TSPE15030-034-12

다산기지주변 후기 고생대 고착성 생물의 고생태

Paleoecology of Late Paleozoic sessile organisms around the Dasan Station

KOPRI
극지연구소

고려대학교 산학협력단

제 출 문

극지연구소장 귀하

본 보고서를 “ 다산과학기지 기반 지질-대기-생태 환경변화 연구에 관한 연구”과제의 위탁연구“다산기지주변 후기 고생대 고착성 생물의 고생태에 관한 연구”과제의 최종보고서로 제출합니다.

2016. 01. 31.

(본과제) 총괄연구책임자 : 이 유 경

위탁연구기관명 : 고려대학교 산학협력단

위탁연구책임자 : 조 석 주

위탁참여연구원 : 이 동 진

“ : 홍 종 선

“ : 이 미 리 내

“ : 김 나 경

“ : 전 주 완

보고서 초록

위탁연구과제명	다산기지주변 후기 고생대 고착성 생물의 고생태				
위탁연구책임자	조 석 주	해당단계 참여연구원수	5	해당단계 연구비	30,000,000
연구기관명 및 소속부서명	고려대학교 지구환경과학과		참여기업명		
국제공동연구	상대국명 :		상대국연구기관명 :		
요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자이내)				보고서 면수	

극지연구소 북극 다산기지 인근의 후기고생대 탄산염암으로 이루어진 Wordiekammen층에서 석탄기 후기부터 페름기 중기에 판게아 초대륙의 북서부에서 생물초를 형성하던 분류미상의 Palaeoaplysina가 생물초를 형성한 퇴적학적 기작을 야외 지질조사, slab분석, 박편 정밀기재를 통하여 해석하였다. 이러한 다산기지 인근 석탄기 탄산염층의 퇴적학적 연구는 앞으로 우리나라에서 지금까지 미진하였던 고생대 중후기 탄산염층의 퇴적학적 연구에 새로운 방향을 제시할 수 있을 것으로 기대된다.

KOPRI 극지연구소

색 인 어 (각 5개 이상)	한 글	다산기지, 석탄기, 탄산염암, 생물초, 팔레오아플리시나,
	영 어	Dasan station, Carboniferous, carbonates, reef, Palaeoaplysina

요 약 문

Ⅰ. 제 목

다산기지주변 후기 고생대 고착성 생물의 고생태

Ⅱ. 연구개발의 목적 및 필요성

각 지질시대마다 독특한 저서 고착성 생물들의 상호 작용으로 형성되는 생물초의 각 구성원의 종류와 이들의 퇴적학적 역할, 그리고 퇴적환경과 생물 사이의 상호작용에 대한 이해는 과거 지질시대 당시의 환경변화 및 고생태 이해를 위한 정보를 제공할 수 있다. 따라서 고착성 생물의 고생태와 이들이 생물초를 생성하는 과정을 연구하는 것은 탄산염 퇴적체의 형성 과정의 이해 및 고환경의 복원과 해석에 있어 매우 중요하다.

석탄기 후기 Scheteligfjellet층의 상부에 놓이는 Wordiekammen층에서 아직까지 그 생물학적 분류가 불명확한 *Palaeoaplysina*라는 석회질 조류로 이루어진 생물초가 발견되었다. 지금까지 이러한 석회질 조류가 형성한 생물초는 주로 석탄기 후기~페름기 중기에 걸쳐 판게아 초대륙의 서쪽 경계에 분포하였던 것으로 알려졌다. 그러나 *Palaeoaplysina*가 어떠한 과정을 통하여 생물초를 만들었는지에 대해서는 아직까지 분명하게 밝혀지지 않았다. 본 연구에서는 이러한 생물초가 어떠한 과정을 거쳐 형성되었는지 밝히고 스피츠베르겐 섬의 후기 고생대 고환경 및 고생태를 종합적으로 해석하는데 도움을 주고자 한다.

Ⅲ. 연구개발의 내용 및 범위

Scheteligfjellet층의 상부에 놓이는 Wordiekammen층에서 아직까지 그 생물학적 분류가 불명확한 석회질 조류의 일종인 *Palaeoaplysina*로 주로 이루어진 생물초를 발견하였다. 지금까지 이러한 석회질 조류가 형성한 생물초는 주로 석탄기 후기~페름기 중기에 걸쳐 판게아

초대륙의 서쪽 경계에 분포하였던 것으로 알려졌다 (Kiessling et al., 1999). 이러한 *Palaeoaplysina*는 지금까지 주로 생물초 내부, flank부분, 그리고 생물초 주변부에서 그 파편이 흩어진 형태로 보고된 것이 대부분이며, 궁극적으로 *Palaeoaplysina*가 어떠한 퇴적학적 과정을 통하여 생물초를 만들었는지에 대해서는 아직까지 분명하게 밝혀지지 않았다 (Watkins and Wilson, 1989; Wahlman, 2002). 이러한 탄산염암의 구성원 중 다수는 그 크기가 매우 작아 야외에서 구별하기 어렵거나 또는 그 몸체의 내부 구조를 야외에서 관찰하기 어려운 점이 많아 이들을 야외에서 확대경으로 관찰하는 것만으로는 해석이 어려운 경우가 많다. 생물초 및 주변의 환경 변화를 해석하기 위하여 야외 정밀관찰과 층리면에 수직하게 약 20-30센티미터 간격으로 박편으로 제작하여 이를 바탕으로 주변 퇴적상 및 미세퇴적상 분석을 수행하였다. 이러한 분석 자료를 중합하여 생물초의 형성과 주변 퇴적환경과의 상호관계를 해석하여 후기 고생대 탄산염 퇴적체의 퇴적학적 및 고생태학적 이해를 증진시키고자 한다.

