝은
수평선과 합치면서 바다로 잠기어 버리는 모양이다. 이곳에서 바라보는 우도의 모습은 소가 누워있는
모습과 비슷하다. 또한, 남북으로 길게 뻗은 섬 모양이 물위에 뜬 두둑과 같아 연평(演坪)이라 부르기도
한다(그림 3-19).



그림 3-17. 홍조단괴 해변(서빈백사)



그림 3-18. 홍조단괴



그림 3-19. 구좌읍 종달리 해안에서 바라본 우도

(다) 천진관산(그림 3-16의 3번 지점)

우도 도항의 관문인 동천진동항에서 바라보는 한라산의 모습을 말한다. 여기서 보이는 한라산 부근의 경치나 일몰 풍경이 제일 아름답게 보인다고 한다(그림 3-20).

(라) 주간명월(그림 3-16의 4번 지점)

우도면 천진리 우도봉의 남쪽 해식절벽에 발달한 해식동굴 중 하나인 달그리안동굴은 한 낮에도 달이 동설 뜯 모습을 보여준다. 오전 10시에서 11시경 동굴 안으로 쏟아지는 햇빛이 해수면에 반사되어 동굴의 천장을 비추는데 햇빛이 닿은 천장의 동그란 무늬와 합쳐지면서 영락없는 달모양을 만들어 내기 때문에 이를 주간명월이라고 하는데 주민들은 ‘달그리안’이라고도 한다. 배를 타야 접근할 수 있다(그림 3-21).



그림 3-20. 동천진동항에서 바라본 한라산과 오름

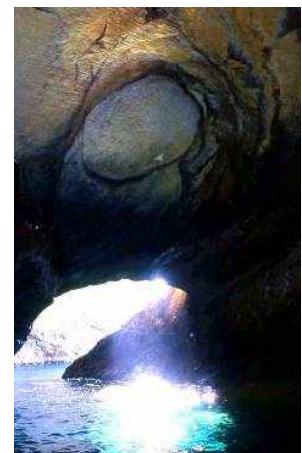


그림 3-21. 달그리안동굴

(마) 지두청사(그림 3-16의 5번 지점)

우도의 전경을 한 눈에 감상하는 것을 일컫는데, 우도에서 가장 높은 소머리오름(우도봉)에 올라가 내려다보면 우도 전체의 풍경을 비롯하여 제주 본도의 성산일출봉이나 한라산, 오름 등을 한 눈에 바라 볼 수 있고, 소머리오름의 빛깔 좋은 푸른 잔디와 하늘과 바다가 어우러진 모습이 멋진 풍광을 이룬다. 소머리오름은 섭의 머리에 해당된다고 하여 ‘섬머리’라고 부른다(그림 3-22).

(바) 후해석벽(그림 3-16의 6번 지점)

높이 20여 m, 폭 30여 m에 달하는 소머리오름의 남쪽 해식절벽이다. 차곡차곡 석편을 쌓아올린 듯 가지런하게 지층을 이루고 있는 해식절벽이 수직단애를 이루고 있다. 오랜 세월 풍파에 깎여 지층 사이 사이마다 깊은 주름살이 형성되어 있는 듯하다(그림 3-23).



그림 3-22. 소머리오름에서 바라본 성산일출봉



그림 3-23. 소머리오름 남쪽 해안에 발달한 해식절벽

(사) 동안경굴(그림 3-16의 7번 지점)

우도면 조일리 우도봉 아랫마을 영일동의 검은 모래가 펼쳐진 검멀레 모래사장 끄트머리 절벽 아래 콧구멍이라고 하는 해식동굴을 말한다. 동안경굴은 소머리오름 응회암층 내에 발달하였으며, 길이 약 150m, 높이 약 20m, 너비 약 17m이고, 커다란 고래가 살았다는 이야기가 전해져 내려온다. 이 동굴은 썰물이 되어서야 동굴 속으로 들어갈 수 있다. 동안경굴에서는 매년 동굴음 악회가 열리고 있다(그림 3-24~3-26).



그림 3-24. 동안경굴의 외부 모습



그림 3-25. 동안경굴의 내부 모습



그림 3-26. 동안경굴에서 열리고 있는 2010년
동굴음악회

(아) 야항어범(그림 3-16의 8번 지점)

여름밤이 되면 고기잡이 어선들이 무리를 지어 우도의 바다를 불빛으로 밝힌다. 이때가 되면 철흑같이 어두운 날이라도 마을 안길은 그리 어둡지가 않을 뿐만 아니라, 밤하늘까지도 밝은 빛으로 가득 물들고 잔잔할 때면 마치 온 바다가 불꽃놀이를 하는 것처럼 현란하다. 야항어범은 바다의 야경을 의미한다(그림 3-27, 그림 3-28).



그림 3-27. 검멀레 부근에서 바라본 어선의 불빛



그림 3-28. 소머리오름의 등대와 어선의 불빛

(2) 등대공원

소머리오름의 정상 부근에는 1906년 3월에서 2003년 11월까지 97년간 운영하였던 높이 7.7m의 노후된 등대가 있으며, 이 등대는 항로표지의 역사적 가치가 인정되어 원형대로 영구히 보존하고 있다. 이 등대 옆에는 2003년 11월 새로이 건립한 높이 16m의 등대가 동중국해 및 우도 부근 해역을 항해하는 선박의 안전운항을 위하여 불을 밝히고 있다. 또한, 분화구내 남쪽 사면에는 우리나라 독도 등대를 비롯하여 아름다운 세계 여러 나라의 등대 모형을 전시하고 있다(그림 3-29, 그림 3-30).



그림 3-29. 소머리오름의 등대. 오른쪽이 현재 사용하고 있는 등대이고, 그 아래 사면에 여러 나라의 등대 모형이 있음.

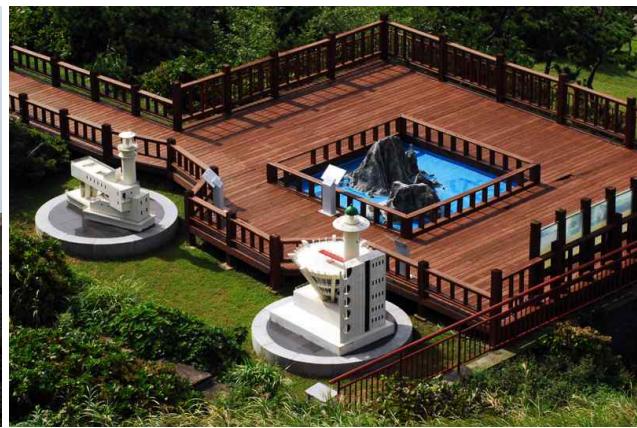


그림 3-30. 독도와 등대 모형

(3) 검멀레

소머리오름의 동쪽 영일동 앞 해안에는 검은 모래로 이루어진 해변이 있는데, 이 검은 모래는 화산(소머리오름)이 폭발할 때 분출된 돌부스러기(화산쇄설물)들이 쌓여 있는 것이다. 이곳에서는 소머리오름 해안의 수직 해식절벽(우도팔경의 후해식벽), 화산쇄설물이 쌓여 굳어진 응회암 내에 발달한 해식동굴인 동안경굴(우도팔경의 하나)과 검멀레굴 등 해식지형의 비경을 볼 수 있다. 또한, 소머리오름을 이루고 있는 응회암층이 차곡차곡 쌓여 있는 모습이나 소머리오름에서 분출한 용암류(熔岩流)와 용암류 표면에 새겨진 밧줄구조 등도 관찰할 수 있다. 야간에는 고기잡이배들이 밝히는 등불로 불야성을 이루는 야경과 우도 등대의 불빛도 볼 수 있어 우도팔경의 하나인 야항어범을 감상할 수 있다(그림 3-31, 3-32).



그림 3-31. 검멀레 해변과 오른쪽의 소머리오름



그림 3-32. 밧줄구조가 잘 발달한 용암류
(검멀레 부근)

(4) 하고수동 해빈

우도의 북쪽 오봉리 하고수동 해안에는 다양한 바다 생물의 유해로 이루어진 백색의 가는 모래 즉, 패사(貝砂)가 쌓여 있어 해수욕장으로 이용하고 있다. 이 패사들의 주성분은 탄산칼슘(CaCO_3)으로 육지의 강가나 해안에서 흔히 볼 수 있는 석영(SiO_2)이라는 광물로 이루어진 모래와는 전혀 다르다. 백색의 모래와 푸른 바다, 검은 색의 용암(현무암)이 멋진 조화를 이룬다. 야간에는 고기잡이 배들이 밝히는 등 불로 불야성을 이루는 모습도 볼 수 있어 우도팔경의 하나인 야항어범을 감상할 수 있다(그림 3-33, 3-34).



그림 3-33. 백색의 아름다운 하고수동 해빈



그림 3-34. 하고수동 해빈

(5) 틀칸이 해안과 한반도 여

천진리 동천진동항(우도항)에서 동쪽 해안도로를 따라 끝까지 가면 소머리오름 서쪽 해안에 해당되는 틀칸이 해안에 다다른다. 이곳에는 주로 검은색 현무암의 커다란 자갈들이 쌓여 있는 작은 해빈이 발달한다. ‘틀칸이’는 소의 ‘여물통’이란 뜻으로 ‘출까니’라고도 한다. ‘출’은 ‘꼴’ 또는 ‘건초’로서 소나 말에게 먹이는 풀을 말한다. ‘까니’는 소나 말에게 먹이를 담아주는 큰 그릇을 뜻하는 우도의 사투리라고 한다. 틀칸이는 출까니가 잘 못 전해진 말이다. 우도는 소가 누워있는 모습의 섬으로 오름은 소의 머리 부분이며(소머리오름), 특 튀어나온 기암절벽(해식절벽)은 소 얼굴의 광대뼈이고, 이곳에서 남서쪽의 서귀포시 성산읍 오조리에 위치한 식산봉이라는 오름은 출눌(건초를 쌓아올린 더미)이라고 보았다. 출눌과 소 사이에는 소먹이통이 있어야 하는데 커다란 자갈들이 쌓여 있는 이곳을 소여물통으로 보아 틀칸이라고 부르는 것이다. 용암층과 응회암층에 발달한 수직의 해식절벽, 검은 자갈로 이루어진 해빈, 해식동굴 등이 어우러져 절경을 이룬다. 틀칸이 부근 소머리오름의 해식절벽 옆면을 틀칸이 북쪽에서 바라보면 마치 사람 얼굴의 옆모습과 흡사하여 ‘얼굴바위’라고 부르기도 한다.

한편, 틀칸이 해안 조금 못 미친 곳에 ‘한반도 여’가 있는데, ‘여’란 물속에 잠기어 있는 바위 즉, 암초를 일컫는 순수한 우리말로서, 여가 한반도 모양을 하고 있는 것이다. 한반도 여는 현무암으로 이루어져 있으며, 썰물 때에 한반도 모습이 드러난다(그림 3-35~3-38).



그림 3-35. 검은 자갈이 쌓인 톨칸이 해안

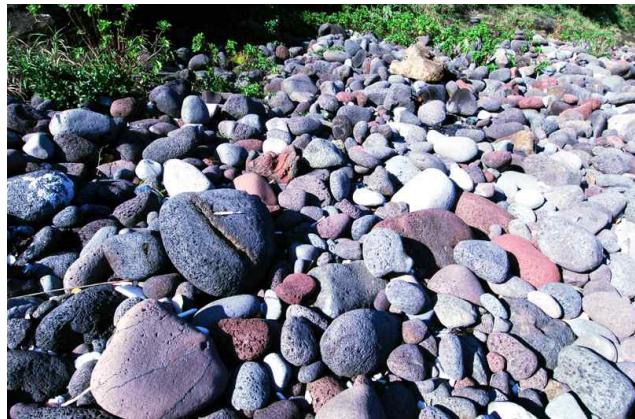


그림 3-36. 톨칸이 해안의 자갈



그림 3-37. 얼굴바위



그림 3-38. 한반도 여

(6) 갈대 화석산지

천진리 동천진동항에서 동쪽 해안도로를 따라 조금 떨어진 해녀의 집 부근 바닷가(등머흘 해안)에는 화산재가 쌓여 만들어진 응회암층이 소규모 나타나는데, 이 응회암층 내에는 갈대 화석을 비롯하여 생물이 뚫어 놓은 구멍인 생흔화석들이 산출되고 있다. 이러한 화석들은 생성 당시의 고환경을 이해할 수 있는 좋은 자료가 된다(그림 3-39, 3-40).



그림 3-39. 갈대 화석



그림 3-40. 생물의 혼적화석

(7) 우도올레

'올레'란 거친 바람을 막기 위하여 큰 길에서 집까지 현무암을 양쪽으로 쌓아 만든 좁은 골목길을 일컫는 제주도 사투리이다. 제주올레는 걸어서 여행하는 사람들을 위한 길로서, 2007년 9월 제주올레의 말미오름~섭지코지 코스가 처음으로 개장되면서 시작하면서 매우 큰 인기를 끌고 있다. 우도올레 코스는 2009년 5월 제주올레 1-1코스로 개장되었다. 우도올레는 제주도에 펼린 62개의 섬 중에서 가장 큰 섬인 우도의 절경을 만끽할 수 있는 코스이며, 마늘냄새, 보리냄새, 땅콩냄새, 흙냄새, 바다냄새를 느낄 수 있는 코스다. 우도올레의 길이는 총 16.1km이며, 4~5시간 소요된다(그림 3-41, 3-42).



그림 3-41. 우도올레



그림 3-42. 밭 사이의 우도올레

(8) 기타

검멸례 연안에는 돌고래가 몰려오고 땅콩을 수확하고 난 이후에는 수많은 까마귀떼가 몰려오고 있어 이에 대한 연구와 관광자원화 타당성 검토가 필요할 것으로 판단된다(그림 3-43~3-45).



그림 3-43. 성산~우도 사이의 돌고래(타원안)



그림 3-44. 까마귀떼의 비상



그림 3-45. 땅콩 수확 후 내려앉은 까마귀떼

마. 우도의 관광현황

2009년도와 2010년 10월말 현재 우도해양도립공원을 찾은 관광객(우도 입도 관광객) 현황은 표 5와 같으나, 이는 우도해상도립공원 입장료를 낸 관광객수로서, 입장료를 내지 않는 12세 이하와 65세 이상은 제외되어 있어 실제로는 이보다 훨씬 더 많을 것이다. 2010년 1/4분기 우도 입도 관광객은 140,263명으로서 전년도 동기 105,030명보다 무려 33.5%나 증가하였다. 또한, 2010년 2/4분기에는 245,247명으로서 전년도 동기(233,502명) 대비 5.0% 증가, 3/4분기에는 313,989명으로 전년도 동기(302,466명) 대비 3.8%가 증가하였다. 2010년 10월31일 현재 우도 관광객은 총 789,556명이며, 이는 전년도 동기 718,879명보다 9.8% 증가한 것으로, 2010년도 말까지 90만명에 이를 것으로 추측된다. 이는 2010년 10월31일 현재 제주도에 입도한 관광객 6,432,603명의 12.3%에 해당되어, 적어도 제주도를 찾는 관광객 중 10% 이상은 우도를 방문하는 것으로 판단된다. 연중 우도를 가장 많이 찾는 달은 각급 학교들의 방학기간인 8월의 135,862명으로서 전체의 17.2%를 차지한다. 2009년 8월은 131,434명으로 전체의 16.1%를 차지하였다(표 3-5).

표 3-5. 월별 우도도립해상공원 방문객과 반입 차량 현황(2010년 10월31일 현재; 우도면사무소 자료)

		2009년도		2010년도		비교 (전년 동기 대비)
		관광객수	차량수	관광객수	차량수	
1/4 분 기	1월	29,319	2,088	49,404	3,906	-관광객 33.5%증가 -차량 37.5% 증가
	2월	33,873	2,722	42,347	3,721	
	3월	41,838	3,298	48,512	3,525	
	소계	105,030	8,108	140,263	11,152	
2/4 분 기	4월	73,632	5,989	80,111	5,922	-관광객 5.0%증가 -차량 2.3% 감소
	5월	89,832	8,229	94,386	8,160	
	6월	70,038	7,634	70,750	7,208	
	소계	233,502	21,852	245,247	21,290	
3/4 분 기	7월	89,628	12,469	99,574	12,801	-관광객 3.8%증가 -차량 0.3% 증가
	8월	131,434	15,772	135,862	16,292	
	9월	81,404	9,653	78,553	8,916	
	소계	302,466	37,894	313,989	38,009	
4/4 분 기	10월	77,881	7,568	90,057	6,482	-관광객 15.6%증가 -차량 14.3% 감소
	11월	54,293	4,847	-	-	
	12월	42,967	3,648	-	-	
	소계	175,141	16,063			
총 계		816,139	83,917	789,556	76,933	

2010년도 11월18일 현재 요일별 방문객은 토요일 146,304명(17.9%), 금요일 131,910명(16.1%), 일요일 126,836명(15.5%), 목요일 114,684명(14.0%), 수요일 104,989명(12.8%), 월요일 99,570명(12.2%), 화요일 94,889명(11.6%) 순이다(표 3-6).

표 3-6. 2010년도 월별, 요일별 우도 입장객 현황(2010년 11월18일 현재; 우도면사무소 자료)

	월	화	수	목	금	토	일	계	
1/4 분 기	1월	3,245	2,819	2,807	3,372	8,373	9,669	6,936 37,221	
	2월	5,387	6,000	5,802	1,253	5,620	7,978	10,307 42,347	
	3월	6,605	7,509	5,281	6,406	7,236	7,525	7,950 48,512	
	소계	15,237	16,328	13,890	11,031	21,229	25,172	25,193 128,080	
2/4 분 기	4월	6,333	6,927	9,282	10,915	15,408	17,232	14,014 80,111	
	5월	12,438	10,644	11,068	12,747	14,852	17,603	15,034 94,386	
	6월	8,039	10,579	12,009	10,652	8,676	9,910	10,885 70,750	
	소계	26,810	28,150	32,359	34,314	38,936	44,745	39,933 245,247	
3/4 분 기	7월	13,467	9,428	11,830	16,442	18,867	20,984	8,556 99,574	
	8월	24,704	18,001	15,146	20,797	17,072	15,795	24,347 135,862	
	9월	6,959	9,713	10,297	11,884	15,871	14,218	9,611 78,553	
	소계	45,130	37,142	37,273	49,123	51,810	50,997	42,514 313,989	
4/4 분 기	10월	8,475	8,454	13,942	12,684	15,078	18,476	12,948 90,057	
	11월	3,918	4,815	7,525	7,532	4,857	6,914	6,248 41,809	
	12월	-	-	-	-	-	-	-	
	소계	12,393	13,269	21,467	20,216	19,935	25,390	19,196 131,866	
총 계		99,570 (12.2%)	94,889 (11.6%)	104,989 (12.8%)	114,684 (14.0%)	131,910 (16.1%)	146,304 (17.9%)	126,836 (15.5%)	819,182 (100%)

한편, 우도에 입도한 차량은 2010년 10월말 현재 76,933대이며, 전년도 동기에는 75,422대이다(표 3-5). 최성수기인 2010년도 7월~8월 두 달 동안 235,436명(10월말 현재 전체의 29.8%)의 관광객이 우도에 몰리면서 반입한 각종 차량은 29,093대로서, 차량 반입 총량제에 따른 통제로 우도에 들어가지 못한 차량도 3,300여 대가 되었다. 우도지역 차량 총량제는 교통혼잡과 환경오염을 줄이기 위해 2008년 7월부터 시행됐으며, 하루 반입허용 대수는 605대로 제한하고 있다. 최성수기인 8월 중 차량 총량제에 따라 차량 반입이 605대로 제한된 일수는 3일간의 휴항을 제외한 28일 중, 23일이나 되어 거의 매일 반입이 제한된 실정이다.

또한, 방문객과 차량의 증가로 인하여 우도해상도립공원 입장료(입도세)의 수입도 2010년 10월말 현재 888,954,000원으로서 작년도 동기 대비 833,484,500원보다 약 6.7% 증가하여 지방자치단체의 재정확충에도 한 몫을 다하고 있다(표 3-7, 표 3-8). 특히, 우도 현지의 관광수입은 1인당 평균 2만원~3만원 지출을 감안할 때, 연말까지 90만명에 달할 것으로 보아 180억원~270억원의 경제적 수입 효과를 거둘 것으로 분석하고 있다.

표 3-7. 우도해상도립공원 입장료

구 분		입장요금	비 고
입장객	성 인	1,000원	-성 인: 25세 ~ 64세 -청소년: 13세 ~ 25세 -학 생: 중 · 고 · 대 재학생 -군 인: 제복을 입은 부사관 이하. 전경, 경찰, 순경, 경사 이하의 경찰 공무원, 교도경비 포함)
	청소년 학 생 군 인	500원	
자동차	성수기 (5월 ~ 9월)	소 형	4,000원 -소형: 승용차, 15인 이하 승합차, 4톤 미만 화물차
		대 형	6,000원 -대형: 16인 이상 승합차, 4톤 이상 화물차
	비수기 (1월 ~ 4월, 10월 ~ 12월)	소 형	2,000원 -운전자 1인 포함
		대 형	3,000원

표 3-8. 우도해상도립공원 입장료 수입 현황

(단위: 천원)

	2009년도			2010년도		
	관광객	차량	계	관광객	차량	계
1월	23,739.5	4,182.0	27,921.5	39,549.5	7,833.0	47,382.5
2월	27,612.0	5,447.0	33,059.0	33,520.5	7,454.0	40,974.5
3월	35,478.5	6,604.0	42,082.5	40,595.5	7,069.0	47,664.5
4월	58,436.5	11,993.0	70,429.5	64,710.0	11,865.0	76,575.0
5월	69,214.0	32,959.0	102,173.0	73,338.5	32,708.0	106,046.5
6월	54,877.5	30,592.0	85,469.5	56,545.5	28,886.0	85,431.5
7월	68,947.5	49,938.0	118,885.5	76,311.5	51,250.0	127,561.5
8월	103,591.5	63,144.0	166,735.5	106,316.0	65,226.0	171,542.0
9월	67,624.5	38,666.0	106,290.5	62,670.0	35,704.0	98,374.0
10월	65,272.0	15,166.0	80,438.0	74,409.0	12,993.0	87,402.0
11월	46,301.0	9,711.0	56,012.0	-	-	-
12월	34,977.5	7,308.0	42,285.5	-	-	-
계	656,072.0	275,710.0	931,782.0	627,966	260,988	888,954.0

이러한 관광객 증가의 주요 원인으로는 2007년 유네스코 세계자연유산 등재를 계기로 제주도를 찾는 관광객이 많이 증가하였으며, ‘섬속의 섬’이라는 고유 브랜드와 ‘슬로우 시티(slow city)형’ 체험관광지로 관광객들이 선호하고 있고 특히, 지난해 5월에 개장된 우도올레의 선풍적인 인기로 꾸준한 증가세가 이어지고 있는 것으로 우도면에서는 분석하고 있다. 아울러 우도팔경 등 천혜의 자연경관, 일출일몰의 풍광, 활쏘나 땅콩을 비롯한 주요 특산물의 차별화된 상품이 관광객 유입에 한 몫을 더하고 있는 것으로 판단하고 있다. 이러한 관광객의 증가에 부응하여 우도면에서는 전국 최고의 관광메카 건설을 위하여 우도올레 이력제 운영, 4계절 특색있는 지역 축제 운영, 우도 땅콩을 중심으로 하는 지역 특산물 명품화 확대, 친환경을 접목한 섬 문화 관광체험 프로그램 개발 등 제주관광객 700만 유치, 우도관광객 100만 유치에 박차를 가하기로 했다고 한다.

우도 내에서의 이동수단으로는 마을버스, 단체관광용 마이크로버스, 개인이 자유롭게 타고 내릴 수 있는 관광용 마이크로버스, 자전거나 이를 오토바이 또는 4륜 오토바이 대여 등 다양한 교통수단이 있지만 좁은 섬지역에 너무 난립되어 있다는 느낌이 들어 체계적인 정비가 요구되기도 한다(그림 3-46, 3-47).



그림 3-46. 우도를 순화하는 관광버스



그림 3-47. 각종 이동수단

한편, 2010년 10월 현재 등록된 숙박업, 음식점, 민박 등의 시설현황은 표 3-9와 같다.

표 3-9. 우도면 숙박, 음식점 현황(2010.10.31 현재; 2010년 제주시 종합자료센터 자료)

	숙박업	민박	일반음식점	휴게음식점	단란주점	계
수	5	31	34	6	3	79
%	6.3	39.2	43.0	7.6	3.8	99.9

2010년 10월21일 우도면 관광서비스혁신민간평가단이 우도를 방문한 관광객 187명을 대상으로 설문조사한 결과는 다음과 같다.

우도 관광 중 가장 인상 깊었던 것은 ‘아름다운 자연경관’ 52%, ‘해안 드라이브’ 38%, ‘올레길 걷기’ 6%, ‘바다낚시 등 체험활동’ 1%, ‘지역특산물 등 먹을거리’ 1% 등이며(표 3-10), 우도에 머문 시간은 ‘2~3시간’ 66%, ‘3~5시간’ 25%, ‘1시간’ 5%, ‘6~8시간’ 2%, ‘1박2일’ 2% 등이다. 사용한 경비의 규모는 ‘3만~5만원’ 52%, ‘1만~2만원’ 19%, ‘6만~10만원’ 18%, ‘10만원 이상’ 7%, ‘1만원 미만’ 4% 순으로 나타나고 있다(표 3-11).

표 3-10. 우도의 가장 인상 깊었던 것은?

	응답자수	%
아름다운 자연경관	97	52
올레길 걷기	11	6
해안 드라이브	71	38
바다낚시 등 체험활동	2	1
지역특산물 등 먹거리	2	1
기 타	4	2
계	187	100

표 3-11. 우도에 머문 시간은?

	응답자수	%
1시간 이내	9	5
2~3시간	123	66
3~5시간	47	25
6~8시간	4	2
1박2일	4	2
계	187	100

또한, 우도를 다시 찾겠느냐는 물음에 대해서 ‘꼭 찾겠다’ 26%, ‘기회가 되면 다시 오고 싶다’ 65%, ‘오지 않겠다’는 9% 순이다. 개선할 부분은 ‘편의시설 확충’ 41%, ‘음식점 및 숙박시설 개선’ 18%, ‘도항선 야간운항’ 13%, ‘가족단위 체험관광프로그램 개발’ 13%, ‘먹을거리 개발’ 11%, ‘주민 및 종사자 친절도 향상’ 4% 순이다(표 3-12).

표 3-12. 우도 재방문 의사는?

	응답자수	%
오지 않겠다.	17	9
기회가 되면 다시 오고싶다.	121	65
꼭 찾겠다.	49	26
계	187	100

한편, 우도지역 관광소득원 개발에 도움이 될 사업분야로는 ‘친환경적 트레킹·하이킹 거리 조성’ 39%, ‘쉼 일주 모노레일 설치’ 23%, ‘차량 없는 녹색생태마을 조성’ 13%, ‘지역특산물 테마마을 조성’ 12%, ‘고급 휴양타운 조성’ 8%, ‘우도종합관광파크 조성’ 3% 순으로 나타났다(표 3-13).

표 3-13. 우도지역 관광소득 개발에 도움이 될 분야는?

	응답자수	%
차량 없는 녹색생태마을 조성	24	13
친환경적 트레킹·하이킹 거리 조성	73	39
쉼 일주 모노레일 설치	43	23
지역 특산물 테마마을 조성	22	12
우도종합관광파크 조성	6	3
고급 휴양타운 조성	15	8
기 타	4	2
계	187	100

3.3 우도지역 내 지질유산의 지질학적 특징

가. 소머리오름(옹회구)

(1) 지질학적 환경

제주도는 35km 두께의 대륙지각 위에 만들어진 화산섬으로(Yoo et al., 2007) 난카이 해분(Nankai Trough)의 섭입대로부터 600km 후방에 위치해있다. 난카이 해분에서는 필리핀 해판이 유라시아판 밑으로 섭입되며 화산호를 생성시켰으나 제주도의 화산활동은 이 섭입작용과는 무관하게 일어난 것으로 알려져 있다(Kim et al., 2005; Tatsumi et al., 2005). 제주도의 화산활동은 플라이오세 말기에 천해대륙붕에서 수성화산활동의 형태로 시작되었으며, 이러한 초기 화산활동은 백만 년 이상 지속되며 화산쇄설성 퇴적층인 서귀포층을 형성시킨 것으로 알려져 있다(Sohn et al., 2008). 서귀포층의 퇴적 이후 중기-후기 플라이스토세 기간 중에는 용암유출이 우세하게 일어나 용암순상지(lava shield)과 무수한 분석구들이 만들어졌으며 이러한 화산활동은 역사시대까지도 지속되었다. 제주도의 화산활동은 플라이오세 말기부터 역사시대까지 약 200만년에 걸쳐 일어났으며, 마그마는 대체로 알칼리(alkali)에서 아-알칼리(sub-alkali) 현무암, 조면현무암, 그리고 조면암의 조성을 지닌 것으로 알려져 있다(Tatsumi et al., 2005).

(2) 화산총서와 연대

우도는 제주도의 동쪽 연안에서 3km 떨어진 지점에 나타나는 $3\times4\text{ km}^2$ 크기의 섬이다. 우도는 옹회구(tuff cone), 분석구(scoria cone), 그리고 용암순상지(lava shield)으로 이루어져 있다. 분석구의 경우 스패터(spatter)라 불리는 용암덩이와 화산탄이 집적되어 만들어진 지형으로 스패터구(spatter mound)로 지칭하는 것이 더 정확한 표현일 수 있으나 편의상 분석구로 칭하고자 한다.

옹회구는 해식에 의해 내부구조가 잘 드러나 있으며, 옹회구의 화구(vent)를 통해 분석구와 용암순상지도 분출한 것으로 보인다. 옹회구는 북서쪽으로 트여있는 말발굽 형태를 지니며, 옹회구의 분화구 내부에는 등근 형태의 분석구가 나타나고 부분적으로 용암에 의해 폐복되어 있다. 옹회구의 분화구에서 북서쪽으로 흘러 퍼져나간 용암순상지에 대해 이루어진 K-Ar 연대측정결과를 보면 이 용암은 $114\pm3\text{ ka}$ 의 연대를 지닌 것으로 나타난다(Koh et al., 2005). 반면 시추코어에서 얻어진 암석시료에 대한 Ar-Ar 연대측정결과를 보면, 해발 25.5m 고도에서 얻어진 콜레아이트질 안산암 용암으로부터는 $102\pm69\text{ ka}$ 의 나이가 얻어졌으며, 해발 7.5m에서 얻어진 분석으로부터는 $86\pm10\text{ ka}$ 의 나이가 얻어졌다(Koh et al., 2008). 이러한 결과는 우도가 후기 플라이스토세에 만들어진 섬임을 지시한다.

옹회구와 용암순상지의 분출 이후에는 옹회구 물질이 재동되어 분화구 내외부에 재동된 화산쇄설성 퇴적층이 만들어졌다. 우도의 고도와 지형을 고려하여 우도의 마그마 분출량을 추산한 결과, 옹회구 분출단계에서는 약 0.06 km^3 의 마그마가 분출하였고, 용암순상지 분출단계에서는 약 0.65 km^3 의 마그마가 분출한 것으로 보인다. 분출 도중 대기 중으로 퍼져나간 화산재와 지하에서 분출하지 못하고 굳어버린 마그마의 양까지 고려하자면 실제 우도를 형성시키는데 관여한 마그마의 양은 더 컷을 것으로 추정된다.

다.

(3) 응회구의 퇴적단위와 퇴적작용

소머리오름으로 불리는 우도 응회구는 $20\sim30^{\circ}$ 로 가파르게 경사진 응회암 및 화산력응회암 층들로 이루어져 있다. 이 응회암층들은 화구를 중심으로 방사상의 경사방향을 지니고 있다(그림 3-48).

우도 응회구에 대한 퇴적학적 연구결과(Sohn and Chough, 1993)에 따르면, 우도 응회구는 천해환경에서 일어난 섯치(Surtsey)형 수성화산활동에 의해 만들어진 것으로 해석된다. 수성화산분출에 의해 방출된 화산체설물 중 화산력(lapilli)과 화산괴(block)는 주도 입자류(grain flow)에 의해 퇴적된 반면, 화산회(ash)는 주로 공중낙하(airfall)에 의해 쌓인 것으로 해석된다. 우도 응회구 내에서는 바다에서 일어난 재동작용에 의해 쌓인 층이 발견되지 않는데, 이는 수면 위에 드러난 우도 응회구가 전적으로 대기 환경에서 쌓였음을 지시한다. 물속에 잠긴 부분의 경우 해저에서 쌓였을 가능성을 배제할 수는 없다.

우도 응회구 내부에는 유문암과 용결응회암으로 이루어진 산성질 화산암편들이 종종 이질암편으로 포함되어 있다. 이 이질암편들은 제주도의 기반을 이루고 있던 백악기 기반암이 비교적 깊은 심도(300m 이상)에서 일어난 수성화산폭발에 의해 뜯겨 올라온 것으로 해석되고 있다(Sohn, 1996).

선박을 이용하여 우도 응회구에 대해 새로이 관찰을 실시한 결과 우도 응회구층이 크게 세 개의 퇴적단위로 이루어져 있음이 밝혀졌다(그림 3-49). 최하부의 기저 응회구층(BTC: basal tuff cone)은 접근이 어려운 해식절벽 노두에서만 관찰되며(그림 3-49A), 우도 응회구 전체 부피의 약 15%를 차지하는 것으로 추정된다. 하부 응회구층(LTC: lower tuff cone)은 해안을 따라 넓게 분포하고 있으나 접근 가능한 지역은 매우 제한되어 있다. 하부 응회구층은 기저 응회구층을 정합적으로 덮고 있으며 간혹 침식적인 경계를 지니기도 한다. 하부 응회구층과 기저 응회구층 사이의 절단면(truncation surface)은 응회구가 성장함에 따라 화도가 넓어지거나 또는 응회구층의 차별하중에 의해 응회구층이 붕괴되어 만들어진 면으로 해석된다(Sohn and Park, 2005). 이 절단면이 측방향으로 가며 정합적인 면으로 변화하는데(그림 3-49A), 이는 기저 응회구층과 하부 응회구층 사이에 긴 시간 간격이 없었음을 지시한다.

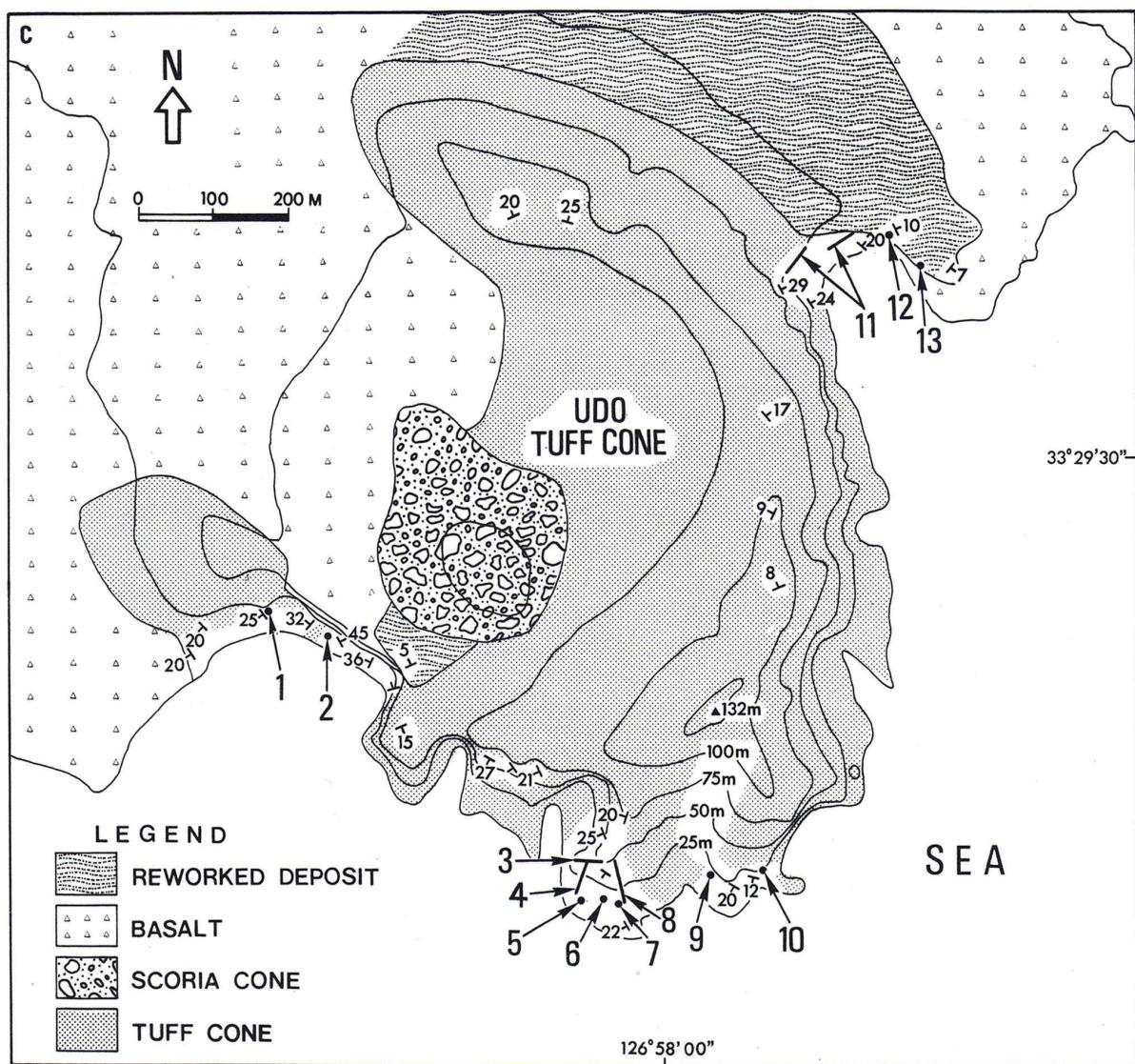


그림 3-48. 우도 소머리오름 지역의 지질도(after Sohn and Chough, 1993). 소머리오름은 용회구(tuff cone)로 이루어져 있으며 용회구의 분화구 내부에는 자그마한 분석구(scoria cone)가 위치해 있다. 그 위에는 용암순상지(lava shield)을 이루는 현무암이 놓여 있으며, 재동된 퇴적층(reworked deposit)이 분화구 내외부에 국부적으로 나타난다.

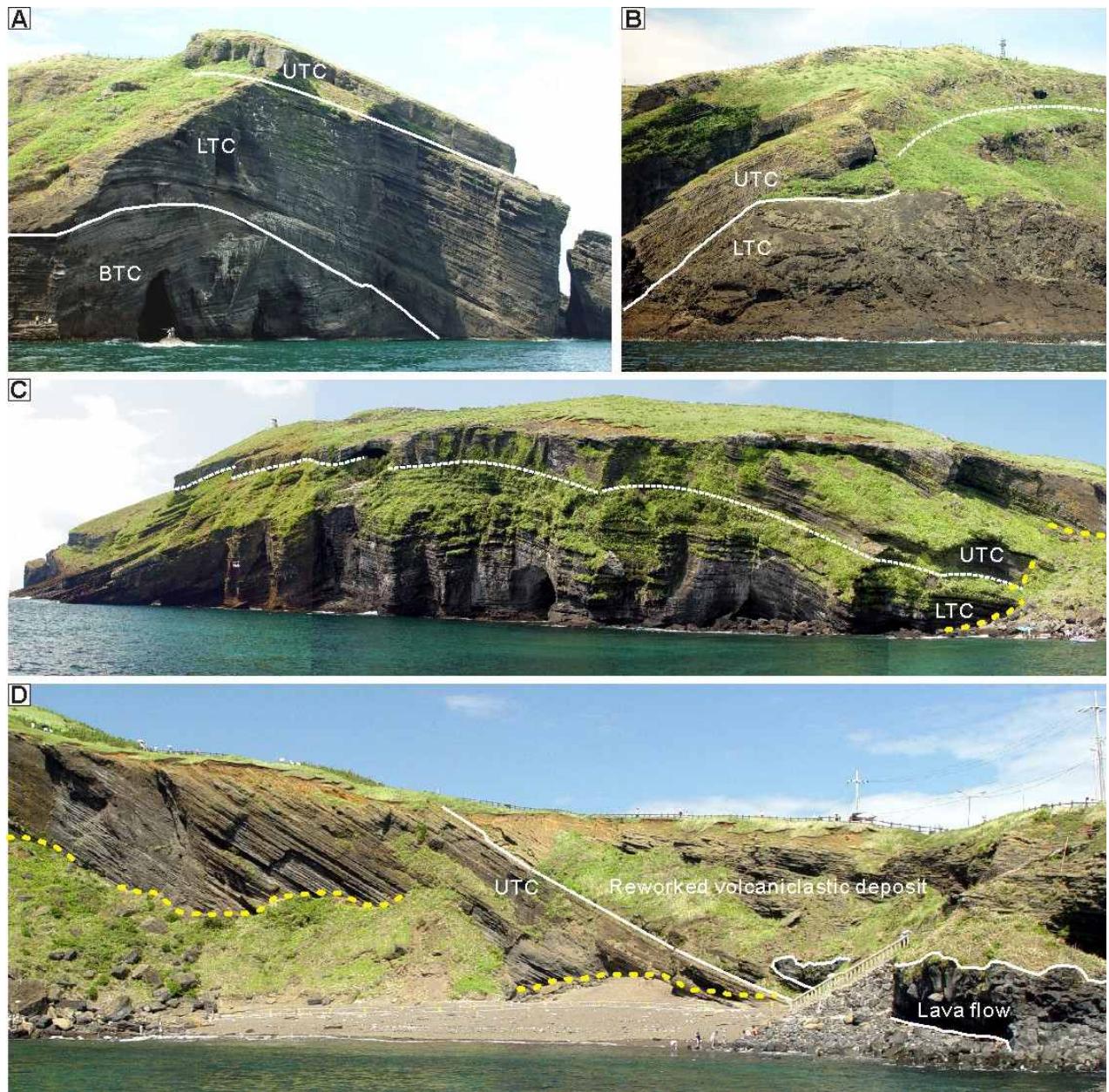


그림 3-49. 우도 응회구의 지층형태와 퇴적단위. A) 기저 응회구층(BTC)과 하부 응회구층(LTC) 사이의 절단면 그리고 하부 응회구층과 상부 응회구층(UTC) 사이의 정합적 경계면을 보여주는 사진. B) 하부 응회구층의 혼돈상의 사태층 위에 층리가 잘 발달한 상부 응회구층이 덮고 있는 모습. C) 하부 응회구층과 상부 응회구층 사이의 정합적인 관계를 보여주는 사진. 상부 응회구층의 상당 부분은 침식에 의해 제거된 것으로 판단된다. D) 검멀레 지역에서 관찰되는 응회구와 용암류와 재동된 화산쇄설성 퇴적층 사이의 층서관계를 보여주는 사진

하부 응회구층과 상부 응회구층(UTC: upper tuff cone)은 전반적으로 정합적으로 쌓여있어 그 경계를 노두에서 확인하기가 어렵다. 하지만 한 지역에서는 하부 응회구층의 윗부분에 뒤틀리고 파쇄된 응회암층으로 이루어진 혼돈상의 층이 나타나고 그 위를 층리가 잘 발달한 상부 응회구층이 덮고 있어(그림 3-49B) 하부 응회구층이 쌓인 후 잠시 화산분출의 휴지기가 있었고 이때 응회구의 사면붕괴 작용이 일어났음을 보여준다. 다른 지역에서는 하부 응회구층과 상부 응회구층의 경계를 확인하기는 어려우나, 하부 응회구층이 판상층리를 보이는 화산력응회암으로 주로 이루어져있는 반면 상부 응회구층은 얇은 층리를 보여주는 응회암층으로 주로 이루어져있어 두 응회구층의 구별이 가능하다(그림 3-49C).

우도 응회구 동쪽의 검멀레 해안에서는 응회구층과 용암순상지 사이의 층서관계가 잘 관찰된다(그림 3-49D). 이 지역에서는 가파르게 경사져있는 응회구층이 거의 수평에 가까운 경사를 지닌 재동된 화산쇄설성 퇴적층에 의해 덮여있다. 재동된 퇴적층은 괴상이거나 사층리 및 깎고 채운 구조를 보여준다. 이는 이 퇴적층들이 응회구의 분출이 끝난 후 쇄설류와 지표류 및 우곡류(rill flow) 등에 의해 화산쇄설물이 재동되어 쌓였음을 지시한다(Sohn and Chough, 1992). 이러한 화산쇄설물의 재동작용은 수성화산분출이 종료된 직후 응회구층의 고결이 일어나기 전에 일어나는 것으로 알려져 있다(Ferrucci et al., 2005; Nemeth and Cronin, 2007). 이 지역에서는 용암류가 응회구층과 재동퇴적층 사이에 협재되어 나타난다. 이러한 층서관계는, 이곳의 용암류가 응회구의 분출이 종료된 직후에 정치되었으며, 응회구의 재동이 본격적으로 일어나기 전에 용암분출이 일어났음을 지시한다. 이러한 층서관계는 우도의 응회구와 분석구, 용암순상지이 시간의 단절 없이 연속적으로 분출이 일어나 형성되었음을 지시한다.

(4) 지화학조성과 분출작용

우도 응회구를 이루고 있는 응회암과 그 위를 덮고 있는 용암순상지에 대해 이루어진 화학분석 결과를 보면 우도의 암석은 하부로부터 하부 응회구층(LTC), 상부 응회구층(UTC), 그리고 순상용암(LS: lava shield) 등 총 세 개의 화학층서단위(chemostratigraphic unit)로 이루어져있음이 밝혀졌다(Brenna et al., 2010)(그림 3-50).

하부 응회구층의 시료들은 MgO 함량이 8에서 7 wt%로 좁은 범위를 지니며 층서에 따라 체계적인 변화를 보여주지 않는다(그림 3-50). 이들은 또한 Na₂O를 제외한 대부분의 주원소들이 좁은 조성 범위를 지닌다(그림 3-51). 상부 응회구층의 시료들은 MgO 함량이 9~10 wt%로서 하부 응회구층에 비해 원시적인(primitive) 조성을 지니고 있으며, MgO 함량이 증가했다가 감소하는 경향을 보인다(그림 3-50). 반면 CaO, Al₂O₃, SiO₂ 등의 원소는 반대 경향을 보인다. Fe₂O₃는 일정한 경향을 보이며, Na₂O는 분산되어 있으며 MgO와는 음의 상관관계를 보인다. 분석구는 MgO 함량이 9.47 wt%로서 응회구 시료보다 약간 더 원시적인 조성을 지닌다.

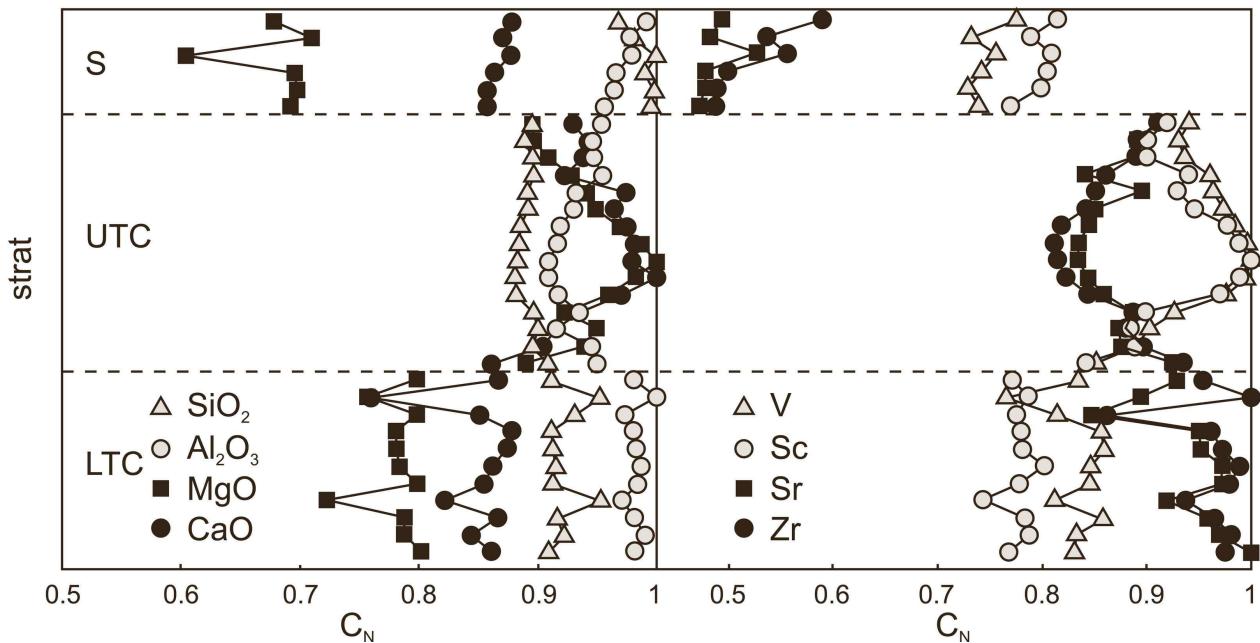


그림 3-50. 우도 암석의 화학조성 변화. LTC: 하부 응회구, UTC: 상부 응회구, LS: 용암순상자, C_N : 각 원소의 최대값에 대해 표준화된 농도(after Brenna et al., 2010)

순상용암의 시료들은 MgO 함량이 6~7.5 wt%로서, MgO 가 감소함에 따라 SiO_2 , K_2O , Na_2O , TiO_2 는 증가하는 반면 Fe_2O_3 은 감소하는 경향을 보인다(그림 3-51). CaO 와 P_2O_5 는 변화 없이 일정한 경향을 보인다. 이상의 결과로 볼 때, 하부 응회구와 상부 응회구에서 얻어진 시료들은 nepheline to olivine normative alkali basalt인 반면 용암순상자의 시료는 quartz-normative tholeiite의 조성을 지닌 것으로 해석된다.

