

포항 북부 연일층군의 학전층과 두호층의 해면침골과
식물규소체 산출에 의한 고해양환경 고찰

A Consideration of Paleo-oceanographic Environments by Sponge
Spicules and Phytoliths from the Hakjeon and the Duho Formations
in the Yeonil Group in the Northern Area of Pohang

고영구* · 오강호**

Koh, Yeong-Koo · Oh, Kang-Ho

ABSTRACT

To consider paleo-oceanographic environments on the Yeonil Group in the northern area of Pohang, diatomite and mudstone samples from the Hakjeon and the Duho formations of the group were analyzed in the scope of the occurrences of sponge spicules and phytoliths from the formations. A total of 13 sponge spicule types and of 10 morphological phytolith forms were identified from the samples in the above formations of Deokjang-ri and Cheongjin-ri areas. The siliceous microfossil frequencies are higher in the Hakjeon Formation relative to the Duho Formation, and the frequency trend is remarkable in sponge spicules.

Sponge spicules from the samples belonged to megascleres mostly composed of monaxons with a bar. The monaxons are mainly oxeas, diactinals, and styles, monactinals in type. Of the yielded spicules from the samples, oxea was the most dominant and widely variable, in bar morphology and type. The morphological variations in oxeas were remarkable in bar geometry, canal form in bars, and banding form. In some oxeas, dissolved features as thinly plucked bar surfaces and depressions were observed. Other diactinals including acanthoxea were sparse and, similarly, other monactinals except styles were also rare in the frequencies of the samples. Other sponge spicules except monaxons were very rare in the samples. Additionally, plentiful destroyed spicule bars from the samples might be originated from oxea and style types on the bases of arrangement and bar form.

Minute silica bodies belonging to phytoliths in morphology were classified into phytolith

* 전남대학교 지구과학교육과 교수 : (Dept. of Earth Science Education, Chonnam National University)

** 전남대학교 무인도서연구센터 센터장 : (Uninhabited Island Research Center, Chonnam National University)

Corresponding Author : Kang-Ho Oh, yeongsanriver@hanmail.net, (Tel) +82-62-530-2510, (Fax) +82-62-530-2519

forms from the samples. Yielding very low frequencies, polyhedral forms in the phytolith ones were relatively constant from the samples. Other phytolith forms irregularly occurred and were very rare in the samples.

From the above occurrences of sponge spicules and phytolith forms in the samples, it is inferred that the Yeonil Group in the study areas was deposited in neritic environments influenced by transportation due to active sea waters and by surrounding land vegetation.

Key Words(핵심용어) : Pale-oceanographic environments(고해양환경), Yeonil Group(연일층군), Sponge spicules(해면침골), phytolith(식물규소체), morphology(형태), frequency(빈도)

국문초록

경북 포항북부의 신생대 퇴적층인 연일층군에서 산출되는 규질 미화석인 해면침골과 식물규소체들의 산출상을 바탕으로 당시의 고해양환경에 대한 연구를 수행하고자 이 층군의 학전층과 두호층에 해당하는 덕장리의 3개 지점과 청진리의 3개 지점에서 규조토와 이암 시료를 채취하였다. 또한 청진리의 CJ1 지점에서는 층의 상하에서 각각 시료를 채취하였다.

이 규조토와 이암시료들에서는 총 13유형에 해당하는 해면침골들과 10개 형의 식물규소체가 산출되었다. 해면침골과 식물규소체는 주로 형태적 특성에 따른 형태분류를 하였다. 이들 규질미화석 개체들은 덕장리 시료들이 대체로 청진리에 비해 산출빈도가 높았는데 이런 경향은 해면침골에서 분명한 차이를 나타내는 반면, 식물규소체형들은 미미한 차이만이 인식될 정도였다.

시료들에서 산출되는 해면침골들은 거의 대부분이 megasclere 유형이었으며 단일 봉상체를 가지는 monaxon 유형에 해당하였다. 이 monaxon 유형에서는 diactinal인 oxea와 monactinal인 style이 우점 유형으로 나타났다. 이 중, oxea가 style의 개체빈도를 증가하는 지배적인 우점 유형이었다. Oxea는 산출개체빈도가 가장 우세할 뿐만 아니라 형태적 변이도 광범위하였다. Oxea는 봉상체의 길이와 직경에서도 변화폭이 컸으며 내부 관의 전개에서도 착색 정도, 직경, 충전물 등에서 많은 변이를 보였다. 또한 이 유형은 대체로 완만하게 굴곡되는 활모양 봉상체가 대부분이나 일부 직선상 전개가 관찰되기도 하였고 일부 개체들에서는 굴곡이 양방향으로 전개되기도 하였다. 일부 oxea 봉상체 표면이 미소 박판으로 이탈하는 박리나 미세한 관상 함몰부 등 용식에 의한 것으로 추정되는 모습들이 확인되기도 하였다. 이와 같은 변이 모습들은 monactinal의 style에서도 일부 관찰되기도 하였다. Diactinal의 다른 유형들인 acanthoxea, strongyle, tylostrongyle 등은 산출빈도가 매우 적었다. Monactinal에서도 style을 제외한 다른 유형인 acanthostyle, acanthotylostyle, tylostyle 등은 드물게 산출되었다. 또한 해면침골의 산정에 포함되지 못한 파손된 상당수의 봉상체 등은 대부분 oxea와 style에 해당될 가능성이 높은 것으로 생각된다. Monaxon을 제외한 다른 해면침골 유형들인 discorhabd(?), oxyaster(?), triode, isochela(?) 등은 전체적으로 1~2개체 정도만이 확인되었다. 이 중, discorhabd(?)로 믿어

지는 해면침골은 봉상체의 표면에 형성된 돌기들의 배열에서 이 유형으로 분류하였다. 이러한 해면침골들의 산출상은 상당부분 이지성 기원의 해면침골 개체들이 포함된 연근해 환경을 시사하는 것으로 추정된다.

연구지역 시료들에서 산출된 식물규소체는 주로 형태적 특성에 기반을 두고 식물규소체형으로 분류하였다. 이런 분류 관점에서 이들 식물규소체형들은 10개 형태가 산출되었다. 이들 식물규소체형들은 다면체 모습의 polyhedral 형이 낮은 빈도지만 대부분 시료에서 산출되었으며 덕장리에서 상대적으로 다양한 형태들이 출현하였다. 이외에 elongate형, tabular형(?), trapeziform형(?) 등은 덕장리와 청진리에서 극소수 산출되었으며 lanceolate형(?), cuneiform형(?) 등 다른 형태들은 특정 시료들에 국한되어 소수의 개체들이 불규칙한 산출을 한다. 이러한 식물규소체형들의 산출상은 아마도 초분류와 목본식물 기원인 것으로 추정할 수 있다.