Ⅳ. 연구개발결과

Wordiekammen층의 Palaeoaplysina algal mound boundstone의 초기 분석 결과는 석탄기 후기부터 페름기 초기의 초대륙 판게아의 북서부에만 분포했었던 분퓨미상의 판상 생물인 Palaeoaplysina가 (Wray, 1977) 기존의 통념보다 퇴적면을 encrusting하는 성질이 있음을 강하게 지시하고 있다. 1차년도에는 Palaeoaplysina의 2차원적인 분포양상에 초점을 맞추어 기재와 해석이 진행되었으며, 현재 이 자료를 바탕으로 Palaeoaplysina가 다른 석탄기의 생물들과 공존하고 공생하는지에 대한 현미퇴적상 분석이 진행되고 있다.

KOPRI 극지연구소

Ⅴ. 연구개발결과의 활용계획

데본기 후기의 대량 멸종사건 이후 후기 고생대는 생물 다양성의 관점에서 보면 중생대부터 오늘날까지 이어져 온 현생 생물군으로 진화하기 직전의 시기로, 특히 중기 석탄기-후기 페름기 동안 번성한 석회질 조류 및 저서 고착성 후생동물들에 의한 생물초는 중생대 및 오늘날의 지구 시스템 형성을 이해하기 위해 매우 중요하다. 후기 고생대 *Paleoaplysina*에 대한 연구는 다산기지가 위치한 스피츠베르겐 섬의 고환경 및 지질 특성을 이해를 돕고 우리나라 강원도 태백 지역 일대의 평안 누층군 밤치층과 비교하여 아직까지 국내 학계에서 이해가 부족한 후기 고생대의 고환경 변화를 이해하는데 도움이 될 것이다. 이러한 결과는 나아가 저서 고착형 생물의 생장 과정, 퇴적 환경, 그리고 이러한 생물들의 퇴적학적 역할에 대한 이해를 증진하는 데 기여할 것으로 기대된다. 또한 *Paleoaplysina* 생물초는 속성작용을 거치면서 높은 공극률을 발달시킬 수 있어 석유의 저류암으로 작용할 수 있기 때문에 현재 북해, 바렌트해, 러시아 등지에서 상업적으로 석유를 생산하고 있다. 따라서 후기 고생대 탄산염암

층에서 석유를 생산할 수 있는 잠재적 저류암의 이해를 통하여 향후 해외 자원개발의 현장에서 동시대 지층의 경제적 가치를 재평가할 수 있는 노하우를 국내 연구진이 보유할 수 있다는 점에서 이 연구는 경제적인 측면에서 잠재적으로 우리나라에 큰 도움이 될 가능성이 있다고 사료된다.

KOPRI
극지연구소

S U M M A R Y

I. Title

Paleoecology of Late Paleozoic sessile organisms around the Dasan Station.

II. Purpose and Necessity of R&D

Late Paleozoic problematica Palaeoaplysina and reefs mainly formed be aggregation of them is analyzed in order to provide their sedimentologic role during the initiation and growth of reef structure.

III. Contents and Extent of R&D

Samples containing Palaeoaplysina obtained during 2014 field excursion are analyzed by mapping out large slabs and matching sets of thin sections.

IV. R&D Results

In addition to previously known type of reef aggregation by Palaeoaplysina, we identified additional type of their contribution toward “algal” reef growth: by multiple encrustations of Palaeoaplysina to form thicket of Palaeoaplysina up to several centimeter thick. Such thick band of Palaeoaplysina is repeatedly accreted upward as well as laterally to form lenticular body of Palaeoaplysina reef.

V. Application Plans of R&D Results

The current result is considered as an additional type of reef aggregation by Palaeoaplysina. The next round of investigation will be focused on the interrelationship between Palaeoaplysina and other constituents of the reef, including phylloid algae and other sessile components.

KOPRI 극지연구소

목 차

제 1 장 서론

제 2 장 국내외 기술개발 현황

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제 4장 연구개발목표 달성도 및 대외기여도

제 5 장 연구개발결과의 활용계획

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

제 7 장 참고문헌

KOPRI 극지연구소

본 문

제 1 장 서론

후기고생대 당시 오늘날의 북극 다산기지가 위치한 스발바드와 북극해 일대는 고생대 말부터 전 세계 판들의 충돌로 형성된 초대륙 판게아 북반구의 중북부의 온대 및 한대 지역에 위치했었다 (Anderson and Beauchamp, 2014). 이러한 당시 판게아 초대륙의 북부에는 천해환경에서 퇴적된 지층들이 널리 분포하고 있다. 석탄기와 페름기로 구성된 후기고생대는 오르도비스기 및 데본기 말기에 있었던 전 세계적 규모의 대량멸종(mass extinction)이 있은 후의 시기로, 현생이언이 시작된 이래 생물초가 후생동물(metazoan)이 아닌 석회질 미생물과 석회질 조류등으로 주로 구성되는 매우 특이한 시기였다. 그러나 지금까지 우리나라의 석탄기 지층에 대한 퇴적학 및 고생태학적인 연구는 석탄기 퇴적층이 매우 드물게 분포하는 한반도의 지질특성에 의하여 제한되었기 때문에 연구진의 숫자, 연구의 깊이나 그 성과가 상대적으로 미미했었다.