주원소 분석 결과 나타난 조성변화가 미량원소 분석결과에서도 유사하게 나타난다(그림 3-52). 즉, 용암순상자분출 단계에서는 Zr 이 응회구 분출단계에 비해 낮으며, 상부 응회구층도 화학조성이 진화한 마그마에서 원시적인 마그마로 변했다가 다시 진화한 것으로 나타난다. 응회구 분출단계에서 Sc 와 V 는 마그마가 진화함에 따라 감소한다. Cr 과 Ni 도 비슷한 경향을 보인다. 용암분출 단계에서 Sc 와 V 는 일정하게 유지되거나 약간 증가하며, Cr 과 Ni 는 감소한다. Sr 은 모든 단계를 통해 진화가 진행됨에 따라 증가한다(그림 3-52). 미량원소의 비율을 보더라도 응회구 분출단계와 용암 분출단계의 마그마 조성이 분명한 차이를 보인다.

해석: 우도 응회구와 용암순상자으로부터 충서적으로 제어되어 채취된 시료에 대해 지화학 분석을 실시한 결과 우도를 형성시킨 현무암질 마그마는 매우 복잡한 지화학적 변화를 경험한 것이 드러났다. 우도의 분출은 상대적으로 진화한 알칼리 마그마가 수성화산폭발을 일으키며 응회구를 만들며 시작되었다. 응회구를 만든 마그마는 분출이 진행됨에 따라 점차 원시적인 조성으로 변해갔으나 응회구 분출의 마지막 단계에서는 다시 진화한 조성으로 되돌아갔다.

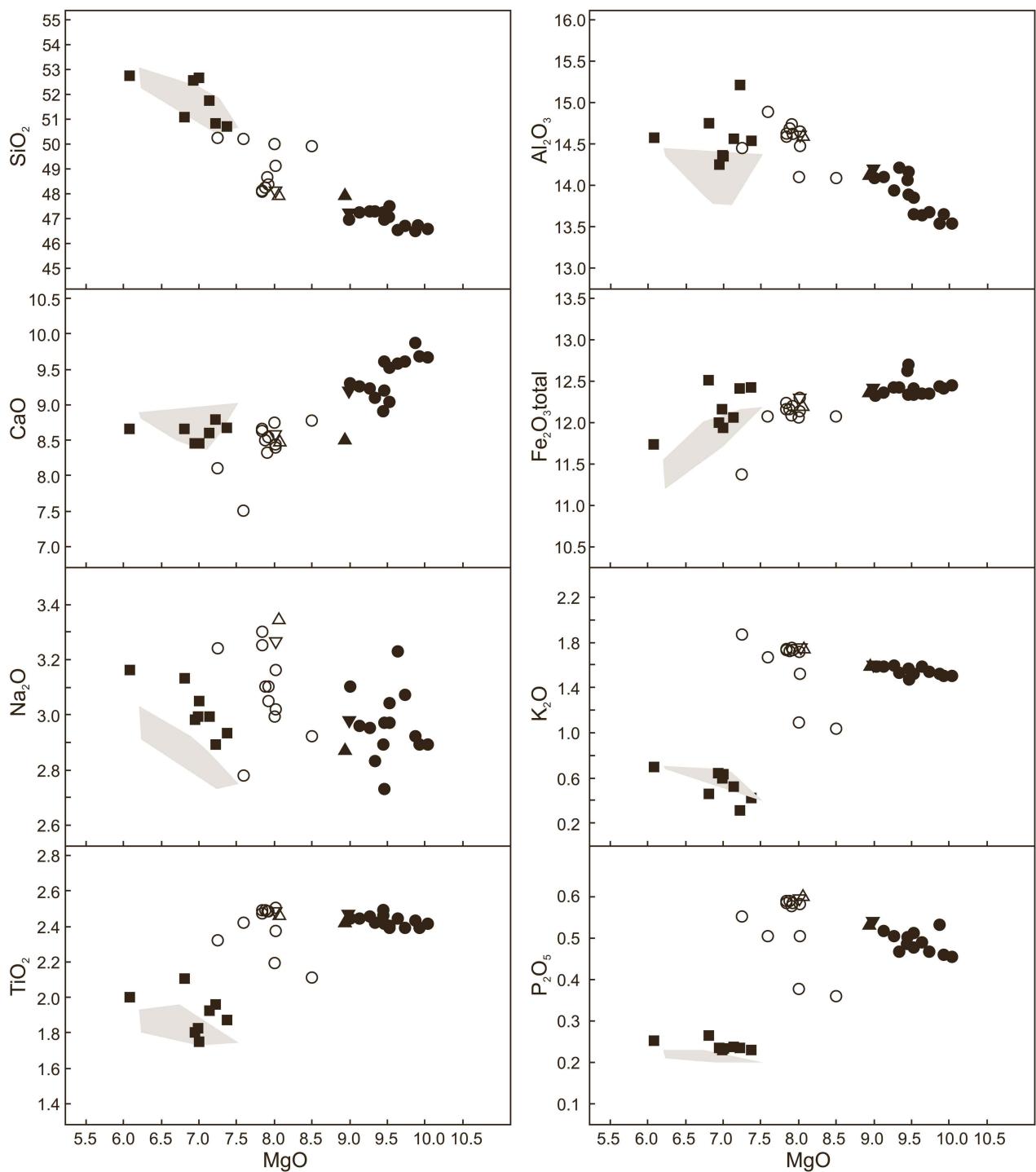


그림 3-51. 우도 암석의 주성분 원소변화. LTC: 하부 용회구, UTC: 상부 용회구, LS: 용암순상지
(after Brenna et al., 2010). 회색 톤으로 표시된 부분은 Koh et al. (2005)의 자료임

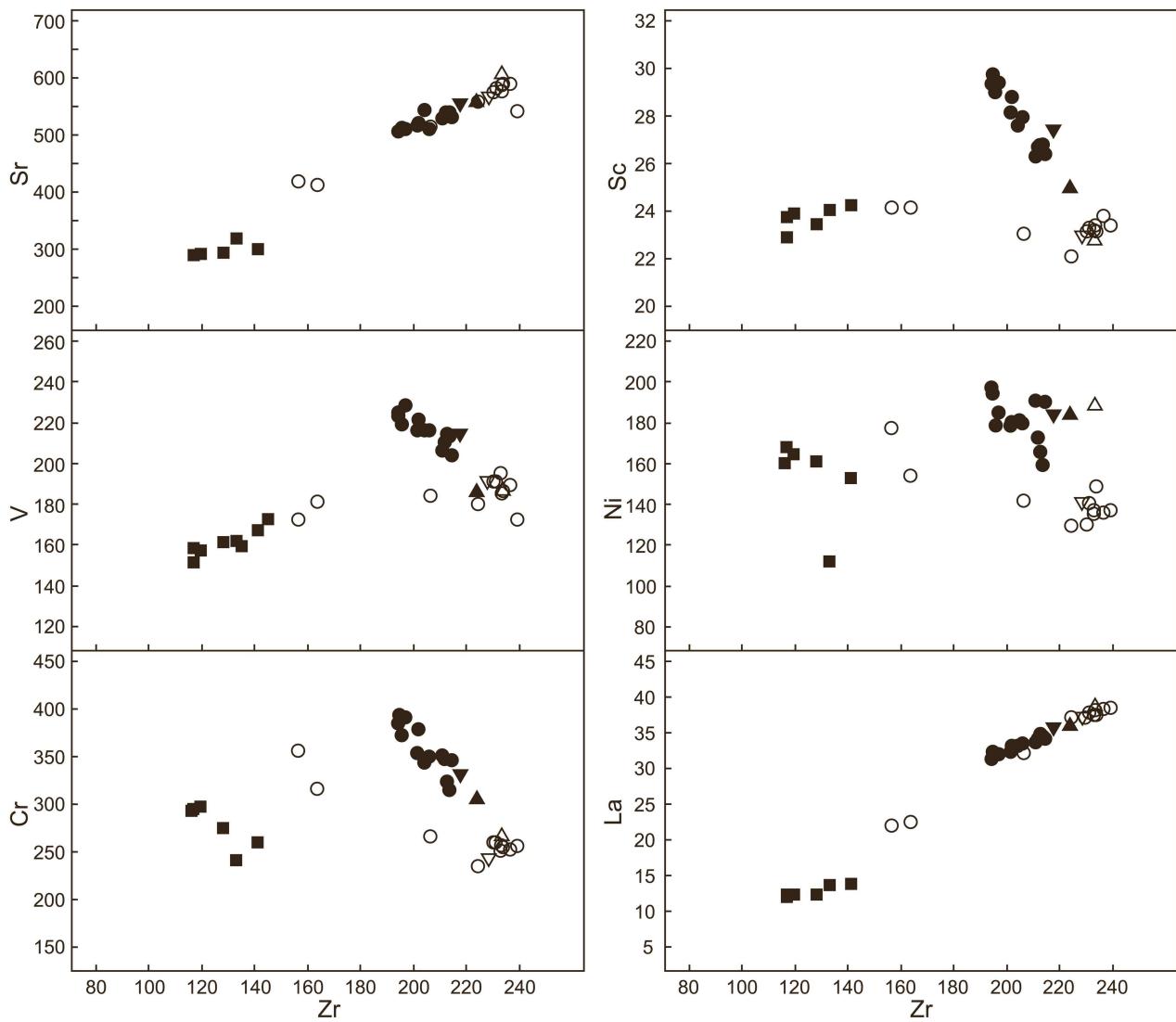


그림 52. 우도 암석의 미량원소 변화 (after Brenna et al., 2010).

아-알칼리(sub-alkali) 조성을 지닌 별개의 마그마가 응회구 분출 직후에 분출하여 용암순상지이 형성되었다. 각 화산층서단위 사이에 침식면이 없어 이러한 분출은 휴지기 없이 연속적으로 이루어진 것으로 보인다. 알칼리 마그마를 모델링한 결과, 마그마는 3~3.5 GPa의 압력 하에 석류석-감람암(garnet peridotite)의 용융에 의해 생성된 후 1.5~2 GPa의 압력 하에 단사휘석-감람석-스페넬 분별결정을 겪었던 것으로 보인다. 반면, 아-알칼리 마그마는 화학조성이 다른 별개의 감람암에서 생성되어 비교적 천부지하에서 감람석 분별결정을 겪으며 만들어진 것으로 해석된다. 우도 응회구의 화학조성이 진화한 마그마에서 원시적인 마그마로 갔다가 다시 진화한 마그마 조성으로 돌아온 현상은 마그마 덩이가 하나의 암맥 시스템을 통해 분출하며 마그마 덩이의 각기 다른 부분이 순차적으로 분출하여 나타난 것으로 보인다. 아-알칼리 마그마는 알칼리 마그마가 먼저 분출하며 지표로 상승할 수 있는 길을 열어주었기 때문에 분출한 것으로 보인다(그림 3-53). 이상의 결과는 제주도의 단성화산 분출 시 조성을 달리하는 마그마 덩이들이 상호작용을 하며 분출하였음을 지시한다.

Eruption order:

1. evolved alk, 2. primitive alk, 3. evolved alk
4. primitive sub-alk, 5. evolved sub-alk

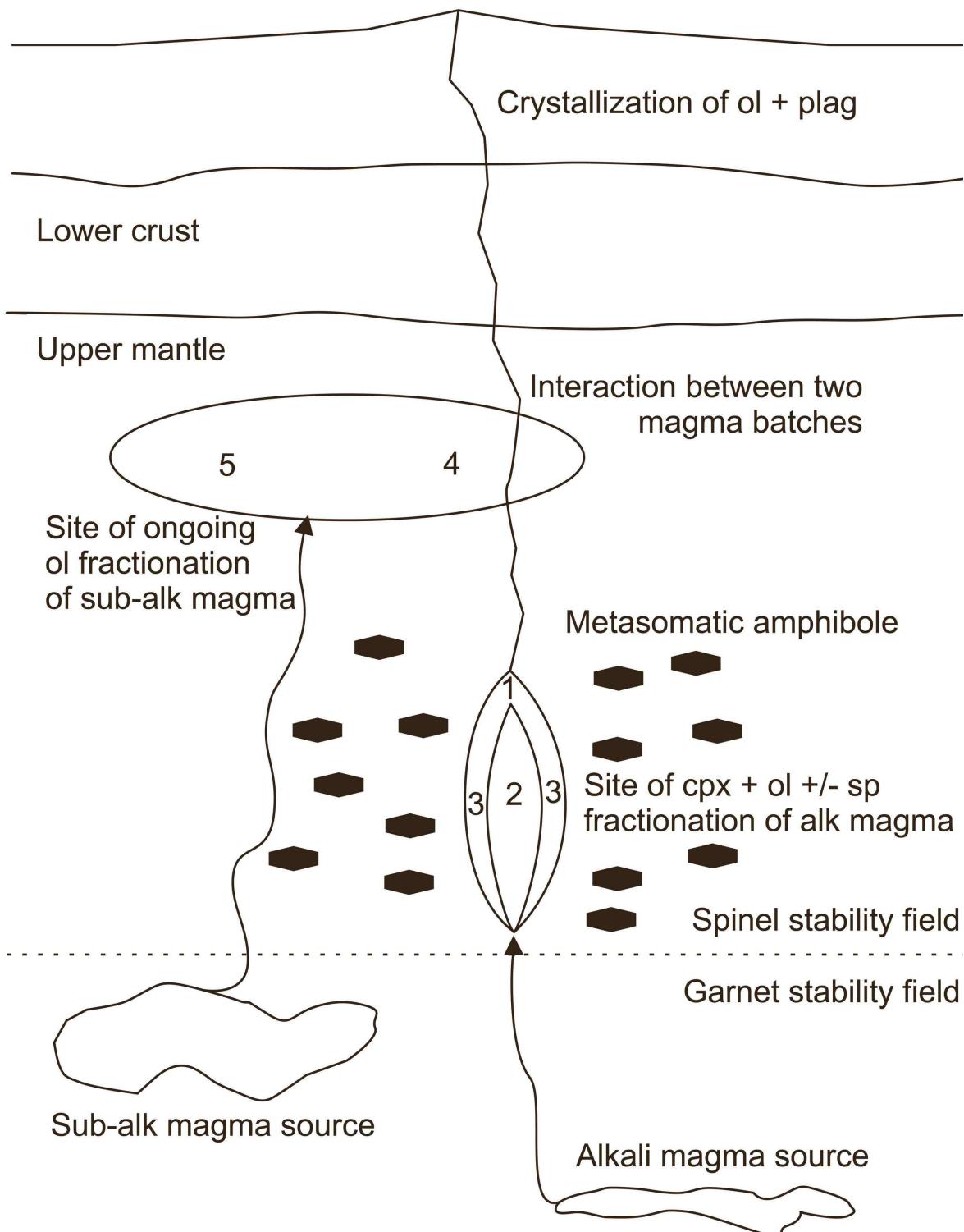


그림 3-53. 우도를 형성시킨 마그마 시스템 모식도. ol: 감람석, plag: 사장석, cpx: 단사회석, FC: 분별결정(after Brenna et al., 2010)

나. 홍조단괴

석회조류 중에서 홍조류, 녹조류가 있으나, 국내의 천해에는 홍조류만이 분포한다. 홍조류는 크게 덮개형이나 가지상 홍조류로 나눌 수 있는데(유와 우, 2007), 국내에는 동해의 북단인 고성에서 제주도에 이르기까지 모두 자라고 있다. 홍조류는 광합성을 하는 식물이기 때문에 햇빛이 미치는 천해(euphotic zone)에 주로 서식하며, 특히 독도나 울릉도, 그리고 제주도의 여러 지역에서는 수심이 수미터 이내에서 많이 서식하고 있는 것으로 알려져 있다. 홍조류 중에서 덮개형 홍조류는 주로 암반을 피복하면서 자란다. 성장하면서 홍조류 내의 컨셉티클(concepticle) 내에 있는 포자(spores)를 식물의 조직 밖으로 내보내서 다른 지역으로 확산하면서 성장한다. 따라서 새로이 홍조류가 자라는 지점은 바로 포자가 기질(substrate)에 안착하여 성장하기 시작하는 곳이기도 하다. 홍조류는 살아있을 때는 붉은 색을 띠지만 죽으면 붉은 색소를 내는 유기물이 분해되어 탄산칼슘만이 남으면서 백색으로 변한다. 흔히 “백화현상”이라고 불리는 것도 바로 천해환경 내에 다른 조류는 사라지고 죽은 홍조류만이 남아 있는 것을 말한다. 석회조류는 모두 식물의 조직(tissue) 내에서 탄산칼슘을 생산하며, 특히 대부분의 홍조류는 고마그네슘방해석(high Mg-calcite)를 주로 만든다. 광물의 결정은 매우 작아서 편광현미경에서 조차 광물의 결정을 개별적으로 관찰하기 어렵다. 하지만 홍조류가 만드는 조직의 특징을 매우 뚜렷하여 편광현미경 하에서 홍조류의 인지는 비교적 쉽다고 할 수 있다.

우도에는 이러한 홍조류가 천해에 많이 성장하고 있다. 특이한 현상은 다른 지역과는 달리 우도의 천해에는 덮개형 홍조류가 암반은 물론이고 마치 단괴(nodule)의 형태로 대부분 성장하고 있다는 사실이다. 이는 홍조류가 성장하는 지역이 물리적-수력학적 에너지가 매우 높다는 것을 의미한다. 왜냐하면 홍조단괴는 홍조류의 포자가 작은 입자에 안착한 후, 입자에 붙어서 입자를 피복하면서 홍조류가 자라고, 또 그 자리에 다음 세대의 홍조류가 덮으면서 단괴가 커지는데, 이를 위해서는 단괴가 지속적으로 구르거나 움직여서 마치 눈덩이가 커지듯이 그 크기가 커지기 때문이다. 즉, 홍조단괴가 자라기 위해서는 오랜 시간에 걸쳐 홍조류가 표면에 계속해서 자라서 커져야만 가능하다. 우도의 서광리 해빈(서빈백사)에는 홍조단괴로 이루어진 해빈퇴적물이 분포한다. 놀랄만한 사실은 해빈퇴적물의 거의 95% 이상이 바로 이 홍조단괴로 이루어져 있다는 사실이다(김진경 외, 2004). 이러한 특이한 지질유산에 대한 학술적 가치가 인정되어 문화재청에서는 2004년에 이 지역을 천연기념물 제438호로 지정한 바 있다. 우도의 서빈백사의 퇴적층은 다른 지역의 해빈과 아주 다른 특징을 가진다(이 보고서의 해빈퇴적물에 대한 부분을 참조할 것). 이 퇴적층은 전형적인 해빈퇴적물과는 달리 주로 태풍과 같은 현상에 의해 홍조단괴가 해빈으로 이동되어 온 것으로 생각된다. 이러한 사실을 홍조단괴의 대부분이 현재 우도와 성산사이에서 성장하고 있다는 것을 의미하기도 한다. 하지만 아직까지 우도와 성산사이의 수중환경에 대한 학술조사는 수행된 바 없다.

우도 주변의 해저지형은 매우 특이한 형태를 나타내는데, 우도를 중심으로 하여 동서의 해저지형이 매우 상이한 구조로 되어 있다. 우도의 서쪽 해저지형인 제주도와 우도 사이에는 성산반도와 종달반도에서 우도로 이어지는 우도수로가 위치하고 있으며, 우도수로는 채널(channel)의 형태를 띠고 있다. 우도수로는 연안으로부터 완만한 경사를 이루고 있으며, 기반은 주로 견고한 암반층이고 암반 사이에는

홍조단괴를 포함한 탄산염 퇴적물이 얕게 덮혀있다. 우도수로 중 종달반도와 우도 사이는 최대 수심이 20.7m, 평균 수심이 15m 정도로 매우 얕은 수심 분포를 보이며, 성산반도와 우도 사이는 수심 20m 이상의 골짜기가 형성되어 있다. 또한 우도수로 내에는 모우트(moat) 현상에 의해 형성된 갯골이 여러 군데 발달해 있다. 주변에 비해 다소 깊은 골짜기나 갯골 등은 우도수로의 빠른 해류에 의해 형성된 것으로 생각된다. 우도수로에서 해류의 유속은 창조류 시 북향으로 3.0 knot, 낙조류 시 남향으로 2.6 knot로 매우 빠르게 관측되었다(국립해양조사원, 1990). 반면 우도의 동쪽 해저 지형은 외해로 급격하게 깊어지는 형태를 이루고 있어 해안가에서 바다로 약 3km 정도 나아가면 수심이 100m 이상으로 깊어진다. 우도 주변의 수온은 여름철(8월)에 26°C, 겨울철(2월)에 14°C를 나타내며 연평균수온이 약 19°C에 이르러 연중 대체로 따뜻한 수온을 유지한다. 염분은 여름철(8월) 31.4‰, 겨울철(2월)에 34.2‰로 연평균 약 33.4‰을 나타낸다(곽, 1993).

(1) 홍조류의 특징

홍조단괴는 덮개형 홍조류가 핵을 피복하여 자라기 시작하여 조류나 파랑들에 의해 계속해서 뒤집히고 구르면서 자라기 때문에 전체적으로는 구형을 유지하며 성장하게 된다(그림 3-54). 다른 지역에 비해

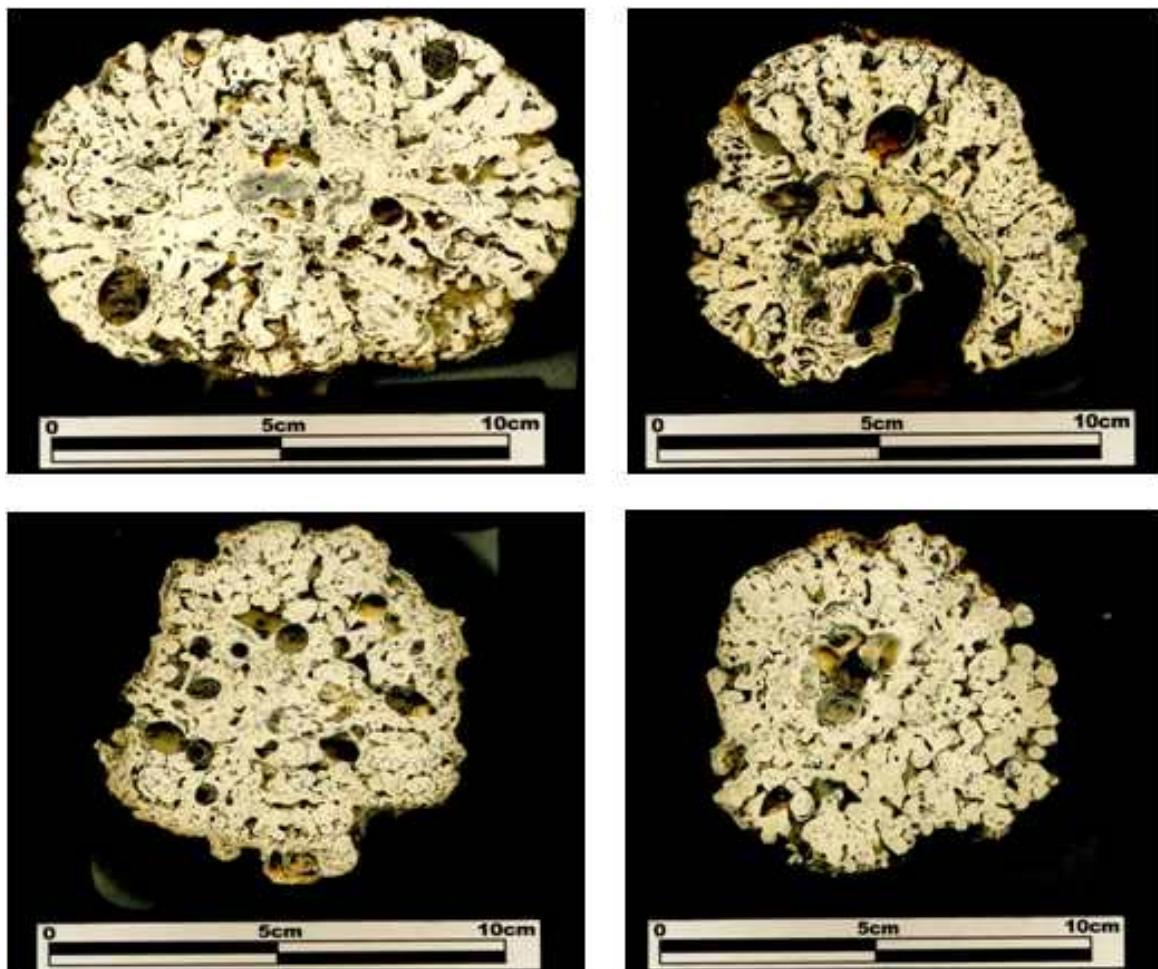


그림 3-54. 홍조단괴 슬랩사진

이러한 홍조단괴가 제주도와 우도 사이에는 성산반도와 종달반도에 우도로 이어지는 우도수로에서 많이 서식하는 것은 이 지역이 홍조단괴가 서식하는데 필요한 몇 가지 해양학적인 조건을 만족시키고 있기 때문이다. 첫째로 홍조단괴가 성장할 수 있기 위해서는 그 지역이 홍조류가 서식할 수 있는 환경조건을 갖추고 있어야 한다. 일반적으로 홍조류의 분포는 수온과 햇빛에 의해 조절되어지며, 수온이 높은 열대 지방으로 갈수록 그 종이 다양하게 나타난다고 알려져 있다(Adey, 1996, 1970; Adey and McKibbin, 1970; Adey and Adey, 1973). 우도 주위 천해의 수온은 여름철에 약 26°C에 이르며, 겨울철에도 약 14°C에 이르러 연중 내내 따뜻하게 유지되고 있다. 또한 성산과 우도 주변에는 하천이 없어서 이 지역으로 화산쇄설성 퇴적물이 유입되지 않아 항상 맑고 깨끗한 바닷물이 유지된다. 이러한 천해환경은 홍조류의 서식에 필요한 조건을 잘 충족시키고 있다고 판단된다.

둘째로 홍조단괴가 형성되기 위해서는 홍조단괴가 핵을 중심으로 성장해 갈 때, 반복적으로 뒤집히거나 해저면을 구를 수 있어야 한다(Prager and Ginsburg, 1989). 수심이 얕은 연안에서 성장하는 홍조단괴의 경우에는 조류나 파랑이 홍조단괴를 반복적으로 구르게 하는 역할을 하는 것이 일반적이다 (Bosellini and Ginsburg, 1971; Davies and Marshall, 1986; Scoffin et al., 1985; Tsuji et al., 1989). 또 잔물결(ripple)이 이동하면서 홍조단괴의 표면을 마모시키고 구르거나, 성게나 물고기와 같은 생물들이 홍조단괴를 구르게 할 수도 있다. 간혹 태풍 등에 의한 영향을 받기도 한다. 이와 같은 홍조단괴가 성장하려면 뒤집히거나 구를 수 있는 해양학적인 조건을 잘 만족시키고 있다. 성산과 우도 사이에 우도수로는 국내에서 조류가 가장 빠른 지역 중의 하나로 알려져 있다. 이는 우도수로의 수심이 13-17m 정도로 매우 낮기 때문이며, 따라서 이 지역에는 유속이 약 2.6-3.0 knot에 이르는 매우 빠른 조류가 형성될 수 있다. 수심이 깊어짐에 따라 유속이 어느 정도 감소할 것으로 예상되나, 이는 홍조단괴를 매우 빈번히 뒤집고 구르게 하는 데에는 충분한 속도라고 생각한다. 또한 이 지역에는 해마다 여름철에 몇 차례의 태풍이 북상하는데, 이러한 태풍은 해저 면에서 자라고 있는 조립 샌드 크기에서부터 왕자갈 크기까지의 홍조단괴를 모두 움직일 수 있는 충분한 에너지를 가지고 있는 것으로 생각된다. 따라서 이 지역이 태풍의 영향을 받는 시기에는 해저면의 홍조단괴들이 매우 급격하게 움직이고 구르며 성장하였을 것으로 판단된다. 이와 같이 제주도와 우도 사이에는 성산반도와 종달반도에 우도로 이어지는 우도수로는 홍조단괴가 성장하기에 알맞은 해양학적인 환경조건을 가지고 있다. 특히 스쿠버다이빙을 실시하면서 현재 천해환경 내에 퇴적된 퇴적물을 10cm 이상 파본 결과, 퇴적물 내에는 최근까지 성장하고 있던 표면이 빨간 색의 홍조단괴가 다수 발견되었다. 이는 활발히 성장하던 홍조단괴가 지난 태풍의 영향으로 해저의 퇴적물이 다시 부유상태에서 재퇴적될 때 퇴적물 속에 묻혔다는 것을 의미한다. 이는 서빈백사의 많은 작은 크기의 홍조단괴의 성인에 대한 중요한 단서가 될 수도 있을 것이며, 태풍의 활동이 홍조단괴의 성장에 미치는 영향을 매우 클 것이라고 판단된다. 또한 다이빙 조사 당시 수많은 홍조단괴가 널미역에 의해 부착되어 있었다. 이는 널미역과 홍조단괴서 서로 도와가며 살아가는 특이한 생태환경이 천해에서 조성되었다는 것을 의미하며, 이러한 생태학적인 연구도 앞으로 홍조단괴의 특성을 이해하는데 좋은 자료가 될 것이다.

(2) 홍조류의 구성 광물의 조직

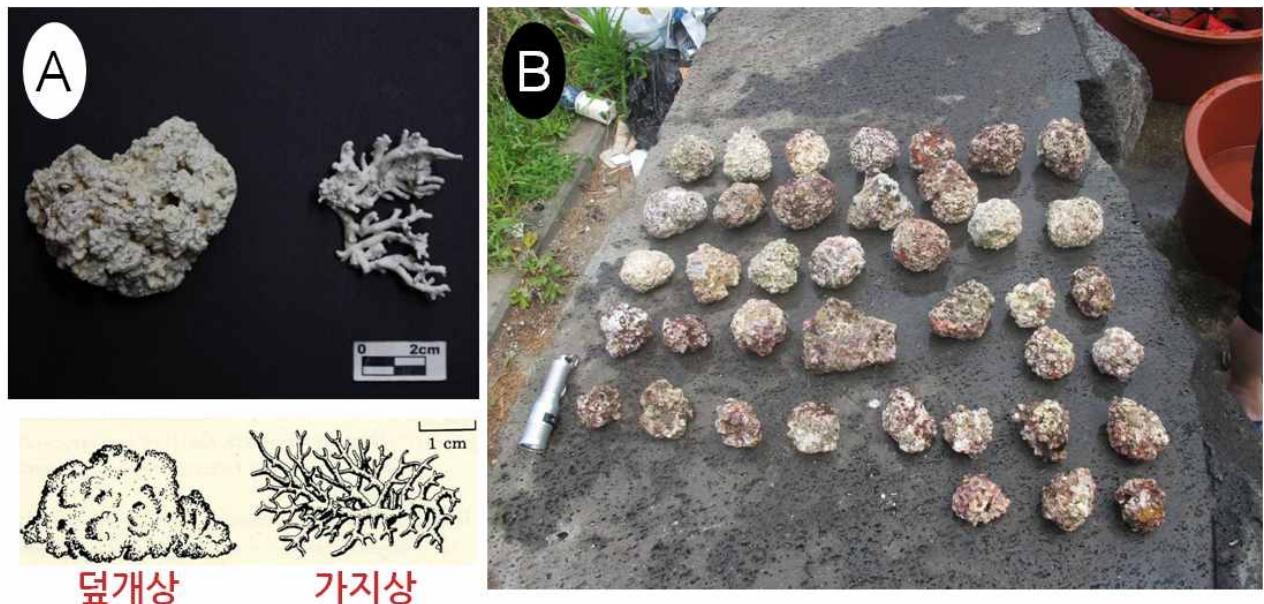


그림 3-55. A) 일반적으로 석회조류 중 홍조류가 자라는 형태(덮개상 홍조류와 가지상 홍조류), B) 연구지역에서 채취한 홍조단괴

일반적으로 홍조단괴를 형성하는 덮개상 홍조류는 11개의 속(genus)으로 분류된다(그림 3-55). 특히 홍조류의 하이퍼텔러스(hypothallus)와 페리텔러스(perithallus)의 조직, 콘셉터클(conceptacle)의 형태와 아파처(aperture)에 나타나는 유형에 따라 홍조류의 분류가 이루어지고 있다. 우도에서 산출되는 홍조단괴의 하이퍼텔러스는 비교적 큰 방(cell)들이 규칙적으로 활의 모양으로 휘어져 배열되어 있으며, 페리텔러스의 방들은 하이퍼텔러스의 방들보다는 크기가 조금 작은데, 이 방들의 벽의 두께는 수직적으로는 얇은 반면 수평적으로는 그보다 두껍게 발달되어 있는 형태를 보인다. 일부 덮개상 홍조류의 경우에는 페리텔러스 내에 큰 방인 메가셀(megacell)이 존재하는 경우도 있지만, 연구지역의 홍조단괴를 이루는 홍조류 내에는 메가셀이 존재하지 않는 것으로 관찰되었다. 일반적으로 홍조류는 포자(spore)로 번식하며, 따라서 홍조류의 조직 내에는 포자가 들어 있는 공간이 존재한다. 이 공간을 콘셉터클이라고 하며, 대부분의 덮개상 홍조류의 경우에는 콘셉터클이 페리텔러스 내에 형성되어 있다. 콘셉터클에는 포자가 나오는 입구인 아파처가 존재하며, 아파처는 한 개 또는 여러 개가 발달한다. 보통 유성생식을 하는 홍조류는 아파처가 한 개 발달한 콘셉터클을 가지고 있으며, 무성생식을 하는 경우에는 아파처가 한 개 발달한 콘셉터클과 여러 개 발달한 콘셉터클을 모두 가지고 있다. 이와 같은 여러 가지 조직적인 특징으로부터 제주도와 우도 사이에는 성산반도와 종달반도에 우도로 이어지는 우도수로에 서식하고 있는 홍조류는 덮개상 홍조류 중 *Lithophyllum* 속에 속하는 것으로 판단된다(김진경 외, 2004).

홍조단괴 내에 구성성분으로는 덮개상 홍조류, 태선동물, 웜튜브(serpulid worm tubes)가 나타난다(그림 3-56). 이러한 생물들의 성장한 형태를 조직적으로 관한 결과 홍조류가 다른 동물에 비해 성장경쟁에서 우위에 있다는 것을 알 수 있다. 또한 페리텔러스 내에는 생식기관인 콘셉터클이 다량 존재하며,

콘셉터클의 내부는 비어 있거나, 천해속성작용의 영향으로 침상의 아라고나이트 결정이 구과상(spherulitic)으로 자란 것도 관찰된다(그림 3-56B). 이와 같은 홍조류의 콘셉터클 내에서 발견되는 천해속성산물인 아라고나이트와 고마그네슘방해석 교질물은 국내의 천해 퇴적물에서는 최초로 발견된 것이다. 일반적으로 이러한 천해 교질물은 주로 열대와 아열대의 산호초에서 보고된 바 있으나, 온대지방의 탄산염퇴적물 내에는 극히 제한된 분포를 보이는 것으로 알려져 있다. 특히 방해석 교질물의 마그네슘 함량과 성인에 대해서는 앞으로 정밀한 조사가 요구된다.

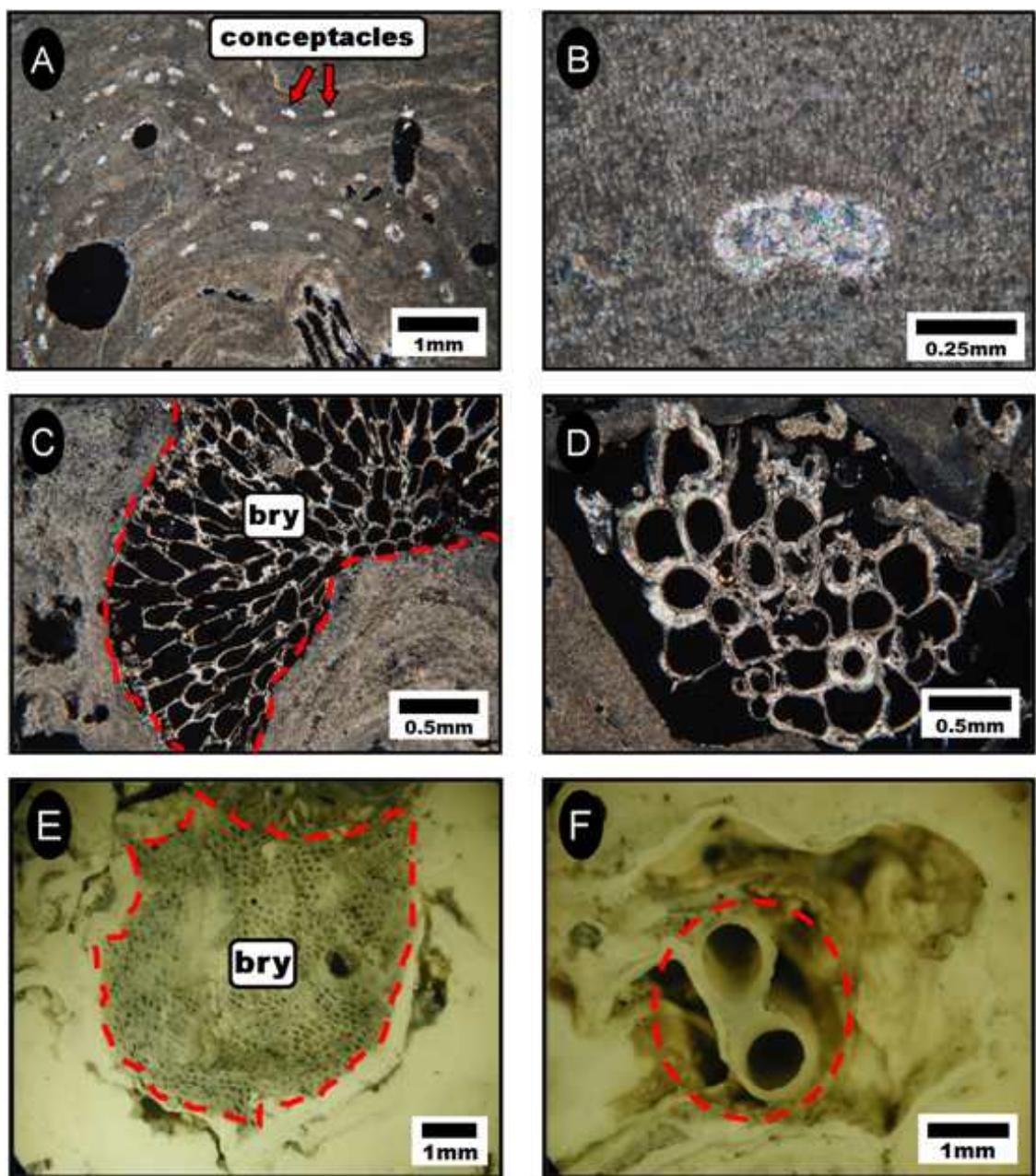


그림 3-56. 홍조단괴 박편사진과 실체현미경사진. A) 콘셉터클 내부를 충진하고 있는 방해석 교질물 박편사진, B) 콘셉터클 확대 박편사진, C) 태선동물(Bryzoan:bry) 박편사진, D) 웜튜브(Worm tube) 박편사진, E) 태선동물 실체현미경 사진, F) 웜튜브 실체현미경 사진

홍조단괴에는 내부를 다른 생물체가 뚫고 들어간 보링(boring)의 흔적이 발견되고, 보링 내에는 다른 생물체들의 각질이 퇴적되어 채우고 있다. 홍조단괴 내에 보링을 채우고 있는 구성성분은 실제로 보링을 한 이매폐류의 각질 그리고 탄산염광물로 이루어진 복족류, 성게, 유공충과 같은 동물의 각질이 대부분이며 쇄설성 입자가 일부 포함되어 있다(그림 3-57). 또한 보링은 홍조단괴의 크기와 관련이 있는 것으로 보이며 이들은 서로 비례관계를 보인다.

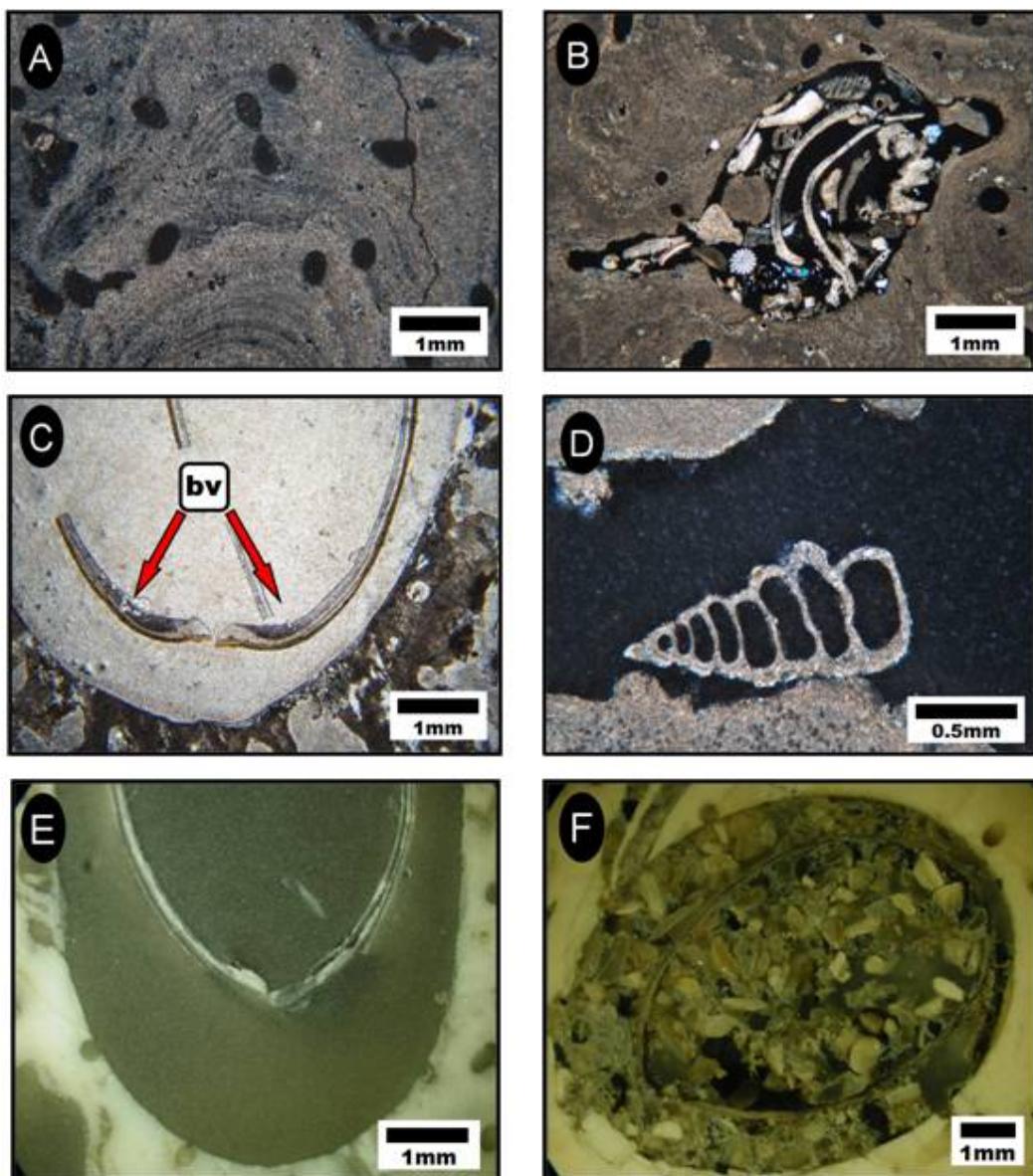


그림 3-57. 홍조류 내에 boring 현미경사진과 실체현미경사진. A) 홍조류 내에 boring 박편사진, B) Boring 내에 퇴적된 여러 생물의 각질로 이루어진 탄산염퇴적물과 쇄설성 입자 박편사진, C) Boring 내에 boring을 한 애매폐류(bv)의 각질 박편사진, D) Boring 내에 퇴적된 복족류 박편사진, E) Boring 내에 boring을 한 이매폐류의 각질의 실체현미경사진, F) Boring 내에 퇴적된 탄산염광물로 이루어진 생물의 각질과 쇄설성 입자의 실체현미경사진

(3) 홍조단괴의 연령

채취한 홍조단괴의 연령이 얼마나 되는지를 정확하게 알아보기 위하여 절대연령 분석을 실시하였다. 우선, 채취한 홍조단괴 중 제일 크고, 비교적 유통불통한 면이 없고, 대칭적으로 성장한 홍조단괴를 선택하였다.

홍조단괴는 핵을 중심으로 성장하고 성장선이 나타나기 때문에 안쪽부터 바깥쪽으로 성장선을 따라서 세지점에서 미세분말채취기를 이용하여 드릴링한 후, 연령을 측정하였다(그림 3-58). TIMS(Thermal Ionization Mass Spectrometer)로 $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ 연령 분석을 하였다.

연령의 단위는 BP(before present)를 사용하는데, 여기에서는 present는 1950년을 의미한다. 1950년대 이후로는 인류의 산업 발달로 인해 대기 중의 CO_2

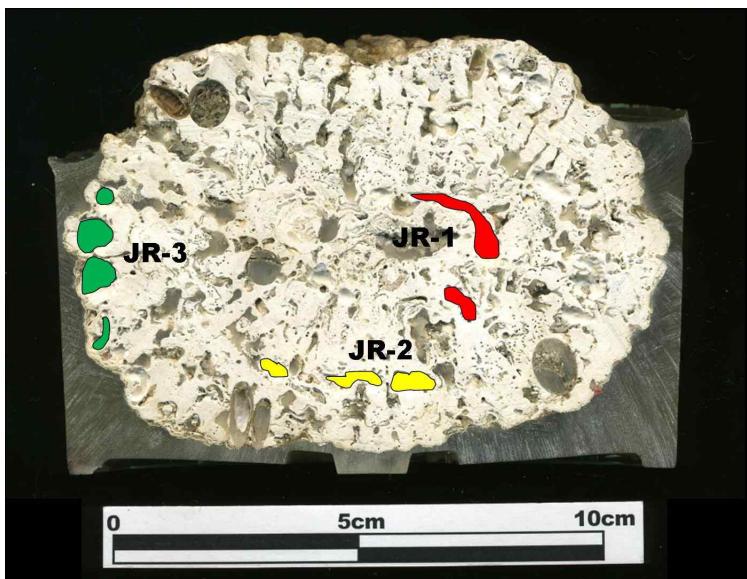


그림 3-58. 홍조단괴 드릴링한 위치

함량이 급격하게 증가되었기 때문에, 분석 시에는 1950년 당시의 대기 중 탄산분압을 표준으로 잡기 때문이다.

절대연령을 분석한 결과를 보면(표 3-14), 홍조단괴 JR-1(안쪽)은 2076 ± 319 년 BP, JR-2(중간)는 1925 ± 775 년 BP, JR-3(바깥쪽)은 2283 ± 358 년 BP로 측정되었고, 이 값들의 오차 범위는 300년에서 최대 약 800년 정도의 연령 차이를 보였다. JR-1과 JR-3의 차이는 약 200년 정도의 차이가 난다. 그리고 JR-2의 값이 JR-1보다 더 짧게 측정되었는데 오차범위까지 연령을 보면 연령측정은 홍조단괴의 올바른 성장순서를 보여주고 있다. 결과적으로 채취한 홍조단괴의 절대연령을 측정한 결과, 2000년 BP때 생성되어 약 200-250년 정도 성장하였고, 이는 홍조단괴 특성상 매우 빠른 성장률을 보이고 있음을 알 수 있다. 하지만 이러한 분석결과는 한 홍조단괴만을 대상으로 실시하였기 때문이 이 연령측정결과를 모든 홍조단괴에 적용시킨다는 것은 무리가 있다. 하지만 연령측정결과만 가지고 판단한다면, 현재 우도 앞 천해에 성장한 홍조단괴는 아마도 마지막최대빙하기(Last Glacial Maximum) 이후 해수면이 현재의 위치로 상승하였던 약 6,000년 전 이후에 성장을 시작하였던 것으로 추정된다. 이러한 결과는 제주도 일대의 사구 퇴적층의 연령과도 비슷한 결과이다(우경식과 김진경, 2005; 지효선 외, 2008). 홍조단괴의 성장시기와 속도를 정확하게 추정하기 위해서는 더 많은 시료의 홍조단괴에 대한 연령측정이 요구된다.

표 3-14. 홍조단괴 절대연령 측정 결과

시료번호	^{230}Th Age(yr) (corrected)	^{230}Th Age(yr BP) (corrected)
JR-1	2134±319	2076±319
JR-2	2076±319	1925±775
JR-3	2341±358	2283±358

(BP : before present)

다. 해빈

해빈(beach)은 대표적인 퇴적형 해안지형 중에 하나로서, 간조선에서부터 뚜렷한 지형변화(해안절벽, 사구지대 등)가 나타나거나 영구적 식생이 분포하는 육상까지의 완만한 경사지에 미고결 퇴적물이 쌓여 있는 해변지역을 말한다(Jackson, 1997). 일반적으로 해빈은 조석보다는 파도의 영향이 상대적으로 강한 해안에 형성되는데, 지형적으로는 만조선과 간조선 사이의 전안(foreshore)과 만조선 상부의 후안(backshore)으로 구분되며, 외해쪽으로 해빈은 간조선 하부의 근안(nearshore)과 이어진다(그림 3-59).