이런 해면침골과 식물규소체 형들의 산출에서 연구지역 연일층군은 주변 육지에 다양한 식생이 분포하고 해수에 의한 이송이 활발했던 연근해 환경에서 퇴적되었던 것으로 추정된다.

I. 서론

과거 지질시대의 고기 퇴적층에서 산출되는 여러 형태의 미화석들 중, 오팔린 실리카(opaline silica, SiO₂)로 이루어진 규질 미화석(siliceous microfossils)들은 다양한 수성환경 등에서 산출되고 있어서 지질시대 구분과 대비 및 고환경(paleo-environments) 추정에 널리 이용되고 있다. 이런 규질 미화석들로는 규조류(diatoms)와 방산충(radiolarians)을 비롯하여 규편모류(silicoflagellates), 에브리디안(ebridians), 아케오모나드(archaeomonads), 내골격와편모조류(endoskeletal dinoflagellates) 등을 들 수 있으며, 주로 육성환경에서 알려지는 포낭류(cyst)인 스토마토시스스트(stomatocysts)와 다세포 생물인 해면동물의 침골(sponge spicules)도 이들 미화석군에 속한다고 할 수 있다(Perch-Nielsen, 1975; Burkle, 1978; Haq, 1978; Kling, 1978; Zeeb & Smol, 1993; Lurvey et al. 1998). 한편, 주로 초본과 목본식물 등 여러 육상식물의 조직에서 형성된 실리카 성분의 미소형태인 식물규소체(phytoliths)도 연구되고 있어 과거의 고고학적 생태나 환경연구 등에서 널리 활용되고 있다(윤순옥 등, 2009; 이상현·강봉원, 2009).

우리나라의 경우에도 경북 포항시 일대의 포항분지(Pohang Basin)의 신생대 해성퇴적층인 연일층군(Yeonil Group)에서 유공충 등의 석회질 미화석 등과 함께 규조류를 비롯하여 방산충, 규편모류, 에브리디안, 아케오모나드, 내골격와편모조류 등의 규질 미화석들이 풍부하게 산출되고 있어, 지질시대와 생층서적인(biostratigraphic) 분대 설정과 함께 이 퇴적층이 형성될 당시의 고해양환경(paleo-oceanographic environments) 연구에 많은 기여를 하고 있다(You & Koh, 1984; 이영길, 1990; Ling & Kim, 1983; 박영숙·이종덕, 2004). 또한 연일층군에 분포하는 규조토(diatomite)와 규조류를 많이 함유하는 이암(diatom bearing mudstones) 등에서는 상기한 규질 미

화석들과 함께 해면동물의 조직에 포함되었던 다양한 유형의 해면침골들이 산출된다. 이들 침골들은 대부분 봉상형의 oxea와 style 등이 지배적인 산출 유형(type)으로 출현하고 있으며 다른 유형들도 적은 개체수이지만 수반하여 산출된다(양성운, 2011). 이처럼 신생대 연일층군에서의 구조류와 방산층을 비롯한 규질미화석들의 풍부한 산출에서처럼 우리나라 연안의 해역들에 분포하는 니질 퇴적물 등의 세립질 퇴적층에서도 구조류, 규편모류, 내골격와편모조류 및 해면침골 등을 포함하는 규질 미화석과 생물 유해들의 산출이 알려지고 있어 퇴적층의 생층서와 해양퇴적 환경의 주요한 연구의 대상이 되고 있다(박영숙 등, 2010; 고영구 등, 2011).

이러한 규질의 미화석과 생물 유해들 중에서 해면침골은 미생물이 아닌 해면동물 기원이며 통상적인 규질 미화석인 구조류, 방산층, 규편모류 등에 수반되어 상대적으로 저조한 빈도로 산출되는 것으로 알려진다. 또한 해면침골은 한 종의 해면동물이 여러 유형의 침골을 형성하며, 반면에 한 유형의 침골이 서로 다른 종들의 해면에 의해 생성될 수 있어 해면 침골을 이용한 퇴적층의 층서 및 환경적인 연구에 난점을 제기할 수 있다. 그러나 이러한 어려움에도 불구하고 수반되어 산출되는 구조류나 침골 유형들의 산출상 등에 바탕을 두고 해면침골을 산출하는 퇴적층의 층서적 또는 고환경 연구들이 시도되고 있다(Ivanik, 1983; McCartney, 1987; Martini & Locker, 1990). 이와 함께 해면 침골들의 골격 체계를 대상으로 이들의 기원이나 기능 등에 대한 연구들도 이루어지고 있다(Uriz et al., 2003).

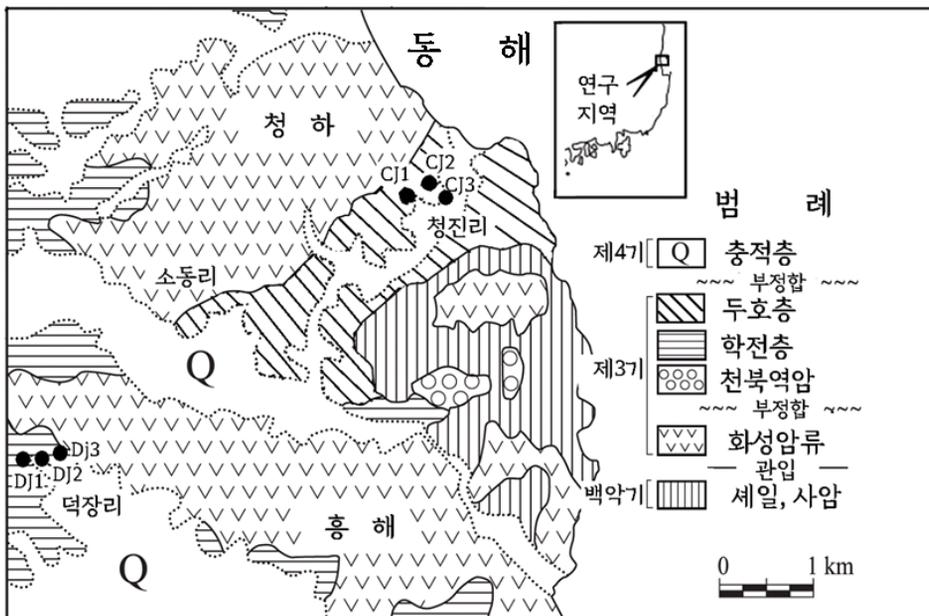
한편, 주로 신생대 제4기 퇴적층 등에서 산출되는 식물규소체는 화분학(palynology)적 연구와 함께 퇴적층 중에서 보존성이 높아 농경 등 인간 활동에 대한 고고학 측면의 연구를 비롯하여 식생(vegetation) 변화 등의 추적에서도 많이 활용되고 있다(윤순옥 등, 2009; 이상현·강봉원, 2009). 근래에는 제4기 이전의 신생대 올리고세나 마이오세 등의 지질시대 퇴적층에서 산출되는 식물규소체에 대한 연구들이 수행되고 있으며 이러한 식생에 대한 연구를 토대로 당시 초식동물의 진화경향에 대한 연구 등도 이루어지고 있다(Thorn, 2001; Strömberg et al, 2013)