KOPRI 극지연구소

본 연구는 지난 2002년 스발바드에 극지연구소 다산과학기지가 설립된 이래 지금까지 현생 환경 및 생태변화에 대하여 다양한 관점에서 진행된 극지연구소의 연구 방향에 지질학적 고환경 및 고생태 분석이라는 방향을 추가로 도입하여 다산기지 인근에 노출되어 있는 고생대 후기 퇴적층이 형성될 당시의 고환경과 고생태가 어떠한 방향으로 변화하였었는지를 암석에 저장된 퇴적학적 및 고생물학적 정보를 중합하여 복원하는 것에 초점이 맞추어져 있다. 일반적으로 퇴적상(sedimentary facies)은 특정 공통형질을 공유하는 퇴적암들을 총칭하는 것으로, 이러한 형질에는 퇴적암을 구성하는 입자의 입도, 형태, 밀도, 퇴적구조, 화석 등 다양한 기재 및 분석대상이 포함된다. 따라서 특정 퇴적상의 생성 과정을 이해하여 당시 이러한 퇴적물이 어떠한 퇴적 조건 또는 환경 하에서 퇴적되었는지 해석할 수 있으며, 이를 바탕으로 거시적 그리고 미시적으로 퇴적층 생성 당시의 고환경을 재구성할 수 있다.

특히 퇴적암 중 탄산염암은 무척추 생물과 관련이 깊은데, 이는 탄산염암을 구성하는 입자 중 상당 부분이 생물의 유해로 구성되며, 특히 각 지질시대별로 특정 생물들이 진화와 멸종을 거듭하여 각 시대별로 그 구성이 달라지기 때문에 특정 시대의 탄산염암은 다른 지질시대에

형성된 탄산염암과는 그 주 구성 입자를 근거로 쉽게 구분이 가능하다. 후기고생대는 데본기 말기의 대량 멸종사건 이후 급격한 진화와 방산의 결과로 생물상이 급변하던 시기로, 이렇게 급하게 진화하는 무척추 생물군이 층서 및 퇴적기록에 어떻게 영향을 주고 또한 암석에 기록되었는지를 포괄적으로 이해하는 것은 아직 초보 단계이다. 후기고생대의 퇴적상은 그 이전이나 그 이후와는 확연하게 구별되는 특징을 보이며, 이러한 후기고생대에 특징적으로 나타나는 퇴적기록을 이해하여 당시의 환경변화 양상과 생물들이 이러한 환경변화에 어떻게 적응하였는지를 알아낼 수 있다.

무척추 생물은 탄산염을 구성하는 주요 입자의 생산자로 탄산염암의 형성에 영향을 미친다. 특히 생물이 형성하는 특징적인 탄산염암 구조 중 오늘날 열대지방의 천해에서 수 많은 산호들이 서로 엉겨 붙어 형성하는 산호초(coral reef)와 같이 해저면 에서 돌출한 구조를 생물초(reef)라 한다. 이러한 생물초는 특히 현생이언에 계속된 생물의 진화와 멸종에 민감하게 반응하기 때문에 이러한 독특한 생물학적 퇴적구조에 대한 퇴적학 및 고생태학적 연구는 후기고생대 당시 지구의 환경과 환경변화에 대한 이해를 위하여 반드시 필요하다 (James and Wood, 2010). 본 위탁과제는 본과제의 연구 목표 중 하나인 “스피츠베르겐섬의 고환경 특성 규명”을 달성하기 위해 다산기지 인근의 후기고생대 Schteligfjellet 및 Wordiekammen층의 탄산염암에서 2014년 야외지질조사를 통하여 발견된 생물초를 주 대상으로 한다.

KOPRI 극지연구소

제 2 장 국내외 기술개발 현황

탄산염 퇴적암의 퇴적상에 대한 연구는 18세기에 유럽에서 처음으로 시도되었다. 20세기 중반까지 탄산염 퇴적상의 연구는 주로 북미와 유럽에서 주도적으로 이루어졌다. 20세기 중-후반의 냉전 기간 동안 러시아에서 주로 전기 캄브리아기에 집중되어 일부 연구가 진행되었으나 그 연구 결과도 주로 러시아어로 발표되어 국제적으로 제대로 평가가 이루어지지 못하였다. 냉전 종식 후 1990년대부터 탄산염 퇴적층에 대한 현대적인 관점에서의 연구가 이루어지기 시작했으며, 25년이 지난 현 시점에는 새롭게 보고된 다양한 연구 결과들을 바탕으로 기존 통념들을 수정하는 단계에 있다. 그러나 아직 기존에 심층적 연구가 진행되었던 북미 및 유럽에 비해 스발바드와 북극해 일대에 대한 우리나라의 지질학적 연구는 그 숫자와 깊이에서 선진국에 비해 모두 많이 부족하여 향후 다양한 연구들이 다각도로 진행되어야 할 것이다.