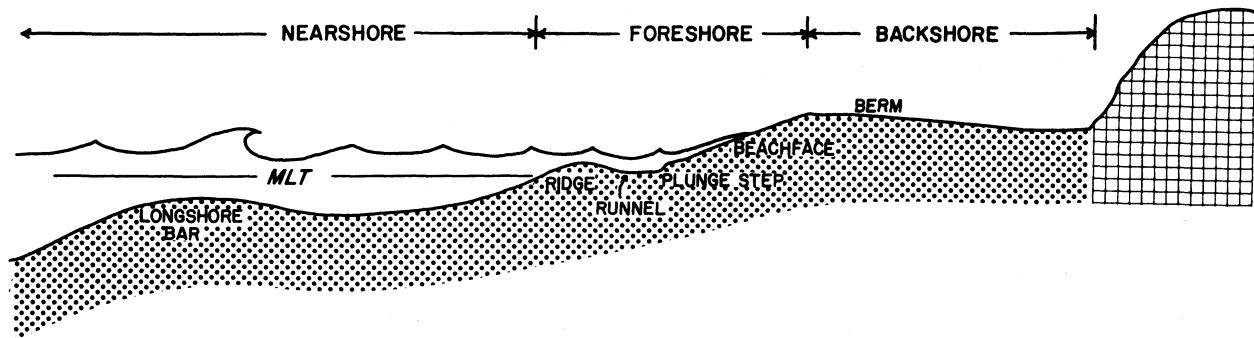


그림 3-59. 전형적인 해빈의 지형단면(Davis, Jr., 1985). MLT: 평균 간조선

해빈은 일반적으로 구성퇴적물의 입도에 따라 자갈로 이루어진 역빈(gravel beach)과 모래가 우세한 사빈(sand beach)으로 분류되며, 지속적인 파도의 작용으로 세립질 퇴적물은 대부분 이동되어 버리기 때문에 니로 구성된 해빈은 거의 나타나지 않는다.

우도는 대부분의 해안지역에서 파도에 의한 침식작용이 활발하게 일어나 암반이 노출되어 있지만, 서광리 홍조단괴해빈을 포함하여 해안선이 만입된 하고수동, 검멸레, 톤판이 해안 등지에 소규모의 사빈과 역빈이 분포한다(그림 3-60).



그림 3-60. 우도의 대표적 해변 및 사질퇴적층 분포 지역

(1) 서광리 홍조단괴 해변

우도 서쪽 서광리 해안에는 구성입자의 99%가 홍조단괴로 이루어진 소규모 해변이 약 750m 해안선을 따라 발달한다(그림 3-61). 우도 8경 중에 하나로서 서빈백사라고 부르는데, 전세계적으로도 홍조단괴로만 이루어진 해변이 매우 드물게 나타나기 때문에 2004년 천연기념물 제438호로 지정되었다.



그림 3-61. 서광리 홍조단괴 해변의 분포. 해안도로의 바다 쪽에 밝은색을 띠는 부분이 홍조단괴 모래로 이루어진 해변지역

(가) 서광리 홍조단괴 해빈의 지형학적 특징

홍조단괴 해빈이 발달하는 약 750m 거리의 서광리 해안은 비교적 만입부가 적은 완만한 굴곡의 해안선을 특징으로 하며, 해빈의 폭은 배후지에 해안도로와 주차장 시설 등이 들어서 있어서 최대 30m를 넘지 않는다(그림 3-61). 홍조단괴 해빈의 전안(foreshore)은 비교적 평탄한 해빈면(beachface)을 보이며 약 15° 정도로 바다쪽으로 경사져 있고, 전안의 일부에서는 암반이 노출되어 나타나기도 한다(그림 3-62A). 후안은 전안에 비해 경사가 감소하여 다소 완만한 사면을 보이며, 전안과의 경계부 혹은 전안 상단부에는 다수의 평행한 능(ridge)들이 계단상으로 발달하고 있다(그림 3-62B). 이러한 능들은 폭풍시에 전안을 따라 육지쪽으로 이동된 퇴적물이 전안 상단부에 집적되어 형성된 것으로 보인다. 전안에 인접한 외해의 근안은 대부분 암반이 노출되어 있으며, 돌출암반 사이에 국지적으로 홍조단괴 퇴적물이 집적되어 있다(그림 3-62).

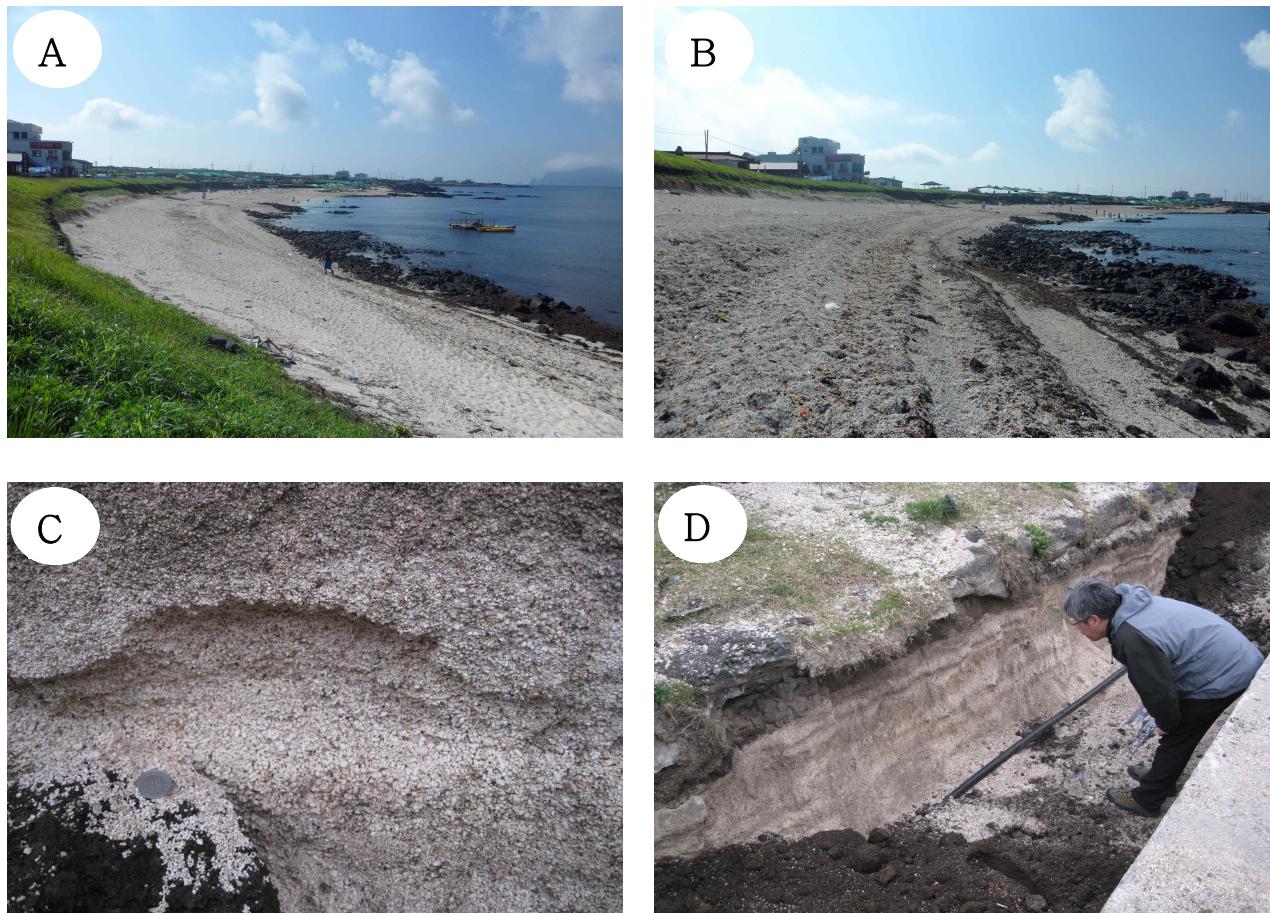


그림 3-62. (A) 서광리 홍조단괴 해빈의 전경. (B) 입도가 다른 퇴적물로 구성된 다수의 능(ridge)이 해안선에 평행하게 발달. (C) 후안의 단괴퇴적층. (D) 어두운 부분과 밝은 부분이 반복하여 띠를 이루고 있는 후안 퇴적층

(나) 서광리 홍조단괴 해빈의 지질학적 특징

해빈의 홍조단괴 퇴적물은 입자의 크기는 조립 모래에서 왕모래(granule) 크기(1~4mm)이며, 입도에 따라 해안선에 평행하게 다수의 능을 이루면서 대상분포를 하고 있다(그림 3-62B). 한편, 해안에 불규칙하게 분포하고 있는 암반들 사이에는 자갈 크기의 홍조단괴가 몰려서 퇴적되어 있다. 이들 홍조단괴들은 외해에 서식하던 것들이 해안으로 운반되어 퇴적된 이후 죽어 백색을 띠게 된 것으로서, 지속적으로 파도 등에 의해 마모되어 양호한 원마도를 보인다. 한편, 후안 퇴적층에서도 원마도와 분급도가 양호한 왕모래(granule) 입자들이 우세하게 나타나는데(그림 3-62C), 이곳에서는 미세한 토양입자의 함량 변화에 따라 어두운 띠와 밝은 띠가 반복하여 나타나기도 한다(그림 3-62D).

(다) 서광리 홍조단괴 해빈의 형성과정

서광리 해빈에 분포하는 홍조단괴 퇴적물은 서광리 앞 천해에 서식하고 있는 홍조단괴가 파도나 폭풍에 의해 해안으로 몰려와서 퇴적된 것으로 보인다. 그러나 입도로 보아 평상시의 파도에 의해 꾸준히 운반되는 홍조단괴의 양은 그리 많지는 않을 것으로 보이며, 주로 폭풍이나 태풍 등 강한 에너지를 미치는 간헐적 작용(episodic event)에 의해 일시에 이동되어 퇴적된 것으로 해석된다(김진경 외, 2003). 이와 같은 짧은 기간에 운반된 홍조단괴 퇴적물은 해안에 평행한 낮은 둔덕을 이루면서 전안과 후안의 경사부에 쌓여 다수의 능을 형성하는 것으로 보인다(그림 3-62B). 후안 퇴적층에 반복적으로 나타나는 어두운 색의 토양함유 띠(그림 3-62D)는 장기간 혹은 계절적인 기후나 기상 변화에 따른 것으로 추정된다.

(2) 툴칸이 해빈

우도 소머리오름의 남서쪽 툴칸이 해안에 발달하는 해빈으로서, 소머리오름 분화구를 중심으로 겹멀레 해빈의 반대편에 위치하며, 규모도 겹멀레 해빈과 유사하다(그림 3-60). 우도 해안도로와는 별개로 천진항에서 동쪽 해안을 따라 난 도로를 따라 약 650m를 가면 툴칸이 해빈이 나오는데, 해빈 뒤로 발달한 해식절벽에서 소머리오름을 이루고 있는 응회암과 용암류 화산암의 내부구조도 관찰할 수 있다.

(가) 툴칸이 해빈의 지형학적 특징

툴칸이 해안은 총길이 320m의 완만한 활모양의 만입부 해변과 이에 인접한 수직의 해안절벽으로 이루어져 있다(그림 3-63). 이 중에 서쪽 약 100m 길이의 해변에는 비교적 크기가 일정하고 원마도가 양호한 자갈들로 이루어진 최대 폭 45m 정도의 역빈이 대체로 경사 10° 이상의 사면을 이루면서 발달한다(그림 3-64A). 해빈지형의 단면은 후안과 전안의 지형적 구분이 명확하지 않고 해빈면이 바로 근안으로 이어지는 등 전반적으로 겹멀레 해빈과 유사하게 나타난다. 툴칸이 해안의 동쪽편 해변은 폭이 20m 이하로 감소하면서 인접한 해안절벽으로부터 떨어져 나온 암괴상의 거력들과 10m 이상 크기의 블럭들이 비교적 급한 경사를 이루면서 놓여있다(그림 3-64D).



그림 3-63. 톨칸이 해빈의 분포

(나) 톨칸이 해빈의 지질학적 특징

톨칸이 해안의 서쪽에 위치한 해빈에서는 1m 이상의 거력에서부터 10cm 이하의 잔자갈까지 다양한 크기의 역들이 우세하게 분포하는데, 역들의 원마도는 대체로 양호한 편이다(그림 3-64B). 해빈 내의 위치에 따른 입도의 체계적인 변화는 나타나지 않으며, 다만 최대 만조선 인근에 잔자갈이 집중되어 패치(patch) 모양으로 분포하기도 한다(그림 3-64A). 이는 폭풍동안에 운반된 역들이 쌓여 형성되는 폭풍릿지(storm ridge)와 유사한 지형으로 보인다. 톨칸이 해빈에 분포하는 역들은 대부분 용암이 굳어진 괴상의 현무암편으로서 담회색 내지 암회색이 우세하며, 일부에서는 클링커 혹은 스코리아 암편으로 보이는 적갈색 자갈들과 응회암 내에 포획암편으로 나타나는 제주도 지하심부의 산성용결응회암편이 마모된 자갈로 나타나기도 한다(그림 3-64C). 반면에 입도 1cm 이상되는 응회암 기원의 입자는 거의 발견되지 않는다. 톨칸이 해빈을 둘러싸고 있는 해안절벽은 주로 응회암과 용암류 화산암으로 구성되어 있는데, 전자는 주로 해빈의 뒷편 해안절벽에 나타나는 반면, 후자는 해빈 서쪽에 위치한 해안절벽에서 우세하다.

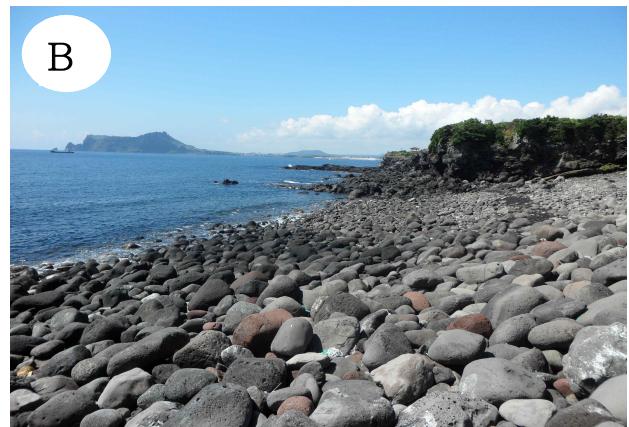
한편, 톨칸이 해변의 동쪽 부분은 수 m 크기의 응회암 블럭들이 분포하며 이들은 대부분 원마도가 불량하다(그림 3-64D).

(다) 톨칸이 해빈의 형성과정

톨칸이 해빈을 구성하는 거력과 자갈들은 대부분 용암류 화산암편으로서 소머리오름 분화구의 응회암을 피복하고 있는 후기 단계 용암류층(그림 3-64D)으로부터 떨어져 나온 것으로 보인다. 이러한 용암류층은 해빈의 측면과 후면의 해안절벽을 이루고 있는 지층이다. 해안절벽에는 응회암층도 두껍게 노출되어 있지만 응회암은 쉽게 원래의 화산재입자로 분리되기 때문에 재동되어 외해로 빠져 나가버리고 재동될 수 없는 거력이나 조립질 역들만 잔류되어 현재의 역빈을 구성하고 있는 것으로 보인다.



A



B



C



D

그림 3-64. (A) 톨칸이 해빈 전경. (B) 다양한 크기의 원마도가 양호한 역들로 구성된 전안과 해빈의 서쪽 경계인 용암류 화산암 해안절벽. (C) 자갈들은 대부분 용암류 화산암편이며 일부 스코리아나 용결응회암편들이 나타남. (D) 해빈을 둘러싸고 있는 소머리오름 분화구 지층의 침식절벽, 응회암층 위를 용암이 굳어 형성된 현무암층이 피복

(3) 하고수동 해변

우도의 북동쪽 하고수동 해안에 발달하는 우도 최대의 해변으로서, 남북으로 약 400m의 해안선을 따라 90m 정도의 폭(간조시)으로 백색 모래사장이 발달한다(그림 3-65). 홍조단괴 해변과 함께 우도의 대표적인 해수욕장으로 경사가 완만하고 모래가 고와서 많은 관광객이 찾는 곳이다.



그림 3-65. 하고수동 해변의 분포. 만입부의 제일 안쪽 해변에 밝은색을 띠는 부분이 주로 생물편 모래로 이루어진 해빈이며, 사질퇴적물은 만의 중앙부를 따라 만입구까지 연결되어 분포하고 외해의 해저에는 주로 암반이 노출되어 나타남

(가) 하고수동 해빈의 지형학적 특징

하고수동 사빈은 일종의 포켓해빈(pocket beach)로서, 하고수동 독진곶과 비양도를 입구로 해서 육지쪽으로 만입된 내만의 안쪽에 발달한다(그림 3-66A). 해빈지역을 제외하고는 주로 화산암반으로 둘러싸여 있는 내만은 입구의 폭이 약 480m이며 만입부의 종축길이는 약 580m이다(그림 3-65). 하고수동 해빈은 전형적인 해빈지형의 특징을 보이는데, 전안은 비교적 평탄한 해빈면(beachface)을 보이며 약 5° 이내로 바다쪽으로 완만하게 경사져 나타난다(그림 3-66B). 전안의 하단부에는 등성이와 곡(ridge and runnel) 지형이 간조기에 드러난다(그림 3-66C). 등성이는 폭이 10여 m 정도이고 높이가 50cm 정도되는 모래언덕으로서 해안선에 평행하게 발달하고 있는데 바다쪽 보다는 육지쪽으로 더 급한 경사의 측면을 갖는다. 등성이와 해빈면 사이의 낮은 부분을 곡(runnel)이라 하는데 바닥이 평탄하며 자갈과 같은

조립질 퇴적물이 부분적으로 나타나며 연흔이 잘 나타난다(그림 3-66C).

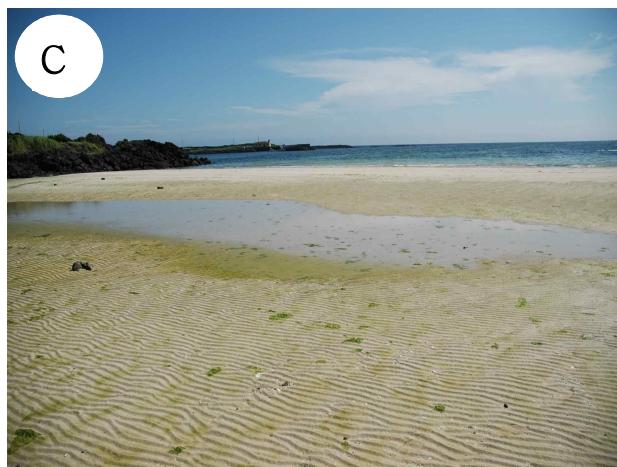
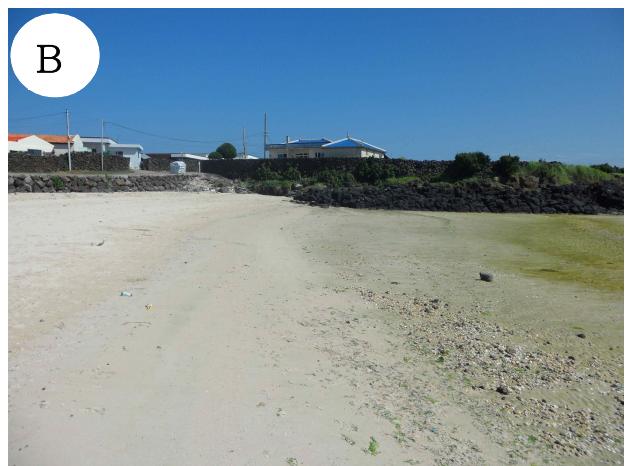


그림 3-66. (A) 하고수동 해변 전경. (B) 전안에 해당하는 평탄한 해변면(사진 중앙에서 왼쪽 부분). (C) 전안 하단의 등성이와 곡(ridge and runnel), 연흔과 물이 고여있는 부분이 곡이며 그 바깥쪽으로 낮은 모래톱의 등성이가 발달. (D) 해변 남단에서 남동방향으로 길게 발달하는 사구지대

한편, 하고수동 해변의 후안은 해안도로 및 주차장 시설로 인해 원지형이 보존되어 있지 않다. 해안도로 뒷편의 경작지 일부에서도 패각사가 나타나는 것으로 보아 원래의 후안은 현재 전안보다 100여 m 정도 더 내륙으로까지 발달하였을 것으로 추정된다.

해변에 인접한 근안은 하고수동 만입부의 대부분을 차지하는 지형으로써 항공사진(그림 3-65)에서 보면 전안의 사질 퇴적물이 간조선 하부의 근안까지 연결되어 있는 것을 확인할 수 있다.

한편, 해변과 연계된 사구지대가 해변의 남동쪽으로 발달하는 것으로 보인다. 일반적으로 사구는 해변의 후안지역에 형성되지만, 이곳에서는 사빈의 남단에서 시작하여 남동방향으로 나타난다. 사구지대는 현재 경작지로 상당부분 훼손되어 정확한 분포범위를 파악하기가 곤란하지만 하고수동 해변 남단에서부터 비양동 부락 뒷편의 우도체육관 부근까지 약 420m에 걸쳐 대략 100m 정도의 폭으로 대상분포하는

것으로 보인다(그림 3-66D). 사구층의 두께는 해빈인접 지역에서 1.5m 이상 되는 곳도 있다.

(나) 하고수동 해빈 퇴적물의 수분함량

하고수동 해수욕장의 시료는 파도가 끝나는 지점을 0m로 하여 육지 쪽으로 10m, 20m 간격으로 3개의 시료를 채취하였다. 시료 채취 시 주변 오염 물질을 제거 후 약 500g의 모종삽을 이용하여 채취하였다. 하고수동 해수욕장의 해빈(HGS)을 입도분석하기 전에 시료의 무게를 채고 말린 후의 무게를 쟁여 수분의 함량을 분석하였다. 하고수동 해수욕장의 해빈의 수분함량은 28~39%의 수분함량을 보이며, 바닷가에서 멀어질 수록 퇴적물의 수분함량이 다소 커지는 것을 볼 수 있었다(표 3-15).

표 3-15. 하고수동 해빈 퇴적물의 수분함량(%)

시료번호	말리기전 무게(g)	말린 후 무게(g)	수분함량(%)
HGS1-0m	522	349	33
HGS1-10m	449	302	33
HGS1-20m	421	271	36
HGS2-0m	522	378	28
HGS2-10m	445	297	33
HGS2-20m	468	287	39
HGS3-0m	493	329	33
HGS3-10m	457	307	33
HGS3-20m	400	252	37

(다) 하고수동 해빈 퇴적물의 평균입도

하고수동 해빈 퇴적물의 평균입도 약 $297\mu\text{m}$ 이며, 가장 작은 평균입도는 HGS1-0m(216Min)이며, 가장 큰 평균입도는 HGS2-0m(438Max)이다. 그 외의 다른 위치의 시료들은 $236\sim336\mu\text{m}$ 를 나타낸다. 이는 Krumbein(1934)가 제안한 식에 의해 $\phi(\Phi)$ 단위로 표현하면 $2.25\sim1.5\Phi$ 에 해당하는 값이다. 이 크기의 입자는 Udden(1898)과 Wentworth(1922)의 분류에 의하면 세립사~중립사에 해당한다(표 3-16).

표 3-16. 하고수동 해수욕장 해빈 퇴적물의 평균입도

시료번호	평균입도(μm)
HGS1-0m	216Min
HGS1-10m	273
HGS1-20m	236
HGS2-0m	438Max
HGS2-10m	307
HGS2-20m	336
HGS3-0m	258
HGS3-10m	379
HGS3-20m	232

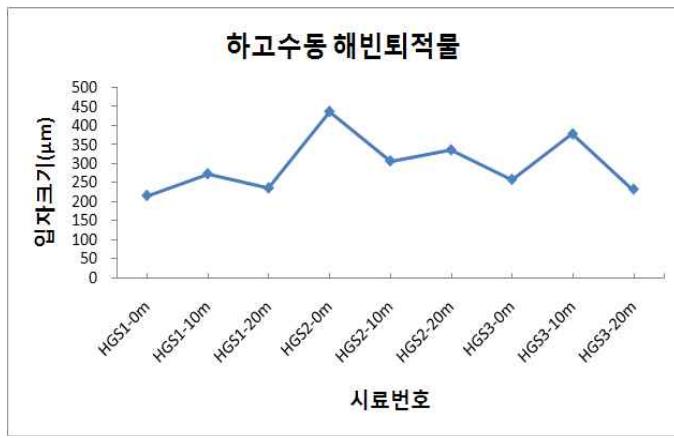


그림 3-67. 하고수동 해빈퇴적물의 평균입도 그래프

0m, 10m, 20m 지점마다의 입도분포는 비슷한 양상을 보인다.

0m지점은 250~125μm 크기의 입자가 HGS1과 HGS3 지점에서 약 40~60%의 함량으로 가장 우세하게 나타나지만, HGS2에서는 500~125μm 입자크기가 약 60%함량으로 가장 우세하게 나타난다. 두 번째로 우세하게 나타나는 입자크기는 HGS1과 HGS3지점의 500~250μm이며 약 30~35%의 함량을 보이고, HGS2지점에서는 710~500μm의 입자크기가 약 38%의 함량을 보인다. 10m지점은 500~250μm 크기의 입자가 HGS1~3 지점에서 가장 우세하게 나타나고 약 40~45%의 함량을 보인다. 두 번째로 우세한 입자크기는 250~125μm이며, 28~40%의 함량을 보인다. 20m지점은 250~125μm 크기의 입자가 HGS1과 HGS3 지점에서 약 50%의 함량으로 가장 우세하게 나타나지만, HGS2에서는 500~250μm 입자크기가 약 60%의 함량으로 가장 우세하게 나타난다. 두 번째로 우세하게 나타나는 입자크기는 HGS1과 HGS2 지점의 500~250μm이며 약 32~38%의 함량을 보이고 HGS2지점에서는 250~125μm의 입자크기가 약 28%의 함량을 보인다. 대체적으로 0m, 10m, 20m지점을 비교해 볼 때, 0m~20m 갈 수록 입자의 크기가 작아지거나 커지는 뚜렷한 변화는 잘 나타나지 않는다(그림 3-68).

(마) 하고수동 해빈 퇴적물의 구성성분

하고수동 해빈퇴적물을 구성하는 입자는 대부분 탄산염퇴적물로 이루어져 있으며, 주로 많은 양의 생물 기원의 파편들이다. 탄산염퇴적물의 구성성분을 알기 위하여 모우드 분석을 실시하였으며, 분석에 사용된 시료는 HGS2-0m~20m 시료 중 가장 우세하게 나타나는 입자크기는 500~250μm의 시료이며, 총 3개이다. 모우드 분석은 편광현미경하의 개방니콜과 교차니콜 상태에서 보이는 입자고유의 특징을 관찰하여 판별하고, 각각 카운팅을 실시하여 함량을 구하였다.

하고수동해빈퇴적물은 연체동물이 17~24%, 홍조류 27~38%, 유공충 37~42%, 성게류 2~5%, 극피류 0~2%, 태선동물 2~6%, 화산암편 0~1% 정도 포함되어 있다(표 3-17). 대체적으로 유공충의 함량이 약 40%로 가장 높게 나왔으며. 홍조류와 연체동물이 각각 약 20%, 32%로 두 번째로 우세하게 나타난다. 나머지 성게류, 극피류, 태선동물, 화산암편은 각각 약 5% 미만의 소량으로 분포한다.

(라) 하고수동 해빈 퇴적물의 입도변화

해빈을 이루는 구성입자들의 크기를 체분석을 통하여 분석하였다. 입도분석은 2000μm, 1000μm, 710μm, 500μm, 250μm, 125μm의 체를 이용하여 체분석을 실시하였다.

입도분석에 사용된 시료는 하고수동 해빈퇴적물 시료인 HGS1-0m~20m, HGS2 0m~20m, HGS3-0m~20m 시료 9개이다.

그림 3-67은 하고수동 해빈 퇴적물의 입도변화를 그래프로 나타낸 것이고, 전반적으로

하고수동 해수욕장 해변

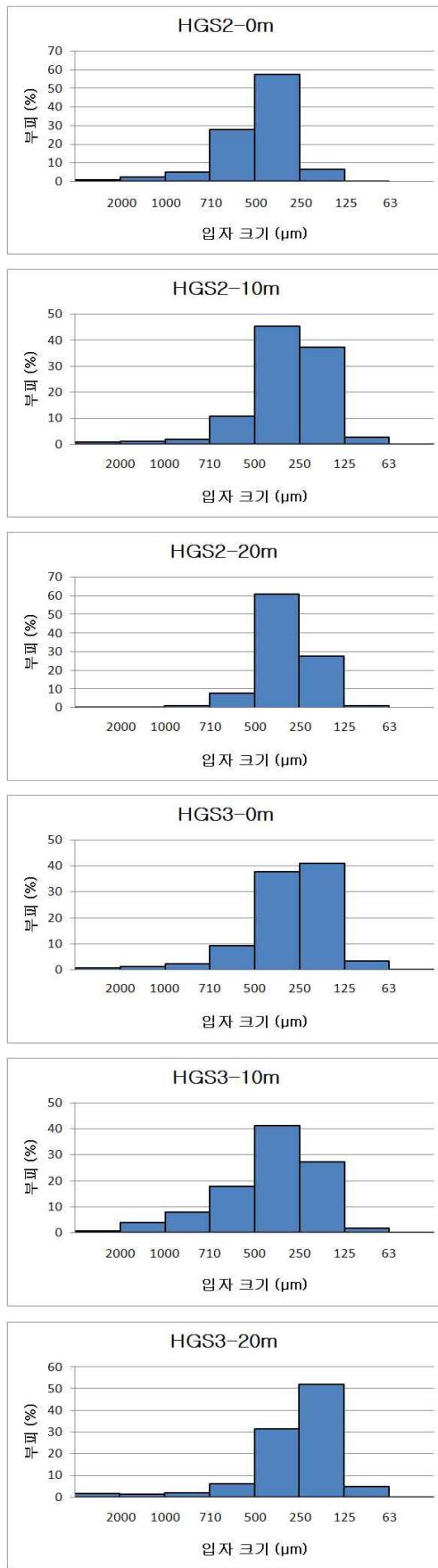
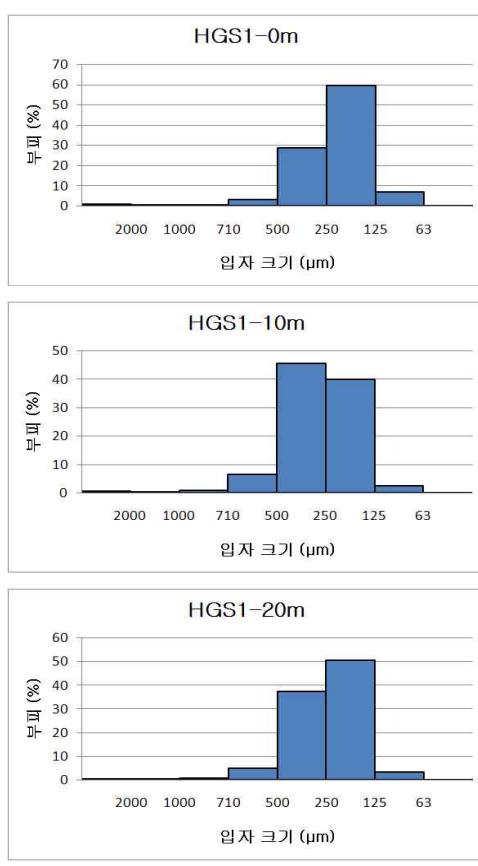
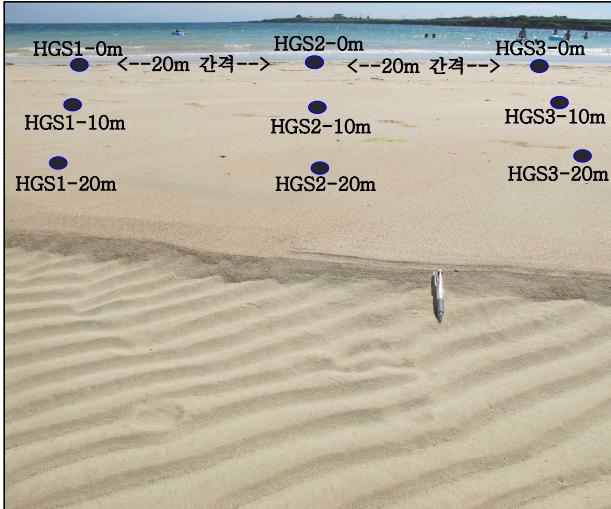


그림 3-68. 하고수동 해변 퇴적물의 입도분석 결과

표 3-17. 하고수동 해빈의 탄산염퇴적물 구성성분(%)

시료번호	합 량(%)							
	연체동물	홍조류	유공충	성게류	극피류	태선동물	화산암편	합계
HGS2-0m(500~250μm)	24	34	37	3	2	2	0	100
HGS2-10m(500~250μm)	23	27	40	5	0	6	1	100
HGS2-20m(500~250μm)	17	38	42	2	0	2	0	100

탄산염퇴적물의 구성성분에 따른 함량을 비교해 보면, 같은 입자 크기에 따라 구성성분의 함량이 유사한 것을 볼 수 있다. 그림 3-69를 보면 시료채취 지점은 다르지만 구성성분의 함량은 비슷하게 나타나는 것을 볼 수 있다.

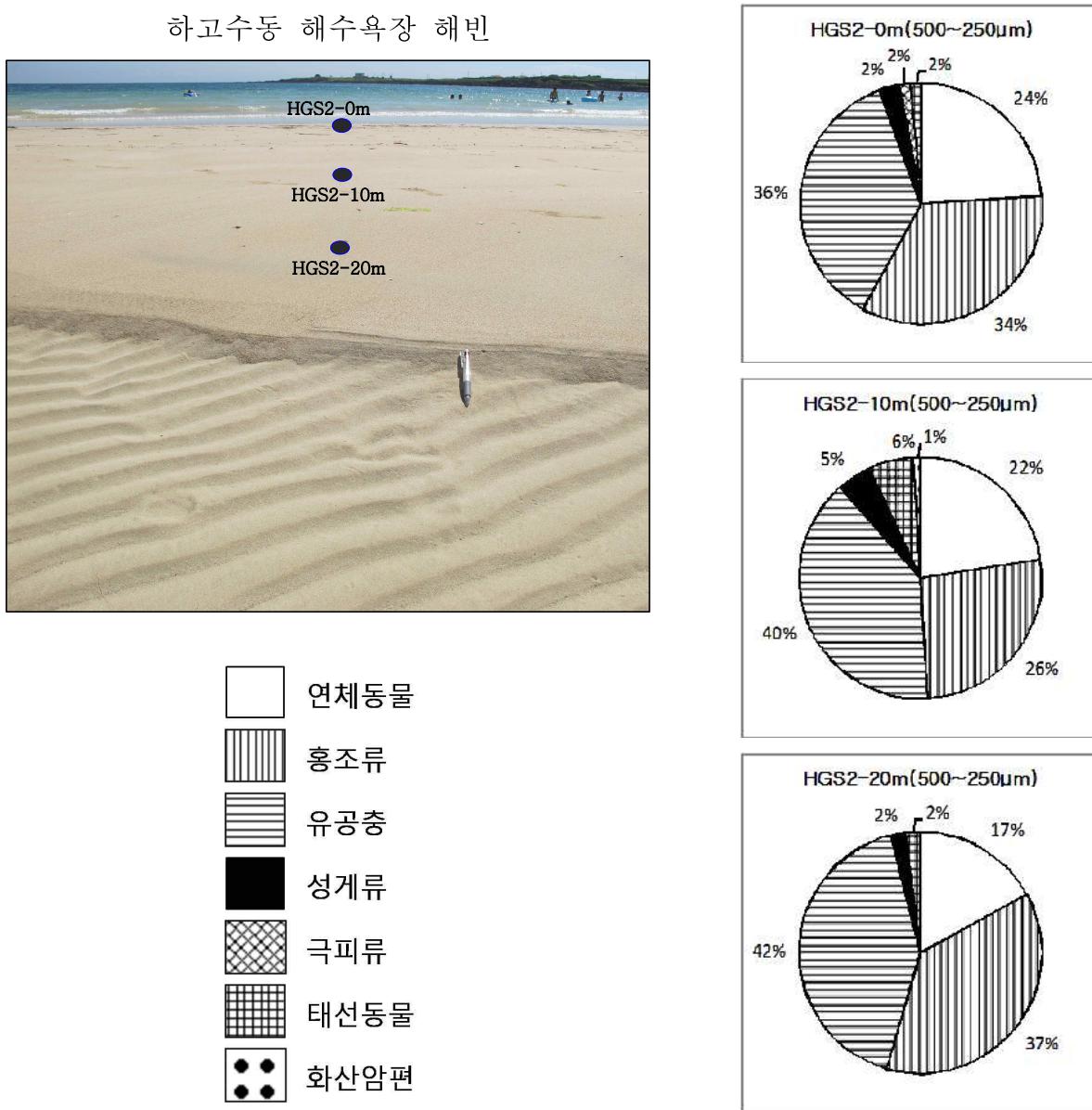


그림 3-69. 고수동 해빈 퇴적물의 탄산염퇴적물 구성성분 변화(%)

(바) 하고수동 해빈 퇴적물의 형성과정

등성이와 곡은 간조선 아래에 분포하는 모래가 파도의 작용에 의해 육지쪽으로 서서히 이동되면서 형성된 지형으로서 외해로부터 해빈에 퇴적물이 공급되고 있음을 지시하는 좋은 지형적 증거이다 (Davis, Jr. and Fitzgerald, 2004). 일반적인 해빈들은 계절에 따라 퇴적물의 이동양상이 다르게 나타나는데, 여름철에는 파고는 작지만 긴 파장의 너울과 같은 장주기파가 수심이 깊은 근안 해저의 퇴적물을 재동하여 육지쪽으로 이동시켜 해빈에 퇴적물이 풍부하게 되는 반면, 겨울철에는 파고는 높지만 파장이 짧은 폭풍파가 직접 전안지역에 강한 에너지를 가하게 됨으로써 해빈 퇴적물이 침식 재동되어 외해로 빠져 나가버리고, 그 결과 해빈에서는 상대적으로 모래의 손실이 우세하게 일어난다. 이러한 작용은 보통 1년을 주기로 하여 반복적으로 일어나는데 이를 해빈사이클(beach cycle)이라 부른다. 하고수동에서의 현장조사는 여름철인 8월 중순에 이루어졌으므로 해빈 모래가 보충되는 시기에 해당되며 등성이와 곡 지형은 이러한 모래의 보충과정에서 형성된 것으로 설명할 수 있다.

항공사진(그림 3-65)에서 밝은 색을 띠고 있는 하고수동 해빈의 모래는 외해로 잘 연장되어 만의 중심과 남쪽 부분을 따라 만입구까지 연속적으로 이어지는 것을 볼 수 있다. 이와 같이 간조선 아래의 깊은 만입부의 해저에 풍부한 모래퇴적물이 분포하고 있고 해빈과 근안 사이에 돌출암반 등의 장애물이 발달하지 않으므로 하고수동 해빈은 근안과 전안사이의 주기적 모래이동에 의한 해빈사이클이 잘 지켜지는 전형적인 해빈의 유형이라고 볼 수 있다. 하고수동 해빈의 모래입자가 분급이 양호한 이유도 장기간에 걸쳐 만입부 내에서 해빈사이클에 따라 퇴적물이 반복적으로 재동 되면서 세립질 퇴적물이 걸러져 외해로 빠져 나갔기 때문으로 보인다.

(4) 검멀레 해빈

우도의 남동쪽 조일리 검멀레 해안에 발달하는 해빈으로서, 북동-남서 방향으로 약 130m의 해변을 따라 간조 시 최대 폭 30m 정도의 흑색 모래사장(길이 약 80m)과 자갈해변(길이 약 50m)이 발달한다 (그림 3-70). 이곳의 지명인 검멀레는 검은색 모래라는 뜻으로 소머리오름을 구성하는 응회암이 파쇄되어 집적된 것이다. 검멀레 해안은 소머리오름 파식절벽의 장관과 우도 8경 중에 하나인 인근의 동안경굴 등 해식동굴과 연계하여 우도의 대표적인 관광명소 중에 하나이다.

(가) 검멀레 해빈의 지형학적 특징

검멀레 해빈은 우도의 남동쪽 조일리 검멀레 해안에 발달하는 해빈으로서, 북동-남서 방향으로 약 130m의 해변을 따라 간조 시 최대 폭 30m 정도의 흑색 모래사장(길이 약 80m)과 자갈해변(길이 약 50m)이 발달한다(그림 3-70). 이곳의 지명인 검멀레는 검은색 모래라는 뜻으로 소머리오름을 구성하는 응회암이 파쇄되어 집적된 것이다. 검멀레 해안은 소머리오름 파식절벽의 장관과 우도 8경 중에 하나인 인근의 동안경굴 등 해식동굴과 연계하여 우도의 대표적인 관광명소 중에 하나이다. 검멀레 해빈은 소머리오름 응회구의 동쪽 화구륜과 응회구 형성 후기단계에서 분출된 용암류가 응회구를 감싸면서 굳어진 암반지대 사이에 형성된 만입부에 발달한다(그림 3-71). 만입부 입구의 폭은 약 180m이며 만입된 거



그림 3-70. 검벌레 해변의 분포. 해변의 서쪽(사진 왼쪽)은 소머리오름 응회구의 화구륜이며, 동쪽(오른쪽)은 분출 후기단계에서 흘러나온 용암류 화산암 분포지역

리는 165m 정도이다. 해변의 육지쪽 경계는 응회구가 침식되어 형성된 거의 수직의 해안절벽이며, 이로부터 파쇄되어 흘러내린 블럭들이 불규칙하게 산재한다(그림 3-71A). 검벌레 해변의 전안은 비교적 평坦하며 해변면의 경사는 평균 $8\sim10^\circ$ 정도로 하고수동 해변에 비해 다소 급한 사면을 보인다(그림 3-71B). 아울러 하고수동 해변에 발달하는 등성이와 곡 지형은 형성되어 있지 않으며 해변면은 바로 깊어지면서 간조선 하부의 근해로 연결된다(그림 3-71C). 일반적인 사빈에서는 후안의 경사가 전안에 비해 완만해지거나 오히려 반대로 육지쪽으로 경사져 있는 경우도 나타나는데 비해, 검벌레 해변에서는 전안과 후안의 경계를 명확하게 구분할 수는 없지만 해변면에서 육지쪽으로 가면서 해변의 경사가 점차 증가하는 특성을 보인다(그림 3-71D).

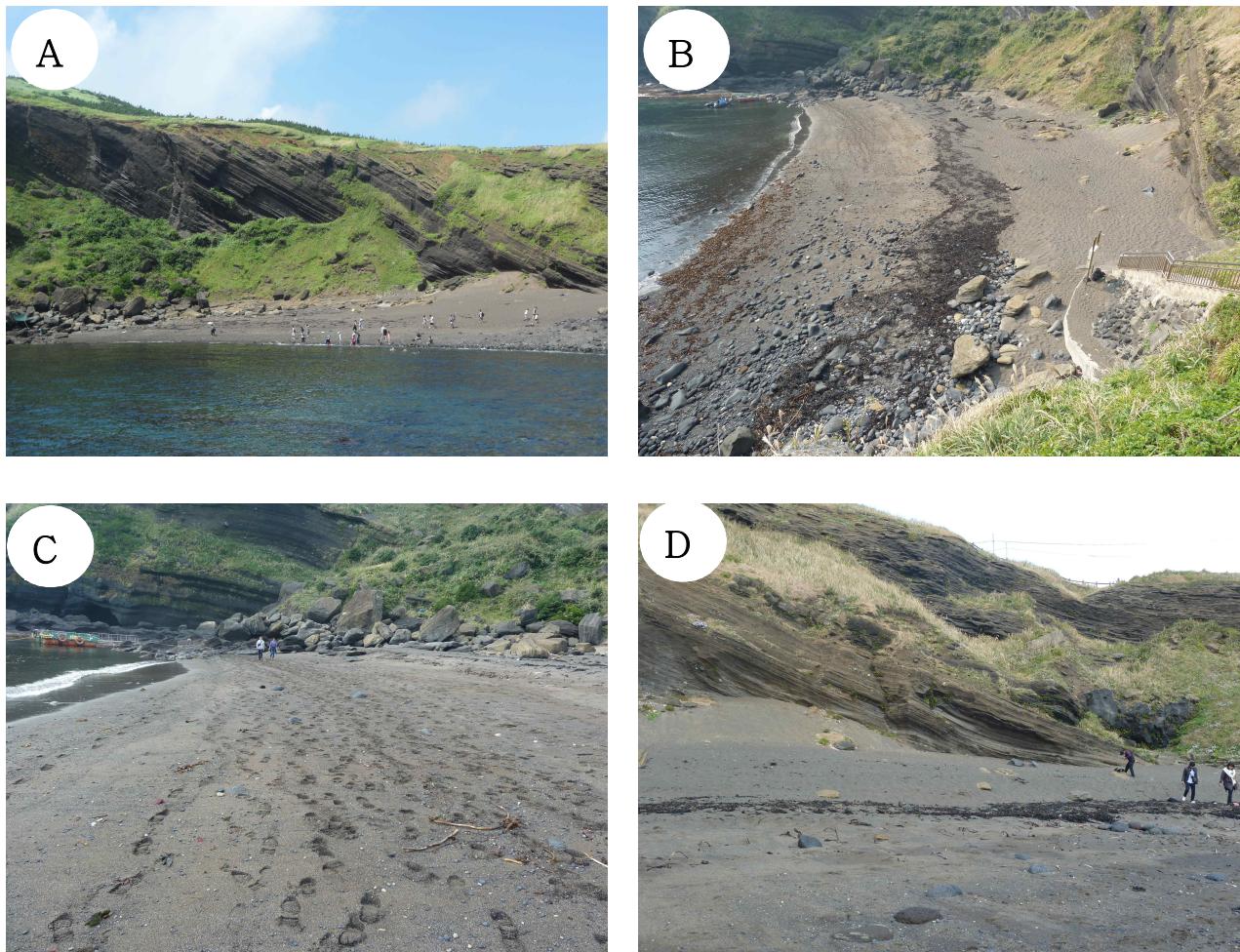


그림 3-71. (A) 검은색 모래가 우세한 검멀레 해변 전경, 해빈의 육지쪽 경계에는 소머리오름 응회구가 침식된 해안절벽이 발달. (B) 해빈 중앙의 해조류 부분(어두운 띠)을 경계로 하여 전안과 후안으로 구분됨. (C) 전안에는 모래와 함께 원마도가 양호한 잔자갈이 혼재; 잔자갈은 응회암을 덮고 있는 용암류 화산암의 침식으로부터 유래된 것으로 보임. (D) 후안은 해안 절벽에 접하여 다소 급한 경사를 보임

(나) 검멀레 해빈 퇴적물의 수분함량

검멀레 해빈(DAG)의 퇴적물을 입도분석하기 전에 시료의 무게를 채고 말린 후의 무게를 채서 수분의 함량을 분석하였다. 검멀레 해빈의 수분함량은 약 4~11%의 함량을 보이고, 바닷가에서 멀어질수록 적어지는 수분함량을 보인다(표 3-18).

표 3-18. 검멀레 해빈 퇴적물의 수분함량(%)

시료번호	밀리기 전 무게(g)	말린 후 무게(g)	수분함량(%)
DAG1-0m	749	84	11
DAG1-3m	799	34	4
DAG1-6m	605	27	4
DAG1-9m	668	35	5
DAG1-12m	688	29	4

(다) 검멀레 해빈 퇴적물의 평균입도

검멀레 해빈의 평균입도를 평균값으로 계산하면 약 $1,288\mu\text{m}$ 이다. 검멀레 해빈에서는 가장 작은 평균입도는 DAG1-2m($822\mu\text{m}$)이며, 가장 큰 평균입도는 DAG1-3m이지만 체분석 한 결과 $2,000\mu\text{m}$ 가 넘는 입자가 약 70%가 넘기 때문에 정확한 평균입도를 알 수 없었고, 추가적인 입도분석이 필요하지만, 최소한 평균입도가 약 $2,000\mu\text{m}$ 이상일 것으로 생각된다. 그 외의 다른 충준의 시료들은 모두 약 $822\sim 2,000\mu\text{m}$ 이상의 값을 가지며, $\phi(\Phi)$ 단위로 표현하면 $0.5\sim-1.0\Phi$ 이상에 해당하는 값이고, 조립사~왕모래에 해당한다. 따라서 연구지역 내의 하고수동 해빈과 검멀레 해빈은 각각 세립사~중립사와 조립사~왕모래에 해당하는 것을 알 수 있다(표 3-19, 그림 3-72).

표 3-19. 검멀레 해빈의 평균입도

시료번호	평균입도(μm)
DAG1-0m	1,594
DAG1-2m	822Min
DAG1-3m	2,000↑Max
DAG1-6m	1,189
DAG1-9m	1,546

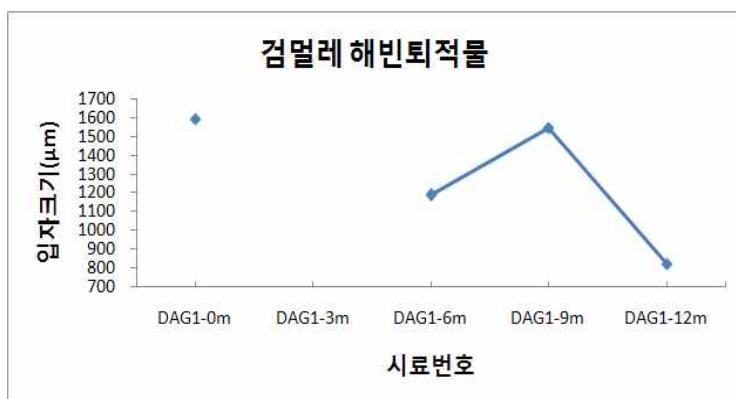


그림 3-72. 검멀레 해빈퇴적물의 평균입도 그래프

(라) 검멀레 해빈 퇴적물의 입도변화

검멀레 해빈 퇴적물 시료 DAG1-0m~12m 시료 5개로 분석을 실시하였다. 해빈 퇴적물은 하고수동 해빈의 입자 보다 크고 주로 현무암질의 어두운 색을 띠는 입자로 구성되어 있다. 그림 3-73은 검멀레 해빈퇴적물의 입도변화를 그래프로 나타낸 것이며, 대체적으로 $2,000\sim 710\mu\text{m}$ 의 입자가 우세하게 나타난다.