전술한 것처럼 포항지역 연일층군의 구조토나 함규조질 이암 등에는 구조류, 방산층, 규편모류 등을 비롯한 규질 미화석 등이 풍부하게 함유되고 있으며 이에 수반하여 해면침골도 여러 유형들이 산출된다. 또한 이러한 규질 미화석 개체들의 산출과 함께 일부 초본이나 목본 등 육상 식물에서 유래된 식물규소체(?)로 생각될 수 있는 규질 미소 형태들이 일부 확인된다. 따라서 이 연구에서는 규질 미화석을 풍부히 산출하는 포항 북부 덕장리와 청진리 부근의 구조토와 이암에서 산출되는 해면침골 유형의 산출군집을 조사하여 침골 유형의 층수에 따른 산출상과 고해양환경적인 측면의 해석을 시도하였다. 부가하여 규질 미화석과 함께 관찰되는 식물규소체로 생각되는 규질 미소 형태들을 형태 유형(morpho-type)에 따른 분류를 하여 환경적인 관점에서 고찰하려 하였다. 한편, 이들 규질 미화석들과 함께 반구형 화살촉 모양을 한 구조류의 휴면포자로 믿어지는 종류가 관찰되어 이에 대한 기술도 함께 시도하였다.

II. 시료채취와 연구방법

신생대 해성 퇴적층에서 산출되는 규질미화석 중의 해면침골과 식물규소체 개체들은 규조류, 방산층, 규편모류, 에브리디안 등을 많이 함유하는 포항 북부의 청하 일대에 분포하는 연일층군의 학전층과 두호층에 해당하는 덕장리와 청진리의 규조토와 이암에서 채취하였다. 이들 규조토와 이암들은 주로 담황색에서 담홍색을 띠며 낮은 경도를 지닌다. 시료는 덕장리의 3개 지점과 청진리의 3개 지점에서 각각 채취하였으며 청진리 CJ1 시료채취 지점에서는 하부와 상부의 층군 거리를 약 3m 정도 떨어져 하부를 CJ1-1, 상부를 CJ1-2로 하였다. 이 연구에서 중생대 백악기 퇴적암류는 세일과 사암, 신생대 퇴적암류는 제 4기 및 그 이전의 연일층군 퇴적암류는 제 3기로 하였다(그림 1).

시료에서 해면침골 개체들의 추출은 주로 Ling & Kim(1983)과 Lurvey et al.(1998)의 방법들을 변화시켜 사용 하였다. 시료들은 염산(HCl)과 과산화수소수(H₂O₂)의 혼합용액에서 처리하여, 비커에서 침지시켜 박편을 제작하였다. 박편은 처리한 용액을 스포이드로 흡입하여 슬라이드 글라스 위에 적하하여 고르게 도말한 일종의 도말 박편(smear slide)을 제작하였다. 관찰에는 제작된 슬라이드 2개에서 산출되는 해면침골들을 관찰하였다. 해면침골들의 관찰에서는, 산출되는 침골들의 산출상을 고려하여, 두 슬라이드에서 광학현미경 시야를 선상으로 이동시키면서 출현하는



자료 : Yun(1986)과 양성운(2011) 등으로 부터 변화시켜 사용

〈그림 1〉 연구지역의 지질과 시료채취 지점(●)

침골들의 수를 그대로 기입하였다. 해면침골들의 관찰 중 나타나는 식물규소체(?)로 믿어지는 개체들의 산정도 해면침골의 경우처럼 두 슬라이드에서 관찰되는 개체들의 수를 그대로 기입하였다. 이들 식물규소체로 추정되는 미소 규질체들은 광물립이나 광물립의 파편, 규조류 휴면포자(resting spore), 방산충 등의 파편(?) 등 다른 기원의 미소 규질체들과 유사한 경우가 많을 수 있어 이 연구에서는 이들 미소 규질체들을 식물규소체형(phytolith form)으로 하였으나 분류 과정 등에서 난점이 제기될 가능성이 있다.

이 연구에서 해면침골들의 분류는 해면동물의 분류를 바탕으로 하지 않고 규질의 침골 유형(type)에 기반을 둔 분류를 하였다. 이와 같은 분류는 해양 퇴적층 등에 함유된 해면침골의 연구에서 많이 적용되고 있다(Martini & Locker, 1990; Lurvey et al. 1998; Andri et al., 2001). 이 연구에서도 해면침골들의 형태적인 유형에 따른 분류를 하고 주로 단일 축을 보유하는 monaxon 유형과 다축 또는 다른 유형의 침골들로 구분하였다. 그리고 monaxon 유형은 봉상체(bar)의 양말단이 동일한 유형이면 diactinal형, 서로 다른 유형이면 monactinal형으로 하였다. 나머지 다른 유형들은 그 산출빈도가 매우 저조해 타유형(others)으로 처리하였다. 해면침골 산출빈도 기입에서, monaxon 유형들이 봉상체의 극히 일부만 잔존하여 유형을 구분하기 힘든 경우는 산정에서 제외하였다. 또한 해면침골 관찰에서 봉상체의 굴곡 정도, 서로 다른 경향의 굴곡이 중첩되는 굴곡 경향, 봉상체의 전개 체장 차이, 봉상체 내의 관(canal)의 전개특성 등이 상이하더라도 전체적인 양말단부의 특징과 봉상체의 전개 등이 같으면 동일한 유형으로 구분하였다.

식물규소체형들은 식물규소체 연구들에서 주로 사용되는 추출방법(윤순옥 등, 2009; 이상현·강봉원, 2009)등에 의하지 않고, 박편의 해면침골 관찰 시에 나타나는 식물규소체형들을 산정대상으로 하였다. 이들 식물규소체형들은 대체로 식물규소체형으로 믿어지는 규소괴(silica body)들을 관찰하였으며, 그 형태들은 연구자들에 의해 제안된 다양한 형태적 특징에 따른 유형들을 기반으로, 잠정적 형태로 elongate형, fan-shaped형, lanceolate형(?) 등 약 10개 형(form)으로 구분하였다(윤순옥 등, 2009; 이상현·강봉원, 2009; Thorn, 2001; Gao et al., 2017; Currano et al., 2020).

이들 규질 미화석들은 광학현미경 하에서 $\times 400$ 배율로 관찰되었으며 필요한 경우는 사진촬영과 스케치를 행하였다.