최근 중국에서 기초과학인 지질과학 연구에 많은 예산을 투입하여 다양한 연구가 이루어지고 있는 점은 눈 여겨 볼만하다. 그러나 아직 이러한 연구들의 대부분이 1950년대부터 1980년대에 거시적 관점에서 암석을 관찰, 기재 및 해석하는데 집중되어 있어, 아직 미시적 관점에서 탄산염암을 세밀하게 관찰, 기재, 해석하여 수행하는 연구는 드물다. 또한 다른 지질시대에 비해 후기고생대 퇴적암체에 대한 연구는 최근 현대적 관점의 후속 연구가 활발하지 않아 아직 심도 있는 포괄적인 이해가 부족한 상황이다.

KOPRI 극지연구소

지금까지 다산기지가 위치한 스발바드섬에 대한 기초 지질조사 및 층서학적 연구는 유럽 과학자들에 의하여 정리되어 왔다. 그러나 각 암층서 단위에서 특징적으로 산출되는 화석을 기반으로 한 고환경 변화 연구는 아직 초보단계에 머물러 있다. 한편 다산기지 인근의 석탄기 및 페름기 지층과 대비되는 우리나라 영월 및 평창 일대에 분포하는 평안누층군 밤치층의 탄산염암에 대한 연구가 거의 전무한 상태로, 2차년도에는 스발바드섬 및 강원도 밤치층의 퇴적상, 고환경 및 고생태 비교를 통한 연구 진행도 가능할 것으로 기대된다.

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

다산기지 서쪽에 발달하는 후기고생대 퇴적층인 Broggertingden, Schteligfjellet, 그리고

Wordiekammen층 중 Schteligfjellet과 Wordiekammen층은 상당부분이 탄산염암으로 구성되어 있다 (그림 1A). 이러한 탄산염 퇴적체의 고환경 및 고생태를 이해하기 위해서는 탄산염 퇴적체 내에 저서성 고착형 생물들이 형성한 독특한 퇴적구조인 생물초에 대한 연구가 필연적이다. 2014년 8월에 진행된 현장조사를 통해 중기 펜실베니안(석탄기 후기)에 퇴적된 Scheteligfjellet층 하부에서 주로 산호로 이루어진 생물초를, 그리고 그 상위에 놓이는 후기 펜실베니안(석탄기 후기)에 퇴적된 Scheteligfjellet층의 상부에 놓이는 Wordiekammen층에서 아직까지 그 생물학적 분류가 불명확한 석회질 조류의 일종인 *Palaeoaplysina*로 주로 이루어진 생물초를 발견하였다. 지금까지 이러한 석회질 조류가 형성한 생물초는 주로 석탄기 후기~페름기 중기에 걸쳐 판게아 초대륙의 서쪽 경계에 분포하였던 것으로 알려졌다 (Kiessling et al., 1999). 이러한 *Palaeoaplysina*는 지금까지 주로 생물초 내부, flank부분, 그리고 생물초 주변부에서 그 파편이 흩어진 형태로 보고된 것이 대부분이며, 궁극적으로 *Palaeoaplysina*가 어떠한 퇴적학적 과정을 통하여 생물초를 만들었는지에 대해서는 아직까지 분명하게 밝혀지지 않았다 (Watkins and Wilson, 1989; Wahlman, 2002).

2014년의 다산기지 주변의 지질조사를 통해 발견된 고착형 저서성 고생물의 고생태를 분석하기 위하여 많은 양의 고착성 생물과 생물초 시료가 채취되었다 (그림 1B). 2014년 말에 국내로 반입된 시료들을 대상으로 2015년 5월부터 고려대학교와 안동대학교 실험실에서 암석 시료들을 정밀 가공하여 두께 약 30μm의 박편으로 제작하는 과정을 진행하였으며, 이렇게 준비된 박편을 편광/실체현미경으로 관찰에 기반을 둔 미세 퇴적상 분석(microfacies analysis)을 시행하여 어떠한 종류의 고착성 고생물들이 야외에서 관찰된 생물초를 어떠한 과정을 거쳐 형성하였는지를 기재하는 작업을 진행하였다. 시료의 슬랩면에서 생물초 구성원의 2차원적 분포를 육안과 실체현미경으로 관찰하고 (그림1C), 육안으로는 관찰하기 어려운 생물초 내부 구조 및 구성원의 분포를 현미경에서 확인하여 기재하기 위하여 슬랩면 전체를 여러 개의 대형 박편으로 제작하여 기재하는 작업도 진행되었다 (그림 1D). 자료의 기재를 바탕으로 생물초 구성 생물들의 분포와 그 생장 양식을 재구성할 수 있을 뿐 아니라 생물초 내부에서 지금까지 파악되지 않았던 수 밀리미터 규모 이하의 작은 구성원들까지 기재할 수 있다. 생물초 주변의 환경 변화를 해석하기 위하여 층리면에 수직하게 약 20-30센티미터 간격으로 박편으로 제작하여 이를 바탕으로 미세퇴적상 분석을 수행하였다. 이러한 자료를 바탕으로 고착성 고생물의 고생태와 퇴적학적 역할을 규명하며, 이를 바탕으로 당시 스발바드섬의 고환경 및 고생태를 종합적으

로 해석하는데 기여할 것이다.