0m지점은 $2,000\mu\text{m}$ 이상의 입자가 가장 우세하게 나타났으며, 두 번째로 우세하게 나타난 입자는 $2,000\sim 1,000\mu\text{m}$ 의 크기로 약 28%정도의 함량을 보여주고 있으며, $1,000\sim 710\mu\text{m}$ 의 입자도 26%의 함량을 보이고 있다. 나머지 미세한 입자들은 약 7%의 함량으로 나타난다. 3m지점도 $2000\mu\text{m}$ 이상의 입자가 가장 우세하게 나타나며, 약 68%의 함량을 보인다. 두 번째로 우세하게 나타난 입자는 $2,000\sim 1,000\mu\text{m}$ 의 크기로 약 19%의 함량을 보인다. 나머지 미세한 입자들은 약 13%의 함량으로 나타난다. 6m지점은 $1,000\sim 710\mu\text{m}$ 의 입자가 가장 우세하게 나타나며, 약 32%의 함량을 보인다. 두 번째로 우세하게 나타난 입자는 $2,000\sim 1,000\mu\text{m}$ 의 크기로 약 30%의 함량을 보인다. 나머지 미세한 입자들은 약 14%의 함량으로 나타난다. 9m지점은 $2,000\mu\text{m}$ 이상의 입자가 가장 우세하게 나타나며, 약 35%의 함량을 보인다. 두 번째로 우세하게 나타난 입자는 $2,000\sim 1,000\mu\text{m}$ 의 크기로 약 28%의 함량을 보인다. 나머지 미세한 입자들은 약 4%의 함량으로 나타난다. 12m지점은 $1,000\mu\text{m}$ 이상의 입자가 가장 우세하게 나타나며, 약 28%의 함

검멀레 해빈

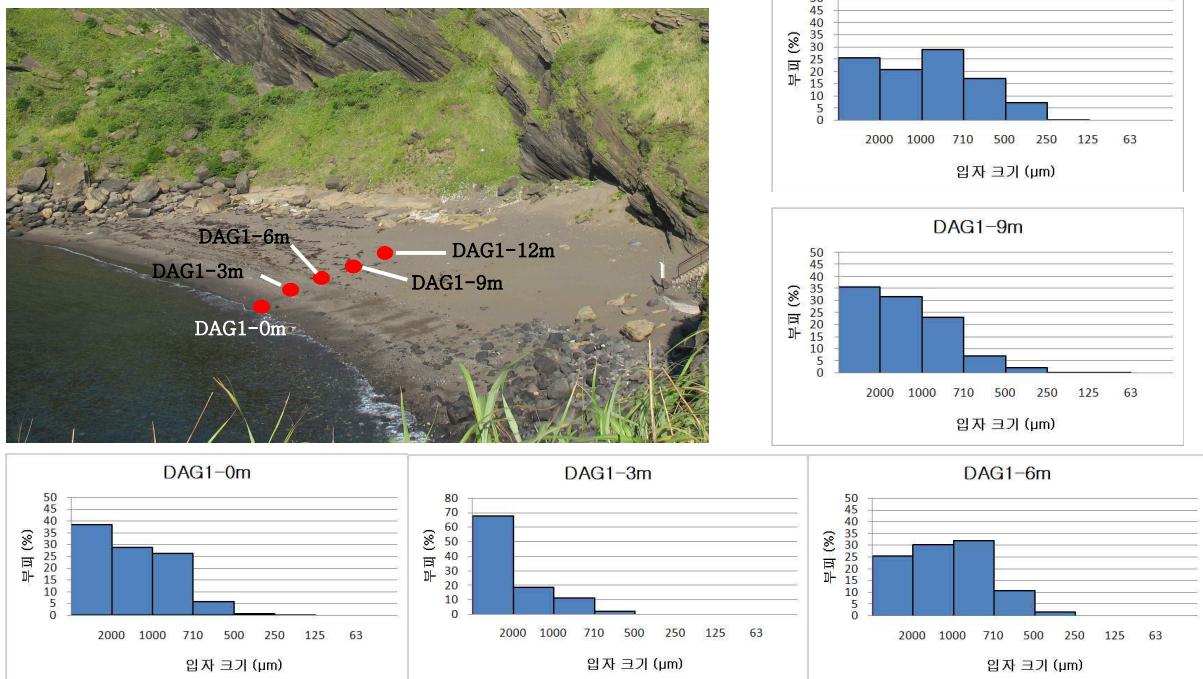


그림 3-73. 검멀레 해빈 퇴적물의 입도분석 결과

량을 보인다. 두 번째로 우세하게 나타난 입자는 $2,000\mu\text{m}$ 이상의 입자가 약 26%의 함량을 보이고, $2,000\sim 1,000\mu\text{m}$ 의 입자도 21%의 함량으로 나타나며, $710\sim 500\mu\text{m}$ 의 입자는 약 15%의 함량을 보인다. 나머지 미세한 입자들은 7%의 함량으로 나타난다.

대체적으로 입자크기의 분포는 해안으로 갈 수록 $2,000\mu\text{m}$ 이상의 큰 입자들로 나타나고, 육지 쪽으로 갈 수록 $2,000\mu\text{m}$ 의 입자들의 함량은 적어지고 $1,000\sim 710\mu\text{m}$ 의 입자들의 함량이 늘어나는 양상을 볼 수 있다. 이는 파도의 영향반경이 멀어질 수록 파도의 힘은 줄어들고 운반할 수 있는 입자의 크기는 작아지기 때문으로 생각된다.

(마) 검멀레 해빈 퇴적물의 구성성분

검멀레 해빈퇴적물을 구성하는 입자는 대부분 화산암편이며, 그 중에서도 현무암질 암편이 가장 우세하고, 약 17%의 생물 기원의 탄산염퇴적물로 이루어져 있다. 탄산염퇴적물의 구성성분을 알기 위하여 모우드 분석을 실시하였으며, 분석에 사용된 시료는 DAG1-0m~12m 시료 중 가장 우세하게 나타나는 입자크기 $2,000\sim 1,000\mu\text{m}$, $1,000\sim 710\mu\text{m}$ 의 시료이며, 총 10개이다.

검멀레 해빈의 퇴적물은 주로 현무암기원의 화산암편으로 되어 있으며, 78~93% 정도의 함량을 보이고, 연체동물이 7~22%정도의 함량으로 나타나며, 다른 구성성분은 거의 나타나지 않는다(표 3-20). 구성성분에 따라 함량을 비교해 보면, 같은 입자 크기에 따라 구성성분의 함량이 유사한 것을 볼 수 있다. 그림 3-74를 보면 시료채취 지점은 다르지만 구성성분의 함량은 비슷하게 나타나는 것을 볼 수 있다.

표 3-20. 검멀레 해빈의 퇴적물 구성 성분(%)

시료 번호	합 량(%)								합 계
	연체동물	홍조류	유공충	성게류	극피류	태선동물	화산암편		
DAG1-0m(2,000~1,000μm)	7	0	0	0	0	0	93	100	
DAG1-0m(1,000~710μm)	22	0	0	0	0	0	78	100	
DAG1-3m(2,000~1,000μm)	8	0	0	0	0	0	93	100	
DAG1-3m(1,000~710μm)	20	0	0	0	0	0	81	100	
DAG1-6m(2,000~1,000μm)	10	0	0	0	0	0	90	100	
DAG1-6m(1,000~710μm)	16	0	0	0	0	0	85	100	
DAG1-9m(2,000~1,000μm)	9	0	0	0	0	0	91	100	
DAG1-9m(1,000~710μm)	17	0	0	0	0	0	83	100	
DAG1-12m(2,000~1,000μm)	18	1	0	0	0	0	81	100	
DAG1-12m(1,000~710μm)	15	0	0	0	0	0	85	100	

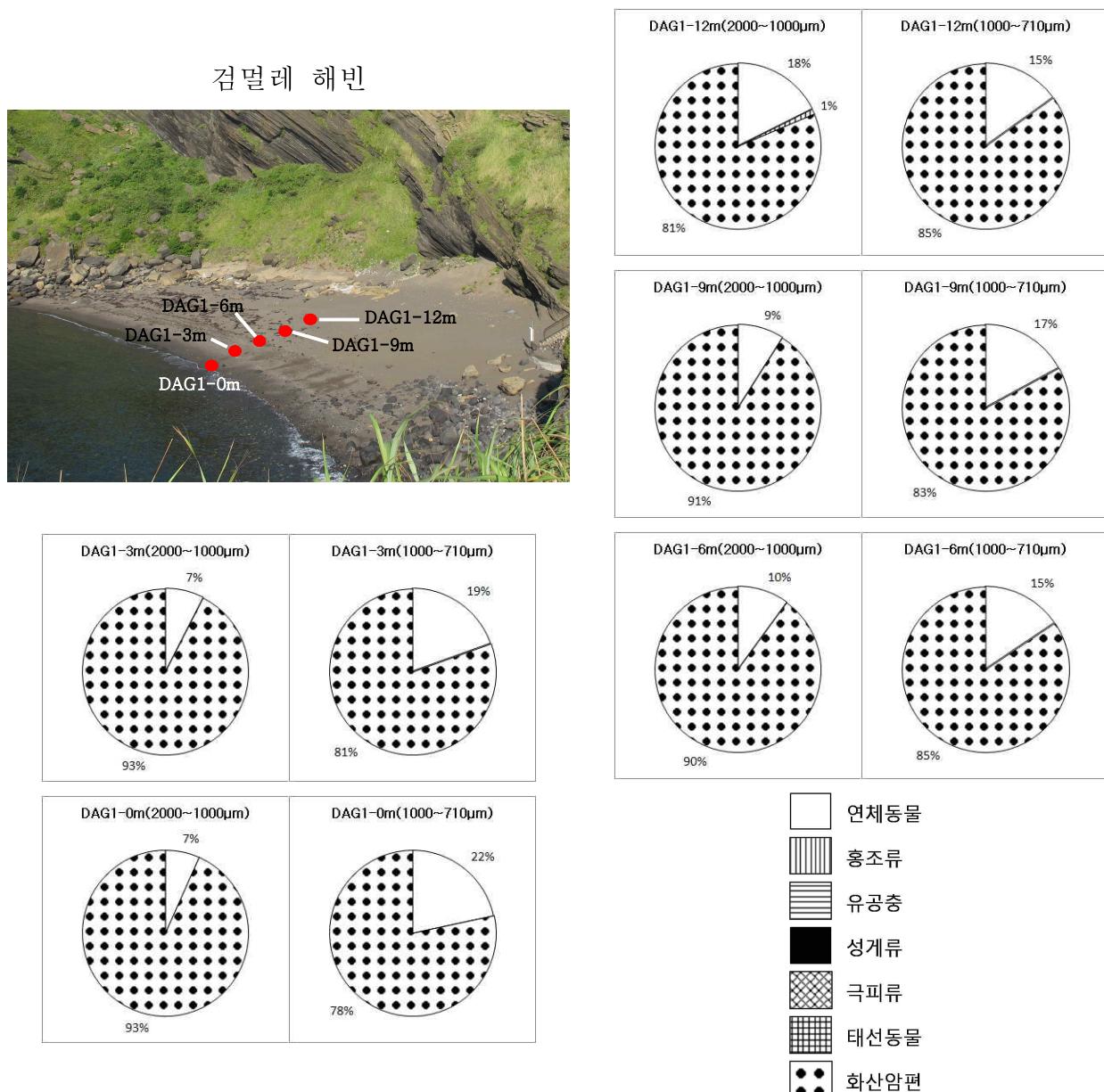


그림 3-74. 검멀레 해빈 퇴적물의 탄산염퇴적물 구성 성분 변화(%)

다만 2,000~1,000 μm 와 1,000~710 μm 의 입자크기를 비교해 보았을 때, 비교적 연체동물의 각질 입자가 약 10%정도 1,000~710 μm 의 입자크기에 더 많이 분포하는 것을 볼 수 있다.

(바) 겹멸래 해빈 퇴적물의 형성과정

겹멸래 해빈을 구성하는 퇴적물은 대부분 해빈에 인접한 응회암 해안절벽으로부터 분리되어 나온 것으로 보이며, 생물기원 퇴적물이 주요 구성성분이 되는 외해로부터의 퇴적물 공급은 매우 적을 것으로 보인다. 이러한 사실은 하고수동 해빈에 나타나는 등성이와 곡과 같은 외해퇴적물로 이루어진 지형이 발달하지 않는 것으로부터도 어느 정도 유추할 수 있다.

해안절벽으로 불안하게 노출되어 있는 응회암은 화산암에 비해 쉽게 풍화침식 되기 때문에 현재의 만입부에 응회암으로부터 침식된 입자들이 쌓여 해빈을 형성한 것으로 보인다. 하지만 해안선 만입의 정도가 그다지 심하지 않고 만의 수심이 비교적 깊기 때문에 해빈면은 통상적인 해양조건에서의 파도나 폭풍 시의 강한 파도에 그대로 노출되어 있어서 응회암으로부터 공급되는 퇴적물의 상당부분은 다시 외해로 재동되어 빠져나가는 것으로 추정된다.

(5) 해빈의 종합적 해석

우도는 크기가 작은 섬이지만 우도에 발달하는 해빈은 구성입자의 크기, 입자의 기원 및 공급지, 해양 작용 등 조건의 차이에 따라 다양한 형성기원과 특성을 갖고 있는 것으로 종합할 수 있다. 즉, 홍조단괴 해빈과 하고수동 해빈은 해빈 외해에 분포하는 생물기원 퇴적물이 육지쪽으로 공급되어 형성된 반면, 겹멸래와 틀칸이 해빈은 주로 해빈 뒷편과 주변에 발달한 해안절벽으로부터 파쇄되어 나온 쇄설성 입자들이 공급되어 해빈이 유지되는 것으로 볼 수 있다. 또한 홍조단괴 해빈과 하고수동 해빈은 퇴적물 기원의 관점에서는 유사한 특징을 갖지만, 퇴적물의 공급과정에 대해서는 대조적인 특징을 보인다고 할 수 있다. 하고수동 해빈의 경우는 외해의 근안지역과 완경사의 비교적 평탄한 사질 해저면을 통해 차단 없이 연결되어 있고 지형적으로 외해의 강한 폭풍 등의 파랑에너지의 유입이 차단되는 곳이어서 주로 하계에 만입부 내에 분포하는 내지성 사질퇴적물이 평상시의 파랑조건에서 해빈사이클에 따라 유입되는 것으로 보인다. 이에 반해 홍조단괴 해빈에서는 전안과 홍조단괴가 서식하는 근해 지역 사이에 불규칙한 표면의 암반이 노출되어 있어서 평상시 조건에서는 퇴적물 유입이 거의 없고 주로 강한 폭풍이나 태풍이 발생할 때 간헐적으로 홍조단괴 퇴적물이 유입되는 특징을 갖고 있다.

(6) 세배꽃 사질퇴적층

우도 북단의 세배꽃 해안의 만조선 위쪽 지역에 해안선을 따라 약 200m에 걸쳐 소규모의 사질퇴적층이 폭 20m 이내의 대상으로 분포한다(그림 3-60, 그림 3-75). 확인된 지층의 두께는 최대 약 1.5m이다.

(가) 세배곶 사질퇴적층의 퇴적구조



그림 3-75. 세배곶 사질퇴적물의 위치와 분포(적색 점선). 적색 점은 입도분석 및 주상도 작성 위치

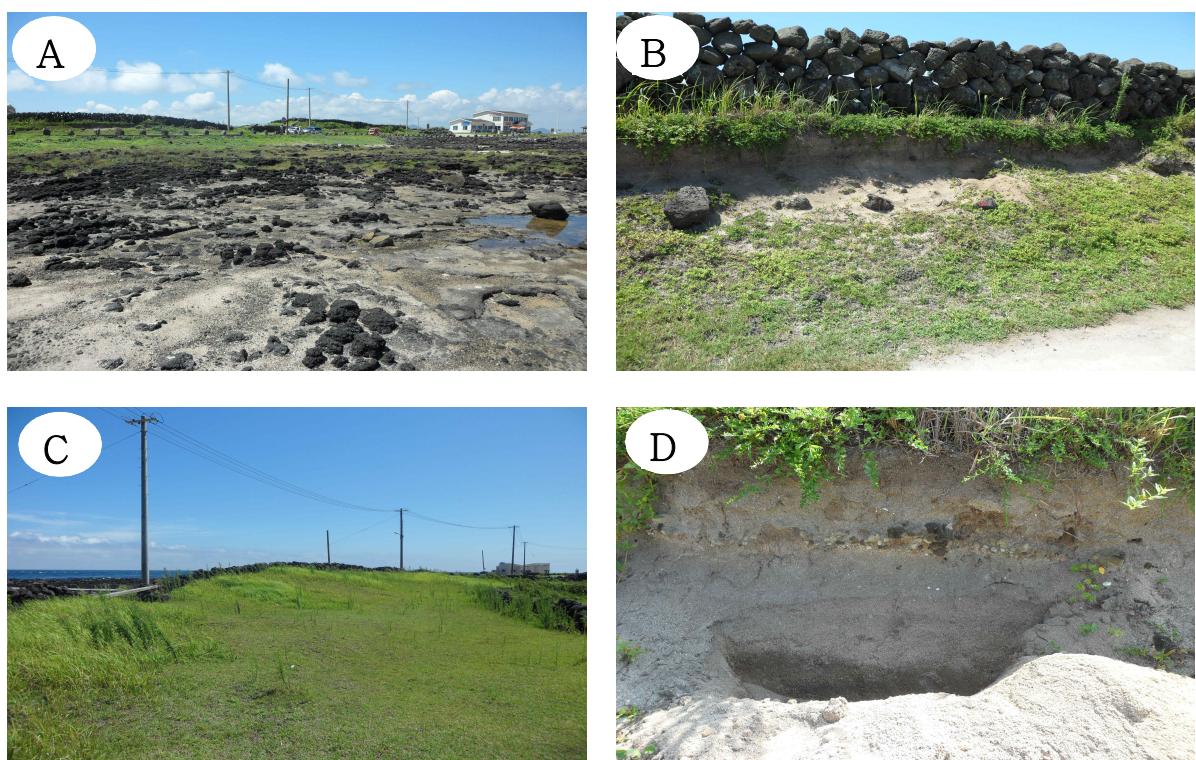


그림 3-76. (A) 암반과 조립질 퇴적물이 혼재하는 세배곶 조간대와 그 뒤편의 사질퇴적층(돌담이 있는 얕은 둔덕 부분). (B) 사질퇴적층의 도로 절개부로서 생물편이 다양 함유되어 비교적 밝은 색을 보임. (C) 육지쪽으로는 완만한 경사를 보이는 언덕을 이룸. (D) 모래가 우세하지만 부분적으로 원마도가 양호한 자갈이 렌즈상으로 협재

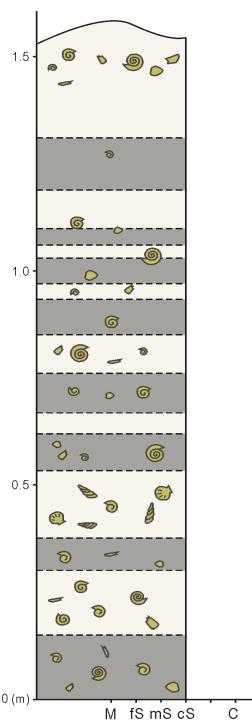


그림 3-77. 세배곶 사질 퇴적층의 요약
주상도

사질퇴적층이 분포하는 해안전면의 조간대 지역은 비교적 평坦하고 완만한 경사를 보이는 암반대지가 북쪽으로 돌출되어 있는 곳이다(그림 3-75). 조간대는 현무암질 용암류 암반 위에 50cm 내외의 크기를 갖는 거력을 우세하게 덮여 있으며, 조립모래에서 왕모래 크기의 화산암편과 패각편이 혼합된 퇴적물이 부분적으로 이들 거력을 사이를 채우고 있다(그림 3-76A).

퇴적층은 대부분 생물편 기원의 입자로 구성되어 있으며, 완전한 형태의 육상 달팽이류의 외피가 발견되기도 한다. 비교적 층후가 두꺼운 곳에서 1.5m 높이의 지층단면을 확보하여 분석시료를 채취하고 주상도를 작성하였는데(그림 3-77), 퇴적층은 5~10cm 두께의 어두운 부분과 유사한 두께의 밝은 부분이띠(band) 모양으로 교호하여 나타나는 것이 특징이며, 이들 띠의 경계부는 대부분 점이적이며 다소의 굴곡을 보인다(그림 3-77, 그림 3-80, 그림 3-81).

(나) 세배곶 사질퇴적층의 연령측정

사질퇴적물의 연령측정 방법과 같이 사질퇴적층의 단면을 절개하여 사질퇴적층이 형성되기 시작한 시점과 완성되고 안정화된 시점을 정확하게 알아보기 위한 절대연령분석을 실시하였다.

사질퇴적층의 하부에 나타나는 고토양층에 대한 연대분석결과 약 2,750년 전에 형성된 것으로 나오며, 따라서 이 지층은 그 이후에 현 위치에 쌓인 것으로 보인다(그림 3-78, 표 3-21).



그림 3-78. 사질퇴적층의 절대연령 분석 층준과 토양층 시료. 토양 내에 많은 양의 탄산염퇴적물이 포함되어 있음

표 3-21. 사질퇴적층 토양층의 절대연령 분석 값

시료번호	Measured Radiocarbon Age(BP)	Conversational Radiocarbon Age(BP)
UDO-D1	2,750±40	2,760±40

(BP: before present)

(다) 세배곳 사질퇴적층의 평균입도

사질퇴적층의 평균입도를 평균값으로 계산하면 각각 $643\mu\text{m}$ 이다. 사질퇴적층(UDO-D1)에서 가장 작은 평균입도는 UDO-D10($478\mu\text{m}$)이며, 가장 큰 평균입도는 UDO-D10($691\mu\text{m}$)이다. 그 외의 다른 층준의 시료들은 모두 $561\sim682\mu\text{m}$ 사이의 값을 나타낸다(표 3-22). 이는 Krumbein(1934)가 제안한 식에 의해 $\phi(\Phi)$ 단위로 표현하면 $1.0\sim0.75\Phi$ 에 해당하는 값이다. 이 크기의 입자는 Udden(1898)과 Wentworth(1922)의 분류에 의하면 중립사와 조립사 크기에 해당하며, 분급도는 하고수동 해변 및 사구퇴적물에 비해 불량한 편이다.

표 3-22. 사구(UDO-GS-D1~4)와 사질퇴적층(UDO-D1~16) 퇴적물의 평균입도

시료번호	평균입도(μm)
UDO-D1(토양층)	696
UDO-D2	682
UDO-D3	675
UDO-D4	677
UDO-D5	642
UDO-D6	663
UDO-D7	661
UDO-D8	667
UDO-D9	673
UDO-D10	691Max
UDO-D11	632
UDO-D12	665
UDO-D13	642
UDO-D14	638
UDO-D15	561
UDO-D16	478Min

그러나, 사질퇴적층의 하부에서 상부로 가면서 각 층준 시료의 평균 입도는 조금씩 변화함을 알 수 있다(그림 3-79). 사질퇴적층은 상부로 올라갈 수록 전반적으로 작아지는 경향을 볼 수 있다. UDO-D14~16의 경우 입자사이즈가 약 $150\mu\text{m}$ 줄어드는 것을 볼 수 있다(그림 3-79).

깊이에 따른 퇴적물 입도의 체계적인 변화는 나타나지 않으며 지층의 밝은 부분과 어두운 부분에서의 입도의 차이도 명확하게 나타나지는 않는다. 다만, 육안으로 어두운 부분은 유기물을 포함하는 토양 입자가 상대적으로 더 많이 포함되어 있는 것으로 보인다. 일부 노두에서는 수 cm 크기의 자갈들이 불규칙하게 산재하거나 일정 층준을 따라 렌즈형태로 집중되어 있어서 잔류퇴적물 기원으로 추정된다(그림 3-76D).

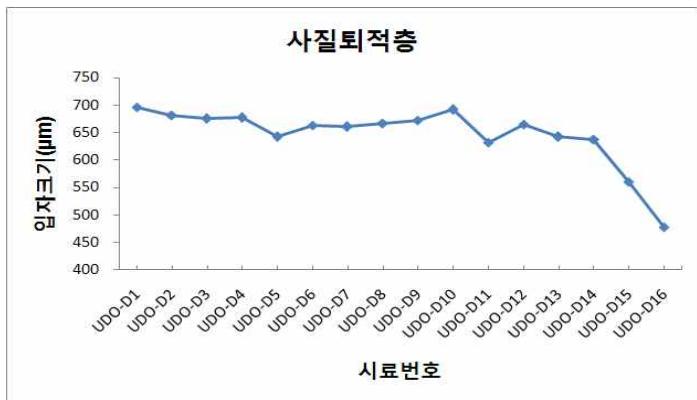


그림 3-79. 사질퇴적층 퇴적물의 평균입도 그래프

는 토양층 시료인 UDO-D1에서부터 최상부의 시료인 UDO-D16까지 거의 일정한 그래프를 나타낸다. 즉, 대부분의 입자들은 크기가 약 710~125μm에 속하며, 약 710~500μm 크기의 입자와 500~125μm 크기의 입자가 거의 비슷한 분포를 보여주고 있고, 그보다 크거나 작은 입자들의 함량은 대략 20%의 함량을 보인다. 또한 이 중에서도 가장 많은 함량을 보이는 입자들은 약 1,000~710μm에 속해 있으며, 각 그래프에서 최고점을 나타내는 지점은 710~210μm의 입자이다. 또한 그래프에서 최고점을 나타내는 크기의 입자들의 함량도 거의 비슷하게 약 5%의 범위 내에서 변화하는 것을 알 수 있다. 다만, 최상부 시료 UDO-D16의 710~500μm 입자가 약 15%의 변화를 보이고 있다. 대체적으로 125μm 이하의 입자들은 약 5%의 분포를 보인다. 약 250~125μm 입자 크기는 하부층에서는 약 15%의 분포를 보이다가, 상부층 UDO-D14와 UDO-D15 지점에서 22%와 30%로 나타나고, 최상부층 UDO-D16에서는 가장 높은 분포인 34%의 분포를 보인다.

(마) 세배꽃 사질퇴적층의 구성성분

사질퇴적층의 평균입자크기는 사구의 평균입자크기 보다 크게 나타나며, 1,000~250μm의 입자가 많은 분포를 보이고, 특히 1,000~500μm의 입자크기가 많은 함량을 나타내고 있다. 사질퇴적층의 입자크기가 사구보다 큰 것은 폭풍에 의한 강한 바람이 생물기원의 각질들을 운반해 왔기 때문으로 생각할 수 있다.

사질퇴적층의 탄산염퇴적물은 연체동물이 56~83%, 홍조류 1~8%, 유공충 3~14%, 성게류 1~15%, 극피류 1~5%, 태선동물 1~12%, 화산암편 1~32% 정도 포함되어 있다(표 3-23). 대체적으로 토양층과 퇴적물들의 구성성분 함량이 비슷하게 나타났다. 전체적으로는 연체동물이 약 70%로 가장 많은 양을 차지하고 있으며, 화산암편이 약 15% 안팎으로 여러 함량 분포를 보이고 있다. 홍조류, 유공충, 성게류, 극피류, 태선동물은 약 10%의 함량을 보인다. 사구의 탄산염퇴적물과는 달리 입자크기 별로 나타나는 함량의 분포는 대체적으로 비슷하게 나타난다. 그림 3-82, 그림 3-83을 보면 1,000~710μm과 710~500μm, 500~250μm의 입자크기 함량의 분포가 전반적으로 유사한 것을 볼 수 있다. 다만 최상부층의 UDO-D16, D15의 500~250μm의 화산암편이 27~32%의 높은 함량으로 나타난다. 홍조류와 태선동물은 대체적으로 약 1%의 분포 양상을 보이지만, UDO-D6의 710~500μm 입자크기에서 각각 약 8%와 12%

(라) 세배꽃 사질퇴적층의 입도변화

그림 3-80과 3-81은 사질퇴적층의 하부에서부터 상부까지의 탄산염퇴적물 입자의 크기 변화를 그래프로 나타낸 것이다. 시료는 하부 토양층부터 상부층까지 시료번호를 UDO-D1~16으로 하여 총 16개의 시료를 채취하였다.

사질퇴적층의 경우 각 층마다 입자크기에 조금씩 변화가 보이기는 하지만, 대체적으로

의 비교적 높은 함량을 보였다.

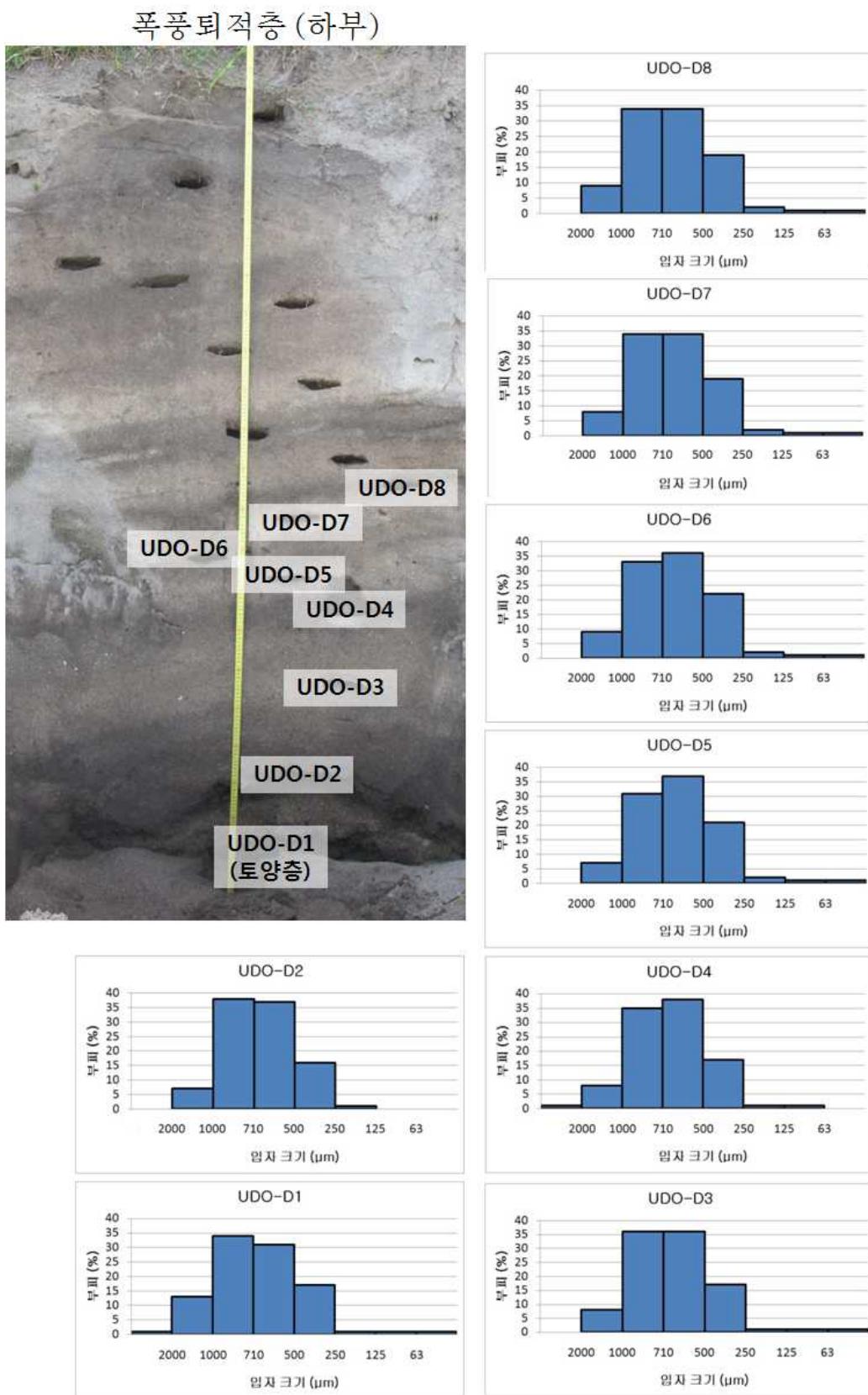


그림 3-80. 사질퇴적층의 각 충준 시료의 입도분석 그래프(하부)

폭풍퇴적층 (상부)

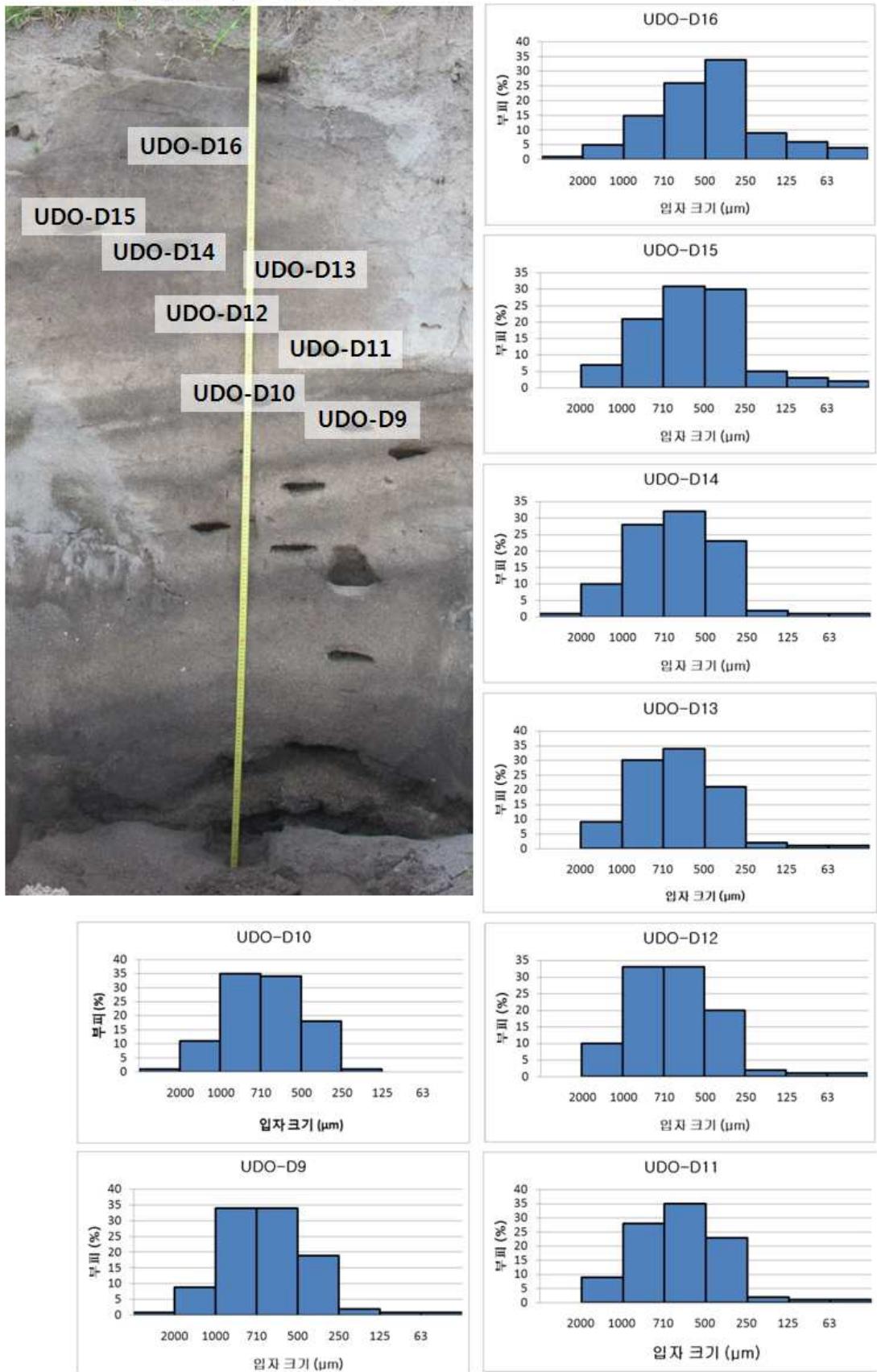
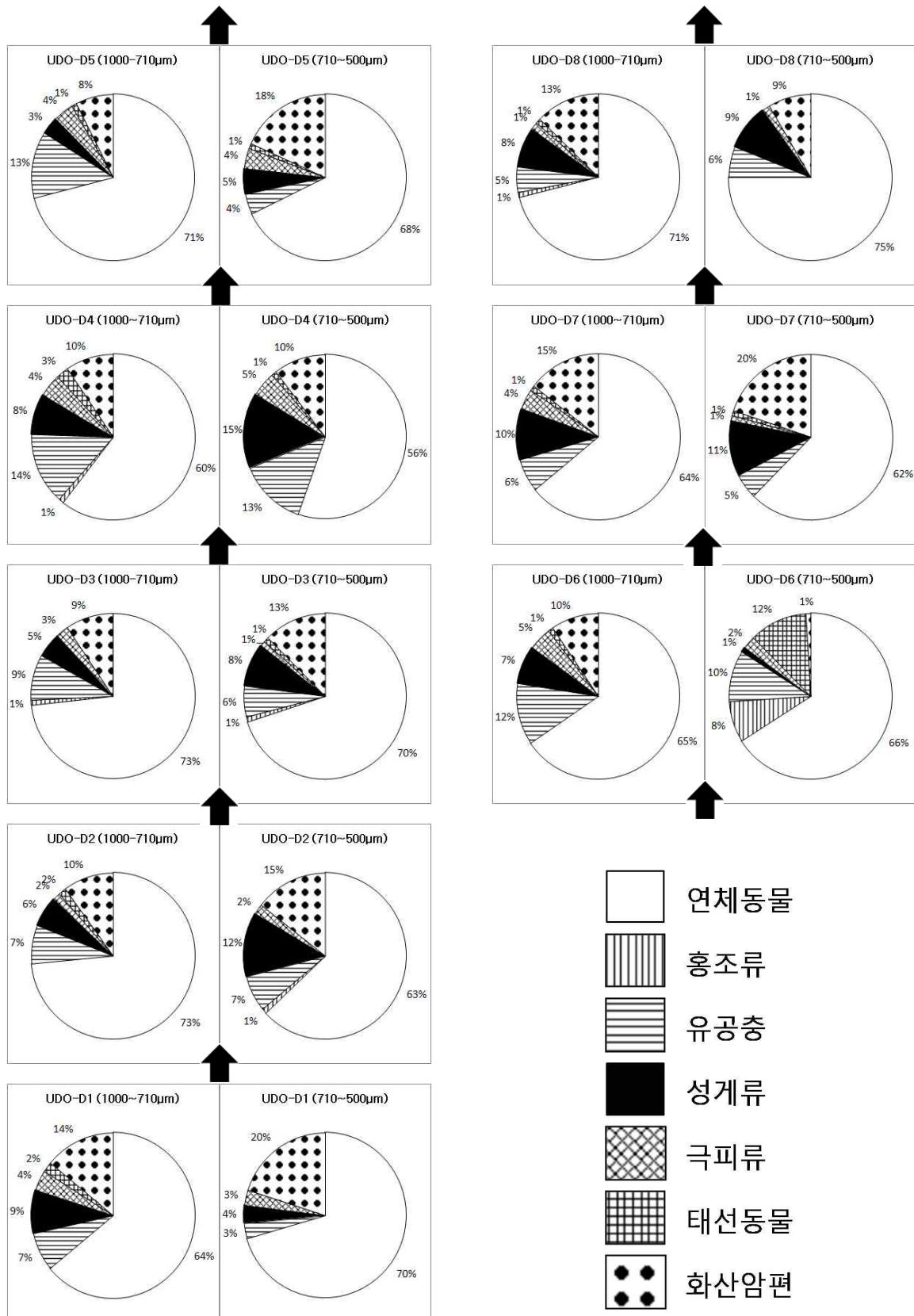


그림 3-81. 사질퇴적층의 각 층준 시료의 입도분석 그래프(상부)

표 3-23. 사질퇴적층 탄산염퇴적물의 구성 성분(%)

시료번호	합량 (%)							
	연체동물	홍조류	유공충	성게류	극파류	태선동물	화산암편	합계
UDO-D1토양총(1,000~710μm)	64	0	6	9	4	2	14	100
UDO-D1토양총(710~500μm)	71	0	3	4	3	0	20	100
UDO-D2(1,000~710μm)	74	0	6	6	2	2	10	100
UDO-D2(710~500μm)	63	1	7	13	2	0	15	100
UDO-D3(1,000~710μm)	74	1	9	5	3	0	10	100
UDO-D3(710~500μm)	70	1	6	9	1	1	13	100
UDO-D4(1,000~710μm)	61	1	14	8	5	3	10	100
UDO-D4(710~500μm)	56	0	14	15	5	1	11	100
UDO-D5(1,000~710μm)	71	0	13	4	4	1	8	100
UDO-D5(710~500μm)	69	0	4	5	4	1	19	100
UDO-D6(1,000~710μm)	66	0	12	8	5	1	10	100
UDO-D6(710~500μm)	66	8	10	1	3	12	1	100
UDO-D7(1,000~710μm)	64	0	7	10	4	1	15	100
UDO-D7(710~500μm)	63	0	5	11	1	1	20	100
UDO-D8(1,000~710μm)	73	1	5	8	2	1	13	100
UDO-D8(710~500μm)	75	0	6	9	2	0	9	100
UDO-D9(1,000~710μm)	79	0	6	4	4	0	7	100
UDO-D9(710~500μm)	71	0	7	9	4	0	10	100
UDO-D10(1,000~710μm)	83	1	5	3	1	0	8	100
UDO-D10(710~500μm)	70	0	3	11	3	0	14	100
UDO-D11(1,000~710μm)	77	0	5	5	5	1	8	100
UDO-D11(710~500μm)	71	0	6	10	2	0	12	100
UDO-D12(1,000~710μm)	76	1	5	9	2	0	9	100
UDO-D12(710~500μm)	68	1	5	11	4	0	13	100
UDO-D13(1,000~710μm)	77	0	5	7	3	1	8	100
UDO-D13(710~500μm)	76	0	3	8	1	0	13	100
UDO-D14(1,000~710μm)	81	0	4	7	1	0	7	100
UDO-D14(710~500μm)	74	0	7	6	5	0	10	100
UDO-D15(710~500μm)	75	0	6	5	2	0	13	100
UDO-D15(500~250μm)	66	0	3	4	2	0	27	100
UDO-D16(710~500μm)	80	0	4	2	0	0	15	100
UDO-D16(500~250μm)	67	0	0	2	0	0	32	100



최하부

그림 3-82. 사질퇴적층 하부의 탄산염퇴적물의 구성 성분(%)

최상부

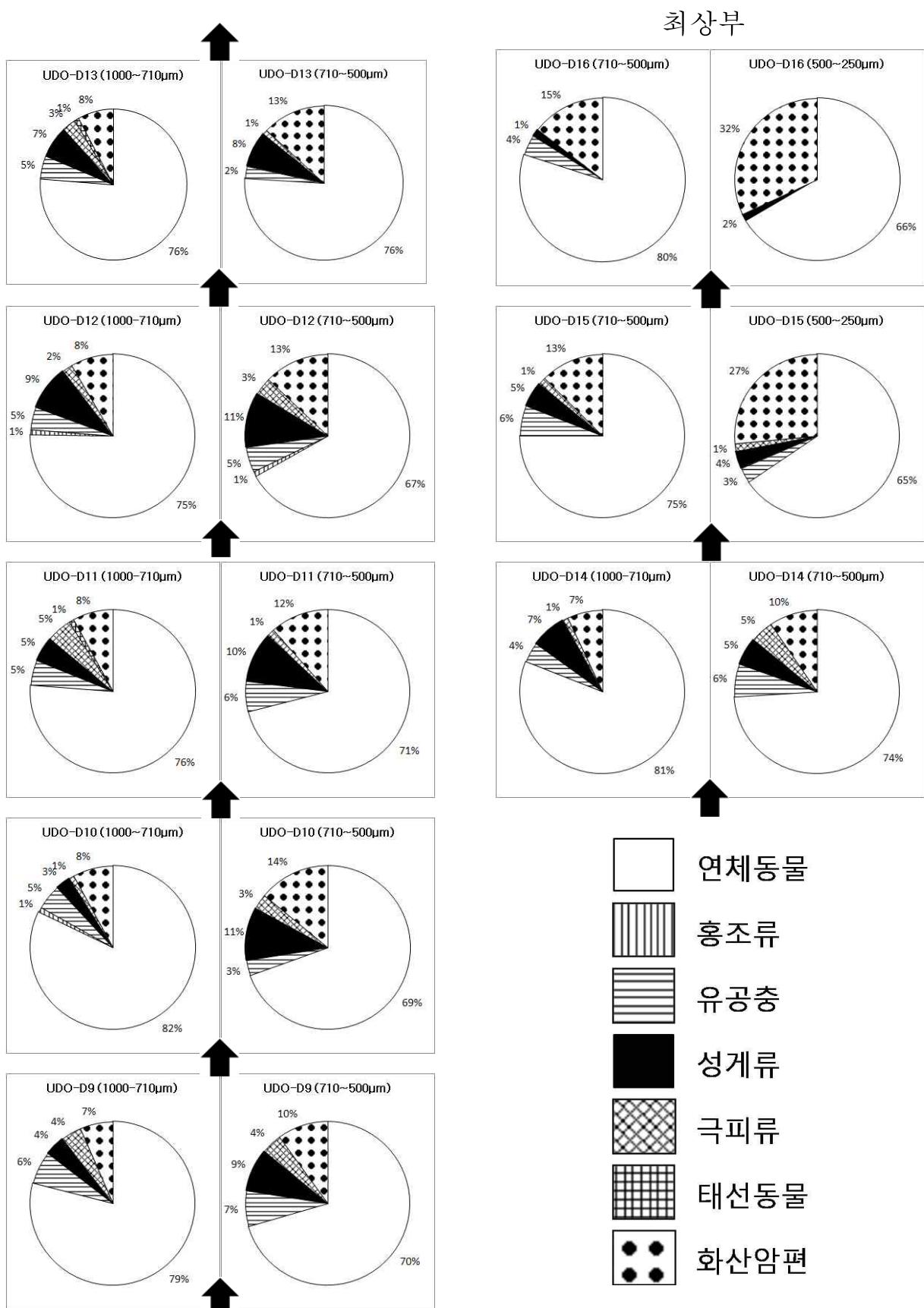


그림 3-83 사질퇴적층 상부의 탄산염퇴적물의 구성 성분(%)

(바) 세배곶 사질퇴적층의 기원

사질퇴적층의 입자는 하고수동 해빈 및 사구 퇴적물에 비해 분급이 불량하고 조립질을 보이는 조직 특성은 주로 바람에 의해 운반되어 집적된 분급이 양호한 세립모래로 구성되는 전형적인 사구퇴적물과는 다소 차이를 보인다. 이 퇴적층의 특징 중의 하나는 육상달팽이의 외피가 포함되어 있는 것인데, 해수면 상부에서 형성되었을 가능성을 지시하며, 부분적으로 자갈이 산재하거나 특정 층준을 따라 집중되어 나타나는 특징은 폭풍파가 간헐적으로 작용하면서 세립질 퇴적물은 재동되어 버리고 조립질 자갈입자들이 잔류된 것으로 해석된다. 아울러, 밝은 부분과 어두운 부분이 교호하여 띠모양으로 나타나는 특징(그림 3-80, 그림 3-81)은 서광리 홍조단괴 해빈의 후안퇴적층에서 볼 수 있는 것(그림 3-62D)과 그 특징이나 규모가 매우 유사하다.

따라서 이 퇴적층은 해빈의 후안에 해당되는 부분에서 형성된 것으로서 판단되는데, 후안지역은 일반적으로 폭풍때를 제외하고는 대부분 건조한 상태로 해수의 영향이 드문 곳으로서 이곳의 퇴적물은 주로 전안의 사질퇴적물이 해풍에 의해 해빈의 후면으로 이동되거나 폭풍 시에 높은 수위와 강한 파도의 영향으로 연안지역의 퇴적물이 이동되어 형성된다. 따라서 현재 사질퇴적층의 전면에 발달하는 조간대에 후안퇴적층과 연계되어 있던 전안퇴적층이 있었던 것으로 추정된다.

현재의 조간대 지역에는 암반이 우세하게 노출되어 있고 부분적으로 조립질 모래와 자갈들이 산재하여 나타나는데(그림 3-76A), 주변 환경이나 해양조건의 변화로 해안선에 인접한 전안퇴적층은 상당부분 재동되어 다른지역으로 이동되어 버리고 후안쪽에 있던 사질퇴적층과 조간대의 전안퇴적물 중 조립질 입자들만 잔류하게 된 것으로 보인다. 사질퇴적층의 하부에 나타나는 고토양층의 연대가 약 2,750년 전으로 이 시기 이후에 우도와 인근 성산포 지역의 화산활동이나 급격한 해수면 변동이 보고되어 있지는 않으므로 세배곶 고해빈의 침식 원인에 대해서는 향후 조사가 더 진행되어야 할 것으로 생각된다.