Ⅲ. 연구 결과

포항 북부 청하지역의 덕장리와 청진리 일대에 분포하는 연일층군의 학전층과 두호층의 규조토와 함규조질 이암시료들에서는 13 유형의 해면침골과 10개 형태로 분류한 식물규소체로 믿어지는 미소 규소괴들이 동정되었다. 산출된 해면침골들은 거의 대부분의 개체 유형들이 해면동물

의 주 지지요소(main supporting elements)인 megasclere 형에 해당하는 유형들이었으며 타유형들과 일부 굴곡된 sinisoidal-style 유형들이 조직에 산포되는 유형인 microsclere 에 속하는 것으로 생각된다. 또한 이 megasclere 해면침골들의 유형은 전개되는 축(axis)의 형태에서 모두 monaxon 유형으로 나타났다. Monaxon 유형들은 diactinal 4 유형과 monactinal 5 유형이 산출되었으며 타유형들은 4 유형들이 확인되었다. 타유형들 중 discorhabd(?)와 oxyaster(?) 두 유형은 완전한 골격이 보존되지 않아 유형을 단정하기 어려웠다. 또한 타유형은 청진리에서는 1 유형의 1 개체만이 확인되었다(표 1).

상기한 학전층과 두호층의 시료들에서 식물규소체형들의 산출빈도는 해면침골에 비해 매우 저조하였다. 학전층의 덕장리 시료들에서는 10개체가 넘는 빈도를 나타낸 반면, 두호층의 청진리 시료들에서는 상대적으로 개체수가 상당히 저조하였다. 산출되는 식물규소체형들의 형태별 다양성도 덕장리가 청진리에 비해 약간 높게 나타났다(표 2).

〈표 1〉 연구지역에서 해면침골 유형(sponge spicule type)들의 산출

유형 \ 시료번호	DJ1	DJ2	DJ3	CJ1-1	CJ1-2
Diactinals					
Oxeas	220	53	142	56	51
Acanthoxeas	8	3	5	5	
Strongyles	8	1	3		3
Tylostrongyles	3		1	4	
Monactinals					
Styles	79	25	64	39	29
Acanthostyles	10	2	4	2	1
Acanthotylostyle				1	
Sinusoidal-styles	6	2	4	12	5
Tylostyles	10	3	6		7
Others					
Discorhabd(?)		1			
Oxyaster(?)			1		
Triode			1		
Isochela(?)	2				1
합	346	90	231	119	97

자료: 본 연구 분석결과에 의함

〈표 2〉 연구지역에서 식물 규소체형(phytolith form)들의 산출

유형 \ 시료번호	DJ1	DJ2	DJ3	CJ1-1	CJ1-2	CJ2	CJ3
Bilobate			1				
Cuneiform(?)	5						
Elongate	6			1	1	2	2
Fan-shaped				5		1	
Globular			1				
Lanceolate(?)	6	1	2				
Polyhedral	12	10	9	4	9	3	
Rectangle			2				
Tabular(?)	1	1				2	
Trapeziform(?)		1		1			
합	30	13	15	11	10	8	2

자료: 본 연구 분석결과에 의함

해면침골 유형들과 식물규소체형들 간의 산출경향을 비교하면 이들 두 형태들의 빈도에서 전체적으로 덕장리 시료들이 청진리에 비해 높게 나타났다. 그러나 해면침골은 한 지점을 제외하고는 덕장리 시료들이 청진리에 비해 뚜렷하게 높은 빈도를 보이거나 식물규소체형은 이들 지역들 간에 미약한 빈도차이만 보였다. 해면침골의 산출과 비교하면 식물규소체형은 이들 지역들 간에 빈도 변화를 상대적으로 인지하기 어려울 정도의 수준이었다(그림 2). 이들 규질미화석 형태들과 함께 반구형의 단면을 보유한 화살촉 모양의 규질 미화석이 덕장리 시료에서 수 개체 관찰되는데, 이들은 각(valve)의 전개가 마치 둥근 단면의 원통상이며 거들(girdle) 등의 전개에서 구조류 휴면포자의 일종으로 추정된다(부록 도판 29).

1. 해면침골의 산출상

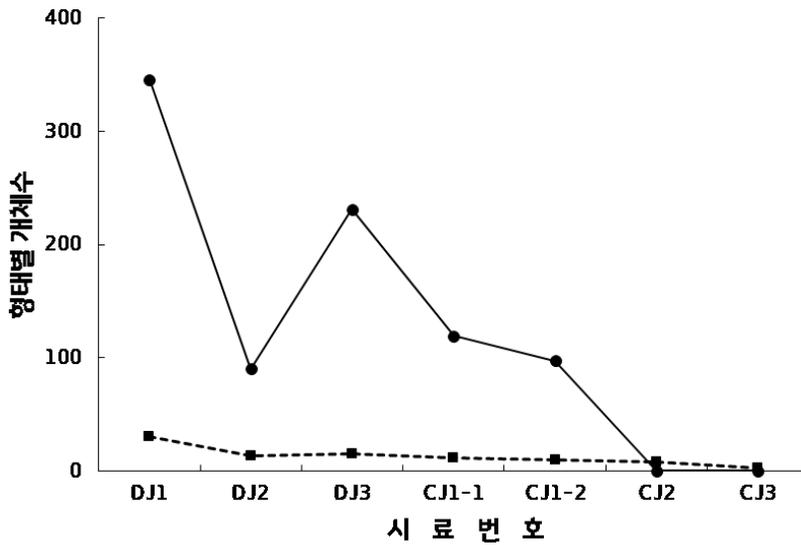
연구지역 시료들에서 나타나는 해면침골들은 거의 megascalere 유형이며 형태상 단일 봉상체(bar)를 보유한 monaxon 유형에 해당한다. Polyaxon 유형을 포함하는 타유형들은 단지 6개체가 확인되었을 뿐이다, 그리고 청진리의 CJ2와 CJ3 시료들에서는 극소수 해면침골 파편이 나타날 뿐으로 감정 가능한 침골개체를 인식할 수 없었다.

Monaxon 유형의 침골들에서는 봉상체의 양말단부가 동일한 모습인 diactinal 유형이 서로 다

른 모습의 말단부를 가진 monactinal 유형에 비해 상당히 월등한 빈도를 보이며 덕장리에서 이런 빈도경향이 뚜렷하게 나타난다. 이런 경향은 diactinal 유형에서 가장 우세한 oxea와 대표적인 monactinal 유형인 style의 산출상 비교에서도 거의 유사한 경향을 이룬다(표 1, 그림 3, 4).