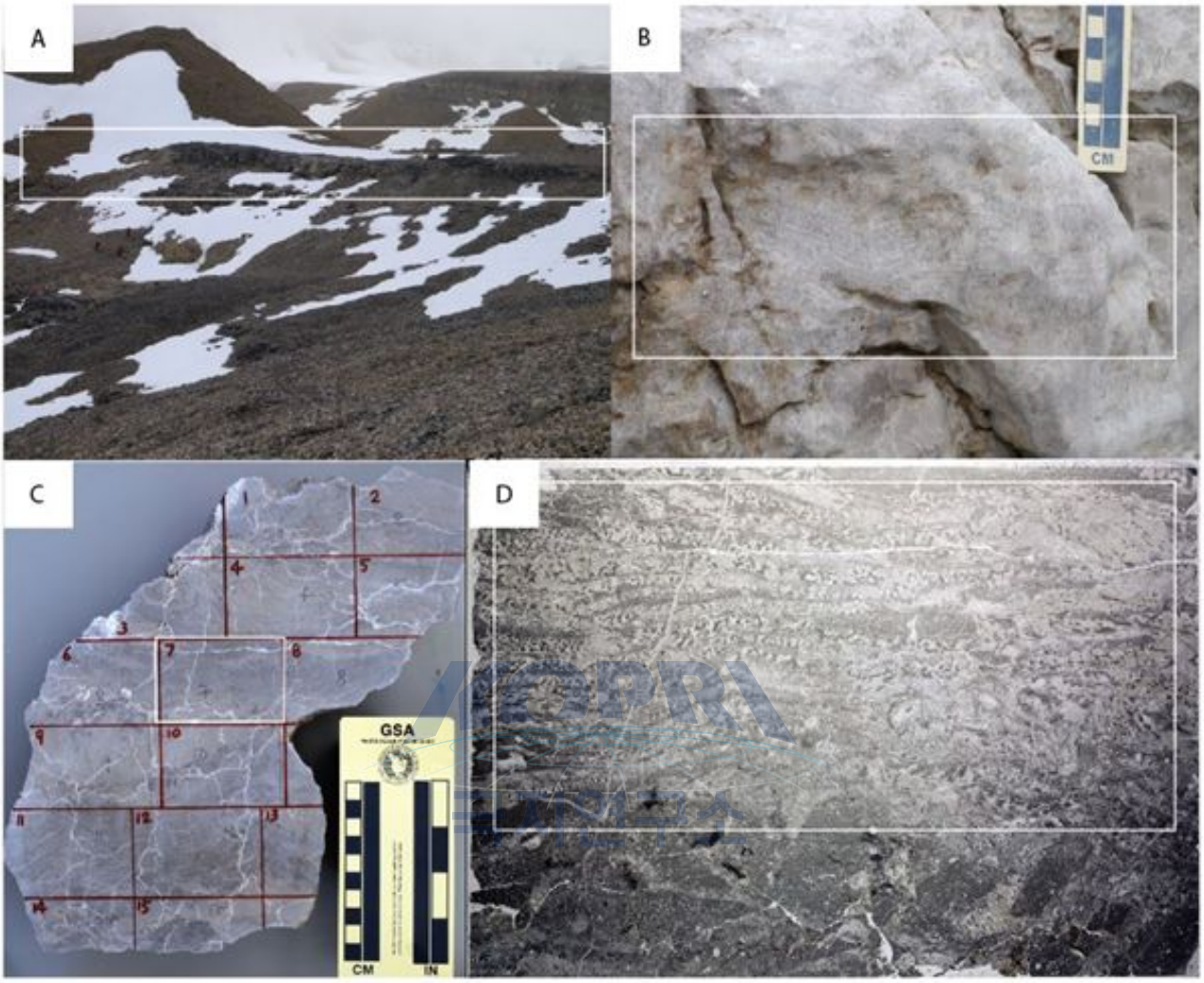

그림 1. A. 다산기지가 위치한 Ny-Alesund로부터 북서쪽 약 5.5 km 지점에서 남서쪽으로 올려다본 Wordiekammen층의 algal mound를 흰색 사각형으로 나타냈음. B. A에 발달한 algal mound의 노두 모습. 흰색 사각형은 판상의 생물초 구성 생물이 잘 보존된 부분을 보여준다. 이렇게 Algal mound를 구성하는 판상의 생물을 야외에서 인지하고 샘플하였다. C. B에서 채취한 샘플을 현미퇴적상 분석을 위하여 정밀 절단한 모습. D. C의 각 사각형 부분에 해당하는 대형 박편을 제작하여 투과광으로 관찰하여 기재하였다. C의 7번에 해당하는 부분의 현미경 사진으로 Palaeoaplysina라는 분류미상의 생물이 겹겹이 쌓여서 생물초 암석을 형성하고 있다.