라. 사구

해안사구란 사빈의 모래가 바람에 날려서 사빈의 후면으로 이동하여 형성된 퇴적지형으로, 사빈해안의 후면이나 간석지에 접해서 발달되는 것이 일반적이다. 해빈의 모래는 홍수 때 하천을 통해 바다로 흘러든 퇴적물이나 해저에 쌓여 있던 모래가 파도의 작용으로 운반돼 쌓인 것이다. 이 모래가 강한 해풍에 의해 육지 쪽으로 다시 운반돼 쌓이면 사구가 형성된다. 사막에 발달하는 사구와 달리 해안사구는 이처럼 모래가 바다 쪽에서만 공급돼야 하고, 이 모래를 운반할 수 있는 적당한 속도의 바람이 불어야 한다. 모래해안이나 모래갯벌의 면적이 넓으면 모래가 더 많이 공급되기 때문에 해안사구가 잘 발달할 수 있다(서종철, 2004). 바람에 의해 계속 모래가 추가되면 언덕이 높아져 바닷물이 거의 접근하지 않게 되고, 그러면 먼저 사초가 정착하여 쌓여 있는 모래 언덕을 고정시키고, 해안사구가 발달하게 되는 것이다.

이러한 해안사구에서도 모래의 공급이 부족한 상태에서 바람이나 파랑의 침식에 의해 해안 사구의 축소현상이 일어나고 있는 경우도 있다. 풍부한 해안에서는 다시 모래가 퇴적되어 원상태로 회복되기도 한다. 이러한 사구의 전면에 다시 많은 모래가 쌓여 새로운 모래 언덕이 형성되고, 같은 과정이 반복되

어 해안사구로 발달하게 되면, 내륙 쪽의 사구는 더 이상 모래를 공급받지 못하게 되고, 나중에는 나무도 자라게 되어 안정 상태에 접어들게 되는 것이다(강철성 외, 2000)

해안사구는 여러 형태를 나타낼 수 있는데, 이는 모래의 공급량, 입도 분포, 풍속 및 풍향, 식물의 특성, 주위의 지형, 기후 등의 요인에 의해 사구의 형태와 크기가 다양하게 결정되기 때문이다(Davies, 1972; Short and Hesp, 1982; Pye, 1982; Klijn, 1990). 또한 해안 사구는 육지환경과 해양환경의 전이대에 분포하는 지형으로 육지와 해양환경의 평형을 유지하는 완충지의 역할을 한다는 특징을 가지고 있다. 즉, 육지와 바다 사이의 퇴적물의 양을 조절하여 해안을 보호하고, 해안의 고유생물 서식지의 역할을 하며, 해안식수원 저장지, 그리고 아름다운 경관지 등 다양한 기능을 가지고 있는 것을 보고되고 있다(Psuty, 1998; McLachlan, 1990).

그러나 해안사구는 식물들에게는 생장환경이 별로 좋지 않기 때문에 사초 외에는 주로 해송들이 자라며, 지대가 높아서 마을이 들어서기도 한다. 사람들이 사는 곳에서는 바람에 의해 모래가 날리는 것을 막고, 땔감으로 사용하기 위하여 일부러 나무를 심는 경우도 있다. 특히 겨울철에 매서운 북서계절풍이 불어오는 우리나라의 서해안의 경우에는 많은 모래가 내륙 깊숙이까지 날리기 때문에 생활에 불편이 많아서 이를 막기 위하여 방풍림을 조성하려고 하는 많은 노력을 하였으나 나무들이 살아남지 못하기 때문에 아직도 불편한 생활을 계속하고 있는 곳이 많다. 바람(주로 해풍)이 아주 강한 곳에서는 모래의 이동이 심하여 주변의 농경지와 산림이 점점 모래에 매몰되기도 하며, 해안사구의 식생이 파괴되면 바람에 의해 그 부분의 모래가 내륙 쪽으로 이동되면서 U자형 사구가 발달하기도 한다(강철성 외, 2000).

우리나라는 전 연안에 걸쳐 해안사구가 존재하고 있으며, 특히 동해안에 분포하는 해안사구들은 비교적 퇴적물의 공급이 원활하여 사빈과 더불어 해안사구가 안정화의 경향을 보이고 있다. 그러나 서해안에 분포하는 해안사구의 경우에는 현생사구에서도 모래의 공급이 부족하여 해안사구의 축소현상이 일어나고 있는 상태이다(권영식 외, 1988). 또한 제주도에도 여러 개의 해안사구가 소규모로 분포하고 있다. 특히 제주도에 분포하는 사구들은 천해에서 공급되는 여러 다양한 생물들의 패각인 탄산염퇴적물로 이루어져 있는 것이 특징이다.

(1) 사구의 퇴적구조

연구지역 내에 분포하는 사구의 탄산염퇴적물에 대한 연구를 수행하기 위해 한 개의 사구를 절개하여 그 단면을 관찰하였다. 연구한 사구의 위치는 우도 북동쪽의 하고수동 해수욕장에서 남쪽으로 약 100m 떨어진 곳에 위치한다. 절개한 사구 단면의 총길이는 약 2.4m 이다 이 사구의 단면은 퇴적층의 가장 정상부에서부터 기반을 이루는 토양층까지를 절개한 것이다. 따라서 단면의 총 길이는 토양층 위에 퇴적되어 있는 사구의 높이를 지시하는 것이다. 절개한 사구의 단면에서는 특징적인 퇴적구조는 관찰되지 않는 것이 특징이다(그림 3-84).



그림 3-84. 연구지역 내 사구퇴적물의 시표채취 지점(노란색 원)과 절개된 사구의 단면

(2) 사구의 연령측정

단면을 절개한 사구가 형성되기 시작한 시점과 완성되고 안정화된 시점을 정확하게 알아보기 위한

절대연령분석을 실시하였다.

우선, 사구의 단면을 삽을 이용하여 절개하여, 하부의 토양층이 나타나는 것을 확인할 수 있다. 사구 탄산염퇴적물이 이 토양층 위에 퇴적되어 형성된 것이므로, 사구가 형성되기 시작한 시기를 알아보기 위하여 사구의 기반을 이루는 토양층의 연령을 측정하였다(그림 3-85).

절대연령을 분석한 결과는 표 25와 같다. 이 연구에서 채취한 토양의 경우에는 사구가 쌓이기 시작한 지점에서 아주 깊지 않은 위치, 즉 탄산염 퇴적물 최하부에서 약 10~20cm 아래의 토양을 채취한 것이다. 토양층을 실체 현미경으로 관찰한 결과, 사구층의 토양에 많은 탄산염 퇴적물 입자들이 섞여 있는 것이 관찰되었다(그림 3-86). 절대연령을 분석할 때에는 토



그림 3-85. 사구의 절대연령 분석 층준

양 내에 섞여 있는 다량의 탄산염퇴적물을 제거할 필요가 있으며, 또한 토양 내에 포함되어 있는 식물의 잔재 등의 이물질도 제거하여야 한다. 이 토양 내에 남아 있는 식물의 잔재는 토양 형성 시의 것일 수도 있으나, 사구가 형성된 이후에 사구의 표면에서 자라는 초지나 나무의 뿌리 등이 사구의 아랫부분까지 침투하여 영향을 주었을 가능성성이 있기 때문이다. 따라서 정확한 분석을 위해서는 이러한 이물질들을 제거할 필요가 있다. 따라서 토양 시료를 우선 산성과 염기성의 시약으로 전처리를 한 후 Accelerator Mass Spectrometry Technique으로 분석하였다.

표 3-24에 measured radiocarbon age는 분석한 값을 보정 없이 바로 기재한 값이며, conversational radiocarbon age는 분석 값을 2 sigma calibration curve를 이용하여 calendar age로 보정한 값을 나타낸다. 이 연구에서 사용한 절대연령 측정 방법은 시료 내에 포함되어 있는 ^{14}C 의 함량을 이용하는 방법이다.



그림 3-86. 사구 아래 토양층 시료. 토양 내에 많은 양의 탄산염퇴적물이 포함되어 있음

표 3-24. 사구 토양층의 절대연령 분석 값

시료번호	Measured Radiocarbon Age(BP)	Conversational Radiocarbon Age(BP)
UDO-GS-D1	5,390±40	5,500±40

(BP: before present)

보통 대기 중의 ^{14}C 는 대기와 접하고 있는 해수에 용해되고, 따라서 바다에 서식하는 생물들은 탄산염성분의 각질을 생성할 때, 이 해수내의 ^{14}C 의 성분 양을 반영하게 된다. 그러나 해수에서는 탄소의 순환이 대기에서보다 느리게 일어나고, 또한 해수 내에 존재하는 석회암 등에서 CO_2 가 녹아나와 해수 내 ^{14}C 의 양에 영향을 주기도 하기 때문에 이러한 영향들로 인해 실제 시료의 연령보다 더 오래된 연령으로 분석이 되는 경우가 있다. 이러한 영향은 얕은 바다에서보다도 특히 깊은 바다에서 크게 나타나는데, 약 500년 이상의 연령 차이를 보이는 경우도 많다. 따라서 이러한 영향에 대한 보정을 해주어 분석된 값을 calendar age로 바꾸어 주어야 하는 것이다. 이 연구에서 측정한 토양시료의 경우에는 보정한 값과 분석 값이 큰 차이가 보이지 않는다. 연령의 단위는 BP(before present)를 사용하는데, 여기에서의 present는 1950년을 의미한다. 1950년대 이후로는 인류의 산업 발달로 인해 대기 중의 CO_2 함량이 급격하게 증가되었기 때문에, 분석 시에는 1950년 당시의 대기 중 탄소분압을 표준으로 잡기 때문이다.

절대연령을 분석한 결과를 보면, 사구의 토양총은 $5,500 \pm 40$ BP로 측정되었다. 이는 사구의 탄산염 퇴적물이 쌓이기 시작한 시기는 $5,500 \pm 40$ BP 이후인 것으로 볼 수 있다.

(3) 사구의 평균입도

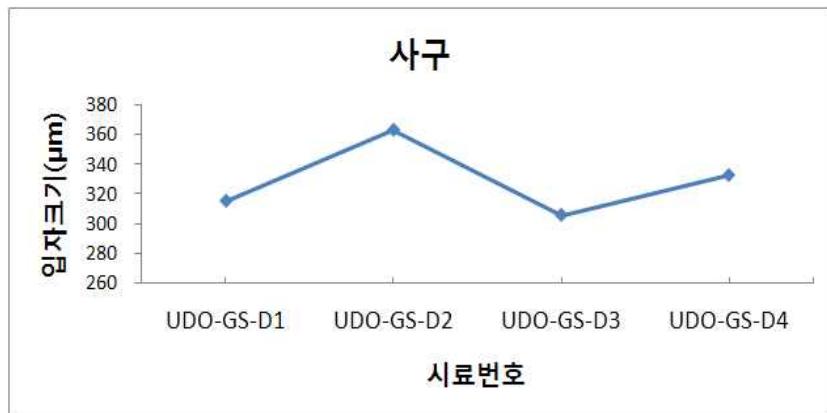


그림 3-87. 사구 퇴적물의 평균입도 그래프

평균값으로 계산하면 $334\mu\text{m}$ 이다. 사구(UDO-GS-D1~4)에서 가장 작은 평균입도는 UDO-GS-DS(306 Min)이며, 가장 큰 평균입도는 UDO-GS-D2(363Max)이다. 그 외의 다른 층준의 시료들은 토양총 $315\mu\text{m}$, 퇴적물 $333\mu\text{m}$ 를 나타낸다. 이는 Krumbein(1934)가 제안한 식에 의해 ϕ 단위로 표현하면 $1.25 \sim 1.75\phi$ 에 해당하는 값이다. 이 크기의 입자는 Udden(1898)과 Wentworth(1922)의 분류에 의하면 중립사에 해당한다(그림 3-87).

사구의 탄산염 퇴적물을 이루는 구성입자들의 크기를 체분석을 통하여 분석하였으며, 체를 10분 정도 진동을 주어 분리하였다. 사용한 체는 5개로 각각 $2000\mu\text{m}$, $1000\mu\text{m}$, $710\mu\text{m}$, $500\mu\text{m}$, $250\mu\text{m}$, $125\mu\text{m}$, $64\mu\text{m}$ 이다.

각 퇴적물의 평균입도는 표 3-25와 같고 사구의 평균입도를

표 3-25. 사구(UDO-GS-D1~4) 퇴적물의 평균입도

시료번호	평균입도(μm)
UDO-GS-D1(토양총)	315
UDO-GS-D2	363Max
UDO-GS-D3	306Min
UDO-GS-D4	333

제주도 북동쪽에 위치한 김녕의 해안사구 평균입도 0.28mm (지효선, 2008)와 북서쪽의 협재해수욕장 해안사구 평균입도 0.35mm (해안사구종합학술조사보고서, 2004)와 비교해 보면 김녕의 해안사구 보다 평균입도가 0.05mm 정도 크고, 협재해수욕장 해안사구 보다 0.02mm 정도 작은 것을 볼 수 있다. 김녕의 해안사구는 세립사에 해당하는 입자크기이며, 협재해수욕장 해안사구와 본 연구 지역 사구는 중립사에 해당하는 입자크기이지만, 이번 연구지역의 사구와 비교하면, 실제 평균입자크기는 약 $0.01 \sim 0.08\text{mm}$ 차이가 나는 것을 볼 수 있다.

(4) 사구의 입도변화

그림 3-88은 사구의 하부에서부터 상부까지의 탄산염퇴적물 입자의 크기 변화를 그래프로 나타낸 것이다. 시료는 하부 토양층부터 상부층을 시료번호 UDO-GS-D1~4로 하여 총 4개의 시료를 채취하였다. 뚜렷한 층리가 나타나지 않아 하부의 토양층으로부터 30cm 간격으로 시료를 채취하였다.

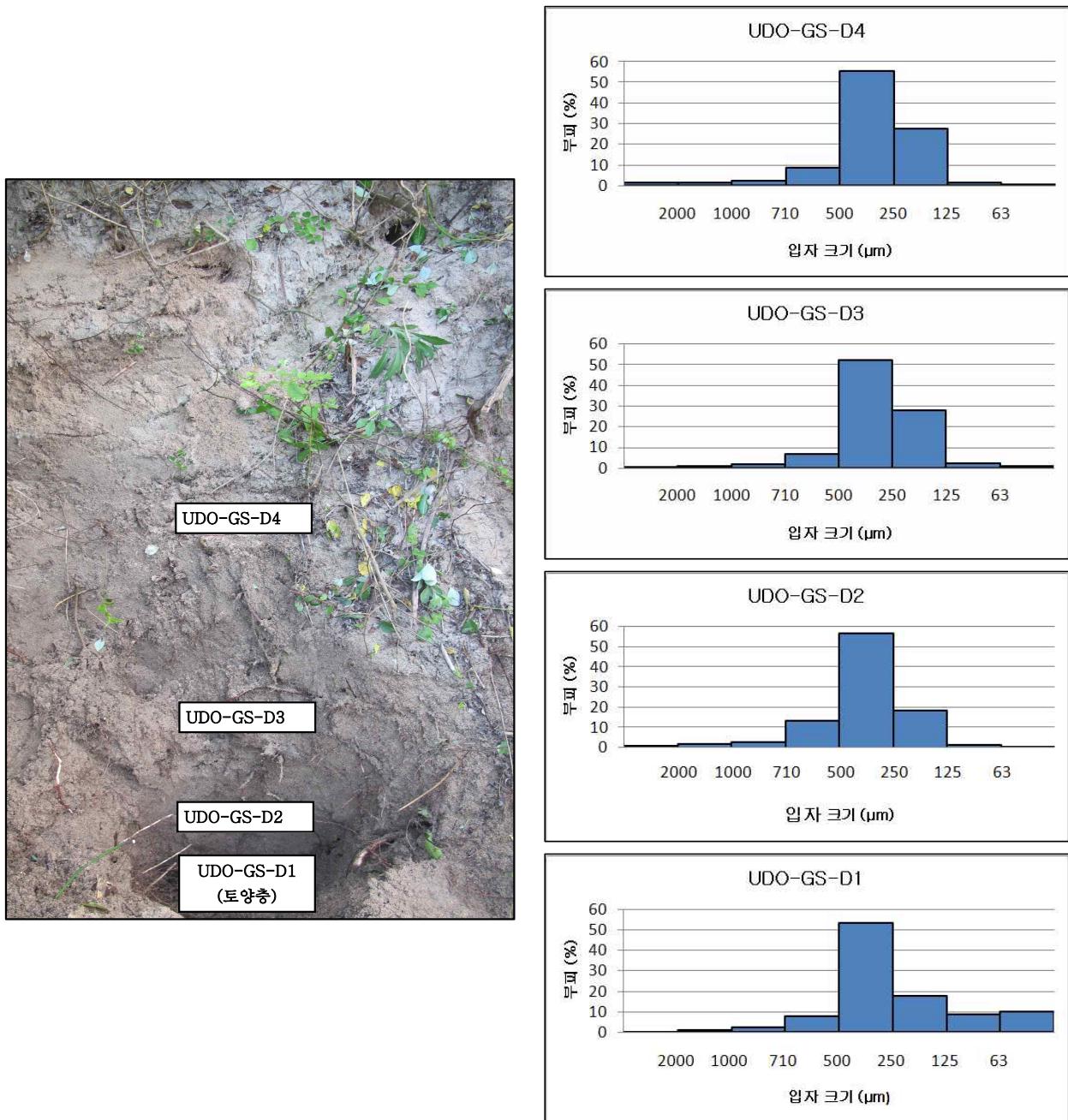


그림 3-88. 사구의 각 층준 시료의 입도분석 그래프

각 그래프에서 가로축은 입자크기를 μm 단위로 나타낸 것이며, 세로축은 각 입자크기의 부피를 % 단위로 나타낸 것이다. 따라서 가로축의 경우 오른쪽으로 갈수록 입자크기가 큰 것을 나타내며, 세로축의 경우 위로 갈수록 각 입자크기의 함량이 많아지는 것을 나타내는 것이다. 또한 각 그래프의 면적은 분

석된 시료의 부피를 나타내며, 이 그래프에서는 부피를 %단위로 나타냈으므로 그래프의 면적을 구하면 100%로 계산될 것이다.

시료를 채취한 지점의 입자크기는 약간의 변화가 보이기는 하지만, 대체적으로는 UDO-GS-D1~4 모두 일정한 그래프를 보인다. 대부분의 입자들은 710~125 μm 에 분포하며, 이 보다 더 크거나 작은 입자들은 거의 5%이내의 분포를 보인다. 이 중에서도 가장 많은 함량을 보이는 입자들은 500~250 μm 에 속해있으며, 평균 약 55%의 분포를 보이고, UDO-GS-D1~4의 4개 시료 모두 50%가 넘는 많은 양을 보인다. 250~125 μm 입자들은 상부층으로 올라 갈 수록 약 10%의 증가하는 분포를 보였고, 710~1,000 μm 의 입자들은 거의 약 10%의 일정한 분포로 나타난다. UDO-GS-D1 토양층은 63 μm 미만의 미세입자들의 분포가 약 12%로, UDO-GS-D2~4의 63 μm 미만의 입자보다 약 10% 높게 나타난다.

(5) 사구의 구성성분

제주도에 분포하는 해빈퇴적물은 주로 탄산염퇴적물과 화산암편으로 이루어져 있다. 일반적으로 탄산염퇴적물은 90% 이상이 생물에 의해 생성된 것으로, 탄산염각질을 만드는 생물이 죽은 후에 생물체의 유기물부분은 썩어서 제거되고 딱딱한 각질부분은 분해되어 탄산염 퇴적물을 이루는 것이다. 또한 화산암편은 한라산에서부터 발달한 하천에 의해 화산암류의 쇄설물이 운반되는 것이다. 제주도는 신생대 제4기의 화산활동에 의해 형성된 섬으로 주로 현무암질과 조면암, 응회암 등으로 이루어져 있으며, 이 암석들이 풍화되면 석영, 휘석, 사장석, 감람석 등의 광물과 화산암편 등을 해빈에 공급하게 된다. 해빈퇴적물의 구성성분을 조절하는 요인들은 하천에 의한 화산암편의 공급량, 제주도 해안을 따라 해빈 주변에 분포하는 주변암의 암질, 연안류의 방향 및 폭풍의 영향 등이다. 즉, 주변에 하천이 많이 발달하여 내륙 쪽의 화산암편이 하천을 통해 많이 공급되면 해빈퇴적물이 흑색을 띠게 되며, 하천의 발달이 미약한 해빈은 탄산염퇴적물로 이루어져 있어 백색을 띠게 되는 것이다.

이 연구지역의 사구를 구성하는 입자들은 거의 대부분 탄산염퇴적물로 이루어져 있으며, 주로 많은 양의 생물 기원의 파편들이다. 앞의 입도분석의 결과로 각각의 시료마다 우세한 입자 사이즈인 시료 UDO-GS-D1~4의 500~250 μm , 250~125 μm 시료를 가지고 탄산염퇴적물의 구성성분을 알기 위하여 모우드 분석을 실시하였다. 모우드 분석은 편광현미경하의 개방니콜과 교차니콜 상태에서 보이는 입자고유의 특징을 관찰하여 판별하고, 각각 카운팅을 실시하여 함량을 구하였다.

그림 3-89는 편광현미경 관찰시 박편에서 나타나는 탄산염입자와 화산암편의 모습이다. 편광현미경상에서 연체동물의 각질 부분은 여러 개의 성장선으로 되어 있는 사박층 미세구조와 주상의 형태로 관찰되는 주상구조가 나타난다. 홍조류는 마디상 홍조류가 관찰되며, 유공층은 주로 약 1mm보다 작고 몇 개의 방으로 되어 있으며, 방 안이 비어 있는 것이 특징이다. 성계류는 성개 침의 형태로 많이 관찰되고, 극피류는 표면이 물방울 모양을 하고 있으며, 직소광하는 것이 특징이다. 태선동물은 여러 개의 방으로 되어 있고, 방의 모양은 대체로 일정하다. 화산암편은 석영과 장석류가 주로 많은 함량으로 나타나는 화산쇄설물과 현무암질 암편이 주로 나타난다.

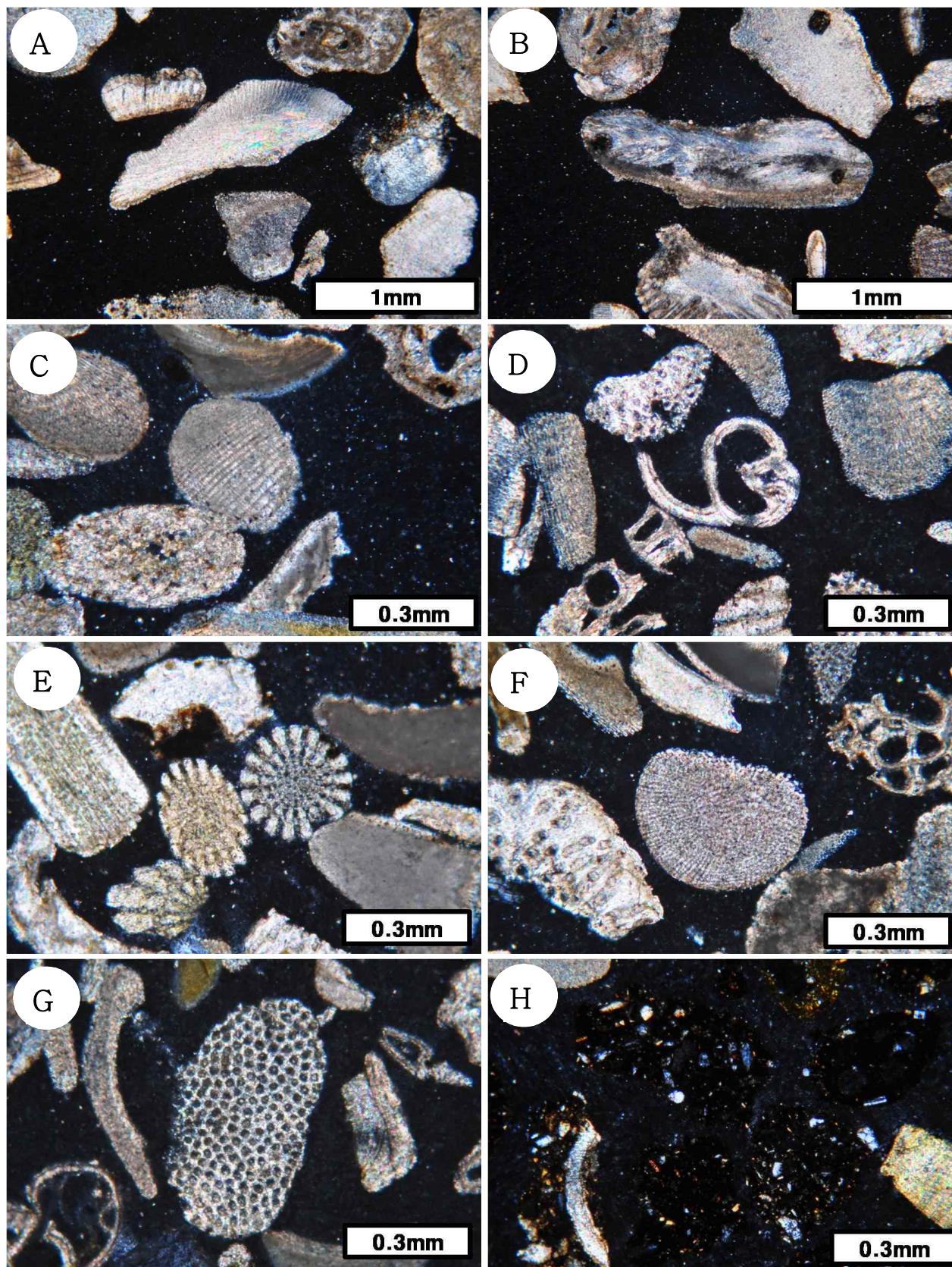


그림 3-89. 사구와 사질퇴적층의 탄산염퇴적물의 박편사진. A&B) 연체동물, C) 홍조류, D) 유공충, E) 성계류, F) 극피류, G) 태선동물, H) 화산암편

사구의 하부 토양층을 제외한 탄산염퇴적물은 연체동물이 16~35%, 홍조류 1~9%, 유공충 29~61%, 성게류 4~9%, 극피류 0~3%, 태선동물 0~3%, 화산암편 6~31% 정도 포함되어 있다(표 3-26). 토양층을 제외하고 전체적으로 유공충과 연체동물 가장 많은 양을 차지하고 있으며, 화산암편이 약 20%, 성게류가 약 7%, 홍조류 5%이고, 나머지 극피류, 태선동물은 3%미만의 함량을 보인다. 토양층은 화산암편이 53~67%로 가장 많은 양을 차지하고 있으며, 연체동물 17~23%, 유공충 16~23%의 함량을 보인다. 나머지 홍조류, 성게류, 극피류는 극히 적은 약 1%미만의 함량을 보인다.

표 3-26. 사구 탄산염퇴적물의 구성성분(%)

시료번호	합 량(%)							
	연체동물	홍조류	유공충	성게류	극피류	태선동물	화산암편	합 계
UDO-GS-D1토양층(500~250μm)	23	1	23	2	0	0	53	100
UDO-GS-D1토양층(250~125μm)	17	0	16	1	0	0	67	100
UDO-GS-D2(500~250μm)	29	9	42	9	2	3	7	100
UDO-GS-D2(250~125μm)	21	9	29	9	1	2	31	100
UDO-GS-D3(500~250μm)	35	4	42	8	3	3	6	100
UDO-GS-D3(250~125μm)	33	1	38	8	0	0	21	100
UDO-GS-D4(500~250μm)	30	1	59	4	1	1	6	100
UDO-GS-D4(250~125μm)	16	2	61	6	2	0	14	100

토양층을 제외한 탄산염퇴적물의 구성성분에 따른 함량을 비교해 보면, 같은 입자 크기에 따라 구성성분의 함량이 유사한 것을 볼 수 있었다. UDO-GS-D2~4에 500~250μm의 입자크기에 따른 함량을 보면 연체동물 29~35%, 화산암편 6~7%를 보이고 나머지 구성성분들이 대체적으로 비슷하게 나타난다. 또한 UDO-GS-D2~4에 250~125μm의 입자크기에 따른 함량을 비교해 봐도 같은 입자크기에 따른 구성성분들은 비교적 비슷한 함량을 갖는다(그림 3-90).

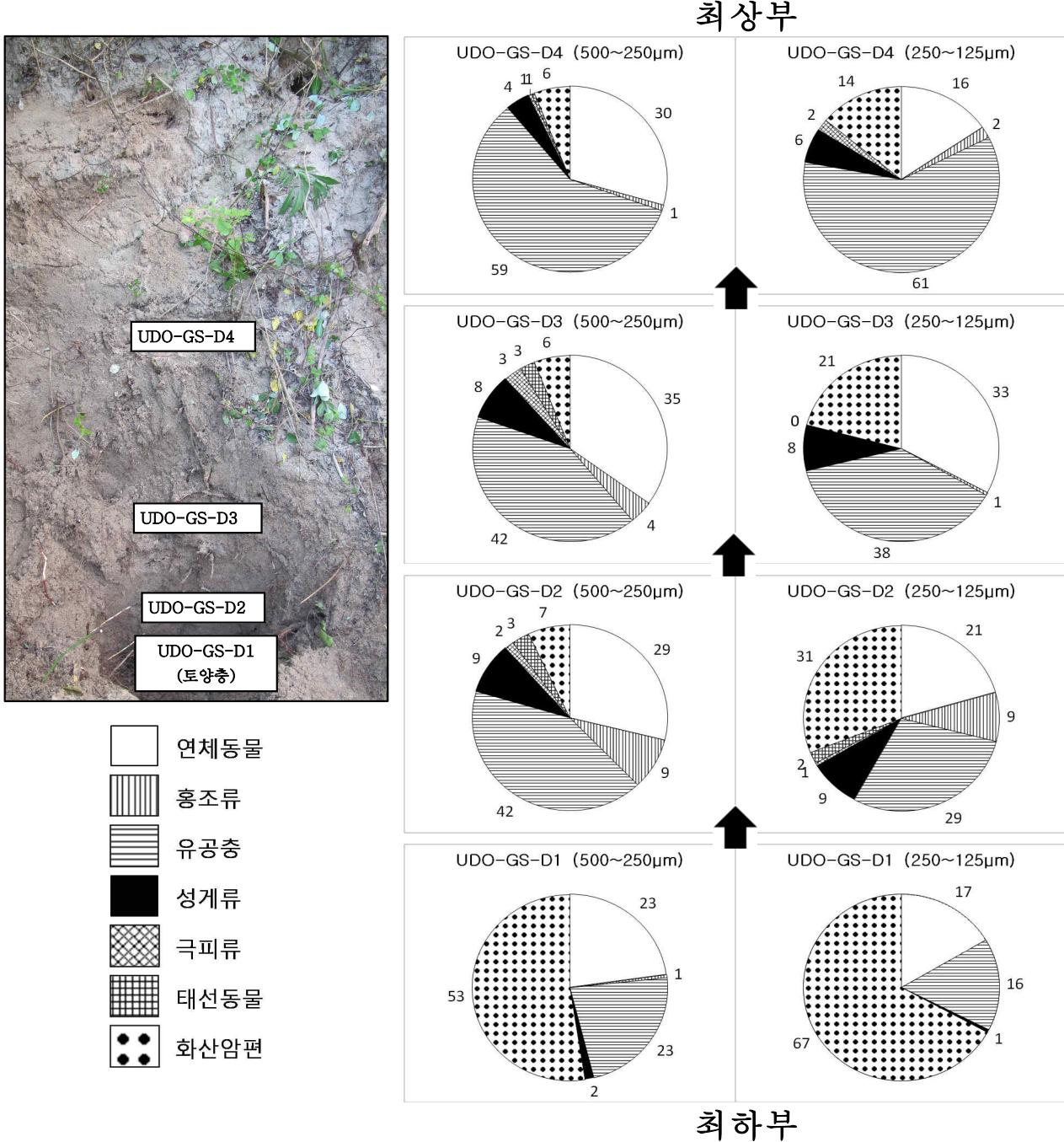


그림 3-90. 사구 탄산염퇴적물의 구성성분(%)

마. 동굴

우도 내에 분포하는 천연동굴은 용암동굴 3개(포겟동산굴, 조일리동굴, 동터진굴), 해식동굴 4개(검멸례굴, 동안경굴, 광대코짓굴, 달그리안동굴), 수중해식동굴 2개(우도동굴, 콧구멍동굴) 총 9개의 천연동굴이 분포하고 있다(그림 3-91).



그림 3-91. 우도 내에 분포하는 천연동굴의 위치

(1) 용암동굴

우도 응회구의 화구를 통해 흘러나온 용암들은 대부분 파호이호이 용암(pahoehoe lava)으로 우도의 용암순상지(lava shield)을 이루고 있다. 이 용암의 표면에는 새끼구조(ropy structure)가 잘 만들어져 있으며 일부 지역에서는 튜뮬러스(tumulus) 구조가 잘 관찰된다(그림 3-92). 우도의 용암은 5% 미만의 감람석, 1% 미만의 단사휘석, 2% 미만의 사방휘석, 그리고 2% 미만의 사장석 반정 또는 미반정을 포함하며 기질은 입상조직을 보여준다(그림 3-93).



그림 3-92. 우도 겸멸레 지역에서 관찰되는 용암의 구조들. A) 거북등과 유사한 형태를 지닌 튜뮬러스(tumulus) 구조. B) 용암 표면에서 관찰되는 새끼구조(ropy structure). 용암이 파호이호이 용암(pahoehoe lava)이었음을 지시한다.

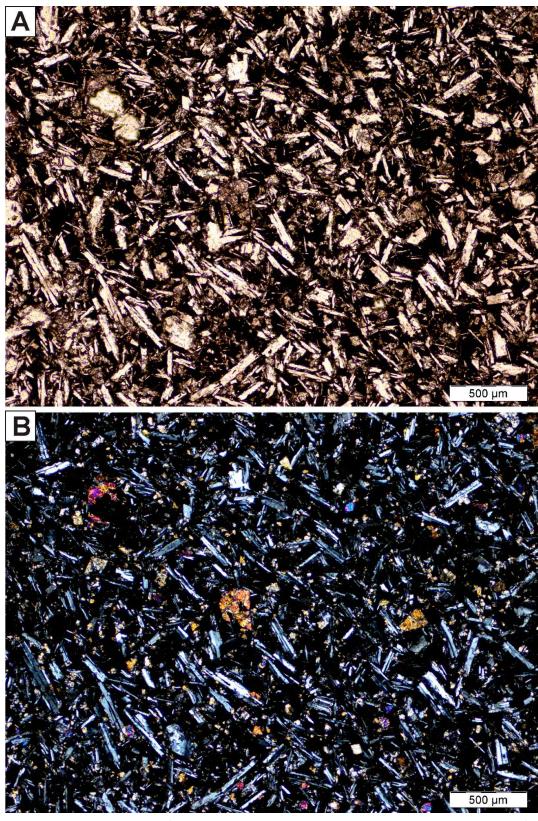


그림 3-93. 우도 순상용암의 박편사진. 우도의 용암은 다양한 침상 사장석 반정과 감람석 반정을 특징적으로 포함하고 있다. A) 개방나콜. B) 패쇄 나콜

감람석은 골격구조(skeletal form)를 보이며 주황색의 이딩사이트(iddingsite)로 약하게 변질되어 있다. 사방휘석은 벽개(cleavage)가 잘 발달해 있다. 단사회석은 라멜라 쌍정(lamella twinning)을 보이며, 감람석 결정을 에워싸며 나타나기도 한다. 사장석 반정은 누대구조와 알바이트 쌍정(albite twinning)을 보인다. 기공 함량은 5% 미만이다. 사장석은 내부는 라브라도라이트(labradorite, An₇₀₋₅₀)의 조성을, 가장자리는 회장석(anorthite)의 조성을 지닌다 (Koh et al., 2005).

(가) 포겟동산굴

이 동굴은 우도면 서광리 포제동산에 위치하고 있으며 (그림 3-91), 입구는 폭 5m 높이 1m의 타원형이다(그림 14). 입구에서 약 6m 진행하면 돌담이 만들어져 있으며, 이 동굴의 막장 지점인 장축 약 10m, 단축 약 5m의 광장이 나온다. 광장 내에는 사람의 출입으로 인해 훼손(쓰레기 등)되어 있으므로 빠른 시일 내에 쓰레기수거와 같은 정화작업이 필요하다. 동굴의 규모는 약 18m이며, 동굴 생성물은 용암종유가 관찰되었다(그림 3-94~3-96).



그림 3-94. 포겟동산굴의 내부



그림 3-95. 포겟동산굴 내부에 버려진 쓰레기

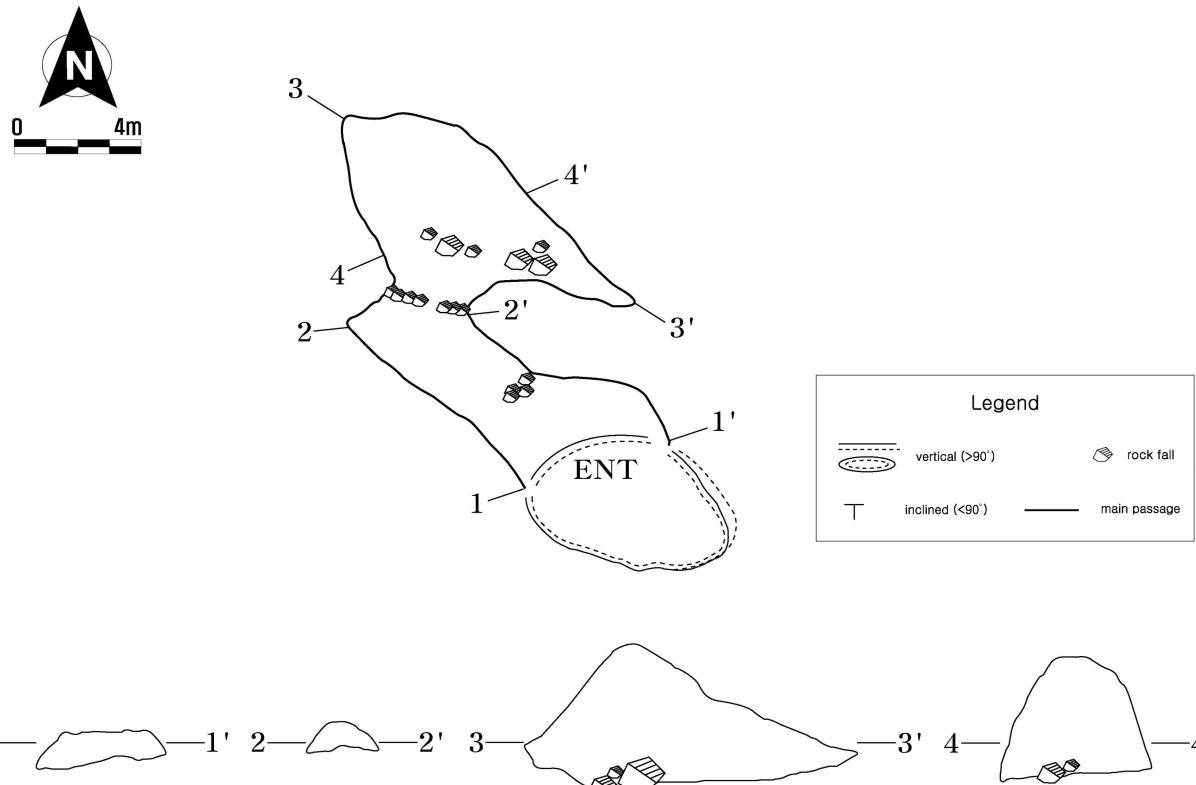


그림 3-96. 포제동산굴의 동굴도(토목측량 아님)

(나) 조일리동굴

이 동굴은 우도면 서광리 포제동산(포제동산굴)에서 동쪽 방향으로 약 170m 지점의 경작지 중간에 위치하고 있다(그림 3-91). 동굴의 입구는 지름 약 4m의 함몰구 외곽(서쪽 방향과 동쪽 방향)에 2개의 입구가 위치하고 있으며(그림 3-97), 함몰에 의해 양쪽으로 나누어져 있다. 서쪽 방향의 입구를 통과한 후 약 30m 진행하면 통로가 막혀 더 이상 진입이 불가능하다. 이 구간에는 용암기포, 용암종유, 동굴산호 등이 발달하고 있다(그림 3-98). 동쪽 방향의 입구에는 많은 양의 쓰레기가 버려져 있으며, 쓰레기를 동굴 내부로 넣은 후 불로 태운 흔적이 남아있다(그림 3-99). 입구에서 동쪽 방향으로 약 15m 진행 후 북동쪽 방향으로 진행한다. 이 지점에는 용암동굴이 만들어진 후 생성된 종유석이 발달하고 있으며(그림 3-100), 바닥면에는 점토가 두텁게 퇴적되어 있다(그림 3-101). 약 20m 진행 후 용암주석에 의해 양쪽으로 갈라지며, 우측 주굴 방향으로 약 25m 진행 후 다시 합류하게 된다. 이 지점에서 북동쪽 방향으로 약 30m 진행하면 통로가 막혀 더 이상 진입이 불가능하다. 좌측 지굴은 천장의 높이가 매우 낮으며, 북서쪽 방향의 좁은 통로를 통과하면 바닥면에 동굴산호가 발달하고 있다(그림 3-102). 이 지점에서 통로를 따라 약 40m 진행하면 우측 북동쪽 방향과 좌측 남서쪽 방향으로 지굴이 발달하지만 통로가 협소하여 진입이 불가능하다. 동굴의 규모는 약 205m 이다(그림 3-103).



그림 3-97. 조일리동굴의 입구



그림 3-98. 조일리동굴 내 발달하는 용암기포



그림 3-99. 조일리동굴에 버려진 쓰레기



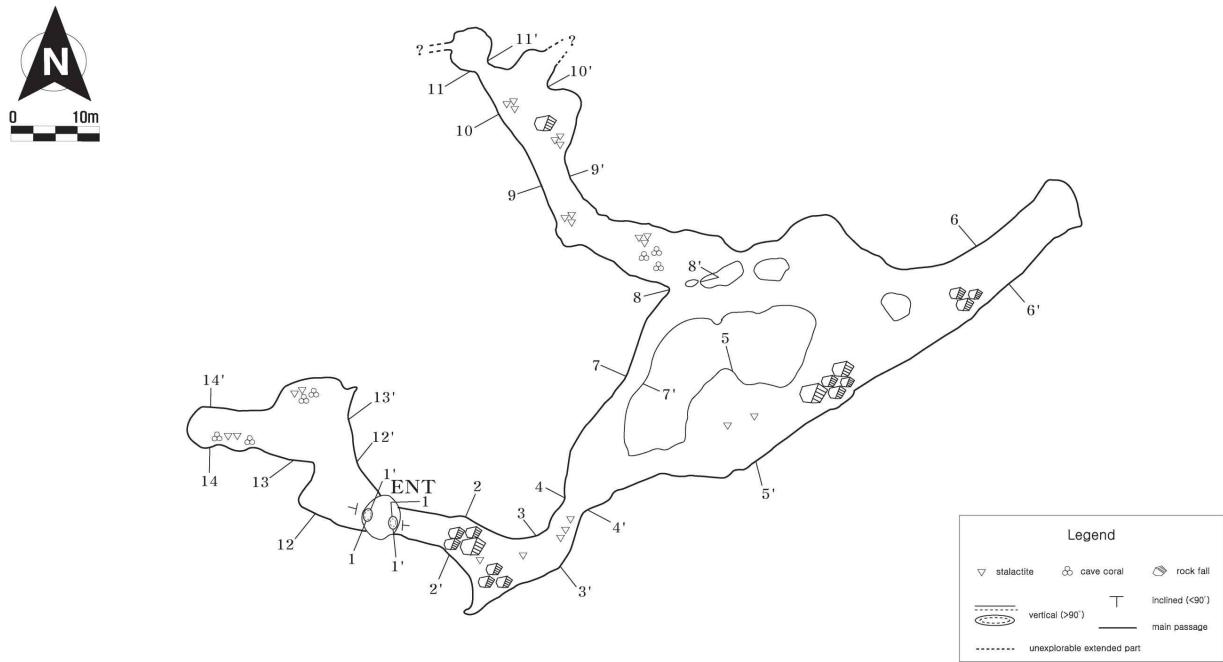
그림 3-100. 조일리동굴 내 발달하는 종유석



그림 3-101. 조일리동굴 내 발달하는 건열구조



그림 3-102. 조일리동굴 내 발달하는 동굴산호



1—○—1' W(ENT)
1—○—1' E(ENT) 2—○—2' 3—○—3' 4—○—4' 5—○—5' 6—○—6' 7—○—7'

8—○—8' 9—○—9' 10—○—10' 11—○—11' 12—○—12' 13—○—13' 14—○—14'

그림 3-103.. 조일리동굴의 동굴도(토목측량 아님)

① 조일리동굴에 분포하는 동굴생성물의 형태 및 조직

용암동굴의 동굴생성물은 용암류(lava flow)가 동굴을 흐르면서 바닥, 천장, 벽면을 피복하거나 혹은 녹이면서 형성되는 것이 특징이다. 대표적인 용암동굴생성물로는 용암종유, 용암석순, 용암표석, 용암석주, 용암곡석, 용암기포 등이 있다. 이러한 생성물들은 대부분 용암이 굳어지면서 형성되기 때문에 용암동굴의 형성시기와 비슷하고 성분 또한 거의 같다. 하지만 용암동굴이 형성된 후에 지하수의 유입 혹은 지하수의 이동경로에 놓이게 되면 주변으로부터 공급되는 물질에 따라 석영, 방해석, 황과 같은 광물이 2차 동굴생성물로 자라기도 한다.

조일리동굴의 2차적으로 생성된 동굴생성물은 종유석과 동굴산호가 대표적으로 지하수가 스며 나오는 곳이나 고여 있는 곳에서 많이 발견되었다. 종유석의 형태는 일반적인 종유석의 형태와 비슷했지만 그 길이는 비교적 짧은 것이 특징이다. 동굴산호는 가지상과 둘 형태의 혹상으로 나타나는 것이 대부분이었다(그림 3-104).



그림 3-104.. 조일리동굴 내에 분포하는 동굴생성물(종유석과 가지상 또는 흑상의 동굴산호)

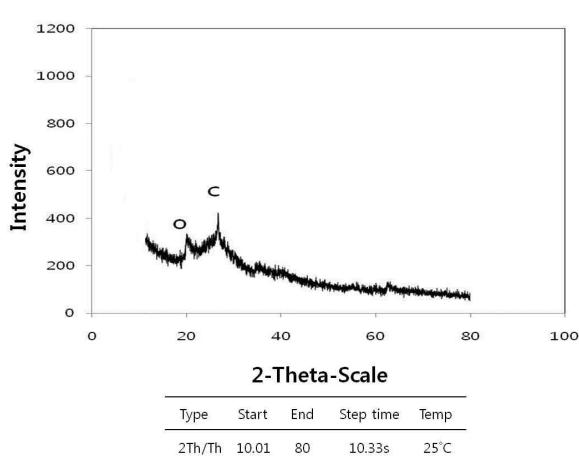


그림 3-105.. 조일리동굴 내에 분포하는 동굴생성물(그림 3-104의 동굴산호(좌하))의 X-선 회절(XRD)분석 결과

조일리동굴에서 발견되는 동굴생성물의 광물성분을 알아보기 위해 X-선 회절분석기(XRD)를 이용하여 분석한 결과 단백석(opal-A)과 방해석(calcite)으로 이루어진 것을 알 수 있었다. X-선 회절분석 이전에는 대부분의 생성물이 단백석(opal-A)으로만 이루어져 있을 것으로 예상 되었지만 흥미롭게 방해석도 협재되어 있는 것을 알 수 있었다(그림 3-105). 또한, 생성물들의 조직을 알아보기 위해 epoxy 수지를 이용하여 경화시킨 후에 박편제작을 실시하였고, 편광현미경 하에서 관찰하였다.

조직 관찰결과 대부분의 동굴생성물이 단백

석(opal-A)과 점토가 섞여서 생성된 것을 확인할 수 있었다. 동굴상부 지표가 농경지로 이용되는 특성 때문에 다량의 점토가 동굴내로 강수와 함께 유입되어 동굴생성물이 성장할 때 같이 성장 한 것으로 판단된다. 그럼에도 불구하고 성장선은 비교적 뚜렷하게 관찰되었다(그림 3-106).

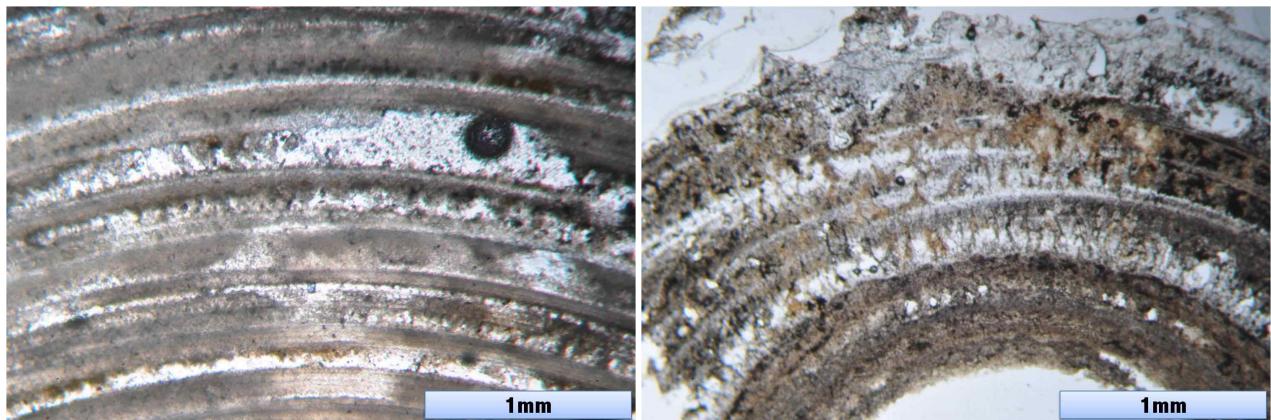


그림 3-106. 조일리동굴 내에 분포하는 종유석{그림 3-103의 종유석(좌상)}의 박편사진. 단백석이 점토성분과 섞여 성장하고 있으며, 성장선이 비교적 뚜렷이 나타난다.