먼저 연구지역에서 monaxon 중의 diactinal 유형으로는 oxea가 이들 유형 산출의 대부분을 차지하며 다른 유형들은 10개체 미만으로 산발적 산출을 한다(표 1). Oxea는 지배적인 우점 유형이며 침골을 구성하는 봉상체의 형태, 내부의 관의 모습, 말단부의 전개에서도 시료 위치에 따라 다양한 변이들이 출현한다. 이 유형은 빈도에서 다소 변화가 있으나 덕장리 시료에서 청진리보다 빈도가 높았다. Oxea는 대체로 봉상부의 길이와 크기면에서 광범위한 분포를 한다. 일부 개체들은 매우 크고 긴 반면에 짧은 단봉형 개체들도 같이 수반된다. 일부 직선상의 개체들도 관찰되나 대부분의 oxea는 봉상체가 약 10° 정도 둥글게 활모양(bow shaped)으로 만곡되는 형태들이 우세하다(도판 1, 5). Oxea 봉상체의 만곡 경향은 거의가 한 방향으로 활모양을 이루나 매우 드물게 완만한 “S” 자형으로 양방향 만곡을 보이기도 한다. 거의 대부분의 oxea는 전형적인 diactinal 유형의 특징처럼 양 말단부가 예리하게 첨멸되는 형태이나 매우 드물게 그 침도가 약간 차이를 보이기도 하여 style 유형에 해당될 가능성도 제기될 수 있다. 그러나 완전히 다른 말단부를 가지는 style과는 그 상이한 정도가 매우 약해 이 연구에서는 이 말단부가 약간 상이한 유형을 oxea에 해당시켰다. 한편, oxea는 봉상체 내부의 관의 전개에서도 많은 변이가 관찰된다. 관이 양 말단에서 봉상체처럼 첨멸되는 형태가 대부분이나 일부 개체들에서는 첨예하게 소멸하지 않고 다소 둥글게 마무리되는 모습이 보이기도 한다. 또한 일부 oxea 개체들의 경우는 봉상체의 일부 구간이 둥글게 팽대되면서 그 부분의 관직경도 동시에 확대되기도 한다. 부가하여 일부 개체들은 부분적으로 암갈색으로 착색된 관들이 관찰되기도 하며 이들 관 일부에 불규칙한 과립상 물질의 충전이 보이기도 한다. 이런 봉상체와 관의 변이특성은 monactinal 유형의 style에서도 출현한다(도판 5, 그림 5). 한편 일부 oxea에서는 봉상체의 표층부가 미세관상으로 박피되는 듯한 현상이나 불규칙한 미세 관상 함몰부가 봉상체에 분포하여 일종의 용식(dissolution)에 의한 것으로 추정된다(도판 4, 그림 5).

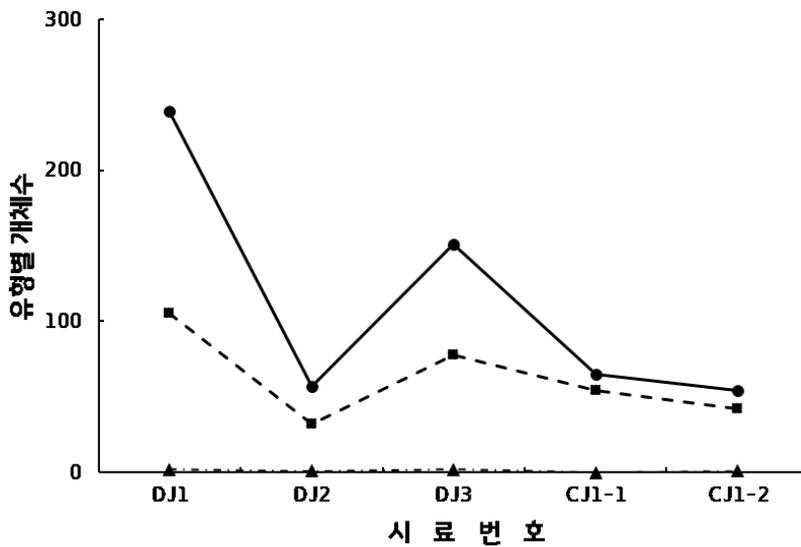
Diactinal 유형에서 봉상체에 침상돌기가 돌출하는 acanthoxea, 봉상체 양말단이 반구형인 strongyle, 말단에서 구형의 팽대부(bulb)를 가진 tylostrongyle 등은 적은 산출빈도이며 덕장리 시료들이 청진리에 비해 다소 높은 빈도를 보인다. 이 유형들 중, acanthoxea는 봉상체 내부에 관이 전개되나 strongyle과 tylostrongyle은 관의 전개를 볼 수 없었다. Tylostrongyle의 일부 개체들은 팽대부가 굴곡도가 다른 난형(oval shaped)을 이루기도 하였다(도판 2, 3, 10).



주: (●: 해면침골), (■: 식물규소체형)

자료: 본 연구 분석결과에 의함

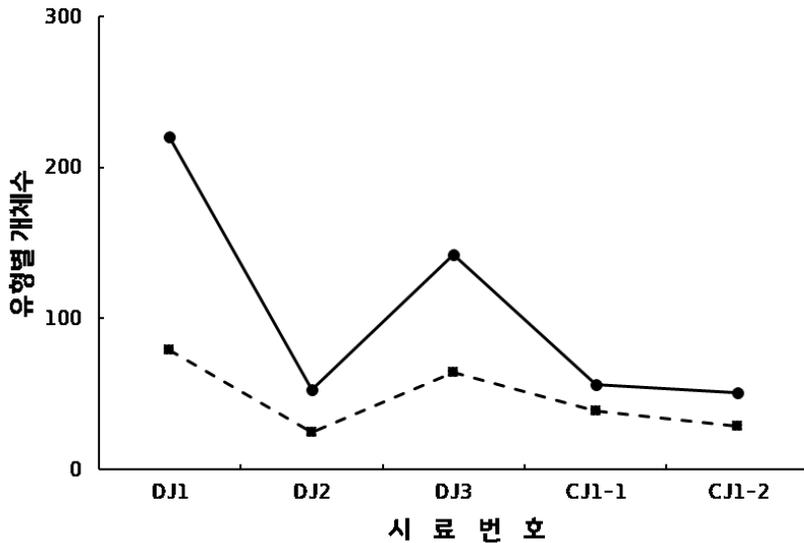
〈그림 2〉 연구지역에서 해면침골 유형과 식물규소체형의 산출



주: (●: Diactinals), (■: Monactinals), (▲: others)

자료: 본 연구 분석결과에 의함

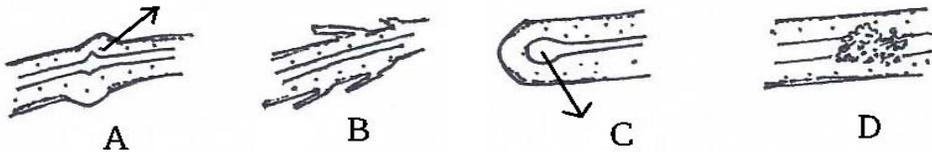
〈그림 3〉 연구지역에서 해면침골의 유형별 산출



주: (●: Oxeas), (■: Styles)

자료: 본 연구 분석결과에 의한

〈그림 4〉 연구지역에서 해면침골 유형인 oxea와 style의 산출



주: (A: 화살표-관의 일부 확대, B:봉상체 표면의 박피(?) 현상, C: 화살표-봉상체 말단의 관의 팽대,

D: 관 내부의 과립상 물질 침윤, 약 ×300)