이 연구는 통상적으로 사용되는 정밀 야외조사에 덧붙여 탄산염암의 미시적인 연구를 위한 현미퇴적상 분석(microfacies analysis)를 주 연구 방법으로 적용하였다. 특히 과거에는 통상 2.5 x 5 cm 크기의 암석 박편으로 관찰을 하였으나, 최근 5 x 7.5 cm 크기의 대형 박편을 이

용하여 과거 소형 박편에서는 인지하기 어려웠던 상대적으로 큰 규모의 퇴적 구조들을 인식하는 방법이 사용되고 있다. 또한 더 큰 퇴적구조를 관찰하고 기재하기 위하여 큰 박편을 여러 개 연이어 제작하는 방법도 사용되고 있다. 한편, 박편으로는 2차원적인 구조만을 관찰할 수 있는 단점을 극복하기 위하여 최근에는 연속편의 제작을 통하여 하나의 샘플에서 수십에서 수백 개의 박편을 연이어 제작하여, 박편관찰을 바탕으로 3차원적 구조를 재구성하는 방법도 적용될 예정이다. 상기한 대형 박편 및 연속편 제작을 기반으로 하여 과거 단순 야외조사 및 소형 박편 관찰로 인지하기 어려웠던 새로운 형태의 탄산염 퇴적 구조를 관찰 및 기재하여 이를 바탕으로 새로운 후기고생대 탄산염암의 생성 기작을 밝히는 기여할 것으로 기대된다.

미세퇴적상 분석(microfacies analysis)은 정밀한 야외관찰을 기반으로 선별된 암석에 대한 박편(필요시 연속편)을 퇴적학적 및 고생물학적인 요소를 종합적으로 고려하여 관찰 및 기재하여 탄산염암을 해석하는 방법이다 (Flugel, 2004). 탄산염암의 경우 쇄설성 퇴적암과는 다르게 상당량의 퇴적물이 생물에 의해 생성되며 이들 퇴적물의 구성원을 알아야 탄산염암의 생성과정을 이해할 수 있다. 이러한 탄산염암의 구성원 중 다수는 그 크기가 매우 작아 야외에서 구별하기 어렵거나 또는 그 몸체의 내부 구조를 야외에서 관찰하기 어려운 점이 많아 이들을 야외에서 확대경으로 관찰하는 것만으로는 해석이 어려운 경우가 많다. 탄산염암에 대해 미세 퇴적상 분석을 시행하여 야외에서 관찰과 해석이 불가능한 부분을 실험실에서 보완할 수 있으므로 탄산염암에서 그 구성 입자, 퇴적 환경, 속성 작용 등 다양한 자료를 추출하고 해석할 수 있다. 야외에서 채취된 샘플은 고려대학교 퇴적암연구실과 안동대학교 고생물학 연구실의 Hillquist 박편 제작기를 이용하여 5.2 x 7.6cm 크기의 대형 박편과 2.7 x 4.9cm 크기의 일반 박편으로 제작하였다. 준비된 박편들을 실체 편광현미경으로 관찰하여 생물초를 구성하는 생물의 종류, 생물초 내 여러 생물들 사이의 관계 등 생물초의 조직적 특성에 관한 연구를 실시하며, 아울러 생물초 주변의 퇴적상도 미세 퇴적상 분석을 통하여 생물초가 생성될 당시의 퇴적 환경의 해석도 병행하였다.

지금까지 Wordiekammen층의 Palaeoaplysina algal mound boundstone의 초기 분석 결과는 석탄기 후기부터 페름기 초기의 초대륙 판게아의 북서부에만 분포했었던 분퓨미상의 판상 생물인 Palaeoaplysina가 (Wray, 1977; Anderson and Beauchamp, 2014) 기존의 통념보다 퇴적면을 encrusting하는 성질이 있음을 강하게 지시하고 있다 (그림 1C, D). 1차년도에는

Palaeoaplysina의 2차원적인 분포양상에 초점을 맞추어 기재와 해석이 진행되었으며, 현재 이 자료를 바탕으로 Palaeoaplysina가 다른 석탄기의 생물들과 공존하고 공생하는지에 대한 현미퇴적상 분석이 진행되고 있다.

KOPRI
극지연구소

제 4장 연구개발목표 달성도 및 대외기여도

스발바드섬 극지연구소 다산과학기지 서쪽에 발달하는 후기고생대 Wordiekammen층에서

2014년 8월 야외조사 중 발견된 석회질 조류 Palaeoaplysina로 이루어진 생물초는 지금까지 석탄기 후기부터 페름기 중기에 판게아 초대륙의 서쪽 경계에서만 분포하였던 것으로 알려져 있다 (Davies and Nassichuk, 1973). 생물학적 분류미상의 Palaeoaplysina가 어떠한 퇴적학적 역할을 통하여 생물초를 형성하였는지에 대하여 아직 분명하게 밝혀진 바가 없기 때문에 이러한 석회질 조류 생물초가 형성되는 퇴적환경을 이해하기 위하여 석회질 조류 생물초 상하위층의 퇴적상을 분석하였으며, 30μm 두께로 정밀 가공된 생물초 박편 샘플로 생물초 boundstone의 미세 퇴적상 분석(microfacies analysis)을 실시하였다. 1차년도의 목표였던 Paleoaplysina 생물초의 발달 특성 및 고생태 규명을 위하여 야외 지질조사 기초자료 및 생물초 geometry를 정리하고, 후기고생대 Wordiekammen층의 퇴적환경을 분석하였으며, 또한 Paleoaplysina 생물초의 고생태 규명하기 위하여 Paleoaplysina에 대한 기초 문헌조사 및 정리, 그리고 Paleoaplysina boundstone의 현미퇴적상(microfacies) 분석을 실시하였다. 1차년도 연구를 통하여 획득한 자료를 바탕으로 2016년 춘계 지질과학 공동학술대회에서 결과를 발표하고 이를 2016년 상반기에 SCI(E)급 학술지에 논문을 투고할 예정이다.