조일리동굴 내에 분포하는 동굴산호의 조직을 관찰한 결과, 특징적으로 동굴산호의 최상부 조직에서 탄산염광물을 관찰할 수 있었다(그림 3-107). 점토성분이 많이 포함된 단백석이 성장하다가 최상부에서는 섬유상 조직을 잘 보여주고, 성장선이 뚜렷하게 관찰되는 방해석을 관찰할 수 있었다. 우도용암동굴 상부 지표에는 탄산염광물을 공급해줄 수 있는 사구나 해빈이 존재하지 않기 때문에 동굴생성물에서 관찰되는 탄산염광물의 기원을 알기 위해서는 추후에 조금 더 정밀한 조사가 필요할 것으로 보인다.

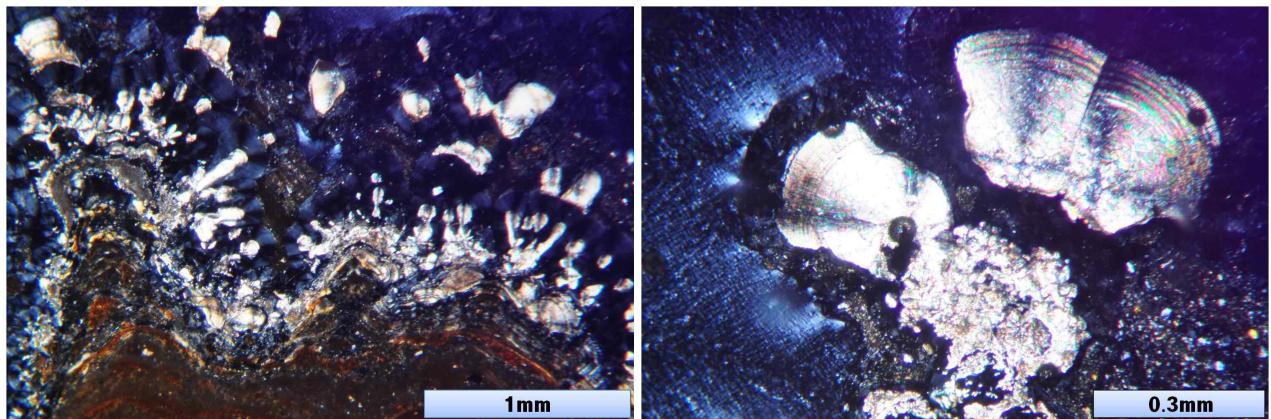


그림 3-107. 조일리동굴 내에 분포하는 종유석{그림 3-103의 동굴산호(좌하)}의 박편사진. 단백석이 성장하다가 최상부 쪽으로 방해석이 성장하고 있다. 방해석은 섬유상조직을 잘 보여주고 있다.

(다) 동터진굴(동천진동굴)

이 동굴은 우도면 천진리의 소머리오름 주차장에서 매점(컨테이너 가건물) 뒤편의 농로(비포장)를 따라 약 120m 이동한 지점의 경작지 끝부분에 동굴이 위치한다(그림 3-91). 동굴의 입구는 장축 3m, 단축 2m의 함몰구 밑에 위치하고 있으며, 남동쪽 방향으로 폭 1.4m, 높이 0.6m의 타원형의 입구가 있다(그림 108). 입구 주변에는 생활쓰레기 및 농업관련 쓰레기가 벼려져 있다(그림 3-109). 동굴은 전체적으로 0.8~1m 정도의 높이로 발달하고 있으며, 남동방향으로 약 15m 진행 후 북동방향으로 약 8m 진행하면 통로가 협소하여 진입이 불가능하다. 동터진동굴 내에는 용암종유가 소규모로 분포하고 있으며, 바닥면에는 점토층이 퇴적되어 있다. 동굴의 규모는 약 30m 이다. 동터진동굴 내부에는 동물의 전신 골격 1점이 발견되었으며, 발견된 동물의 골격은 척추동물 전문가 또는 연구기간에서 보다 세부적인 정밀 조사가 필요하다(그림 3-109, 그림 3-110).



그림 3-108. 동터진굴의 입구(내부⇒외부)



그림 3-109. 입구 주변에 벼려진 쓰레기

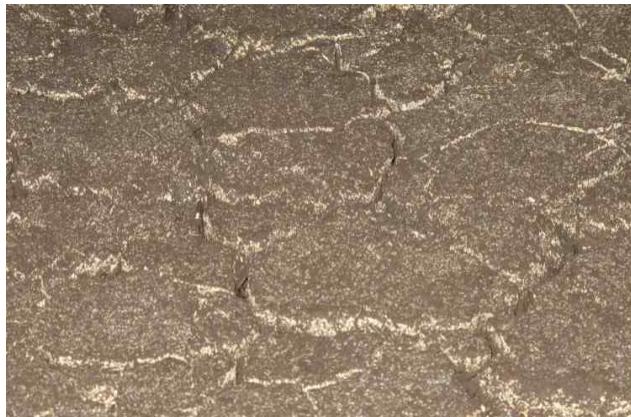


그림 3-110. 동터진굴 내부에서 관찰되는 건열구조



그림 3-111. 동터진굴 내부에서 발견되는 동물의 골격

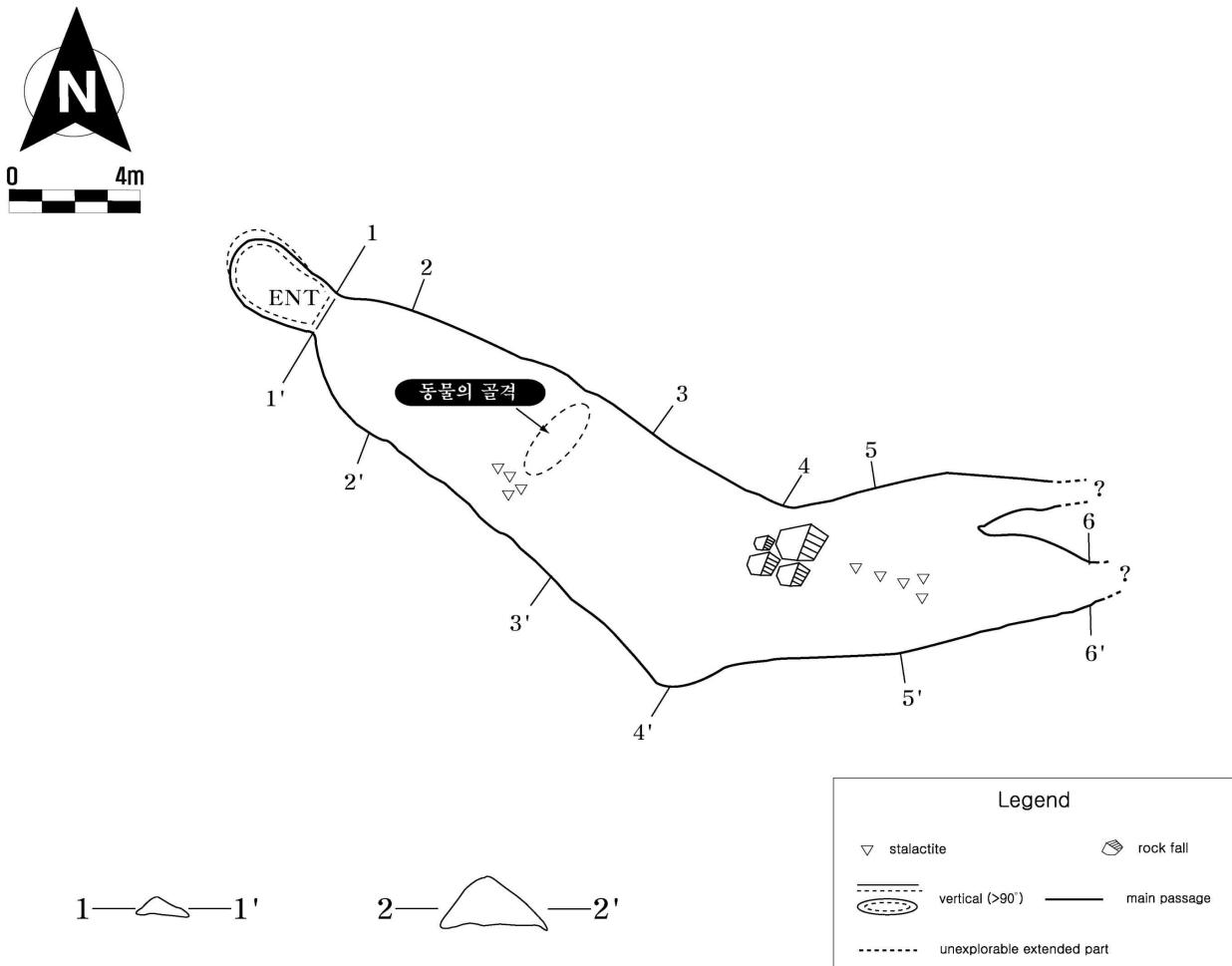


그림 3-112. 동터진굴의 동굴도(토목측량 아님)

(2) 해식동굴

우도 응회구(소머리오름)는 아직 완전히 암석화되지 않은 응회암과 화산력응회암 등 용암에 비해 침식에 취약한 암석들로 이루어져 있다. 따라서 우도의 해식동굴들은 주로 응회구 지역에 나타난다. 우도 응회구의 하부 응회구층을 이루는 응회암은 3~5%의 감람석과 7~8%의 사장석 미반정을 포함하는 유리질 물질로 이루어져 있다(그림 3-113). 기공의 함량은 25~40% 가량이며 기공의 형태는 구형이거나 타원형이다. 감람석 결정은 골격구조(skeletal form)를 종종 보여 결정이 급격히 성장한 것으로 보인다. 감람석 결정의 내부는 MgO/FeO 의 비율이 2.5 가량이나 가장자리 부분은 그 비율이 2 이하이다. 침상의 사장석들 역시 급격한 정출작용을 지시하는 제비꼬리(swallow tail) 구조를 보여준다.

우도 응회구의 상부 응회구층을 이루는 응회암은 3~4%의 감람석, 2% 미만의 단사휘석, 1% 미만의 사방휘석을 반정으로 지닌다. 사장석은 유리질 석기 내에 미반정으로 나타나며 그 함량은 1~5% 가량이다. 기공 함량은 20~50%이고, 형태는 둥근 것부터 불규칙한 것까지 다양하며 기공이 다양한 정도로 합

쳐져(coalesce) 있는 모습을 보인다. 단사휘석은 취반정(glomerocryst)으로 나타나거나 사방휘석 위에 옷자란(overgrowth) 형태로 나타난다. 쌍정과 누대구조도 보여준다. 감람석은 골격구조를 보여주며, 사방휘석은 매우 드물게 나타난다.

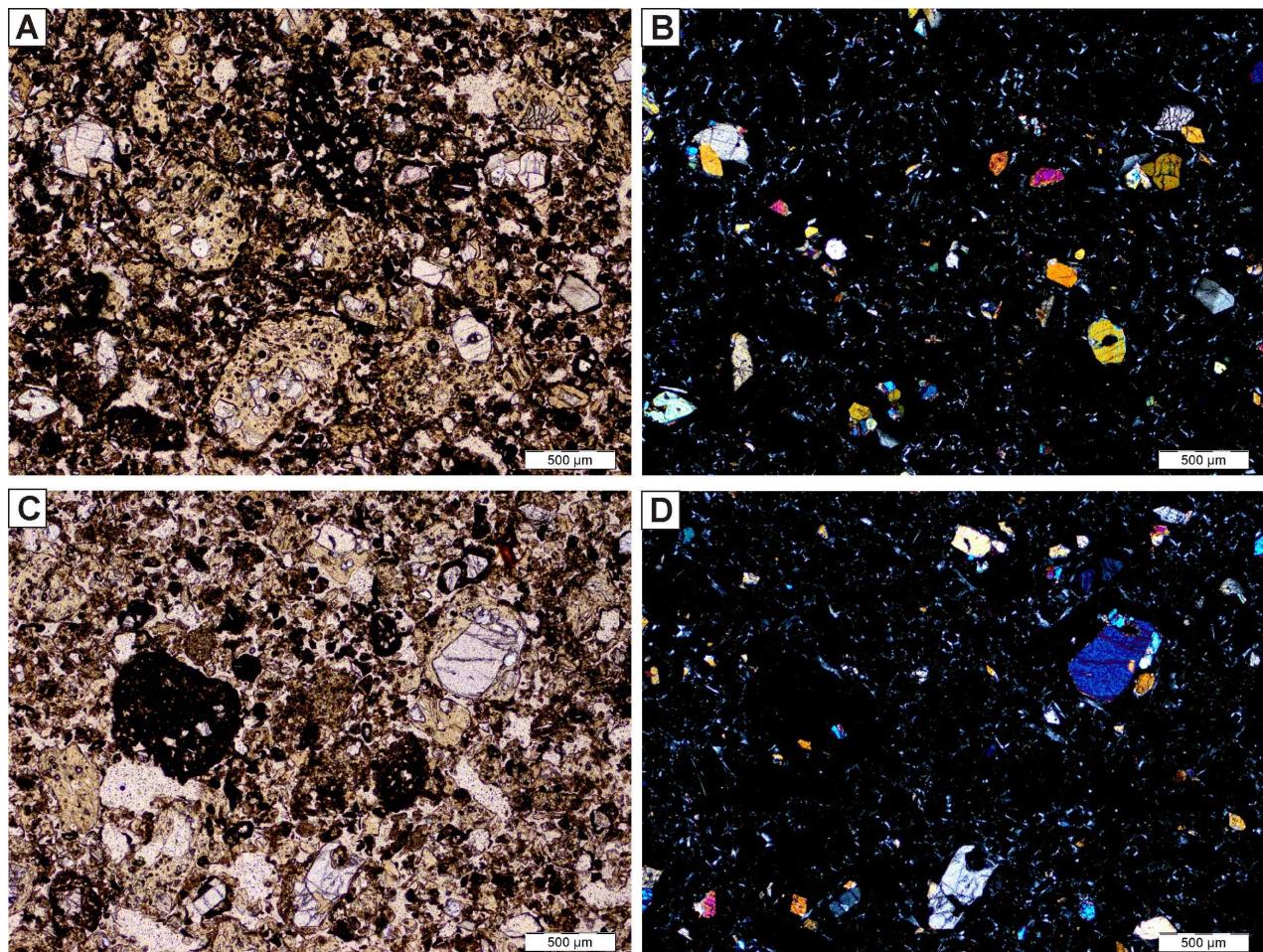


그림 3-113. 우도 응회암의 박편사진. 우도의 응회암은 옅은 황갈색의 현무암질 유리(sideromelane)와 불투명한 현무암질 유리(tachylite)로 주로 이루어져 있다. 유리 입자 내에는 감람석 반정들이 흔히 포함되어 있으며, 간혹 단사휘석 반정도 관찰된다. A, C) 개방 니콜. B, D) 패쇄 니콜

우도 내에는 검멀레굴, 동안경굴, 광대코짓굴, 달그리안동굴 총 4개의 해식동굴이 분포하고 있으며, 소머리오름(옹회구) 주변에서 발달하고 있다(그림 3-91, 그림 3-114~3-117). 이번 연구에서는 검멀레굴과 동안경굴에 대한 개략적인 측량도를 작성하였으며, 정밀측량(토목측량)이 아니므로 거리 또는 방향에 대한 오차가 발생할수 있다(그림 3-118).



그림 3-114. 검멀레굴의 입구



그림 3-115. 동안경굴의 입구(내부⇒외부)



그림 3-116. 광대코짓굴의 입구



그림 3-117. 달그리안동굴의 입구

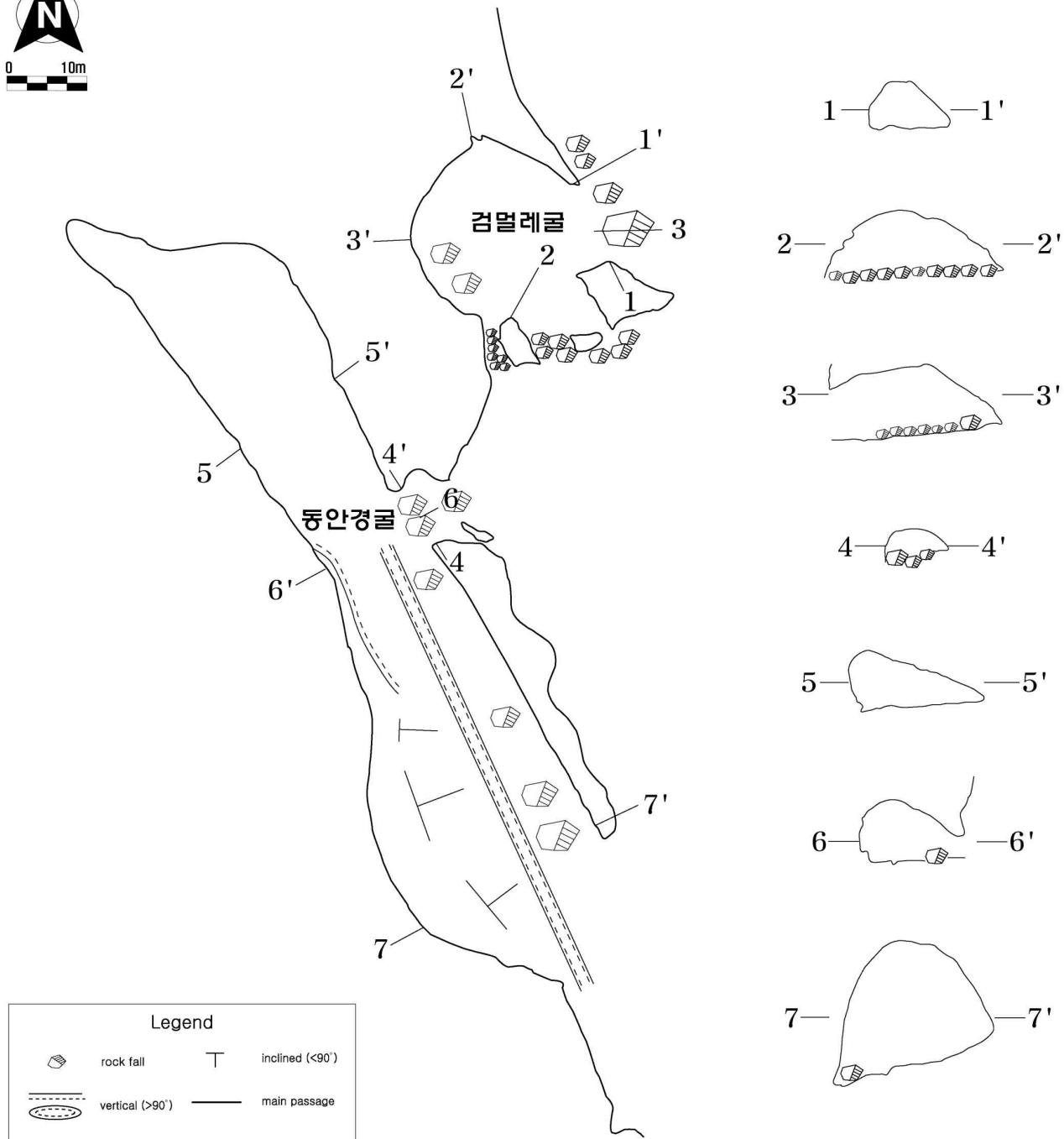


그림 3-118. 검벌레굴과 동안경굴의 동굴도(토목측량 아님)

(3) 수중해식동굴



그림 3-119. 우도동굴의 입구(수중촬영)

우도 내에는 콧구멍동굴과 우도동굴 총 2개의 수중해식동굴이 분포하고 있으며(그림 3-91), 이번 연구에서는 우도동굴에 대해서만 조사가 진행되었다. 우도동굴은 동굴의 입구가 바닷물 속에 위치하고 있으며(그림 3-119), 동굴 내부 공간은 공기층이 있어 물 밖으로 나올 수가 있다. 동굴 내부 벽면에는 동굴산호와 2차 동굴생성물인 종유석이 관찰된다(그림 3-120, 그림 3-121).



그림 3-120. 우도동굴에 발달하는 동굴산호



그림 3-121. 우도동굴에 발달하는 종유석

수중구간과 동굴 내부는 모두 화산쇄설물로 이루어진 퇴적암으로 되어 있다. 이는 이 동굴이 해식동굴로서 해수면이 현재보다 낮았을 때 형성되었음을 지시한다. 하지만 동굴의 길이가 거의 100미터에 이르고 동굴의 주통로가 직선방향이 아닌 것은 해식동굴의 형성과정이 아주 복잡했다는 것을 의미한다. 이 동굴의 성인을 밝히기 위해서는 좀 더 정밀한 조사가 필요하다. 해식동굴의 내부에는 생물이 존재하지 않으나 거미줄이 발견되었다. 이 동굴이 외부의 육지 환경과 완전히 단절된 환경임을 고려하면 이 거미줄의 존재는 매우 특이하다. 수중해식동굴을 다이빙해서 들어가면 다시 육지부분이 나오며, 이 부분에서 수면이 뚫어 있는 지점으로부터 막장에 이르기까지 동굴의 바닥은 모두 사질퇴적물로 이루어져 있다. 동굴은 그 내부가 협소해지면서 점점 통로가 작아지고 막장이 된다. 동굴 내부에는 다양한 동굴생성물이 성장하고 있으며, 이 동굴생성물들은 이 해식동굴이 형성된 후, 동굴 속으로 유입된 지하수에 의해 2차적으로 형성된 동굴생성물이다. 발견되는 동굴생성물은 종유석과 유석, 그리고 동굴산호가 우세하다. 현장에서 염산으로 반응시킨 결과, 전혀 반응을 하지 않았으며, 시료를 채취해 XRD분석과 박편을 관찰한 결과, 동굴생성물을 모두 단백석으로 이루어져 있는 것을 확인할 수 있었다. 동굴 내 동굴생성물의 분포는 주로 퇴적암층 내에 발달한 절리면을 따라 나타난다. 그 이유는 이 동굴생성물이 성장하기 위해 필요한 동굴로 유입된 지하수가 주로 절리면을 따라 유입되기 때문이다. 동굴 속으로 흘러들어오는 동굴수의 양과 절리가 발달한 방향에 따라 성장한 동굴생성물은 달라진다. 즉 절리가 수직적으로 발달한

암석면에 수평적으로 발달해 있는 경우에는 유석이 성장하지만, 천장과 같이 암석이 수평적으로 노출되어 있고 절리면이 그에 수직방향으로 성장할 경우에는 물방울이 떨어지게 되면서 종유석이 성장한 것으로 판단된다. 동굴 속에서 채취한 종유석에 대한 박편관찰을 실시한 결과 종유석은 모두 단백석으로 이루어진 것을 확인할 수 있었다. 종유석은 크게 두 부분으로 나뉘어지며, 한쪽 부분은 미정질의 단백석이 성장선이 없이 성장하였으나, 어느 정도 종유석이 성장한 다음에는 종유석의 내부에 성장선이 잘 발달하고 있는 것을 볼 수 있다. 이는 종유석이 성장하면서 물의 공급량과 유입된 지하수의 화학조건이 변했다는 것을 의미한다. 동굴 내 동굴생성물을 성장하게 한 규소의 공급은 아마도 동굴을 이루고 있는 화산쇄설암 내의 유리질 성분이 녹았을 가능성이 매우 높은 것으로 사료되나 이에 대한 조사는 더 필요할 것으로 생각된다. 특히 동굴 속으로 규산의 성분으로 유입된 지하수가 단백석으로 침전되는 과정에 대한 이유는 아직은 알기 어려우며, 정밀한 조사가 요구된다. 우도동굴의 동굴내부의 끝 지점의 표층수에서 1개, 수중구간의 중간 지점에서 2개(수심별)로 총 3개의 시료를 채취하여 미량원소(Ca, K, Mg, Na, Sr)를 분석하였다(표 3-27). 중간지점의 수심별로 채취한 sea cave 2번(수심 약 5m)과 3번(수심 약 8m)은 거의 같은 값을 나타내고 있다. sea cave 1은 두 개의 시료와 달리 상대적으로 낮은 값을 보여주고 있다. 이는 수중해식동굴 내부구간이 지하수에 의해 어느 정도 영향을 받는 것으로 판단된다. Sr의 경우에는 3개의 지점 모두 평균해수 보다는 낮지만 제주도 바다에서 측정한 값(약 6.8~7.8)과 유사한 값을 나타내고 있다.

표 3-27. 우도동굴 내 동굴수의 Ca, K, Mg, Na, Sr 측정값

	sea cave 1	sea cave 2	sea cave 3	평균해수
Ca	255.3	363.2	358.8	400
K	247.8	407.9	421.2	380
Mg	805.5	1,214	1,214	1272
Na	7,082	10,450	10,270	10,561
Sr	4.433	6.765	6.798	23

바. 패총

패총이란 선사시대 인류가 식료로 채집한 조개를 먹고 난 뒤, 그 껌데기를 대량으로 버린 결과 생겨난 것이다. 이때 순수한 패각으로만 이루어진 경우도 있지만 대부분 생활 쓰레기와 함께 쓰레기더미로 많이 발견되기 때문에 석기편, 토기편, 동물 뼈와 같은 여러 가지 부수적인 파편들도 많이 포함되어 있다(스즈키 기미오, 1989). 패총의 출현은 인류가 조개와 물고기라는 수산 자원을 적극적으로 이용하기 시작했다는 것을 알려주는 중요한 증거자료가 되며, 이러한 패총은 지금으로부터 약 1만년 전부터 형성되기 시작하였을 것으로 추정되고 있다. 패총은 파도가 잔잔하여 패류의 서식지로 알맞은 내만(內灣)이 발달한 지역에서 많이 형성되었는데 주로 유럽의 스페인, 남프랑스, 북해 연안 등지에서 많이 발견된다. 북미 대륙의 동해안 남부와 서해안에서도 많은 패총들이 형성되어 있으며, 아시아에서도 중국 대륙 연안, 베트남, 태국, 보르네오 등지에서 대규모의 패총들이 발견된다. 또한 폴리네시아, 멜라네시아, 마이크로네시아 등과 같은 소규모 섬들로 이루어진 지역에서도 많은 패총들이 존재하며 이 지역에서는 오늘날

까지도 큰 규모의 패총이 형성되고 있다. 한반도에서는 서해와 남해에 주로 패총이 분포하고 있으며, 제주도는 해안가 전반에 걸쳐 많은 패총들이 존재한다.

이러한 패총이 고고학적 연구 자료로써 중요한 역할을 하기 시작한 이유는 조개껍질과 같은 탄산염(석회질) 광물이 패총 안에 있는 토기나 짐승 뼈등의 부폐를 막는 방부제 역할을 하게 되어 상대적으로 잘 보존된 연구시료를 획득할 수 있었기 때문이다. 우리나라의 패총연구는 1907년 일본인 학자 아마니시 류[今西龍]가 최초로 조사 발굴한 김해패총을 시작으로 함북 웅기, 함남 북청(北青), 황해도 몽금포(夢金浦), 경기도 덕적도(德積島), 경남 웅천(熊川) · 고성(固城) · 양산(梁山) · 마산(馬山) · 동래(東萊) · 부산 동삼동(東三洞), 경기도 옹진군(甕津郡) 시도(矢島) 등의 패총연구가 이루어져 왔다.

패총은 처음 고고학적인 측면에서 좋은 시료 획득이라는 목표와 함께 조개의 활용정도(식재료, 장신구)와 어떤 종류의 패류를 섭취해 왔는지에 대한 종 분류 및 패총의 크기와 범위에 따른 주거지의 크기 또는 주거지의 지속정도를 파악하는 수단으로 연구되어왔다(스즈키 기미오, 1989). 그러나 이러한 연구는 유물·유적지에 대한 부수적인 사항에 불과했다. 하지만 패류가 방사성탄소연대측정에 좋은 시료라는 인식과 탄소연대측정이 최근 홀로세 시료의 연대측정에 좋은 측정법이라는 사실이 널리 인식되면서 패총을 이루고 있는 패류를 통해 유적지의 절대연령측정이 가능해졌다. 보다 과학적인 연구가 이루어짐으로서 문화층에 나타나는 유물을 통한 시대 추정과 함께 패총을 이루는 패류의 탄소연대측정을 통해 보다 정확한 시기를 파악할 수 있게 되었다. 이미 전 세계적으로 홀로세에서 현재에 이르기까지 패총에서 산출되는 탄산염 패각의 성장선을 분석하거나 산소와 탄소동위원소 분석 및 미량원소 분석을 통해, 패각이 채취되었던 계절 파악, 또는 서식당시의 해수환경을 복원하려는 연구가 지속적으로 이루어져왔다 (Brey and Mackensen, 1997; Andrus and Crowe, 2000; Davis, 2001; Schöne, et al., 2004; Carré, et al., 2005, Stephens, et al., 2008; Elliot et al., 2009; Ford, et al., 2010). 우리나라에는 신석기 시대 이후로 형성된 패총들이 여러 지역에 분포하고 있으며, 패총에서 채취한 패각뿐만 아니라 화석과 현생패각을 이용한 고기후·고환경 복원연구가 이루어지고 있다(우경식, 1994; 안덕임과 이인성, 1996, 2001; 안덕임, 1997; 이인성 외, 1998; 김진경, 2002). 따라서 패총연구는 선사시대 인류의 생활상뿐만 아니라 당시 해수환경이나 고기후 연구까지 가능하므로 지질학, 고고학, 고기후학 등 전반에 걸쳐 좋은 연구 자료가 되고 있으며, 보존해야 할 가치가 있는 중요한 유적이라고 할 수 있다.

우도패총은 2006년 복제주군이 우도 홍조단괴해빈 인근에서 주차장을 조성하기 위해 평坦작업을 벌이는 과정에서 발견되었다(그림 3-122). 우도패총은 우도면 서광리 해안근처에 위치하고 있으며, 나타나는 토기형태 등으로 미루어 보아 약 3000년 전으로 추정되고 있다(제민일보, 2006). 하지만 아직까지 발굴 인력 부족 및 예산부족이라는 이유로 발굴이 이루어지지 않은 채 방치되어 있다. 이번 연구를 위해 패총지역을 조사할 때는 이미 패총 주변이 모두 밭으로 경작 되고 있었으며, 단면은 식생이 자라 패총을 알아보기 힘들 정도로 훼손되어 있었다(그림 3-123). 우도에서 발견된 패총은 현재까지 우도패총 하나임을 고려했을 때, 우도에서도 선사시대에 인류가 주거지를 형성하고 있었음을 알려주는 중요한 자료가 되며, 다른 지역과 대비시킬 수 있는 가능성을 제시해 준다고 할 수 있다. 따라서 자세한 발굴조사가 이루어지고 정확한 연대 및 지화학적 분석이 이루어진다면 당시 환경복원까지 가능할 것으로 사료된다.



그림 3-122. 제주시 우도 해안 홍조단괴해빈 주변에서 그림 3-123. 이번 연구기간에 확인된 현장.
신석기 시대인 3000년 전의 것으로 추정되는 패총과 함께 이종구연토기가 발견됐다.
자료출처: 제민일보(2006.6.22) 보도자료.

주차장과 땅콩밭으로 이용되고 있다.

3.4 우도지역 내 자연유산의 가치

가. 천연기념물적 가치

우도 내에는 소머리오름, 용암동굴과 같은 화산지형, 홍조단괴 해빈, 탄산염 해빈퇴적물(하고수동), 화산역으로 이루어진 해빈퇴적물(검멀레), 거력으로 이루어진 해빈퇴적물(톨칸이) 등 다양한 퇴적물이 분포하고 있다. 이 지역에 나타나는 지질유산에 대한 문화재적 평가를 하기 위해 다른 지역에 유사한 지질유산이 있는지를 조사하였고, 이를 토대로 천연기념물적 가치를 평가하였다. 조사결과, 우도 내 자연유산 중 천연기념물적 가치를 갖는 곳은 서빈백사를 포함한 홍조단괴 분포지역, 응회구인 소머리오름과 2개의 수중해식동굴(우도동굴, 콧구명동굴)이다. 이중 홍조단괴 해빈는 이미 자연유산적 가치를 인정 받아 2004년에 천연기념물 제438호(제주우도홍조단괴해빈)로 지정되어 있다. 하지만 그 당시 천해환경 내의 홍조단괴에 대한 분포가 전혀 알려져 있지 않은 상태이었기 때문에 그 당시 지정되었던 보호구역을 새로이 조정할 필요가 있다. 또한 응회구인 소머리오름 지역은 분석구 퇴적층과 용암이 교호하는 제주도는 물론이고 국제적으로도 매우 독특한 화산지형을 보여준다. 또한 이 분석구 퇴적층 내에는 여러 개의 해식동굴과 검은모래 해빈, 거력으로 이루어진 해빈을 포함하여 그 자체만으로도 다양한 지질다양성을 보여준다. 특히 수중 10m 지점에서 발견된 소머리오름 지역의 수중해식동굴은 그 길이가 100m에 이르러서 수중해식동굴 중에서 국내 최대의 길이를 보여주고 있다. 이러한 지질다양성이 자연유산적 가치는 소머리오름이 천연기념물로 지정될 가치가 충분히 있다고 판단된다. 특히, 우도동굴과 콧구명동굴은 국내에서 처음으로 발견된 수중해식동굴로써 희소성의 가치가 있으므로 천연기념물적 가치가 있다고 할 수 있다.

(1) 홍조단괴

홍조단괴는 석회조류인 홍조류 중에서 덮개형 홍조류가 작은 입자에 붙어서 서식하면서 그 입자가 계속 구르는 환경에서 마치 눈덩이가 불어나듯이 크게 성장하는 것을 말한다. 따라서 홍조단괴의 경우, 그 표면에 있는 홍조류만이 살아있는 식물이며, 그 색은 붉은색을 띤다. 하지만 홍조단괴의 내부는 과거에 살면서 단괴를 피복하였던 홍조류지만 현재를 죽여있는 것들이다. 석회조류 중에서 고마그네슘방해석을 침전하는 것으로 알려진 덮개형 홍조류는 남한의 경우 북쪽으로는 동해의 고성에서부터 남쪽으로는 제주도에 이르기까지 모두 천해환경의 암반에 붙어서 다수 서식하고 있다. 흔히 “백화현상”이라고 알려져 있는 것도 바로 이 석회조류 중의 홍조류이다. 홍조류의 분포가 전국 어디서든 해안가에서 많이 나타나는데 비해 홍조류로 이루어진 홍조단괴의 분포는 극히 제한적이다. 그 이유는 홍조단괴가 생성되기 위해서는 작은 입자가 지속적으로 구르는 환경이 유지되어야 하는데, 그러한 환경이 발달하기는 쉽지 않기 때문이다. 하지만 동해의 남쪽 지역인 울산이나 하서 지역의 해안가에서는 드물기는 하지만 홍조단괴가 소량 발견된 적은 있다. 제주도 전역과 우도에서도 해안가를 따라 소량의 홍조단괴는 어디서나 발견된다. 하지만 우도의 서빈백사를 이루은 홍조단괴의 경우, 해빈을 이루는 구성요소가 95% 이상이 홍조단괴로 이루어져 있다는 점이 매우 특이한 사실이다(김진경 외, 2004). 이러한 학술적 가치를 인정받아 우도 홍조단괴 지역은 2004년에 천연기념물 제438호(제주우도홍조단괴해빈)로 지정된 바 있다. 하지만 이 지역을 조사할 당시 우도와 성산 사이의 천해지역은 전혀 조사되지 않은 상태이었기 때문에 천연보호구역을 우도의 해안가를 중심으로 설정한 바 있다. 이번 조사를 통해 두 번의 스쿠버다이빙을 실시한 결과, 조사한 지역 내에서는 모두 홍조단괴가 발견되고 있었다. 이는 홍조단괴가 우도와 성산 사이의 천해지역에 고루 분포하고 있을 가능성성이 높다는 것을 의미한다. 따라서 홍조단괴로 이루어진 천해퇴적층의 자연유산적 가치를 좀 더 정확하게 평가하기 위해서는 성산과 우도 사이의 천해 지역에 대한 홍조단괴의 분포을 이해해야만 하고, 이들이 분포하는 위치, 수리학적 에너지와 연관된 생성과정 등을 정밀하게 조사해야 할 것이다.

(2) 소머리오름(옹회구)

우도에는 지형적-지질학적 측면에서 뛰어난 가치를 지닌 수성화산들이 여럿 나타난다. 제주도의 수성화산들은 크게 응회환(tuff ring)의 형태를 지닌 것들과 응회구(tuff cone)의 형태를 지닌 것들로 양분할 수 있다. 응회환의 내부구조, 특히 화쇄난류(pyroclastic surge)에 의해 쌓인 응회암의 다양한 퇴적구조를 관찰할 수 있는 장소는 제주 서부의 수월봉이 대표적이다(Sohn and Chough, 1989). 응회환의 내부구조는 물론 화산지형을 잘 관찰할 수 있는 대표적인 장소로는 송악산을 꼽을 수 있다(Chough and Sohn, 1990; Sohn et al., 2002).

옹회구의 지형을 지닌 수성화산으로는 성산일출봉, 두산봉, 당산봉과 함께 우도의 소머리오름이 대표적이다. 성산일출봉은 사발과 같은 형태의 분화구를 잘 간직하고 있으며, 해안 절벽을 따라 섯치형(Surtseyan) 수성화산활동에 의해 생긴 다양한 퇴적구조를 잘 보여주고 있다(Sohn and Chough, 1992). 또한 성산일출봉은 제주 동쪽 해안에 고성처럼 자리를 잡고 있어 뛰어난 경관도 자랑하고 있다. 성산일

출봉이 지닌 이런 학술적-미적 가치는 세계적인 것으로 평가받고 있으며, 이 때문에 성산일출봉은 2007년에 유네스코 세계자연유산으로 등재될 수 있었다.

우도의 소머리오름(우도 응회구)은 여러 측면에서 성산일출봉에 필적하는 학술적 가치와 미적 가치를 지니고 있는 것으로 평가된다. 우도의 정확한 나이는 아직 불분명하나 제주도 형성 후기(후기 플라이스토세)에 만들어져 제주도의 여러 수성화산들 중 비교적 나이가 어린 것으로 것으로 추정되고 있다. 따라서 상대적으로 나이가 많은 당산봉이나 두산봉 등의 응회구와 비교하여 매우 신선한 화산지형을 지니고 있다. 우도 응회구는 또한 우도의 남동쪽 바닷가에 위치하여 끊임없이 해식작용을 받았고, 이 때문에 우도 응회구는 가장자리부터 내부 깊숙이까지 응회구의 내부를 다양하게 드러내게 되었다(그림 3-48). 즉, 우도 응회구는 수성화산의 내부구조 관찰의 흔치않은 기회를 제공해준다는 점에서 성산일출봉과 마찬가지로 중요한 학술적 가치를 지닌다.

우도는 지형적으로도 성산일출봉과 비교하여 몇 가지 중요한 차이점을 지닌다. 성산일출봉의 경우 처음부터 끝까지 수성화산분출만 일어나 응회구라는 하나의 화산지형만이 만들어졌다. 반면, 우도의 경우 수성화산분출이 종료된 후 하와이형 분출에 의해 분석구가 만들어지고 나중에는 파호이호이 용암이 분출하여 용암순상지대지가 만들어졌다(그림 3-48). 즉 우도는 수성화산의 일반적인 분출운회 전체를 보여준다는 점에서 성산일출봉보다도 화산지형다양성(volcano geomorphodiversity)이 크다고 할 수 있다. 또한 우도 응회구의 분화구는 성산일출봉에 비해 훨씬 규모가 크며 형태도 말발굽형이라 응회구의 지형 다양성을 일반인들에게 보여줄 수 있는 좋은 사례이기도 하다.

학술적 측면에서 우도는 화학조성을 달리하는 두 개의 마그마가 하나의 화구를 통해 연속적으로 분출하여 만들어진 특이한 단성화산으로 학계의 주목을 받고 있다(Brenna et al., 2010)(그림 3-53). 일출봉과 비교하여 우도 응회구는 비교적 건조한 조건 하에서 수성화산분출이 일어나 만들어진 것으로 밝혀져 섯치형 분출(Surtseyan eruption)이 기존의 생각과는 달리 습하거나 건조한 조건 모두에서 일어날 수 있음을 보여준 사례로도 평가받고 있다(Sohn, 1996)(그림 3-124).

(3) 수중해식동굴(우도동굴, 콧구멍동굴)

이 동굴에 대한 자료는 우도지(2007)에 있는 간략한 설명과 개략적인 종단면도 만이 있으며 학술적인 조사자료가 미흡하여 이에 대한 자료를 얻기 위한 정밀학술조사가 선행되는 것이 시급하다.

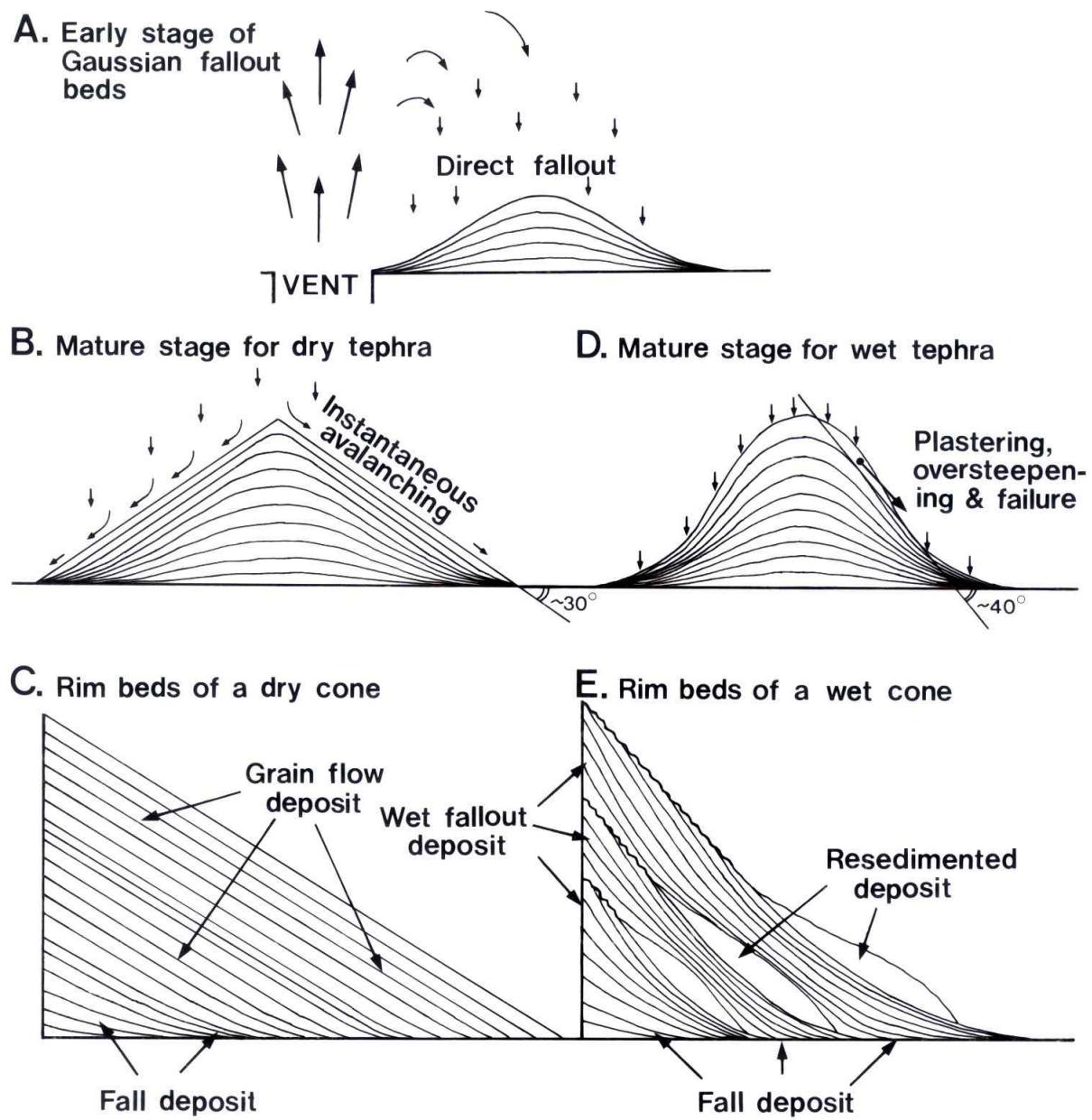


그림 3-124. 건조한 수성화산분출에 의해 생긴 응회구(예: 우도의 소머리오름 응회구)와 습한 수성화산분출에 의해 생긴 응회구(예: 성산일출봉 응회구)의 형성과정의 차이점을 설명한 모식도(after Sohn, 1996). 우도 응회구와 같이 건조하게 분출이 일어날 경우 주로 입자류에 의해 퇴적이 일어나는 반면(B, C) 성산일출봉과 같이 습하게 분출이 일어날 경우 사면사태에 기인한 재동퇴적층이 많이 나타난다(D, E).

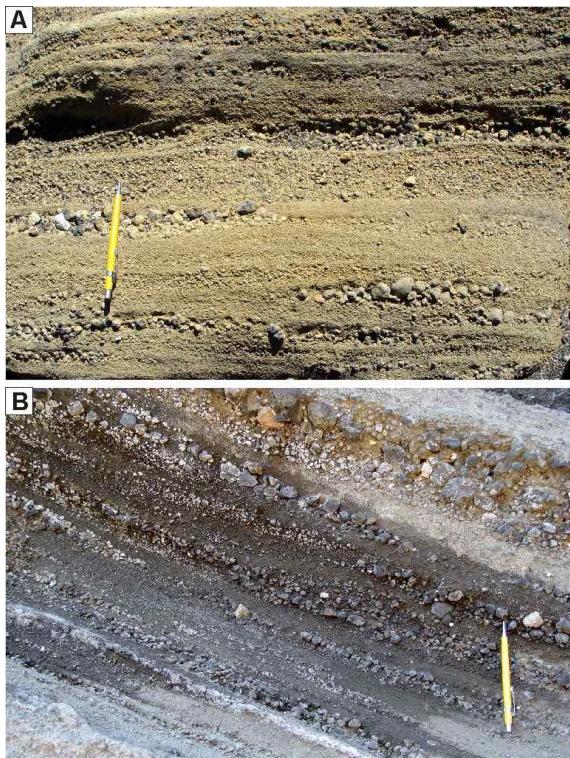


그림 3-125. 우도 응회구의 입자류 퇴적층.
화산력들이 렌즈상의 형태로
쌓여있는 모습이 특징적이다.

또한, 우도 응회구는 비교적 건조하게 수성화산분출이 일어나 조립질 화산분출물이 대부분 입자류(grain flow)에 의해 퇴적되어 화산기원의 입자류 퇴적층(그림 3-125)을 관찰하기에 매우 적합한 장소로도 알려져 있다(Sohn and Chough, 1993). 요약하자면, 우도는 1) 두 가지 마그마가 분출한 특이한 단성화산, 2) 건조하게 수성화산분출이 일어나 만들어진 응회구, 3) 화산쇄설물이 입자류에 의해 주로 쌓인 응회구로서 일출봉은 물론 외국의 여타 수성화산 사례들과 비교하여도 독특함과 차별성이 두드러진 화산으로 평가할 수 있어 천연기념물(지구과학기념물)로 지정받을 가치가 충분하다.

나. 세계자연유산적 가치

2007년 6월 유네스코는 “제주도 화산지형과 용암동굴”을 세계자연유산으로 등재하면서 다음과 같은 사항을 대한민국정부에 건의하였다.

IUCN은 또한 당사국(한국)에 대하여 다음의 사항을 수행할 것을 권고한다.

- 지정구역 내의 사유지를 최대한 빨리 매입 완료한다.
- 지정구역 내 많은 관광객을 효율적으로 관리하고, 지정구역과 연계된 모든 상업활동을 효율적으로 관리한다.
- 거문오름용암동굴계의 완충지역에서 지하환경을 훼손시키는 지상의 농업행위를 방지할 수 있는 엄격한 조치를 수행한다.
- 제주도의 더 넓은 지역에 분포하고 있는 중요한 화산적 특징의 관리와 제주도의 생물다양성적 가치의 관리에 더욱 많이 숙고하고 주의를 기울인다.
- 제주도 내 다른 중요한 용암동굴계나 화산적 특징을 추가로 세계유산에 등재할 것을 고려한다.

마지막으로 제안한 항목은 세계자연유산 실사 당시 IUCN 실사자가 제주도 신청지역을 실사하면서 신청지역 이외에도 다른 많은 지역을 방문한 결과이다. 당시 실사자였던 뉴질랜드의 Paul Dingwall 박

사는 제주도의 화산지형의 다양함과 그 중요한 자연유산적 가치에 깊은 인상을 받았으며, 이것이 IUCN 평가회의 때에 전달된 것으로 판단된다. 따라서 IUCN의 권고사항은 제주도의 다른 지역에 대한 기초조사 및 심도 있는 연구를 수행하고 이들에 대한 철저한 관리계획을 수립한 후에 추가적으로 세계자연유산 지역을 신청할 것을 권유하고 있다.

조사결과, 우도 내 위치하는 홍조단괴 분포지역과 소머리오름은 그 학술적 및 자연유산적 가치를 판단할 때, 천연기념물로서의 가치는 물론이고 세계자연유산 추가등재 대상으로 검토할 만한 가치가 있다고 판단된다.