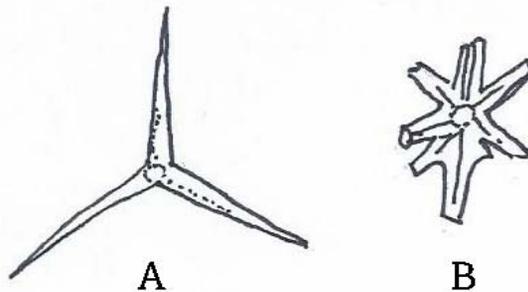
자료: 본 연구 결과에 의한

〈그림 5〉 Oxea와 Style 등의 봉상체 내부의 관(canal)의 특징

Monactinal 유형에서는 전술한 것처럼, style이 지배적인 유형이었으며 diactinal의 경우와 유사하게 style을 제외한 다른 유형들은 적은 산출빈도를 보였다. 시료별 산출에서는 덕장리가 청진리에 비해 monactinal 유형이 상대적으로 더 많이 산출되었으며 style에서는 이런 현상이 뚜렷하였다. Style개체들도 봉상체의 특징에서 상당한 변이가 관찰되었다. 봉상체의 등근 말단부의 관이 둥글게 팽대되거나 등근 말단부의 굴곡이 다른 봉상체의 부분에 비해 보다 강한 굴곡 정도를 보이는 경우 등의 변이형들이 확인되었다. 일부 style 개체는 거의 직선상으로 전개되기도 하였다. 이와 함께 style에서는 내부에 관이 전개되는 개체와 그렇지 않은 경우가 다 관찰되었으며 oxea의 경우처럼 관의 일부에 과립상 물질이 충전되는 개체도 출현하였다(도판 6, 그림 5). Style에 침상돌기가 배열되는 acanthostyle과 구형 팽대부를 말단에 보유하는 tylostyle은 10 개체 이

하의 빈도로 출현하나 봉상체의 침상돌기 배열과 등글게 팽대된 말단부를 동시에 보유하는 acnthotylostyle은 단 1개체가 확인되었다. 이들 monactinal 유형들도 거의 완만한 활모양 굴곡을 이루었다(도판 6, 7, 8, 11). Style 유형에 속하는 것으로 생각되지만 크기가 작고 두 방향 굴곡을 보이는 유형은 sinusoidal-style 유형으로 따로 구분하였다. 이 유형은 시료에 따른 산출상의 차이를 식별하기 어려웠다(도판 12; McCartney, 1987). 이에 부가하여, 봉상체가 다양한 길이로 절단된 해면침골 개체들이 많이 나타나는데 이들은 부분적으로 유형에 다른 동정이 이루어지기도 하였으나 다수는 산정되지 못하였다. 아마도 이 절단된 침골들의 상당수는 형태상, oxea나 style에 속할 것으로 생각된다.

Monaxon 유형을 제외한 타유형 해면침골들은 discorhabd(?), oxyaster(?), triode, isochela(?) 등이 극소수 산출되었다. Discorhabd(?)로 생각되는 개체는 봉상체에 있는 특징적인 돌기들의 배열, oxyaster(?)는 발출하는 분지(ray)들의 모습에 바탕을 두고 각각 동정되었다. Oxyaster(?)는 분지들의 파손정도가 커서 그 발출형태를 기반으로 하였다. Triode와 isochela(?)는 각각 세 방향의 분지와 “C” 자형 외관이 특징적으로 나타났다. 다만 isochela(?) 개체들은 말단부 전개가 anisochela와 유사한 모습을 지니기도 하였으나 외관에서 isochela(?)로 분류하였다(도판 9, 그림 6; Martini & Locker, 1990; Ahlback & McCartney, 1992; Kang et al., 2017).



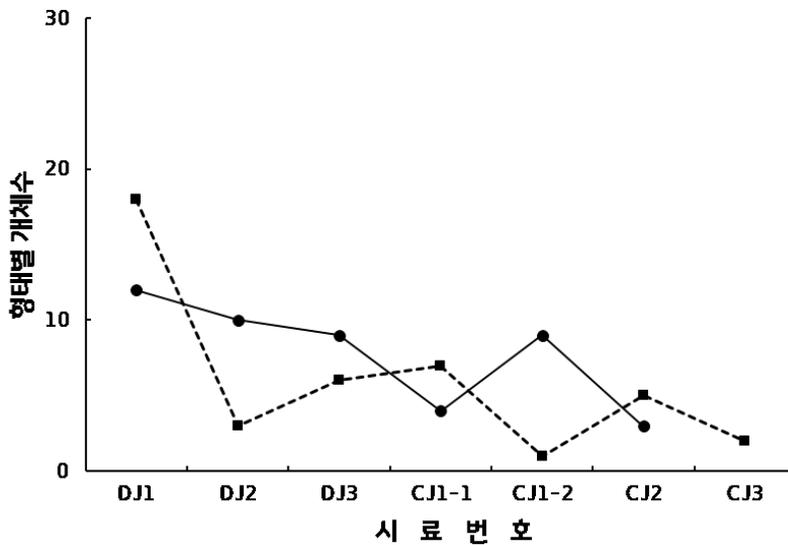
자료: 본 연구 결과에 의함

〈그림 6〉 타 유형의 해면침골 중, Triode(A)와 oxyaster(B)로 추정되는 해면침골 유형(약 ×300)

2. 식물규소체 형의 산출상 및 기타

연구지역에서 식물규소체형들의 산출은 주로 경하에서 관찰되는 형태적 특성에 바탕을 두었으며 식생과 직접적인 연관을 두기는 어려웠다. 식물규소체형의 형태적 분류는 Thorn(2001), 윤순옥 등(2009), 이상현·강봉원(2009), Strömberg et al.(2013), Gao et al.(2017), Currano et al.(2020) 등의 연구에 의하였으며 약 10개 형태로 분류하였다. 이 중 다면체 모습의 polyhedral형이 저조한 빈도지만 대부분의 시료에서 산출되었으며 덕장리 시료들에서는 상대적으로 다양한 형태들

이 확인되었다(표 2, 그림 7, 도판 14~16, 24, 25). 창날 모양의 lanceolate형(?)으로 추정되는 식물 규소체형(도판 22, 23)은 덕장리 시료들에서만 산출되며 썩기 모습의 장방형인 cuneiform형(? 도판 17), 아령모양의 bilobate형(그림 8), 장방형인 rectangle형(도판 26) 등은 각각 덕장리 1개소들에서만 그 산출이 한정된다(표 2). 원통 모양의 elongate형(도판 18), 판상체 모습인 tabular형(? 도판 27), 사다리꼴 모습의 trapeziform형(? 도판 28) 등은 극소수 개체들이 덕장리와 청진리에서 산출되었다. 부채 모양의 fan-shaped형(도판 19, 20)은 청진리 시료들에 산출이 한정되었다(표 2). 이와 같은 식물규소체형 개체들의 산출은 불규칙하고 개체빈도 역시 매우 저조해, 층준에 따른 차이나 식생과의 특정한 연관성을 인식하기는 어려웠다.