KOPRI
극지연구소

제 5 장 연구개발결과의 활용계획

전기고생대 이후 본격적으로 발달하던 고생대 생물 및 탄산염 퇴적계는 데본기 후기의 대량 멸종사건(Frasnian-Famennian mass extinction) 이후 급격히 쇠락하였다. 이 사건 직후부터 시작된 후기고생대는 생물 다양성의 관점에서 보면 중생대 트라이아스기부터 오늘날까지 이어져 온 현생 생물군으로 진화하기 직전의 시기로, 특히 중기 석탄기-후기 페름기 동안 번성한 석회질 조류 및 저서 고착성 후생동물들에 의한 생물초는 중생대 및 오늘날의 지구 시스템 형성을 이해하기 위해 매우 중요하다.

스발바드 섬에는 지질학적으로 중요한 연구가 수행될 곳이 다수 있음에도 불구하고 최근 우리나라 극지연구소의 다산기지가 건설되기 전까지는 국내 연구자들의 접근이 원천적으로 어려웠고, 또한 야외조사 수행이 어려운 환경 때문에 유럽 국가들과 비교하여 지금까지 우리나라 연구자들에 의하여 제대로 연구될 수 있는 기회가 거의 없었다. 지난 10여년간 국내 연구진에 의하여 꾸준하게 진행된 우리나라와 동아시아 인근 지역의 전기 고생대 고착성 생물과 생물초의 연구를 통하여 (Hong et al., 2012; Kwon et al., 2012; Choh et al., 2013; Hong et al., 2014; Lee et al., 2014a; Lee et al., 2014b; Hong et al., 2015; Oh et al., 2015; Park et al., 2015) 축적된 연구방법론과 연구 인력을 활용하여 후기고생대 *Paleoaplysina* 및 산호 생물초에 대한 연구는 국내에서 처음으로 시도되는 것이며, 저서 고착형 생물의 생장 과정, 퇴적 환경, 그리고 이러한 생물들의 퇴적학적 역할에 대한 이해를 증진하는 데 기여할 것이다. 또한 스피츠베르겐 섬에서 나타나는 후기 고생대 탄산염암의 생성 환경을 바탕으로 한반도에 분포하는 동시기 탄산염암에 대한 이해도 크게 증진시킬 수 있으리라 기대된다. 강원도 태백 지역 일대의 태백산분지에는 석탄기-트라이아스기에 퇴적된 평안누층군이 노출되어 있으나, 이들은 거의 대부분 쇄설성 퇴적암으로 이루어져 있다. 이 시대의 지층들 중 주로 탄산염암으로 이루어진 퇴적층은 영월 일대에 분포하는 밤치층이 유일하나 스러스트 역단층에 의하여 제한적으로 노출되어 있는 밤치층은 아직까지 현대적 관점에서 퇴적학 및 고생물학적 조사가 이루어지지 않았다. 향후 밤치층에 대한 지질학적 연구를 스피츠베르겐 섬에서 얻어지는 결과와 비교하여 진행하면 이는 아직까지 국내 학계에서 이해가 부족한 후기 고생대의 고환경 변화를 이해하는데 도움이 될 것이다.

KOPRI 극지연구소

이 연구에서 주로 다루는 산호류와 *Paleoaplysina*는 석탄기-페름기 시대에 주로 생물초를 형성하는 주요 생물초 구성원으로, 이들의 퇴적학적 및 고생태학적 의의를 이해하면 당시 탄산염 대지에 이러한 생물초가 어떻게 분포하였는지를 유추하는데 큰 도움이 될 수 있다. 특히 *Paleoaplysina* 생물초는 속성작용을 거치면서 높은 공극률을 발달할 수 있기 때문에 석유의 저류암으로 작용할 수 있기 때문에 현재 북해, 바렌트해, 러시아 등지에서 상업적으로 석유를 생산하고 있다. 따라서 후기 고생대 탄산염암층에서 석유를 생산할 수 있는 잠재적 저류암의 이해를 통하여 향후 해외 자원개발의 현장에서 동시대 지층의 경제적 가치를 재평가할 수 있는 노하우를 국내 연구진이 보유할 수 있다는 점에서 이 연구는 경제적인 측면에서 잠재적으로 우리나라에 큰 도움이 될 가능성이 있다고 사료된다. 또한 이 과제에 참여하는 연구원들은 야외지질조사, 실험실에서 암석의 정밀 가공과 분석, 그리고 자료 처리 등을 수행하면서 단순 연구 보조원이 아니라 학술연구의 능동적 주체로 성장할 수 있는 기회를 가질 수 있을 것이다. 이를 위하여 석사 및 박사과정 학생들의 연구주제를 본 과제와 연계시키고 재정적 지원을 통하여 연구에 대한 참여의식을 높여 능동적으로 창의적으로 연구에 참여하도록 유도하여 장차 우수한 연구역량을 지닌 차세대 신진 연구 인력의 양성을 도모할 것이다. 이 과제를 수행하며 양성된 연구 인력은 순수 지질과학 연구뿐만 아니라 석유와 천연가스 등 화석연료와 탄산염분지에 수반되는 증발암 등과 같은 생물 기원 탄산염 퇴적체에서 생산될 수 있는 에너지 및 광물자원의 탐사와 분야로도 진출할 수 있을 것으로 기대된다.