홍조단괴는 전 세계에 상당히 많이 분포하는 것으로 알려져 있다(그림 3-126). 하지만 문헌조사를 통해 현재 학계에 알려진 홍조단괴의 자료수집에는 많은 한계가 있지만 현생환경에서 발견되는 홍조단괴를 중심으로 요약된 자료는 표 3-28에 있다.

표 3-28. 현생환경에서 발견되는 홍조단괴의 요약자료

Region	Depth (m)	Size (cm)	Age	Species
Pontian Island (Italy)	27~98	4~8	현생	<i>Phymatolithon calcareum, Lithothamnion coralliooides, Lithothamnion valens</i>
Fraser Island (Australia)	40~140	1~5	현생	<i>Phymatolithon, Lithothamnion</i>
Ryukyu Island (Japan)	50~135	5~15	현생	<i>Neogoniolithon, Hydrolithon, Lithophyllum, MesoPhyllum</i>
Isle Arran (Scotland)			Holocene~ 현생	<i>Phymatolithon calcareum, Lithothamnion glaciale</i>
Bahia (Mexico)	3~12	10	현생	<i>Lithothamnium australe, Lithophyllum pallescens, Lithophyllum veleroae</i>
Safaga Island (Egypt)	1~3		현생	<i>Lithophyllum kotschyanum</i>
Gulf of California (USA & Mexico)	2~20	4~10	현생	<i>Lithophyllum margaritae, Neogoniolithon trichotomum, Lithothamnion crassiusculum</i>
Sesoko Island (Japan)	50~60	2~8	현생	Melobesioids, Mastophoroids, Sporolithaceans(subfamily)
Eastern Caribbean	30~60	2~15	화석 & 현생	
San Salvador, Bahamas	67~290	4~15	현생	<i>Lithophyllum sp., Peyssonnelia, Gypsina sp.</i>
Flower Garden Bank, Gulf of Mexico	45~80	1~20	현생	<i>Lithothamnium sp., Lithoporella sp., Tenarea sp., Peysonnalicia sp., Mesophyllum sp.,</i>
Florida (USA)	35~65	1.7~9	현생	<i>Lithothamnium sp., Lithoporella sp., Tenarea sp., Peysonnalicia sp., Mesophyllum sp., Lithophyllum sp., Archeolothothamnium sp.</i>
South Africa	subtidal~intertidal		현생	<i>Lithophylloideae, Mastophoroideae, Melobesioideae</i>
Inhaca Island (Mozambique)			화석(Eocene) & 현생	<i>Hydrolithon farinosum</i>

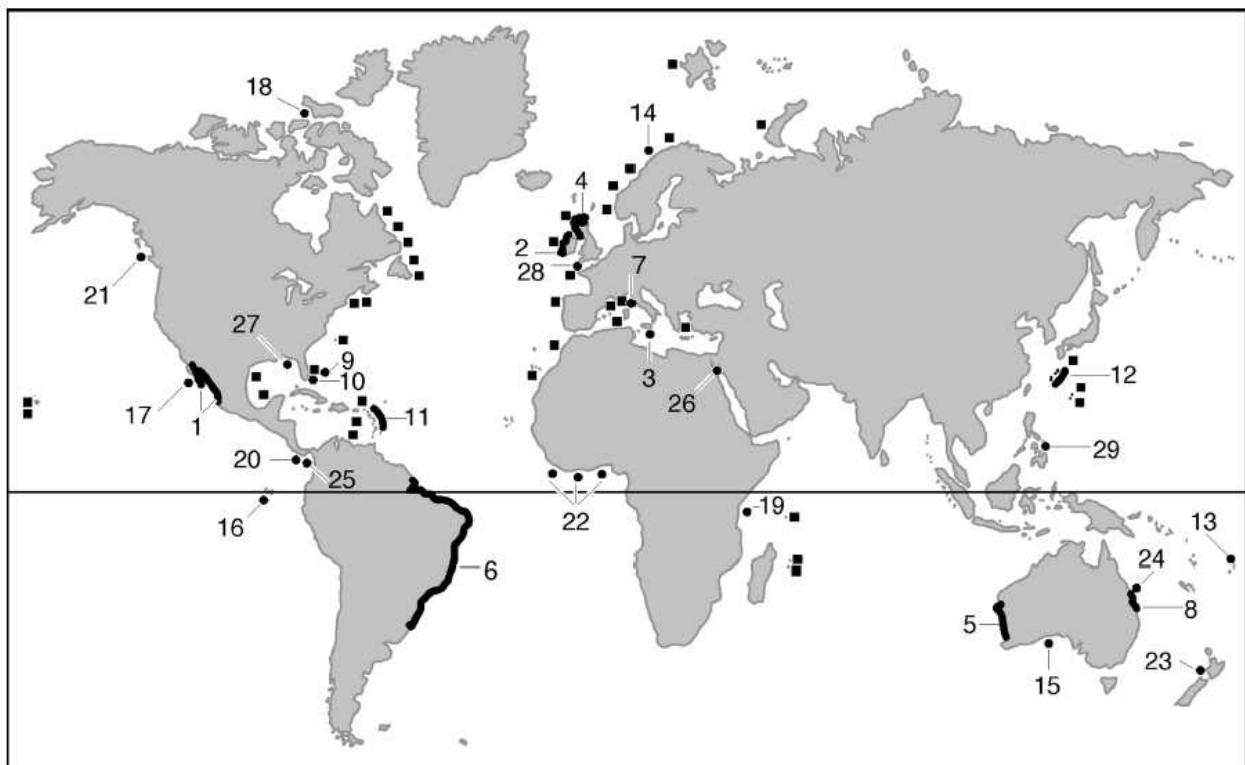


그림 3-126. 현생홍조단괴의 분포도. The world distribution of living rhodolith beds. Squares are from map in Bosense(1983b; see for these references). Circles indicate locations of individual beds, and dark bands indicate large, continuous beds or numerous individual beds not included on the Bosence(1983b) map. No beds have been reported from Antarctica. Personal communication followed by more precise locations. 1. Foster et al. 1997, M. Foster, D. Steller & R. Riosmena, personal observation (eastern Gulf of California). 2. De Grave et al. 2000. 3. Borg et al. 1998 (Malta). 4. Donnan, Scottish Natural Heritage, personal communication (north & west Scotland). 5. James et al. 1999. 6. Kempf 1970, Milliman 1977. 7. Basso 1998. 8. Harris et al. 1996. 9. Littler et al. 1991. 10. Prager & Ginsburg 1989. 11. Reid & Macintyre 1988. 12. Tsuji 1993. 13. Scoffin et al. 1985. 14. Freiwald & Henrich 1994. 15. H. Kirkman, United Nations-East Asian Seas Regional Coordinating Unit, personal communication (Great Australian Bight). 16. C. Rigaud, Moss landing Marine Laboratories, personal communication (Galapagos). 17. J. Harding, University of California at Santa Cruz, personal communication (Isla Cedros). 18. J. Oliver, Moss Landing Marine Laboratories, personal communication (Devon Island). 19. J. Waterbury, Woods Hole Oceanographic Institution, personal communication (Zanzibar). 20. T. Schaeffer, Moss Landing Marine Laboratories, personal communication (Costa Rica). 21. P. Thuringer, Archipelago Marine Research Ltd., personal communication (Queen Charlotte Islands). 22. Reviewed in John & Lawson 1991. 23. D. Schiel, University of Canterbury, personal communication (Kapiti Island). 24. A. Larkum, University of Sydney, personal communication (One Tree Reef). 25. Glynn 1974. 26. Piller & Rasser 1996. 27. McClintock et al. 1993. 28. Farnham & Bishop 1985. 29. D. James, Moss Landing Marine Laboratories, personal communication (Camiguin Island). From Michael S. Foster. 2001.

조사자료에 의하면 현재 과거의 퇴적환경과 고기후 연구에 많이 활용되고 있는 로도이드(rhodoid 혹은 rhodolith, 홍조단괴)는 전 세계 여러 지역에 다양한 종이 분포하고 있다(그림 3-126). 이탈리아 Pontian Islands 지역에는 *Phymatolithon calcareum*, *Lithothamnion corallioides*, *Lithothamnion valens*으로 이루어진 로도이드가 수심 27~98m에 걸쳐서 분포하고 있다. 3가지 형태의 홍조류로 이루어져 있는데, 첫째 가지상의 형태로 1~5cm의 크기로 관찰되며 두 번째로 짧은 가지상의 로도이드는 2~4cm, 세 번째로 내부에 박스워 구조가 나타나는 큰 구형의 로도이드는 4cm이상의 크기로 이루어져 있다. 수심 60~70m 구간에 가장 많은 양의 로도이드가 분포하고 있다(Basso, 1998). 호주 동쪽 Fraser Island에는 수심 40~140m 구간에 로도이드가 분포하고 있으며, *Phymatolithon*, *Lithothamnion*로 구성되어 있다. Fraser Island 연안을 따라 흐르는 해수의 유속에 따라서 로도이드의 크기가 다르게 나타나며, 유속이 45cm/s인 곳에서는 1cm의 로도이드가 관찰되며, 유속이 80cm/s인 곳에서는 5cm 크기의 로도이드가 관찰된다(Harris et al., 1996). 일본의 남서쪽에 위치한 Ryukyu Island에서는 수심 50~200m 구간에 대해 119 지점을 조사하였고, 그 중 70 지점에서 로도이드가 관찰되었다. 수심 50~135m 구간에 로도이드가 분포하고 있으며, *Neogoniolithon*, *Hydrolithon*, *Lithophyllum*, *MesoPhyllum*로 이루어져 있다. 이 로도이드들은 해저면의 0.3~88.3% 평균 44.9%를 덮고 있으며, 1m² 내에 300개 이상의 로도이드가 분포하고 있으며 크기는 5~10cm, 크게는 15cm 이상의 크기도 관찰된다. 형태는 구형, 타원형, 드물게 짧은 타원형을 띠는 것도 관찰된다(Iryu et al., 1995). 스코틀랜드 Arran 지역에는 *Phymatolithon calcareum*, *Lithothamnion glaciale*로 이루어진 가지상의 로도이드들이 분포하고 있다(Kamenos et al., 2008). 멕시코 Bahia 지역에는 수심 3~12m 구간에 로도이드가 분포하고 있으며, *Lithothamnion australe*, *Lithophyllum pallescens*, *Lithophyllum veleroae*로 이루어져 있다. 크기는 약 10cm로 관찰된다(Steller and Foster, 1995). 이집트 홍해지역에 위치한 Safaga Island 지역에는 수심 1~3m 구간에서 패치의 형태로 로도이드가 관찰된다. 이 지역은 평균 염도가 40~46‰로 매우 고염도를 보이며, 겨울에는 21°C, 여름에는 29°C의 해수 온도를 가진다. 주로 가지상의 *Lithophyllum kotschyanum*으로 이루어져 있다 (Piller and Rasser, 1996). Gulf California 지역에서는 *Lithophyllum margaritae*(LM), *Neogoniolithon trichotomum*(LT), *Lithothamnion crassiusculum*(LC)으로 이루어진 로도이드가 관찰된다. Gulf California 지역내에서 5지점을 조사하였다. El Coyote 지역은 수심 2~7m 구간에 LM으로 이루어진 로도이드가 관찰되며, El Requeson 지역에서는 수심 3~12m 구간에 LM, LT, LC 세가지 종의 로도이드가 모두 관찰된다. Manto Diguet 지역에는 수심 2~7m 구간에 LM, LT으로 이루어진 로도이드가 나타나며, 이 세 지역에는 파도에 의한 물리적 영향을 받는다. Manto de Pepe 지역은 12~15m 구간에 LM, LC로 이루어진 로도이드가 관찰되며, Canal de San Lorenzo 지역은 수심 12~20m 구간에 LM, LC로 이루어진 로도이드가 관찰되며, 이 두 지역은 해류에 의한 영향을 받는다(Steller et al. 2003). 일본 Sesoco 섬 지역에는 Melobesioids, Mastophoroids, Sporolithaceans으로 이루어진 로도이드가 수심 50~70m 구간 submarine terrace에 분포하고 있으며, 주로 Melobesioids로 구성된 로도이드가 주를 이루고 있다. 부수적으로 일부 Mastophoroids, Sporolithaceans로 이루어진 로도이드가 관찰되며, 2~8cm의 크기를 보인다(Bassi et al., 2009). Eastern Caribbean에 분포하는 로도이드는 2~15cm의 크기로 되어 있으

며, 수심 30~60m 구간에 분포하고 있다(Reid and Macintyre, 1988). Bahama San Salvador에는 수심 67~91m 구간에 해저 표면을 95.8%의 로도이드가 피복하고 있으며 290m 구간에는 17.4%로 감소한다. 로도이드를 구성하고 있는 요소를 보면 *Lithophyllum* sp.가 41%를 차지하고 있으며 12.6%가 기타 다른 조류로 이루어져 있다. 67~91m 구간에서는 로도이드가 4~15cm의 크기를 보이며, 200m 아래로는 약 5cm 정도 크기로 작게 나타난다(Littler et al., 1991). 멕시코의 Flower garden bank에서 나타나는 coral reef에서 45~80m 구간에 로도이드가 관찰된다. 45~75m 구간의 표면을 60~100% 덮고 있으며 *Lithothamnium* sp., *Lithoporella* sp., *Tenarea* sp., *Peysonnalia* sp., *Mesophyllum* sp.으로 로도이드가 이루어져 있다. 크기는 1~20cm로 나타난다(Minnery, 1990). Florida 지역에서 관찰되는 로도이드는 수심 35~65m 구간에 분포하고 있다. *Lithothamnium* sp., *Lithoporella* sp., *Tenarea* sp., *Peysonnalia* sp., *Mesophyllum* sp., *Lithophyllum* sp., *Archeolothothamnium* sp.로 이루어진 로도이드는 1.7~9cm의 크기를 보이며 평균 3~5cm크기의 로도이드들이 분포하고 있다(Littler et al., 1991).

조사된 자료에 의하면 홍조단괴로 이루어진 퇴적물을 전 세계 여러 곳에 분포하고 있지만 퇴적물의 대부분이 홍조단괴로만 이루어진 퇴적물을 극히 드물다고 추측된다. 이에 대한 자료를 수집하기 위해서는 외국의 자료를 현장조사와 병행하여 조사해야 할 것으로 생각된다. 우도와 같이 온대지역에서 발견되는 탄산염퇴적물을 중심으로 홍조단괴의 분포를 집중적으로 연구해야 할 것이다. 현재의 연구결과로는 우도의 홍조단괴 분포지역이 세계자연유산으로 지정될 수 있는 자연유산적 가치가 충분히 있다고 판단된다. 하지만 이 지역을 이미 지정된 “제주도 화산지형과 용암동굴”에 추가로 등재신청을 하는 것과 독립적으로 세계자연유산으로 신청해야 하는 결정은 외국의 분포지역과 정밀한 비교분석이 이루어진 후에 가능할 것으로 판단된다.

소머리오름의 경우, 이미 전술한 바와 같이 수성화산체로서 학술적 및 자연유산적 가치는 대단히 높다고 판단된다. 이미 세계자연유산으로 지정된 성산일출봉 분석구와 같이 소머리오름은 뛰어난 자연유산적 가치가 있다. 하지만 우도는 지형적으로도 성산일출봉과 비교하여 몇 가지 중요한 차이점을 지닌다. 성산일출봉의 경우 처음부터 끝까지 수성화산분출만 일어나 응회구라는 하나의 화산지형만이 만들어진 것이 아니라, 우도의 경우 수성화산분출이 종료된 후 하와이형 분출에 의해 분석구가 만들어지고 나중에는 파호이호이 용암이 분출하여 용암순상지대지가 만들어졌다는 것이다. 따라서 소머리오름의 경우, 전형적인 화산지형이기 때문에 이미 제주도가 유네스코에 등재된 “제주도 화산지형과 용암동굴”的 추가 지역으로 신청하는 것이 더 타당하다. 하지만 이미 전술한 바와 같이 우도의 소머리오름 뿐만 아니라 수월봉, 송악산, 당산봉 등의 다른 수성화산체와 함께 자료를 준비한 후에 신청을 해야 할 것이다.

이 조사 보고서는 이미 학계에 보고된 논문들을 통해 이루어진 분석자료이다. 하지만 세계자연유산으로 새로이 신청하거나 추가신청을 하기 위해서는 다른 지역과의 철저한 비교분석(comparative analysis)이 반드시 필요한 사항이다. 이를 충족하기 위해서는 외국의 현장답사, 외국전문가의 자문이 이루어져야 할 것이며, 철저한 사례조사가 선행되어야 한다. 특히 홍조단괴의 경우, 그 분포와 성장속도가 명확히 규명되어 있지 않으므로 이에 대한 조사가 선행되어야 신청이 가능할 것으로 생각된다. 또한 해양학적인 조건을 명확히 파악하여 우도에 해당하는 홍조단괴의 생성기작이 제시되어야 할 것이다.

다. 지정구역에 대한 제안

서빈백사의 홍조단괴와 소머리오름의 응회구에 대한 보존지역은 다음과 같다.

(1) 홍조단괴

2004년 우도 홍조단괴 해빈을 천연기념물 제438호로 지정하면서 기초가 된 자료는 2001년 문화재청에서 출판한 “지질·광물 문화재 자원 조사 보고서”이다. 이 보고서는 우도의 이 지역 퇴적물이 “산호사”가 아닌 “홍조단괴”로 재규정하고 있으며, 홍조단괴에 대한 기초자료만이 기술되어 있다. 이 자료에 의해 천연보호구역을 설정할 당시에는 성산과 우도 사이의 천해지역에 대한 자료가 전혀 없었으며, 그러한 이유로 홍조단괴의 해빈퇴적물이 중요하게 부각되었다. 이번 조사결과에 의하면 홍조단괴는 서광리의 해빈에만 국한된 것이 아니라 우도와 성산 사이의 천해지역에 넓게 분포하고 있는 것으로 판단된다(그림 3-127, 그림 3-128). 이 홍조단괴의 분포에 대한 정밀조사를 시행하여 홍조단괴를 이루는 홍조류의 종류(현생종과 과거 종 모두 포함)를 파악하고 이들의 성장기작을 조사한 후, 자연유산적으로 가치가 있는 분포지역을 정밀하게 파악해야 할 것으로 생각된다. 하지만 우선은 홍조단괴가 분포할 가능성이 높은 해안가 지역과 천해지역을 거의 모두 포함하여 문화재구역을 설정하는 것이 바람직하다. 홍조단괴의 지정구역은 문화재청 홈페이지 자료에서 지적도를 지형도상에 표시한 것인으로 오차가 있을 수 있다. 현재 문화재구역으로 지정되어 있는 해안가에서 성산방향의 바닷쪽 일부 구간으로 되어 있으나, 이 연구에서는 홍조단괴지역의 세계자연유산 신청을 고려하여 이미 지정된 구역에서 확대된 지역을 지정하는 것이 필요하다고 판단된다(그림 3-131).



그림 3-127. 우도와 성산 사이의 천해지역에 분포하는 홍조단괴(수중촬영)



그림 3-128. 우도와 성산 사이의 천해지역에 분포하는 홍조단괴(수중촬영-시료 채취 모습)

현재 문화재지정구역에서 가장 심각한 문제가 되는 것이 홍조단괴 해빈이 위치한 육지쪽의 개발구역이다. 이 지역에는 현재 도로, 펜션, 식당이 난립해 있으며, 이는 홍조단괴가 자연적으로 퇴적된 지형을 모두 인위적으로 형질변경했다는 것을 의미한다. 2009년 이 지역에 대한 상하수도 공사를 시행하면서 도로의 하부를 절개한 지역의 자료조사 결과에 의하면 이 지역의 도로 아래에는 많은 양의 홍조단괴가 현재 매몰되어 있다는 것이 밝혀졌다(그림 3-129).



그림 3-129. 상하수도 공사를 위해 2009년 3월 우도 서 빈백사 뒤에 있는 도로 밑을 절개한 노두. 이 노두에서 발견되는 퇴적물은 모두 홍조 단괴로 이루어져 있다.

3-130, 그림 3-131).

한 지역을 세계자연유산으로 신청하기 위해서는 핵심이 되는 지역과 그 지역을 보호할 수 있는 완충지역에 대한 확실한 규정이 있어야 한다. 하지만 현재 도로와 여러 관광 시설에 의해 홍조단괴 퇴적물이 매몰되어 있는 것이 확인된다면, 이에 대한 자연복원 없이 세계자연유산으로 지정되기는 매우 어렵다는 판단이다. 따라서 이 지역이 세계자연유산으로 신청되기 위해서는 현재 도로와 여러 관광시설을 모두 매입하고 원래의 자연환경으로 복원한 후에 육지쪽으로 퇴적물이 분포하지 않는 지역까지 충분한 완충지역을 설정한 후에야 가능할 것으로 판단된다(그림

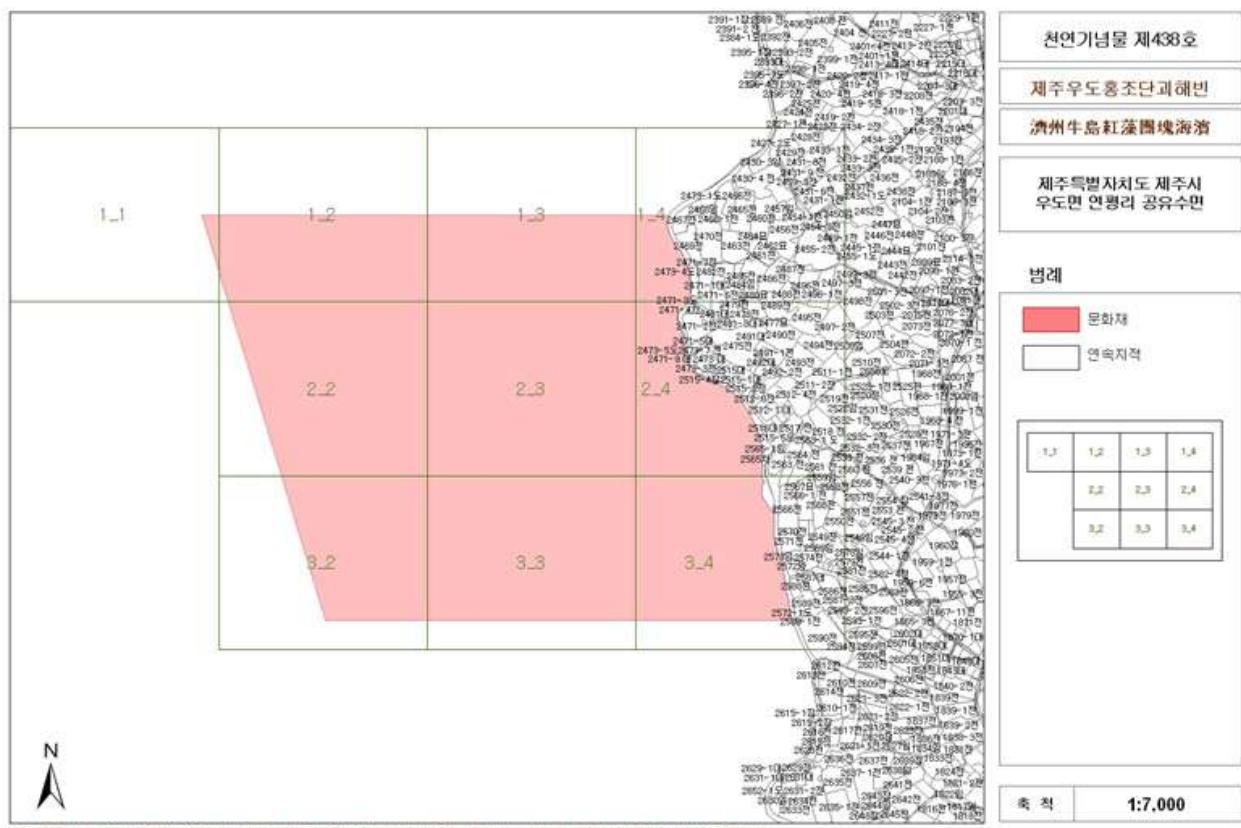


그림 3-130. 천연기념물 제438호 제주우도홍조단괴해빈의 문화재구역(2004. 4. 9 지정)

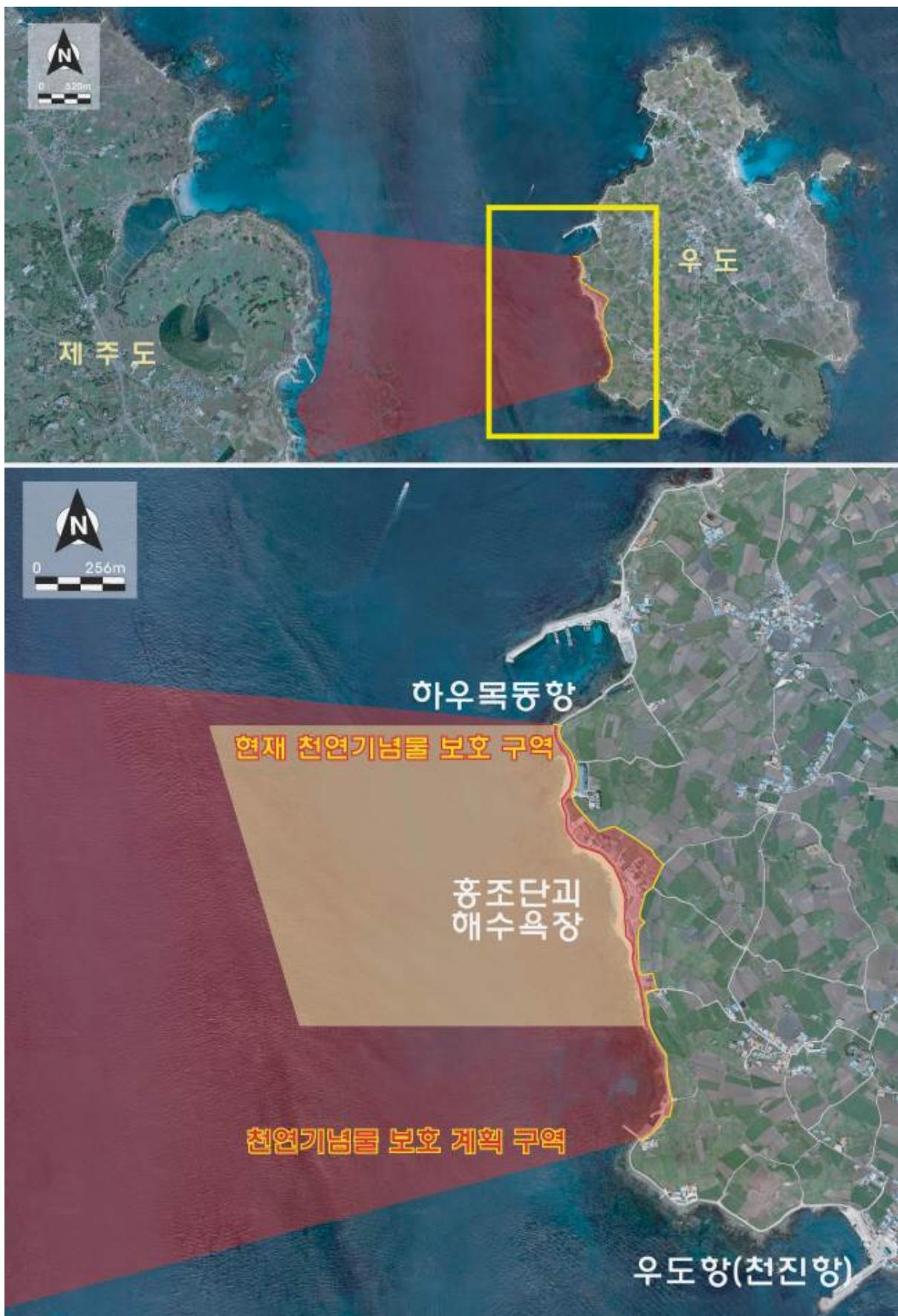


그림 3-131. 우도홍조단괴해변의 보존을 위해 제안된 문화재구역

(2) 소머리오름(옹회구)



그림 3-132. 소머리오름(옹회구)의 보존을 위해 제안된 문화재구역

소머리오름 응회구는 수성화산분출의 진화과정(수성화산분출→스트롬볼리형 분출→용암분출)을 잘 보여주는 대표적인 곳이며 주변의 화산쇄설물(건조하고 점착성이 없는 상태로 분출)은 수성화산분출 방식의 다양성(성산일출봉은 매우 습하게 분출)을 보여주는 학술적 가치가 높은 지역이다. 따라서 말발굽 형태의 소머리오름 응회구와 주변의 화산지형을 포함한 지역으로서 그림 3-132와 같다. 이 지역은 소머리오름뿐만 아니라 주변의 겸멀레 해빈, 동안경굴과 주간명월의 해식동굴, 수중에 위치하고 있는 수중해식동굴과 역으로 이루어진 톨칸이 해빈 지역을 모두 포함한다.

3.5 우도지역 내 자연유산의 보전방안

자연유산의 보전방안이란 자연유산이 가지는 학술적 가치가 유지되고, 그 자연유산의 원형이 보전될 수 있는 방안을 수립하는 것을 의미한다. 이를 위해 자연유산이 천연기념물이나 지방문화재로 지정된 경우에는 그 지역에 대한 학술적 및 자연유산적 가치, 그리고 경관적 가치를 고려하여 핵심구역과 완충 지역을 지정하여 자연유산을 보호하고 있다. 하지만 지질학적인 자연유산의 경우, 경관적 가치가 그렇게 중요하지 않은 경우도 있다. 예를 들면, 주요 화석산지의 경우, 화석이 산출되는 지역의 암석층을 보호하는 것이 중요한 보전이지, 그 지역의 경관까지 고려할 필요는 없을 수도 있다. 하지만 지질유산이 경관적 가치를 가지고 있는 경우에는 지정지역의 완충지역까지 자연유산의 경관을 충분히 고려한 보호조치가 필요하다. 우도의 경우, 이 보고서에서 천연기념물과 세계자연유산으로서의 가치가 있는 “홍조단괴

분포지역”과 “소머리오름”의 경우는 후자에 해당한다고 할 수 있다. 즉, 이들 지역은 이미 경관적으로 가치가 뛰어나기 때문에 이 지역에 대한 보전을 위해서는 학술적 및 자연유산적 가치 이외에도 경관적 가치를 고려하여 보전방안을 수립해야 한다.

이 연구를 위해 관련 전문가의 자문이 필요한 부분에 대해서는 현장답사와 회의 등을 통해 자문을 받았다. 향후에는 자연유산과 관련하여 전문가로부터 전반적인 내용에 대해서 자문을 받아 효율적인 방안을 세우고 문제점 및 보완사항에 대한 해결 방안을 마련하도록 하여야 한다.

가. 홍조단괴

홍조단괴의 보전을 위해서는 홍조단괴가 현재 성장하고 있는 지역과 과거에 홍조단괴 퇴적물이 퇴적되어 있던 위치를 정확하게 파악하는 것이 중요하다. 이를 위해서는 여러 차례에 걸쳐 스쿠버다이빙을 통한 현장조사를 실시하여 우도와 제주도 사이의 천해 지역에 성장하는 홍조단괴의 분포를 정확히 파악하고, 이 지역에 대한 법적 보호장치를 만들어야 한다. 이러한 점은 홍조단괴 퇴적물이 퇴적되어 있을 것으로 생각되는 우도의 육지 쪽도 마찬가지로 적용된다. 현재 서빈백사 해빈의 육지쪽으로는 우도 순환도로가 있으며, 도로 밑에는 홍조단괴의 퇴적층 내에 상하수도관이 2009년에 새로이 설치된 바 있다 (그림 3-127). 그리고 그보다 내륙 쪽으로는 길을 따라 많은 숙박시설과 음식점 등의 시설들이 난립해 있다. 아마도 과거에 홍조단괴의 퇴적층이 이 지역까지 연장되었을 가능성은 매우 높으나, 아직까지 이 퇴적물이 보존되어 있을 가능성은 매우 낮다. 홍조단괴에 서식하고 있는 천해 지역을 보전하는 것은 그리 큰 문제가 되지는 않을 것으로 생각한다. 천해지역 내에서 특별한 시설물이 설치되지 않도록만 하면 될 것이다. 하지만 육지에 있는 도로과 다른 관광시설을 홍조단괴의 보전에 심각한 영향을 주고 있다. 홍조단괴 퇴적물의 분포는 파악하고, 이 분포가 현재의 시설물에 의해 교란이 되었다고 판단될 경우에는 현재의 시설물을 모두 매입하고 시설을 철거하여 홍조단괴가 쌓여 있던 상태로 원형복구를 하는 것이 필요하다. 이를 위해서는 현재 있는 도로를 육지 쪽으로 이동해야 할 필요가 있다. 하지만 도로의 위치도 홍조단괴의 육상분포를 정확히 파악한 후에 결정해야 할 것이다.

홍조단괴의 보전을 위해 꼭 지속적으로 시행해야 하는 것이 모니터링이다. 현재 퇴적되어 있는 홍조단괴 퇴적층은 지속적으로 해빈퇴적층이 퇴적되는 과정에서 퇴적된 것이 아니라, 주로 태풍에 의한 영향으로 퇴적된 퇴적물로 판단된다. 그동안 우도의 해빈퇴적층은 지난 수년 간 관찰한 결과 퇴적층의 형태가 시기마다 많이 변하고 있는 것이 관찰되었다. 이는 퇴적층이 매년 계절마다 기상변동에 따른 영향으로 퇴적물의 분포가 달라질 수 있다는 것을 의미한다. 홍조단괴 해빈을 원형으로 지속적으로 보전하기 위해서는 이 지역에 대한 지속적인 해양지질학적인 모니터링 지시자(monitoring indicators)를 개발하여 시행하는 것이 바람직하다.

현재 홍조단괴 해빈이라고 불릴 수 있는 주 해빈퇴적물 이외에도 북쪽으로 연장되어 있는 해안선에는 여러 지점에 홍조단괴 퇴적물이 퇴적되어 있다. 이들 퇴적물의 이동에 결정적인 영향을 주고 있는 것이 현재 배를 띄우기 위해 설치된 작은 도로시설이다. 이 시설을 해안선을 따라 몇군데에 설치되어 있으며, 이들은 홍조단괴 퇴적물의 자연적인 재이동을 방해하고 있다. 따라서 이 시설은 하루속히 제거

되어야 할 것이다.

나. 소머리오름(옹회구-화산지형)

천연기념물 지정은 물론 세계자연유산 추가등재 대상자리로도 검토할 만큼 학술적 가치와 뛰어난 경관을 지닌 우도 소머리오름 옹회구의 화산지형 보전을 위해서는 주기적으로 지질모니터링을 실시할 필요가 있다. 지질모니터링(geomonitoring)은 지질유산 또는 자연유산지구 내에서 일어나는 여러 자연적-인위적 환경변화를 관측하는 것이며, 이를 통해 유산지구 또는 보호구역에 대한 효율적 관리방안을 찾을 수 있다(Sohn et al., 2009).

우도의 소머리오름은 성산일출봉과 거의 유사한 연안환경에 위치해 있어 성산일출봉과 동일한 방법으로 지질모니터링을 실시하는 것이 바람직하다. 소머리오름 옹회구에 대해 궁극적으로 이루어져야 할 모니터링 항목으로는 1) 상대해수면 변화, 2) 해안선의 위치 변화, 3) 사태작용, 4) 토양 및 퇴적물 침식, 그리고 5) 노두변화 등이 있다. 이 중 상대해수면 변화와 해안선의 위치 변화는 연안지역에 대한 현장조사와 더불어 항공사진분석, 수준측량, GPS를 이용한 측지 등의 방법으로 5 내지 10년 주기로 측정하는 것이 바람직하다. 사태작용과 토양 및 퇴적물 침식의 경우 항공사진분석 등의 방법과 현장 방문조사를 병행하여 모니터링을 실시할 필요가 있다. 소머리오름 지역은 거의 매일 많은 관광객들이 방문하는 지역이며, 관람로를 따라 토양층의 침식 등이 빠른 속도로 진행될 가능성이 높으므로 모니터링은 좀 더 짧은 주기(매년)로 실시할 필요가 있다. 노두변화는 항공사진촬영 등의 방법으로는 과아이 불가능하며 현장방문을 통해서만 모니터링이 가능하다. 모니터링은 매년 1회씩 실시하는 것이 바람직하다.

소머리오름 내 용암이 분출할 분화구에는 현재 공동묘지가 조성되어 있으며, 많은 묘가 분포한다. 이러한 묘들은 소머리오름의 자연경관과 조화롭게 조성되어 있어서 문화적인 요소와 함께 복합적인 유산의 중요성을 잘 표현하고 있다. 따라서 이들 묘들은 현재의 상태가 잘 유지되도록 해야 할 것이며, 앞으로 이 지역이 천연기념물로 지정이 되더라고 묘지가 더 만들어지는 것을 계속 유지되는 것이 좋다.

현재 소머리오름 분화구의 중심에는 저수시설이 있다. 이 저수시설은 현재 우도 내의 식수를 공급하는 중요한 시설이다. 하지만 이 시설을 소머리오름의 뛰어난 경관을 저해하고 있어서 장기적으로는 철거하는 것이 바람직하다. 특히 앞으로 우도 내 해수의 담수화시설이 설치될 경우, 이 시설은 철거되어야 하고, 이 지역은 화산지형의 원형으로 복원되어야 할 것이다.

소머리오름의 남동쪽 사면 정상부에는 현재 해경의 건물이 있다. 이 해경의 건물은 소머리오름의 경관을 심각하게 해손하고 있다. 장기적으로는 이 시설의 철거가 바람직하지만 국가의 기간시설이므로 다른 곳으로 이전하는 것도 고려해볼만 하다. 만일 시설의 철거가 불가능할 경우에는 시설의 외형을 소머리오름의 경관과 조화롭게 보일 수 있도록 개축하는 것이 바람직하다. 또한 현재 관광객의 통행로가 이 해경의 건물로 인해 단절되어 있는 상태이다. 이는 소머리오름의 자연훼손을 야기하고 있으므로, 통행로가 연장될 수 있도록 새로운 통행로를 만들어야 할 것이다.

현재 소머리오름의 통행로는 일부 구간만이 통행시설이 만들어져 있다. 최근 관광객의 수가 증가함에 따라 자연적인 통행로는 많이 해손된 상태이며, 앞으로 관광객이 증가할 경우 더 해손될 가능성이

높다. 각 통행구간에 대한 관람객의 압력을 고려하여 일부 훼손이 많이 된 구간이나 훼손될 가능성인 높은 구간은 친환경적으로 통행시설을 만들어서 이 지역을 보전해야 할 것이다.

현재 소머리오름 정상부에 위치한 등대박물관은 주변의 경관과 잘 조화롭게 건설되어 있다. 특히 등대박물관으로 연결되는 통행로에 설치된 여러 지역의 등대에 관련된 전시는 매우 교육적이며 우도 소머리오름 지역의 가치를 더 높이고 있다. 하지만 등대박물관 밑에 있는 카페는 주변의 경관과 조화를 이루지 못하고 있다. 앞으로 이 시설을 주변의 경관과 조화를 이룰 수 있게 제주도의 전통적인 건물과 비슷하게 개선되는 것이 바람직하다.

다. 기타

(1) 동굴

우도지역 내에는 3개의 용암동굴{포켓동산굴(=동굴집터), 조일리동굴, 동터진굴}, 4개의 해식동굴{검멀레굴, 동안경굴, 달그리안동굴(=주간명월), 광대코짓굴}과 2개의 수중해식동굴(콧구멍동굴, 우도동굴)이 분포하고 있다. 일부동굴 내 학술적 가치가 있는 동굴생성물과 동굴생물의 보호와 안전사고를 방지하기 위해 출입과 관련된 통제를 제주특별자치도, 제주시, 우도면사무소에서 관리를 하여야 한다.

(가) 용암동굴

3개의 용암동굴의 내부와 입구주변에는 벼려진 쓰레기와 오물들이 있기 때문에 이러한 쓰레기와 오물을 제거하여야 한다. 또한 안전사고의 위험을 방지하기 위해 주변경관과 어울릴 수 있는 보호시설 또는 안내판을 설치할 필요가 있다. 조일리동굴의 경우에는 그림 3-133과 같이 입구에 설치한 보호시설이 없어지거나 입구주변에 쓰레기와 오물로 채워져 있다. 앞으로는 이러한 쓰레기가 방지되지 않아야 할 것이며, 정기적으로 쓰레기를 제거할 수 있는 프로그램이 개발되어야 할 것이다.



그림 3-133. 조일리동굴의 입구사진(A-2003년 8월, B-2005년 8월, C-2010년 10월)

(나) 해식동굴

해식동굴의 내부에는 바다에 버려진 쓰레기와 검멀래 해빈에서 유입된 쓰레기들이 내부에 퇴적되어 있다. 또한 폭풍 때에 빌려온 파도에 의해 수많은 쓰레기들이 해식동굴 내부로 유입된다. 특히, 검멀래 굴과 동안경굴은 해빈 옆에 있기 때문에 접근이 용이하고 정기적인 동굴음악회를 개최하여 동굴을 활용하고 있다. 또한 주변에는 소머리오름 응회구를 포함한 화산지형이 발달해 있으므로 검멀래 해빈을 포함한 해안가에 대한 주기적인 환경정화 작업을 해야 한다. 쓰레기 투기를 하지 않도록 검멀래 해빈과 동안경굴 내에 안내판을 설치하는 것이 바람직하다. 또한 근본적으로 검멀래 주변과 해식동굴에 쓰레기가 나오지 않게 하기 위해서는 검멀래로 들어가는 입구에 쓰레기를 버릴 수 있는 시설을 만들고, 입구에 쓰레기를 버리지 않도록 안내판을 설치하는 것이 바람직하다.

(다) 수중해식동굴

수중해식동굴은 소머리오름 응회구의 해안절벽 하부의 바닷 속에 위치하고 있으며 수중장비를 착용하여야만 출입이 가능하다. 무분별한 출입에 의한 안전사고의 위험이 있으므로 출입에 대한 통제를 할 필요가 있다. 2개의 수중해식동굴이 천연기념물적 가치가 있다고 제안하였으므로 그에 필요한 학술조사를 등을 통해 자료를 확보해야 하며 출입을 통제할 수 있도록 관리가 되어야 한다. 보호구역을 선정하여 법적 보호를 받게 하는 것이 바람직하며, 소머리오름 응회구에 포함하여 지정구역을 선정하게 되면 구역 내에 포함되기 때문에 보호를 받게 된다.

(2) 화석산지

우도항에서 톨칸이(역질해빈) 방향으로 해녀의 집의 해안가에 분포하고 있다. 갈대화석이 분포하는 지층은 만조와 간조에 따라 노출되며 상부에는 자갈들이 퇴적되어 있다. 해녀의 집 주변에는 쓰레기를 태운 흔적들이 많으므로 소각행위를 하지 않도록 해야 한다. 그리고 주변에 설명표지판을 설치하여 이 화석의 가치를 교육적으로 알리는 것이 바람직하다. 하지만 현재 화석이 산출되는 암석은 전석의 상태로 지속적으로 파도에 의해 침식되어 훼손이 되고 있다. 따라서 일부 화석이 잘 포함되어 있는 전석은 이 암석을 잘 보존할 수 있는 박물관이나 전시관으로 옮겨서 지속적으로 잘 보존된 상태에서 교육적으로 활용될 수 있는 방안을 모색해야 할 것이다.

(3) 해빈

네 곳의 해빈 중 서광리 홍조단괴 해빈은 천연기념물로 지정되어 보호받고 있으며 톨칸이 해빈과 겸 멀레 해빈은 소머리오름 응회구 지역의 천연기념물 지정구역에 포함시켜서 보호해야 한다. 하고수동의 경우, 해빈 하나만으로 문화재로 지정하기에는 그 자연유산적 가치가 떨어지기 때문에 어려울 것으로 판단된다. 단, 우도 지역 전체를 체험교육관광으로 유도하기 위해서는 해빈 근처에 있는 기존의 주택과 팬션, 음식점 등의 구조물을 좀 더 친환경적으로 개조할 수 있도록 유도하고, 새로이 건물을 신축할 경우에는 하고수동 해빈환경과 조화롭게 보이도록 유도하는 것이 바람직하다.

(4) 사구

현재 자연적으로 형성된 사구는 하고수동 해빈의 육지쪽과 우도 북쪽 해안에 위치한다. 이들 지역은 현재의 분포범위와 학술적 가치로 보아 문화재로 지정하는 것이 어려울 것으로 판단된다. 하지만 이 지역은 지질다양성을 고려할 때 앞으로 교육관광의 중요한 지역이 될 가능성이 매우 높으므로 보전방안이 강구되어야 할 것이다. 우선 이 지역만을 포함하고, 주변의 지역은 포함되지 않는 지방문화재를 고려할 수 있다. 하지만 제주도 다른 지역의 사구와 비교하면 이 지역의 사구는 지방문화재로서의 가치까지는 가지고 있지 않다. 특히 사구의 경우, 사유지인 경우에는 도에서 매입하여 이 지역을 보호할 수 있는 조치를 빨리 취해야 할 것이다. 특히 앞으로 도로나 건물이 세워지면서 사구의 원형이 훼손되지 않도록 빠른 조치가 필요하다.

(5) 문화

해녀의 집, 방사탑, 망대, 불턱, 지석묘, 돈짓당 등과 같은 문화(역사, 고고)적인 가치를 가지고 있는 지점에 대해서는 개발(도로, 건물 등)에 의해 훼손되지 않도록 방안을 세울 필요가 있다.

3.6 우도지역 내 자연유산의 평가와 활용방안

가. 우도 자연유산의 평가

우도 지역에는 다양한 화산지형, 동굴(용암, 해식, 수중), 탄산염퇴적물로 구성된 해변과 흥조단괴 등 지질학적으로 학술적 가치가 높은 다양한 지역이 나타난다. 이 연구에서는 이러한 자연유산적 가치를 갖는 대상지에 대해서 우선 가장 높은 가치를 지질학적 측면으로 하였으며 지형과 경관도 고려하였다. 또한 대상지 주변과 관리상태가 어떠한지, 현재 보호되고 있는지를 검토하였다. 이러한 학술적 가치가 있는 대상지에 대한 보존방안과 활용방안도 검토하였다. 그리고 우도지역 내 문화·역사·고고 분야의 지점들에 대해서도 언급하였으며 자연유산을 이용한 지질관광 프로그램의 지질명소로 활용하는 방안도 고려하였다. 표 3-29는 대상지에 대한 자연유산을 평가한 여러 항목이 요약되어 있다. 그림 3-134와 3-135는 우도지역 내 중요한 자연유산과 역사·문화유산에 대한 분포도이다.