주: (●: Polyhedral), (■: others)

자료: 본 연구 분석결과에 의한

(그림 7) 연구지역에서 식물규소체형 중, polyhedral 형 및 타 형태들의 산출



자료: 본 연구 결과에 의한

(그림 8) Bilobate 형으로 추정되는 식물 규소체형 모습(약 ×350)

한편, 연구지역 시료 중, 덕장리 시료인 DJ1에서 반구형 말단부를 보유한 화살촉 모양의 규질 미화석체가 확인되었는데 이는 형태적 특성과 각(valve)의 모습에서 구조류의 휴면포자인 *Urosolenia*(?)류에 해당될 수 있을 것으로 생각된다(Edlund & Stoermer, 1993). 연일층군의 구조류 휴면포자에 대해서는, Lee(1993)에 의하여 연일층군에서 산출되는 *Chaetoceros*를 비롯하여 풍부한 구조류 휴면포자들의 보고와 함께 이들에 대한 고환경적 연구가 행해진 바 있다. 따라서 연구지역에서는 보다 다양한 구조류 휴면포자들과 함께 녹조류 등을 포함하는 다른 휴면포자들의 산출도 기대된다고 할 수 있다.

IV. 토의 및 결론

연구지역인 포항 북부 덕장리와 청진리 일대에 분포하는 연일층군의 학전층과 두호층의 구조토와 이암에서 다양한 유형의 해면침골과 식물규소체로 추정되는 미소 규소괴 개체들이 산출되었다. 해면침골들은 거의 대부분 monaxon 유형의 megascelere 들로 diactinal 유형의 oxea가 가장 지배적인 우점 유형이었고 monactinal 유형의 style이 두 번째로 우세한 유형으로 나타났다. 나머지 다른 유형들은 매우 적은 수가 관찰되었고 특히 monaxon 유형이 아닌 다른 유형들은 극히 적은 수의 개체들만이 확인되었다. 이처럼 봉상체가 특징적인 해면침골 유형에 집중되는 산출은 연근해적(neritic) 특성을 나타내면서도 주변 해역 등에서 이송되었을 가능성이 높은 것으로 생각된다(Ivanik, 1983; Martini & Locker, 1990; Lurvey et al., 1998; Andri et al., 2001; Machdo et al., 2012). 특히 주로 monaxon 유형이 거의 대부분을 차지하고 이들 유형들의 봉상체가 절단되고 파손된 개체들이 다수 관찰되는 것은 해류 등에 의한 이송과정이 일정부분 역할을 하였을 것으로 생각된다.

또한, 이들 해면침골 등의 층군에 따른 산출상의 차이는 특징적인 유형들의 부재로 분명하게 그 차이를 인지하기는 어려웠다. 그러나 시료채취에서 채취지점과 층군상의 확장은 층서적인 접근을 가능하게 할 수 있을 것으로 생각된다. 해저퇴적층들에서는 해면침골의 산출상과 그 층서적 의미에 대한 연구들이 수행되고 있다(Ivanik, 1983; Martini & Locker, 1990; Lurvey et al., 1998). 한편 해면침골 유형들의 산출에서 봉상체의 굴곡, 내부 관의 전개, 관의 충전상태 등 유형 내의 다양한 변이형에 대한 유형 분류를 비롯한 그 층서적 및 환경관련 해석에 대한 고찰이 필요한 것으로 생각된다.

해면침골과 함께 수반되는 식물규소체로 추정되는 미소 규소괴들은 연구지역의 시료들에서 다면체형인 polyhedral형이 적은 개체빈도지만 지속적 산출을 하는 외에는 극소수의 개체들이 시료위치에 따라 개체빈도와 다양성에서 불규칙한 산출을 한다. 따라서 식물규소체형들이 인근

육지에서 운반되었을 것으로 생각되지만, 불규칙한 산출과 이들 식물규소체형의 일부가 광물립 또는 다른 규질미화석일 가능성을 고려하면 이 식물규소체형의 산출상과 당시의 고기 식생 (ancient vegetation)에 대한 직접적인 연관성을 설정하는 어려울 것으로 생각된다. 다만 연일층군의 포자화분분석에 대한 연구 및 식물규소체의 형태적 특징에 따른 산출과 식생에 대한 연구들에 의하면 연구지역의 학전층과 두호층에서 산출된 식물규소체형의 산출은 벼과 식물 등을 비롯한 초본류와 목본류 식물 기원 등임을 추정할 수 있다(정철환·최덕근, 1993; Gao et al., 2017; Currano et al., 2020).

이와 같은 산출상을 종합하면, 해면침골과 식물규소체형을 산출하는 연구지역 연일층군의 학전층과 두호층이 퇴적될 당시의 고해양환경은 주변 육지에 초본과 목본류 식물들이 분포하고 해수에 의한 운동 등으로 이송이 활발했던 연근해 환경으로 추정된다.

참 고 문 헌

1. 고영구 · 정철환 · 오강호, 2011, “서해 고군산군도 동부 연안 해역의 표층 퇴적물에서 산출되는 규편모류, 내골격 외편모조류 및 해면골침”, 『고생물학회지』, 27(1), 한국고생물학회: 51-67.
2. 박영숙 · 이성주 · 천종화 · 이종덕, 2010, “울릉분지의 제4기 퇴적물에서 규조를 이용한 고기후 연구”. 『고생물학회지』, 26(2), 한국고생물학회: 183-192.
3. 박영숙 · 이종덕, 2004, “방산층”, 『한국고생물학회 창립 20주년 기념 “한국 고생물”』, 한국고생물학회: 73-106.
4. 양성운, 2011, 『포항분지 송라 지역의 신 제3기층에서 산출되는 해면골침』, 전남대학교 교육대학원 석사논문, 1-37.
5. 윤순옥 · 김효선 · 황상일, 2009, “경포호의 식물규소체(phytolith) 분석과 Holocene 기후변화”, 『대한지리학회지』, 44(6), 대한지리학회: 691-705.
6. 이상현 · 강봉원, 2009, “화분, 비화분 유기질 미화석 및 식물규소체의 유적발굴지에서의 적용사례: 경주시 충효동 유적발굴지”, 『고생물학회지』, 25(1), 한국고생물학회: 77-102.
7. 이영길, 1990, “한국 포항분지와 인접해저 신제3기층의 고환경”, 『고생물학회지』, 6(1), 한국고생물학회: 64-90.
8. 정철환 · 최덕근, 1993, “포항지역 연일층군(마이오세)에서 산출된 포자화분 화석군의 고기후적 의미”, 『고생물학회지』, 9(2), 한국고생물학회: 143-154.
9. Ahlback, W. J. & K. McCartney, 1992, "Siliceous Sponge Spicules from Site 7481", *Proceedings of ODP Scientific Results*, College Station, TX, 120: 833-837.
10. Andri, E., S. Gerbaudo & M. Testa, 2001, "Quaternary Siliceous Sponge Spicules in the Western Woodlark Basin, Southwest Pacific (ODP Leg 180)", *Proceedings of the Ocean Drilling Program*, Scientific Results 180: 1-8.