KOPRI 극지연구소

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

특이사항 없음.

KOPRI
극지연구소

제 7 장 참고문헌

Anderson and Beauchamp, 2014, Paleobiology and paleoecology of Palaeoaplysina and Eopalaeoaplysina new genus in Arctic Canada: Journal of Paleontology, 88, 1056-1071.

Beauchamp et al., 1989, Upper Paleozoic stratigraphy and basin analysis of the Sverdrup Basin, Canadian Arctic Archipelago. Part 1: Time frame and tectonic evolution, p. 105.113. In Current Research, Part G, Geological Survey of Canada Paper 89.1G.

Choh, S.-J., Hong, J., Sun, N., Kwon, S.-W., Park, T.-Y., Woo, J., Kwon, Y.K., Lee, D.-C., Lee, D.-J., 2013. Early Ordovician reefs from the Taebaek Group, Korea: constituents, types, and geological implications. Geosciences Journal 17, 139-149.

Davies and Nassichuk, 1973, The Hydrozoan? Palaeoaplysina from the upper Paleozoic of Ellesmere Island, Arctic Canada. Journal of Paleontology, 47:251 - 265.

Flugel, 2004, Microfacies of carbonate rocks, analysis, interpretation and application. Springer, Berlin.

Hong, J., Cho, S.-H., Choh, S.-J., Woo, J., Lee, D.-J., 2012. Middle Cambrian siliceous sponge-calcimicrobe buildups (Daegi Formation, Korea): Metazoan buildup constituents in the aftermath of the Early Cambrian extinction event. Sedimentary Geology 253-254, 47-57.

Hong, J., Choh, S.-J., Lee, D.-J., 2014. Tales from the crypt: early adaptation of cryptobiontic sessile metazoans. Palaios 29, 95-100.

Hong, J., Choh, S.-J., Lee, D.-J., 2015. Untangling intricate microbial - sponge frameworks: The contributions of sponges to Early Ordovician reefs. Sedimentary Geology 318, 75-84.

James and Wood, 2010, Reefs. In: N.P. James, R.W. Dalrymple (Eds.), Facies Models 4, Geological Association of Canada, St. John's, pp. 421-447.

Kiessling et al., 1999, Evaluation of a comprehensive database on Phanerozoic Reefs. AAPG Bulletin, 83:1552 - 1587.

Kwon, S.-W., Park, J., Choh, S.-J., Lee, D.-C., Lee, D.-J., 2012. Tetradiid-siliceous sponge patch reefs from the Xiazhen Formation (late Katian), southeast China: A new Late Ordovician reef association. Sedimentary Geology 267-268, 15-24.

Lee, J.-H., Chen, J., Choh, S.-J., Lee, D.-J., Han, Z., Chough, S.K., 2014a. Furongian (late Cambrian) sponge-microbial maze-like reefs in the North China Platform. Palaios 29, 27-37.

Lee, M., Sun, N., Choh, S.-J., Lee, D.-J., 2014b. A new Middle Ordovician reef assemblage from north-central China and its palaeobiogeographical implications. Sedimentary Geology 310, 30-40.

Oh, J.-R., Choh, S.-J., Lee, D.-J., 2015. First report of Cystostroma (Stromatoporoidea; Ordovician) from Sino-Korean Craton. Geosciences Journal 19, 25-31.

KOPRI 극지연구소

Park, J., Lee, J.-H., Hong, J., Choh, S.-J., Lee, D.-C., Lee, D.-J., 2015. An Upper Ordovician sponge-bearing micritic limestone and implication for early Palaeozoic carbonate successions. Sedimentary Geology 319, 124-133.

Wahlman, 2002, Upper Carboniferous - lower Permian (Bashkirian - Kungurian) mounds and reefs, p. 271 - 338. In W. Kiessling, E. Flu¨gel, and J. Golonka (eds.), Phanerozoic Reef Patterns. SEPM Special Publication 72, Tulsa, Oklahoma.

Watkins and Wilson, 1989, Paleoecologic and biogeographic significance of the biostromal organism Palaeoaplysina in the Lower Permian McCloud Limestone, Eastern Klamath Mountains, California. PALAIOS, 4:181 - 192.

Wray, 1977, Calcareous Algae. Elsevier, Amsterdam, 185 p.

KOPRI
극지연구소

주 의

1. 이 보고서는 극지연구소 위탁과제 연구결과보고서 입니다.

2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 극지연구소에서 위탁연구과제로 수행한 연구결과임을 밝혀야 합니다.

3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안됩니다.

KOPRI 극지연구소