■ 가치평가(지질학적 측면: 지질, 지형, 경관)

○ ‘가’ 등급

-천연기념물적 가치, 세계자연유산적 가치가 있는 자연유산

- 국가지정 문화재적 가치 있다고 판단되는 자연유산
- 세계자연유산으로 가치가 있다고 판단되는 자연유산
- 지질, 지형, 경관, 생물, 자연현상 등의 생성과정이 학술적 가치가 매우 높은 경우
- 기타 학술적 가치가 매우 높은 경우

○ ‘나’ 등급

-지방기념물적 가치(시 · 도 지정 문화재)가 있는 자연유산

- ‘가’등급의 가치는 없으나 국내 지질, 지형, 경관, 생물, 자연현상 등 중에서 가치가 높은 경우

○ ‘다’ 등급

-자연유산자료적 가치가 있는 자연유산

- ‘가’, ‘나’ 등급의 가치는 없으나 학술적으로 가치가 있어서 보호해야 할 가치가 있는 경우
- 지정구역과 연계된 주변의 조건 등을 종합하여 학술적으로 중요성을 내포하고 있다고 판단되는 경우

○ ‘라’ 등급

-활용/보존 가치가 있는 자연유산

- ‘가~다’ 등급은 아니지만 잠재적으로 활용할 가치가 있는 자연유산

○ ‘마’ 등급

-학술적, 문화재적 가치가 전혀 없는 자연유산

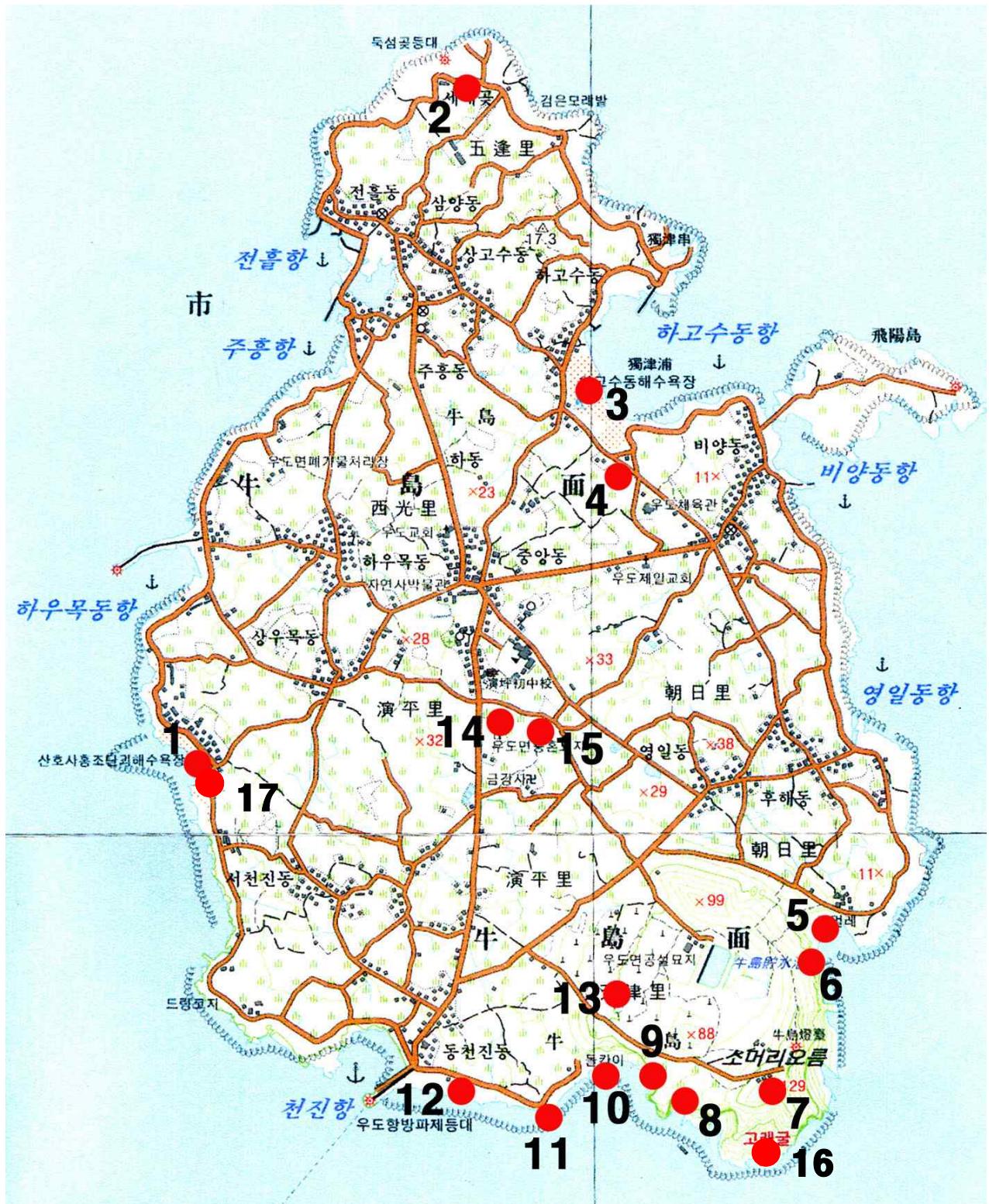


그림 3-134. 우도의 주요 자연유산 분포도. 1=홍조단괴 해빈, 2=세배꽃 사구, 3=하고수동 해빈, 4=사구, 5=검멀레 해빈, 6=검멀레굴, 동안경굴, 7=소머리오름(우도봉), 8=달그리안동굴(주간명월), 9=광대코짓굴, 10=톨칸이 해빈, 11=한반도 여, 12=갈대화석산지, 13=동터진굴, 14=포겟동산굴(동굴 집자리), 15=조일리동굴, 16=콧구멍동굴 17=패총

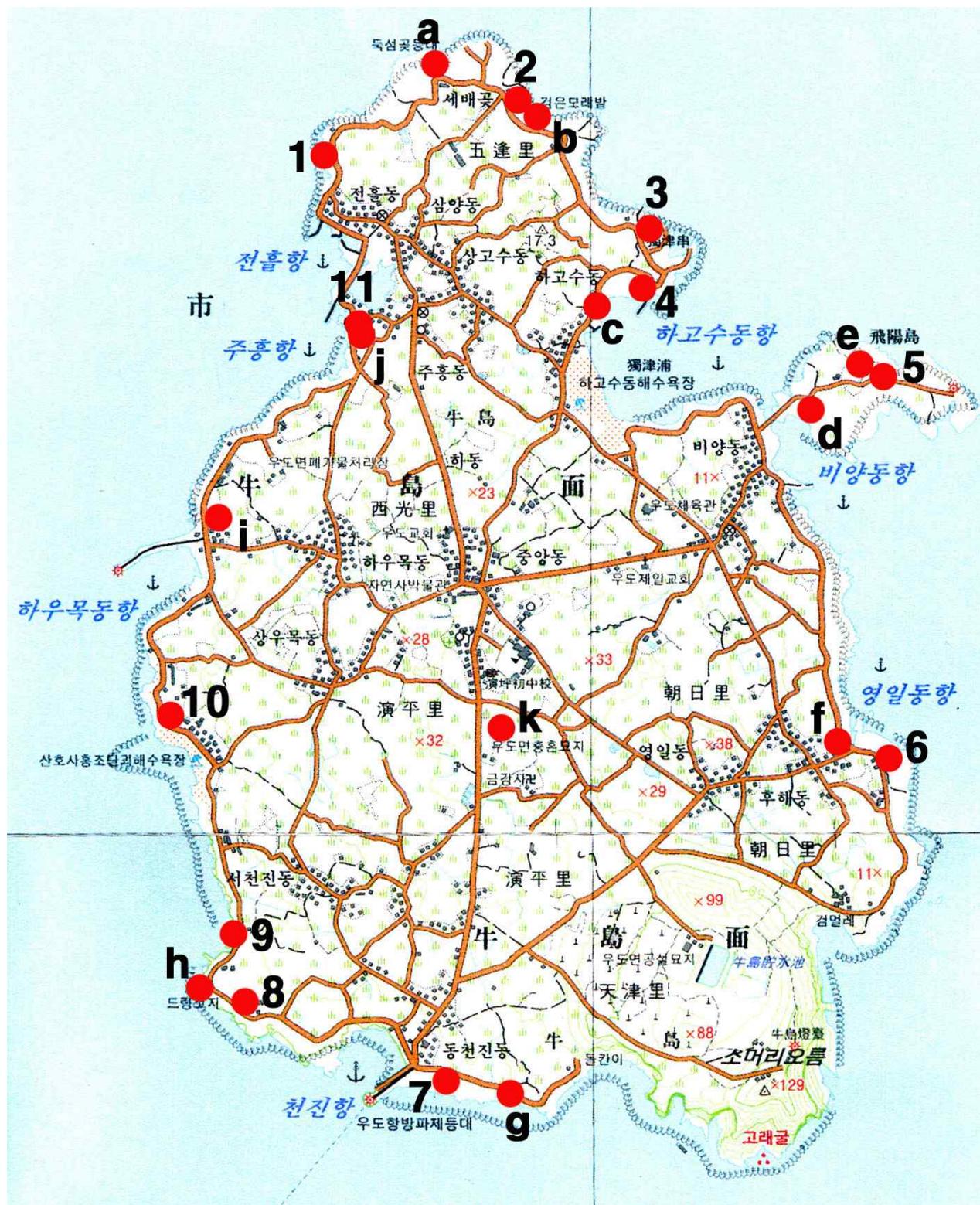


그림 3-135. 우도의 주요 역사·문화유산 분포도. 1=전흘동 해녀의 집, 2=삼양동 해녀의 집, 3=상고수동 해녀의 집, 4=하고수동 해녀의 집, 5=비양동 해녀의 집, 6=영일동 해녀의 집, 7=동천진동 해녀의 집, 8=서천진동 해녀의 집, 9=서천진동 해녀의 집, 10=상우목동 해녀의 집, 11=주홍동 해녀의 집, a=담다니탑 망대, b=불턱, c=방사탑, d=돈짓당, e=비양동 망대, f=영일동 방사탑 등대, g=우도지석묘, h=드렁코지, i=돈짓당, j=돈짓당, k=선사문화 동굴집 자리

표 3-29. 우도지역 내 유산 평가

일련 번호	대상지	세부항목	조사항목 별 평가							활용방안 (교육적인 안내판 설치와 가이드관광프로그램)	지정신청		
			가치평가	주 변	보 호	관리 상태	학술자료 기준 자료	조사 순서	문화/역사/고고	보존방안			
1	옹회구	소머리오름	가 (세계자연유산)	등대, 군부대, 찻집, 공동묘지	-	c	B	1	공동묘지 등대공원	주기적인 모니터링	설명표지판 신설 지질관광 site	천연기념물 세계자연유산	
2	홍조단괴	서빈백사	가 (세계자연유산)	도로, 팬션, 상가	천연기념물 제438호	c	C	1	-	주기적인 모니터링 (주변 정비)	설명표지판 정비 및 신설 지질관광 site	세계자연유산	
3	용암동굴	포켓동굴	다	공동묘지	-	c	C	2	동굴 집자리(주거지)	수시점검(1회/월)	역사 및 용암동굴 체험 설명표지판 정비	우도 지역의 자연유산지구 내 site	
		조일리동굴	다	밭 경작지	-	c	C		-				
		동터진굴	다	밭 경작지	-	c	C		-				
4	해식동굴	달그리안동굴	다	보트관광, 잡수정	-	c	C	2	-	수시점검(1회/월)	해식동굴 체험 설명표지판 신설	우도 지역의 자연유산지구 내 site	
		동안경굴	다	해안	-	c	C		동굴음악회				
		검멀레굴	다	해안-보트관광	-	c	C		-				
		광대코짓굴	다	해안-낚시	-	c	C		-				
5	수중해식 동굴	콧구멍동굴	가	-	-	c	D	1	-	정기점검(2회/년)	수중해식동굴 체험 설명표지판 신설	천연기념물	
		우도동굴	가	보트관광, 잡수정	-	c	D		-				
6	화석산지	갈대화석 생흔화석	다	해녀의 집	-	c	C	3	-	수시점검(1회/월)	지질관광 site 설명표지판 신설	자연유산지구 내 site	
7	해빈	하고수동	다	주택, 팬션	-	b	C	3	마을공동 관리	지질관광 site 설명표지판 신설 해빈체험교육코스	-		
		검멀레	다	식당, 상가, 팬션		b							
		톨칸이(역빈)	다	-		b							
		서빈백사		홍조단괴					홍조단괴				
		세배꽃 사질퇴적층	다	해안도로, 식당					-				
8	사구	하고수동	다	해수욕장, 도로 농지, 주택, 팬션	-	b	C	3	-	마을공동 관리	지질관광 site 설명표지판 신설		
9	폐총	-	거의 사라짐	홍조단괴 주차장	-	-	-	-	고고	주차장 공사에 의한 훼손	지질관광 site (문화적 측면)		
10	문화 역사 고고	방사탑	-	마을	-	-	-	-	문화	주변정리	지질관광 site (문화적 측면)	-	
		해녀의 집	-	마을	해녀	-	-	-	문화	주변과 내부정비	지질관광 site (문화적 측면)		
		지석묘	-	정자	-	-	-	-	고고				
		망대	-	식당, 등대	-	-	-	-	문화				
		불턱	-	해녀의 집	해녀	-	-	-	문화				
		돈짓당	-	식당	-	-	-	-	문화				

■ 관리상태: 대상지역의 관리상태는 어떠한지?

- 1) a : 문제적음
- 2) b : 문제약간
- 3) c : 문제많음

■ 학술자료: 대상지역의 지질학적 학술조사 자료가 얼마나 잘 조사되어 있는지?

1) 기존자료현황

- A : 국제적인 수준으로 아주 잘 조사되어 있다.
B : 학술조사가 더 필요하다.
C : 기초적인 학술조사자료뿐이다.
D : 기초적인 자료뿐이다.
E : 아무런 자료가 없다.

2) 조사순서

- 1 : 가장 우선적으로 학술조사가 필요
2 : '1' 조사 후
3 : '2' 조사 후

*조사의 순서는 상황에 따라 변경될 수 있으며 모두 함께 시작할 수도 있다.

나. 우도의 활용방안

우도는 뛰어난 자연유산적 가치와 아름다운 경관을 가지고 있다. 국내 유명 관광지 중에서 가장 큰 문제점 중의 하나는 한번 찾은 관광지의 재방문율이 낮아지고 있다는 것이다. 그 이유는 그 관광지를 방문한 목적이 단순히 경관을 한번 즐기기 위한 것이었기 때문이다. 또한 최근 여러 관광지에서 관광이 점차 쇠퇴되는 다른 이유는 관광패턴이 변화하고 있기 때문이다. 이제까지의 관광 유형은 주로 단체관광객이 주를 이루었으며, 관광지에서 잠시 경관을 감상한 후에는 단순히 먹고, 마시는 일회성 관광이 주를 이루었기 때문이다. 이러한 이유로 관광객의 재방문률은 낮아지고 관광지를 점차 환경오염이 심각한 장소로만 변해가고 있는 것이 현실이다. 이러한 여러 문제를 한꺼번에 해결할 수 있는 것이 바로 관광 패턴을 변화시키는 것이다. 즉, 이제까지의 경관만을 보고 먹고 마시는 관광의 형태에서 그 지역의 지질, 생물, 역사, 문화를 배우면서 자연과 문화의 소중함을 깨달을 수 있는 교육관광의 형태로 관광패턴을 발전시키는 것이 아주 중요하다고 할 수 있다. 이를 통해 그 지역의 주민의 소득도 증가시킬 수 있으며, 관광의 의미도 달라질 수 있다.

(1) 우도의 관광패턴

우도는 제주도 안에 있는 작은 제주도라고 할 만큼 학술적으로 가치가 뛰어나고 아름다운 경관을 보여주는 지질유산이 많은 섬이다. 이 섬에 있는 지질다양성은 전국에서 거의 최고의 수준을 자랑하며, 아

름다운 경관과 함께 많은 관광객의 사랑을 받고 있다. 이렇게 천혜의 좋은 관광조건을 가지고 있는 우도이지만 우도 내에서 이루어지고 있는 관광패턴을 국내 타 지역의 것과 거의 차이가 없다. 수많은 관광객들은 우도를 방문하고 그저 몇 장의 사진만을 남기는데 급급하고, 버스기사가 알려주는 단편적인 정보만이 우도를 찾는 관광객이 배우면서 즐길 수 있는 전부인 것이 현실이다. 아마도 우도 홍조단괴해빈에서 바라보는 아름다운 바다의 색 정도가 우도를 찾는 관광객이 나중에 기억을 할 수 있는 전부일 것이다. 현재 우도를 찾고 있는 관광객은 네 부류로 구분된다. 관광버스로 관광하는 단체관광객, 자가용으로 관광하는 신혼여행객, 자가용으로 관광하는 가족단위나 친구들끼리의 관광객, 그리고 올레길을 찾아 즐기는 관광객이다. 이들이 우도를 찾아서 우도를 즐기고 오랫동안 기억하며 다시 우도를 찾고 싶도록 만드는 가장 효과적인 방법이 바로 우도의 관광패턴을 바꾸는 것이다. 우도의 관광패턴을 철저히 개별관광과 안내관광으로 구분하고, 각 패턴에 따른 프로그램과 기반시설을 조성하는 것이 가장 필요한 정책이라 할 수 있다.

개별관광을 하고자 하는 관광객을 위해서 반드시 필요한 사항이 이들에게 우도에 대한 정보를 확실하고 재미있고 교육적으로 전달하는 것이다. 이를 위해서는 우도의 각 지질명소(geosite)마다 이해하기 쉽고 재미있게 읽을 수 있는 설명표지판의 설치가 필요하다. 가능할 경우에는 각 지점별로 오디오설명기를 빌려서 들을 수 있도록 하는 것도 한 방법이다. 또한 우도를 방문하기 전에 미리 충분히 우도에 대한 정보를 수집하고 이해할 수 있도록 우도만의 홈페이지를 개설하여 운영하는 것도 반드시 필요하다. 또한 우도에 관련된 리플렛이나 팜플렛, 화보집 등을 여러 언어로 제작하여 책자를 통해 우도를 배우게 하는 것도 필요하다. 개별관광객들이 우도 내 순환버스를 타고 이동할 경우를 대비해서 우도의 여러 지질명소를 고르게 방문할 수 있는 순환버스의 노선조정도 고려해 볼 수 있다. 또한 우도에 대한 여러 정보를 전달하는 기사들에게 질 높은 교육을 제공하여 이들이 우도에 대한 올바른 설명을 할 수 있도록 유도하는 것이 필요하다. 우도 내에서 개별관광을 쉽게 할 수 있도록 제공해야 하는 것이 개별관광을 할 수 있는 루트를 개발하는 것이다. 현재 우도에는 전국에서 폭발적인 인기를 얻고 있는 “올레”길이 있다. 이 올레길 이외에도 지질명소를 여러 코스로 답사할 수 있는 루트를 개발하고 이 정보를 인터넷이나 안내책자, 팜플렛과 같은 매체를 통해 전달해야 할 것이다. 관광루트는 반일 코스, 1~5일 코스로 각각 개발하여 관광객의 흥미를 다양하게 유도할 수 있어야 할 것이다. 또한 이 관광코스에는 동굴관광이나 스쿠버다이빙 관광프로그램까지 포함하여 다른 지역에서는 개발하기 어려운 우도만의 독특한 테마관광 프로그램을 개발하는 것이 바람직하다. 또한 반드시 고려해야 할 사항은 루트를 개발하면서 우도 내 지질명소만을 고려해서는 안 된다는 것이다. 우도 내에는 방사탑, 해녀의 집 등 여러 문화적으로 중요한 장소가 있으므로 이들을 충분히 고려한 루트를 개발하는 것이 좋다.

우도를 좀 더 심도 있게 즐기고 배우기를 원하는 관광객을 위해 개발해야 할 프로그램이 바로 안내관광 프로그램이다. 우도의 주민을 자연유산해설사로 양성하여 우도를 찾은 관광객이 가족단위에서 10명단위까지 안내자가 우도의 여러 지질명소를 다니면서 설명하여 교육적인 관광을 하는 것이 안내관광의 패턴이다. 이를 위해 우도의 주민에 대한 자연유산 교육이 정례화되어야 할 것이다. 특히 가족단위로 오는 관광객들에게 자녀에게 충실히 교육이 이루어질 수 있는 충족감을 주고, 학생들이 우도를 다시 찾

을 수 있도록 감동을 줄 수 있는 교육관광 프로그램을 사려 깊게 개발하는 것이 필요하다. 이를 위해 반드시 선행되어야 하는 것이 안내자를 교육할 수 있는 충실한 교육프로그램이다. 각 안내자의 수준을 고려하여 단계별 안내자 교육프로그램을 만들고 이를 실행해야 할 것이다.

현재 우도에는 많은 단체관광객들이 우도를 방문하고 있다. 이들에게 교육관광을 시행하는 것은 상당히 어려운 숙제이다. 우도를 찾는 단체관광객의 수준을 우선 계속 분석하여 이들의 수준에 맞는 프로그램을 개발해야 할 것이다. 우선 가장 시급히 시행되어야 할 것이 우도의 단체관광객을 운영하고 있는 가이드에 대한 교육이다. 이들에 대한 교육을 통해 우도의 교육관광을 어느 정도 시행할 수 있다. 또한 다음 장에서 기술할 방문객센터에 단체관광객이 의무적으로 방문하여 우도에 대한 전반적인 영상을 관람하는 것도 좋을 방법이 될 것이다. 또한 우도를 찾는 단체관광객을 위해 우도 홍보용, 교육용 CD를 제작하여 우도를 방문하기 전에 이 영상물을 미리 버스에서 볼 수 있도록 하는 것도 좋을 프로그램이 될 것이다.

또한, 현재 많은 인기를 얻고 있는 우도올레 코스가 대부분 우도 해안 일주도로를 비롯한 주 관광코스와 일치하고 있어, 우도올레가 단순히 걷는다는 것에서 벗어나 관광코스를 따라 산재해 있는 자연, 역사, 문화유산을 감상하고 체험할 수 있는 교육적프로그램을 개발하여야 한다.

(2) 우도의 관광시설

우도의 자연유산을 보전하는 가장 확실한 방법은 우도 내의 자연유산을 잘 관리하고 관광지로서 활성화하여 주민들과 관광객들이 우도 내 자연유산을 보전해야 한다는 인식을 확실하게 갖게 하는 것이다. 이미 언급한 바와 같이 이를 위해 가장 확실한 교육관광의 방법이 개별관광을 위한 여러 시설을 확충이고, 안내관광을 통한 자연보존의 교육이다. 이를 통해 자연유산을 보존하면서 관광활성화를 이루고, 주민소득을 증대하며 국내에서는 아직도 어디에서도 실행되지 않고 있는 양질의 교육관광프로그램을 개발할 수 있다. 이러한 양질의 교육관광을 위해 필요한 시설이 방문객센터와 박물관이다. 최근 전세계의 관광지에서는 심도있는 교육관광을 위해 방문객센터나 박물관을 건립하여 관광객들에게 양질의 관광프로그램을 제공하고 있다. 방문객센터(박물관)에서는 우도에 대한 일반적인 관광정보를 알 수 있는 관광정보센터의 기능, 우도의 지질유산에 대해 심도있게 배울 수 있는 전시관, 우도 내 안내관광을 받을 수 있는 안내자의 운영, 우도에서 특산품과 기념품을 개발하여 판매함으로써 주민의 소득을 높일 수 있는 기념품점, 우도의 자연유산적, 문화적 가치를 한눈에 배울 수 있는 영상관 등의 여러 기능을 가지고 있어야 할 것이다.

이미 언급한 바와 같이 개별관광객을 위해 설치되어야 하는 것이 각 지질명소에 대한 설명표지판이다. 설명표지판을 제주도를 찾는 외국인을 위해 영어, 일어, 중국어가 함께 제공되는 것이 바람직하다. 또한 설명표지판을 보고 지질학이나 자연과학에 대한 지식이 거의 없는 관광객도 쉽게 이해할 수 있도록 신중하게 안내판의 내용을 작성해야 할 것이다. 우도지역 내 이미 설치되어 있는 설명표지판과 안내판을 점검하여 비과학적이거나 검증되지 않은 내용 등에 대해서는 이를 수정하고 새로이 안내판을 같은 규격과 모양으로 새로 만드는 것이 좋다. 또한 안내판의 전체적인 모양은 친환경적으로 통일하면서, 안

내판의 크기는 각 지점의 특성에 맞게 설치하는 것이 바람직하다. 특히 설치장소는 주변 경관을 가리지 않으면서 가장 잘 보여줄 수 있는 지점으로 현장의 특성을 고려하여 설치하는 것이 바람직하다. 그림 3-134에 표시된 지점들은 우도 지역 내 대표적인 지질명소로서 각 지점에 대한 설명표지판(안내판)을 설치할 필요가 있으며, 특히 소머리오름 응회구의 경우에는 여러 개의 안내판을 설치해야 한다. 그림 3-135에 표시된 문화, 역사, 고고학적인 지점에 대해서는 대부분 안내판(설명표지판)이 설치되어 있으나 안내판의 크기나 형태 또는 내용을 재검토하여 자연과 문화에 대한 복합적인 교육관광으로 활용 할 수 있도록 하는 것이 바람직하다. 안내판의 내용은 과학적인 자료를 토대로 그림 또는 사진을 함께 사용하여 알기 쉽게 설명해 주는 것이 바람직하다. 안내판의 설치 시 안내판은 주변 경관을 헤치지 않아야 하며 햇빛과 비 등에 의해 쉽게 변색되기 때문에 주기적으로 불렸다가 쉽게 교체할 수 있는 것으로 해야 한다. 하지만 실제 안내판을 설치할 경우, 지질유산이나 문화유산과 관련된 여러 지점에 대해 관련전문가와 현장답사를 통해 설치할 지점을 신중히 결정해야 할 것이다.

현재 우도 내 효율적인 교육관광을 가장 저해하는 것이 우도 내 차량의 출입문제이다. 우도는 많은 차량이 다니기에는 그 도로가 협소하고 섬의 면적이 매우 작다. 또한 개별적으로 차량을 운행하면 이에 따른 지질명소마다의 주차장의 확보가 필요하고 많은 예산이 요구된다. 무엇보다 중요한 문제는 많은 차량이 운행되면 효율적인 교육관광이 이루어지기 매우 어렵다는 사실이다. 근본적으로 이 문제를 해결하기 위해서는 주민들의 차량을 제외한 우도 내의 차량은 특별한 목적이 없는 경우에는 철저히 통제되어야 한다. 우도를 찾는 모든 관광객이 순환버스를 이용하고, 현재 운행되고 있는 전기카트를 이용하게 하는 것이 바람직하다. 하지만 차량을 제한하기 전에 차량이 없어도 우도를 편하게 관람할 수 있는 운송시설의 확충과 보완이 선행되어야 할 것이다.

3.7 결론

이 연구는 우도 내에 분포하는 여러 지질명소에 대한 자연유산적 및 학술적 가치를 조사하여, 이들에 대한 문화재와 세계자연유산으로서의 자격을 평가하는데 있다. 우도는 작은 제주도라고 불려도 손색이 없을 만큼 제주도 전체에 분포하는 다양한 특징들이 우도 섬 내에 나타난다. 우도 내에는 우도를 형성한 수성화산체인 소머리오름과 소머리오름이 만들어지면서 형성된 여러 화산지형이 분포한다. 수성화산 분출에 의해 형성된 응회구와 그 위에 흐른 용암, 그리고 용암 내에 포함되어 있는 용암동굴과 그 위에 다시 재동되어 퇴적된 화산쇄설물은 우도의 형성에 기본을 이루고 있다. 플라이스토세에 이르러 수십 차례에 걸쳐 빙하기와 간빙기가 교호하면서 우도는 섬과 육지환경이 계속적으로 반복해왔다. 우도 내에는 다양한 해안지형이 분포한다. 마지막 최대빙하기 이후에 해수면이 현재와 같이 상승한 6,000년 전부터 우도 주변의 천해환경에서는 많은 탄산염퇴적물이 형성되기 시작하였다. 특히 우도와 제주도 사이에 존재하는 수심이 20m 이내의 넓은 천해환경은 홍조단괴가 만들어지는 최적의 환경을 제공하였으며, 현재에도 많은 홍조단괴가 형성되고 있다. 이렇게 만들어진 홍조단괴는 태풍에 의해 지속적으로 해안가로 운반되어 홍조단괴로만 이루어진 세계 유일로 판단되는 해빈퇴적물을 형성하고 있다. 그 외에도 해안가

를 따라 탄산염퇴적물로만 이루어진 하얀 모래의 하고수동 해빈, 화산쇄설암이 풍화 침식되어 퇴적된 검은 모래의 검멀레 해빈, 그리고 주변의 현무암이 풍화 침식되어 커다란 자갈로만 이루어진 톤판이 해빈이 나타난다. 과거 해빈퇴적물이 바람에 의해 육지로 운반되어 탄산염퇴적물로 이루어진 사구층이 나타나며, 우도의 북쪽 해안가 지역에는 전형적인 해빈의 형성과 태풍의 영향으로 퇴적된 복합적인 성인을 가진 퇴적물도 나타난다. 화산쇄설물로 이루어진 퇴적층을 따라 발달한 해안 절벽에는 과도의 침식에 의해 형성된 해식동굴이 여러 개가 발견된다. 특히 수심 10m 부근에 나타나는 수중 해식동굴은 해수면의 변화를 반영하는 뛰어난 지형이라고 평가된다. 서광리 해변가에는 패총이 분포하여, 우도가 자연과 인간의 조화를 보여주는 복합유산의 특징도 나타나지만, 애석하게도 무참히 파괴되어 사라진 상태이다..

우도에 나타나는 여러 지질유산 중에 뛰어난 가치를 가지는 것으로 평가되는 것은 홍조단괴로 이루어진 해빈과 천혜퇴적층, 화산쇄설물과 현무암질 용암으로 이루어진 소머리오름과 두 개의 수중해식동굴이다. 전세계에서 우도의 홍조단괴 해빈과 같이 거의 모든 퇴적물이 홍조단괴로만 이루어진 지역은 아주 드물다고 판단되며, 수중폭발에 의해 형성된 소머리오름은 제주도 내에 나타나는 다른 수성화산체인 성산일출봉, 수월봉, 송악산, 용머리 등과 함께 세계자연유산으로 지정될 자격이 있다고 판단된다. 현재 홍조단괴 해빈은 국가지정 천연기념물로 지정되어 있기 때문에 소머리오름과 두 개의 수중해식동굴을 천연기념물로 지정할 필요가 있다. 이를 위해 우도 내의 여러 시설의 정비와 자연환경의 복원이 필요할 것으로 생각된다.

우도 내에 있는 여러 지질유산을 보전하기 위해서는 각 지역의 정확한 지질학적 정보가 얻어져야 할 것이다. 특히 홍조단괴 퇴적물의 경우, 이 퇴적물의 정확한 분포를 파악하여 해양환경과 육지환경에서 각각 다른 보전대책의 수립이 필요할 것이다. 소머리오름의 경우에는 장기적으로 오름 위에 있는 여러 시설에 대한 정비가 필요할 것으로 생각된다. 두 개의 수중해식동굴의 경우에는 종합학술조사를 통해 보다 정밀한 자료획득과 해석이 필요하다.

우도는 다양한 지질학적 특징을 보여주는 지질유산의 보고이다. 하지만 많은 관광객이 방문하는 우도에서 이러한 소중한 지질유산을 배우고 볼 수 있는 시스템은 거의 갖추어져 있지 않다. 우도 내의 관광 패턴을 하루 속히 개선하여 우도의 뛰어난 자연환경을 많은 사람들이 배우고 즐기며 관광할 수 있는 환경으로 바꾸어 나가야 할 것이다. 이를 위해 개별관광, 안내관광, 단체관광에 맞는 교육관광프로그램을 각각 개발하고, 방문객센터를 건립하여 이 센터가 관광안내소와 전시관을 병행할 수 있는 우도 관광의 중심센터가 되어야 할 것이다. 방문객 센터는 신축하는 것보다 현재 휴관하고 있는 우도 박물관을 이용하는 것이 바람직하다고 판단된다. 또한 현재 우도 내 관광에 가장 좋지 않은 영향을 주는 것으로 판단되는 차량출입을 제한하여 우도 내에서 쾌적하게 우도의 아름다운 자연을 배우며 감상하는 여건이 조성되도록 하는 것이 바람직하다.

제4장 총괄연구과제의 연구성과

4.1 총괄활용성과

총괄과제명	우도지역 지질유산의 세계자연유산과 천연기념물로서의 가치분석 및 보전에 관한 정책연구
총괄과제책임자	이광춘 / (사)한국동굴연구소 / 지질학

(가) 정책 활용

이 연구를 통해 우도 내에 분포하고 있는 지질유산의 자연유산적 가치를 발굴하여 이 중에서 소머리 오름 지역을 천연기념물로 지정할 수 있는 학술적 기반을 확보하였고, 소머리오름과 홍조단괴 퇴적물 분포 지역에 대한 자연유산적 가치를 발굴하여 이들을 앞으로 세계자연유산등재 후보지로서 신청할 수 있는 학술적 기반을 마련함으로써, 이에 대한 정책적 활용방안을 제시할 수 있었다. 또한 앞으로 이 두 지역의 보호 구역을 제안하였고, 천연기념물과 세계자연유산으로 지정하고 신청하기 위한 정책적 단계를 제안하고 있다.

(나) 언론홍보 및 대국민교육

제주도 동쪽 작은 섬 우도에 있는 소머리오름은 성산일출봉과 같이 천해에서 일어난 수성화산분출에 의해 만들어진 용회구이다. 소머리오름은 이제까지 제주도 일원에 분포하는 360여개의 오름 중의 평범한 하나라고 일반적으로 인식되고 있었으나, 이 오름이 수성화산체로서 다양한 화산지형과 학술적 가치가 있다고 조사된 것이 이 연구의 중요한 성과 중의 하나이다. 그 생성과정은 성산일출봉과 아주 비슷하지만 성산일출봉에 비해 더 강력하게 폭발이 일어나 분화구의 규모가 훨씬 더 크다. 또한 수성화산분출 이후에도 용암이 흐르고 분석구가 형성되어 최근 이미 세계자연유산으로 지정된 성산일출봉 만큼 화산지형이 아주 다양한 것으로 평가되었다. 해안을 따라 노출된 화산쇄설성 퇴적암은 우도의 복잡한 형성과정을 알려주는 중요한 지질학적 증거에 대한 보존상태가 매우 뛰어나다. 소머리오름에 포함된 지역에는 검멀레의 검은 모래 해빈, 툴칸이의 자갈로 이루어진 해빈, 해식동굴과 물 속에 잠겨 있는 해식동굴 등의 다양한 지질유산은 소머리오름 지역의 자연유산적 가치를 더 높게 한다.

현재 천연기념물 제438호로 지정되어 있는 홍조단괴 해빈도 전 세계적으로 지질학적인 가치가 아주 뛰어난 자연유산으로 밝혀졌다. 특히 우도와 제주도를 따라 넓게 분포하며 성장하고 있는 홍조단괴는

그 수와 분포면적이 세계적인 수준인 것으로 추정된다. 앞으로 이들의 분포에 대한 정밀한 조사가 이루어진다면, 이 지역의 자연유산으로서의 가치는 더욱더 높아질 것으로 학계에서는 기대하고 있다.

이러한 연구결과에 따라 이 연구는 우도 내에 분포하는 지질유산 중에서 “소머리오름”을 천연기념물로 지정할 것을 권고하고 있으며, “소머리오름”과 현재 천연기념물로 지정된 “홍조단괴 해빈”을 포함한 우도와 제주도 사이의 넓은 홍조단괴 분포지역을 세계자연유산으로 신청할 것을 제안하고 있다. 하지만 이를 위해서는 “소머리오름” 외에 수성화산체인 수월봉, 송악산 등의 다른 수성화산체가 함께 포함될 것을 제안하고 있다. 이 두 지역에 대한 학술조사를 통하여 이들에 대한 자연유산적 가치를 발굴하고 이러한 자연유산이 정책적으로 활용될 수 있도록 권고한 것이 이 연구의 가장 큰 성과이다. 이는 또한 자연유산에 대한 가치평가가 학술적 연구를 통해 이루어진 국내 최초의 시도라는 점에서 그 의의가 크다고 평가된다. 또한 천연기념물로 지정된 해빈 지역에 퇴적되어 있는 홍조단괴가 현재 성장하고 있는 천해환경을 현장 조사함으로써, 우도와 제주도 사이의 넓은 지역에 홍조단괴가 성장하고 있을 가능성을 확인한 것은 국내에서 자연유산에 대한 조사 중에서 처음으로 시도된 유일하고 획기적인 연구결과이다. 따라서 이 결과는 정확한 학술조사를 통해 문화재보호구역의 범위를 지정하고 이를 변경할 수 있다는 좋은 예를 보여준 결과라고 하겠다.

문화재청에서는 이번 학술조사 결과를 토대로 이 자연유산을 활용할 여러 대책을 수립할 예정이다. 이 연구결과에서 제안된 바와 같이 “소머리오름”과 “홍조단괴 분포지역”을 세계자연유산으로 신청하기 위해 앞으로 체계적인 검토를 하여 이 두 지역이 세계자연유산 지역으로 등재될 수 있도록 문화재청에서는 최선의 노력을 할 예정이다. 이 연구결과에 의하면 이 두 지역을 세계자연유산으로 새로이 신청하거나 추가신청을 하기 위해서는 이 두 지역과 유사한 전 세계의 다른 지역과의 철저한 비교분석(comparative analysis)이 반드시 필요하다고 제안하고 있다. 또한 홍조단괴로 이루어진 천해퇴적층의 자연유산적 가치를 좀 더 정확하게 평가하기 위해서는 성산과 우도 사이의 천해 지역에 대한 홍조단괴의 분포를 정밀조사 해야만 하고, 이들이 분포하는 위치, 수리학적 에너지와 연관된 생성과정, 성장속도 등을 정밀하게 조사할 필요가 있다. 하지만 홍조단괴 해빈 부근에 난립하고 있는 여러 관광시설에 대한 정비가 앞으로 우도 홍조단괴 퇴적지역을 세계자연유산으로 추진하기 위한 숙제라고 할 수 있다.

앞으로 우도 내에 세계자연유산 지역이 추가로 등재된다면 이 지역에 대한 관광객이 증가할 것으로 기대되며, 이는 우도뿐만 아니라 제주도의 경제발전에 많은 기여를 할 수 있을 것이다.

(다) 연구논문

번호	논문제목	저자명	저널명	ISBN 또는 ISSN	볼륨 번호	페이지	Impact factor	국내/국외	학진/비학진/SCI급

(라) 학술발표

번호	발표제목	발표형태	발표자	학회명	연월일	발표지	국내/ 국제

(마) 지적재산권

번호	출원/ 등록	특허명	출원(등록)인	출원(등록)국	출원(등록)번호	IPC분류

(바) 타연구/차기연구에 활용

홍조단괴로 이루어진 천해퇴적층의 자연유산적 가치를 좀 더 정확하게 평가하기 위해서는 성산과 우도 사이의 천해 지역에 대한 홍조단괴의 분포를 정밀조사하여, 특출한 세계자연유산으로서 가치가 있는 홍조단계의 성인을 이해해야 한다. 이러한 연구에 이 연구를 필수적인 기본적인 정보를 제공할 수 있을 것이다. 홍조단괴에 대해 추가로 정밀하게 시행되어야 할 연구는 홍조단괴의 정밀 분포, 홍조단괴가 형성될 수 있는 수리학적 에너지와 연관된 생성과정, 홍조단괴의 성장속도와 이들의 기후학적인 의미 등이다.

세계자연유산으로 새로이 신청하거나 추가신청을 하기 위해서는 다른 지역과의 철저한 비교분석(comparative analysis)이 반드시 필요한 사항이다. 이를 충족하기 위해서는 외국의 현장답사, 외국전문가의 자문이 이루어져야 할 것이며, 철저한 사례조사가 선행되어야 한다. 또한 현재 홍조단괴 해빈 부근의 핵심구역과 완충구역에 대한 새로운 설정을 위한 연구에 이 연구의 결과가 활용될 수 있을 것이다.

(사) 기타

4.2 총괄 활용계획

이러한 연구 자료는 문화재청의 신규 천연기념물 지정을 위한 학술적 근거를 제공할 뿐만 아니라, 세계자연유산 확대지정을 위한 타당성 확보, 제주특별자치도 자연유산의 교육 및 경제적 부가가치를 창출 할 것으로 판단된다. 또한, 천연기념물 또는 세계자연유산의 지정구역{홍조단괴, 소머리오름 응회구(해식동굴, 수중해식동굴, 걸멸레 해빈과 톨칸이 해빈 포함)}에 대한 제안을 통해 우도지역의 자연유산이 좀 더 홍보되기 이전에 보전을 할 수 있을 것이다. 또한 우도지역 내 학술적 가치가 높은 다양한 지역이 나타나며, 해녀의 집, 방사탑, 돈짓당, 불터 등의 역사, 문화유산이 분포하고 있어 이를 이용한 교육관광의 형태로 활용함으로써 그 지역의 주민의 소득도 증가시킬 수 있다.

제5장 총괄주요연구 변경사항

제6장 총괄참고문헌

- 강순석, 2004, 제주도 해안을 가다, 제주도민속자연사박물관, 248-255.
- 곽희상, 1993, 한국해역 해양 환경도-제2권(남해). 해양연구소, 157 p.
- 국립해양조사원, 1990, 해류도(우도 및 부근).대한민국 해양수산부, No. 226.
- 김진경, 2002, 제주도 서귀포층 화석의 산소와 탄소동위원소, 미량원소 성분을 이용한 고해양환경 변화에 대한 연구.강원대학교 석사학위논문, 104 p.
- 김진경, 우경식, 강순석, 2003, 제주도 우도의 홍조단괴 해변퇴적물의 특징과 형성조건: 예비연구 결과, 한국해양학회지 바다, 8(4), 401-410.
- 손인석, 2003, 제주도 천연동굴 일제조사 보고서. 문화재청, 263 p.
- 스즈키 기미오, 1989, 패총의 고고학, 일조각. 199 p.
- 안덕임, 1997, 산소동위원소법을 이용한 선사시대 조개채집의 계절성 결정에 관한 연구.선사와 고대, 8, 47-54.
- 안덕임, 이인성, 1996, 산소동위원소 분석을 이용한 계절성 연구.한국패류학회지, 12, 105-108.
- 안덕임, 이인성, 2001, 산소동위원소분석을 이용한 대죽리패총 조개채집의 계절성 연구.한국신석기연구회지, 2, 5-11.
- 우경식, 1994, 패류화석을 이용한 고환경 복원.한국패류학회지, 10, 10-23.
- 우경식, 2002. 지질, 광물 문화재 정밀 조사 보고서. 문화재청, 173-216.
- 우경식, 김진경, 2005, 제주도 협재 지역에 분포하는 해안사구의 구성성분과 형성시기: 홀로세 후기의 해수면 변화에 대한 고찰, 지질학회지, 41, 499-510.
- 우경식, 김련, 지효선, 조경남, 2007, 김녕 부근 사구와 용천동굴·당처물동굴 내 탄산염 동굴생성물의 연관성 조사 보고서, 제주특별자치도, 43 p.
- 우도면연합청년회, 2010, 섬속의 섬 우도, 22 p.
- 우도지편찬위원회, 2007, 우도지. 우도편찬위원회, 954 p.
- 유강민, 우경식, 2007, 퇴적암의 이해, 한국학술정보, 563 p.
- 지효선, 우경식, 김련, 최돈원, 양동윤, 박병권, 2008, 제주도 구좌읍 김녕 일대에 분포하는 해안사구 퇴적물의 기원과 형성시기, 지질학회지, 44 (5), 615-628.
- Adey, W. H., 1966, Distribution of siccicolours crustose corallines in the northwestern North Atlantic. Jounal of Phycology, 2, 49-54.
- Adey, W. H., 1970, Some relationships between crustose coralline algae and their substrates. Science Islandica, 2, 21-25.
- Adey, W. H. and Adey, P. J., 1973, Studies on the biosystematics and ecology of the epilithic crustose corallines of the British Isles. British Phycological Journal, 8, 343-407.

- Andrus, C.F.T. and Crowe, D.E., 2000, Geochemical analysis of *Crassostrea virginica* as a method to determine season of capture. Archaeological Science, 27, 33–42.
- Bosellini, A. and Ginsburg, R. N., 1971, Form and internal structure of recent algal nodules (Rhodoliths) from Bermuda. Journal of Geology, 79, 669–682.
- Brenna, M., Cronin, S.J., Smith, I.E.M., Sohn, Y.K. and Nemeth, K., 2010. Mechanisms driving polymagmatic activity at a monogenetic volcano, Udo, Jeju Island, South Korea. Contribution to Mineralogy and Petrology, 160: 931–950.
- Brey, T. and Mackensen, A., 1997, Stable isotopes prove shell growth bands in the Antarctic bivalve *laternula elliptica* to be formed annually. Polar Biology, 17, 465–468.
- Carré, M., Bentaleb, I., Blamart, D., Ogle, N., Cardenas, F., Zevallos, S., Kalin, R.M., Ortlieb, L. and Fontugne, M., 2005, Stable isotopes and sclerochronology of the bivalve Mesodesma donacium: Potential application to Peruvian paleoceanographic reconstructions. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 228, 4–25.
- Chough, S.K. and Sohn, Y.K., 1990. Depositional mechanics and sequences of base surges, Songaksan tuff ring, Cheju Island, Korea. Sedimentology, 37: 1115–1135.
- Davis, L.G., 2001, A late Pleistocene to Holocene record of precipitation reflected in *Margaritifera falcata* shell $\delta^{18}\text{O}$ from three archaeological sites in the lower salmon river canyon, Idaho. Archaeological Science, 28, 291–303.
- Davies, P. J. and Marshall, J.F., 1986, Capricorn and Bunker Reefs, Southern Great Barrier Reef. 12th International Sedimentological Congress, Field Excursion Guide, 103 p.
- Davis, R.A. Jr., 1985. Coastal Sedimentary Environments. Springer-Verlag, New York, USA.
- Davis, R.A. Jr. and Fitzgerald, D.M., 2004. Beaches and Coasts. Blackwell, Oxford, UK.
- Elliot, M., Welsh, K., Chilcott, C., McCulloch, M., Chappell, J. and Ayling, B., 2009, Profiles of trace elements and stable isotopes derived from giant long-lived *Tridacna gigas* bivalves: Potential applications in paleoclimate studies. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 280, 132–142.
- Ferrucci, M., Pertusati, S., Sulpizio, R., Zanchetta, G., Pareschi, M.T. and Santacroce, R., 2005. Volcaniclastic debris flows at La Fossa Volcano (Vulcano Island, southern Italy): Insights for erosion behavior of loose pyroclastic material on steep slopes. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 145: 173–191.
- Ford, H.L., Schellenberg, S.A., Becker, B.J., Deutschman, H.L., Dyck, K.A. and Koch, P.L., 2010, Evaluating the skeletal chemistry of *Mytilus californianus* as a temperature proxy: Effects of microenvironment and ontogeny. Paleoceanography, 25, PA1203.
- Jackson, J.A., 1997. Glossary of Geology (4th ed.). American Geological Institute, Virginia, USA.

- Kim, K.H., Nagao, K., Tanaka, T., Sumino, H., Nakamura, T., Okuno, M., Lock, J.-B., Youn, J.S. and Song, J., 2005. He - Ar and Nd - Sr isotopic compositions of ultramafic xenoliths and host basalts from the Korean peninsula. *Geochemical Journal*, 39: 341–356.
- Koh, G.W., Park, J.B. and Park, Y.S., 2008. The study on geology and volcanism in Jeju Island (I): Petrochemistry and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ absolute ages of the subsurface volcanic rock cores from boreholes in the eastern lowland of Jeju Island. *Economic and Environmental Geology*, 41(1): 93–113 (in Korean with English abstract).
- Koh, J.-S., Yun, S.-H., Hyeon, G.-B., Lee, M.-W. and Gil, Y.-W., 2005. Petrology of the basalt in the Udo monogenetic volcano, Jeju Island. *Journal of Petrological Society of Korea*, 14: 45–60 (in Korean with English abstract).
- Nemeth, K. and Cronin, S.J., 2007. Syn- and post-eruptive erosion, gully formation, and morphological evolution of a tephra ring in tropical climate erupted in 1913 in West Ambrym, Vanuatu. *Geomorphology*, 86: 115–130.
- Prager, E.J. and Ginsburg, R. N., 1989. Carbonate nodule growth on Florida's outer shelf and its implications for fossil interpretations. *Palaios*, 4, 310–317.
- Schöne, B.R., Oschmann, W., Tanabe, K., Dettman, D., Fiebig, J., Houk, S.D. and Kanie, Y., 2004. Holocene seasonal environmental trends at Tokyo Bay, Japan, reconstructed from bivalve mollusk shells—implications for changes in the East Asian monsoon and latitudinal shifts of the Polar Front. *Quaternary Science Reviews*, 23, 1137–1150.
- Scoffin, T.P., Stoddart, D. R., Tudhope, A. W. and Woodroffe, C., 1985. Rhodoliths and coralliths of Muri Lagoon, Rarotonga, Cook Islands. *Coral Reefs*, 4, 71–80.
- Sohn, Y.K., 1996. Hydrovolcanic processes forming basaltic tuff rings and cones on Cheju Island, Korea. *Geological Society of America Bulletin*, 108: 1199–1211.
- Sohn, Y.K. and Chough, S.K., 1989. Depositional processes of the Suwolbong tuff ring, Cheju Island (Korea). *Sedimentology*, 36: 837–855.
- Sohn, Y.K. and Chough, S.K., 1992. The Ilchulbong tuff cone, Cheju Island, South Korea: depositional processes and evolution of an emergent, Surtseyan-type tuff cone. *Sedimentology*, 39: 523–544.
- Sohn, Y.K. and Chough, S.K., 1993. The Udo tuff cone, Cheju Island, South Korea: transformation of pyroclastic fall into debris fall and grain flow on a steep volcanic cone slope. *Sedimentology*, 40(3): 769–786.
- Sohn, Y.K. and Park, K.H., 2005. Composite tuff ring/cone complexes in Jeju Island, Korea: possible consequences of substrate collapse and vent migration. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 141: 157–175.

- Sohn, Y.K., Park, K.H. and Yoon, S.H., 2008. Primary versus secondary and subaerial versus submarine hydrovolcanic deposits in the subsurface of Jeju Island, Korea. *Sedimentology*, 55: 899–924.
- Sohn, Y.K., Park, J.B., Khim, B.K., Park, K.H. and Koh, G.W., 2002. Stratigraphy, petrochemistry and Quaternary depositional record of the Songaksan tuff ring, Jeju Island, Korea. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 119: 1–20.
- Sohn, Y.K., WOO, K.S., Kwon, C.W., Kim, R. and Jeon, Y.M., 2009. Geoheritages and geomonitoring with special reference to Jeju Island. *Journal of the Geological Society of Korea*, 45: 751–770 (in Korean with English abstract).
- Stephens, M., Matthey, D., Gilbertson, D.D. and Murray-Wallace, C.V., 2008. Shell-gathering from mangroves and the seasonality of the Southeast Asian monsoon using high-resolution stable isotopic analysis of the tropical estuarine bivalve (*Geloina erosa*) from the Great Cave of Niah, Sarawak: methods and reconnaissance of molluscs of early Holocene and modern times. *Journal of Archaeological Science*, 35, 2686–2697.
- Tatsumi, Y., Shukuno, H., Yoshikawa, M., Chang, Q., Sato, K. and Lee, M.W., 2005. The petrology and geochemistry of volcanic rocks on Jeju Island: Plume magmatism along the Asian continental margin. *Journal of Petrology*, 46: 523–553.
- Tsuji, Y., Sunouchi, H., Yamamura, T., Kodato, T., Yuki, T. and Lwanoto, H., 1989. Present-day carbonate sediments and their depositional environments, western offshore Miyako Island, Ryukyus. *Earth Mounthly (Chikyu)*, 11, 612–617.
- Yoo, H.J., Herrmann, R.B. and Cho, K.H., 2007. Imaging the threedimensional crust of the Korean Peninsula by joint inversion of surface-wave dispersion and teleseismic receiver functions. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 97(3): 1002–1011.

국토지리정보원 <http://www.ngi.go.kr/index.do>

제주시 우도면 <http://www.jejesi.go.kr/contents/index.php?mid=61>

제주시 종합자료센터 <http://jejudb.jejesi.go.kr/>

제주올레 <https://www.jejuolle.org>

제주지방기상청 <http://web.kma.go.kr/aboutkma/intro/jeju/index.jsp>

제주특별자치도관광정보 <http://www.jejutour.go.kr/>

제주특별자치도관광협회 <http://www.hijeju.or.kr/korea/main.html>

제주특별자치도 cyber 주민자치센터 <http://jumin.jeju.go.kr/>

제8장 총괄첨부서류