11. Burckle, L. H., 1978, "Marine Diatoms" , *In Introduction to Marine Micropaleontology*, Haq, B. U. & A. Boersma(eds.), Elsevier: 245-266.
12. Currano, E. D., B. F. Jacobs, R. T. Bush, A. Novello, M. Feseha, F. Grímsson, F. A. McInerney, L. A. Michel, A. D. Pan, S. R. Pheps, P. Pollisar, C. A. E. Strömberg & N. J. Tabor, 2020, "Ecological Dynamic Equilibrium in an Early Miocene (21.73 Ma) Forest, Ethiopia" , *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 539: 1-15.
13. Edlund, M. B. & E. F. Stoermer, 1993, "Resting Spores of the Freshwater Diatoms *Acanthoceras* and *Urosolenia*," , *Journal of Paleoclimatology*, 9: 55-61.
14. Gao, G., D. Jie, Y. Wang, L. Liu, H. Liu, D. Li, N. Li, J. Shi & C. Leng, 2017, "Phytolith Reference Study for Identifying Vegetation Changes in the Forest-grassland Region of Northeast China" , *Boreas*, 47(2): 1-17.
15. Haq, B. U., 1978, "Silicoflagellates and Ebridians" , *In Introduction to Marine Micropaleontology*, Haq, B. U. & A. Boersma(eds.), Elsevier: 267-275.
16. Ivanik, M. M., 1983. "Paleogene and Neogene Sponge Spicules from Sites 511, 512, and 513 in the South Atlantic" . *Initial Reports of DSDP*, 71: 933-950.
17. Kang, D. W., C. J. Kwon, S. Lee & H. J. Kim, 2017, "A New Record of Genus *Mycale* (Poecilosclerida: Mycalidae) from Korea" , *Journal of Asia-Pacific Biodiversity*, 10: 257-260.
18. Kling, S. A., 1978, "Radiolaria" , *In Introduction to Marine Micropaleontology*, Haq, B. U. & A. Boersma (eds.), Elsevier: 203-244.
19. Ling, H. Y. & B. K. Kim, 1983. "Miocene Archaeomonads from Pohang Area, Korea" , *The Journal of the Geological Society of Korea*, 19(4): 247-251.
20. Lee, Y. G., 1993, "The Marine Diatom Genus *Chaetoceros* Ehrenberg Flora and Some Resting Spores of Neogene Yeonil Group in the Pohang Basin, Korea" , *Journal of the Paleontological Society of Korea*, 9(1): 24-52.
21. Ling, H. Y. & B. K. Kim, 1983, "Miocene Archaeomonds from Pohang Area, Korea" , *The Journal of the Geological Society of Korea*, 19(4): 247-251.
22. Lurvey, L. K., K. McCartney & W. Wei, 1998, "Siliceous Sponge Spicules, Silicoflagellates, and Ebridians from Hole 918D: Continental rise of the Greenland Margin" , *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results 152*: 191-199.
23. Machado, V. H., C. Volmer-Riberiro & R. Ianunzzi, 2012, "Inventory of the Sponge Fauna of the Cemitério Paleolake, Catalão, Goiás, Brazil" , *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 84(1): 17-34.
24. Martini, E. & S. Locker, 1990. "Clusters of Sponge Spicules from Quaternary Sediments at Sites 685 and 688 off Peru" , *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results 112*: 175-180.
25. McCartney, K., 1987. "Siliceous Sponge Spicules from Deep Sea Drilling Project Leg 93" , *Initial Reports of Deep Sea Drilling Project*, 93: 815-824.
26. Perch-Nielsen, K., 1975, "Late Cretaceous to Pleistocene Archaeomonads, Ebridians, Eendoskeletal

- Dinoflagellates, and Other Siliceous Microfossils from the Subantarctic Southwest Pacific, DSDP Leg 29” , *Initial Reports of Deep Sea Drilling Project*, 29: 873-907.
27. Strömberg, C. A. E., R. E. Dunn, R. H. Madden, M. J. Kohn & A. A. Carlini, 2013. “Decoupling the Spread of Grasslands from the Evolution of Grazer-type Herbivores in South America” , *Nature Communications*, 4(1): 1-8.
28. Thorn, V. C., 2001, “Oligocene and Early Miocene Phytoliths from CRP-2/2A and CRP-3, Victoria Land Basin” , *Antarctica, Terra Antartica*, 8(4): 407-422.
29. You, H. S. & Y. K. Koh, 1984, “Studies on the Silicoflagellates and Ebridians from the Tertiary Deposits in the Northern Area of the Pohang Basin” , *The Journal of the Geological Society of Korea*, 20(2): 127-132.
30. Yun, H. S., 1986, “Emended Stratigraphy of the Miocene Formations in the Pohang Basin” , *Journal of the Paleontological Society of Korea*, 2(1): 54-69.
31. Uriz, M. J., X. Turon, M. A. Becerro & G. Agell, 2003, “Siliceous Spicules and Skeleton Frameworks in Sponges: Origin, Diversity, Ultrastructural Patterns and Biological Functions” , *Microscopy Research and Techniques*, 62: 279-299.
32. Zeeb, B. A. & J. P. Smol, 1993, “Chrysophycean Stomatocyst Flora from Elk Lake, Clearwater County, Minnesota” , *Canadian Journal of Botany*, 71: 737-756.

(논문접수일 : 2021. 10. 30 /수정일 : 1차-2021. 11. 10 / 영문초록감수일 : 2021. 12. 13 / 게재확정일 : 2021.12.14)

〈도 판 설 명〉

A. 해면침골 유형

1. Oxea, 완만한 활모양 만곡형, DJ1
2. Acanthoxea, 낮게 돌출된 돌기, DJ2
3. Strongyle, 소형 봉상체, DJ1
4. Oxea, 용식(dissolution)된 봉상체, DJ1
6. Style, DJ3
7. Acanthotylostyle, 돌기가 돌출된 말단 팽대부, CJ1-1
8. Acanthostyle, 소형의 직선상, DJ1
10. Tylostrongyle, 강한 굴곡상, CJ1-1
11. Tylostyle, 난형의 말단 팽대부, CJ1-2
12. Sinusoidal-style, 이중 굴곡형,, CJ1-1
13. Oxea, 이중 굴곡 봉상체, DJ3

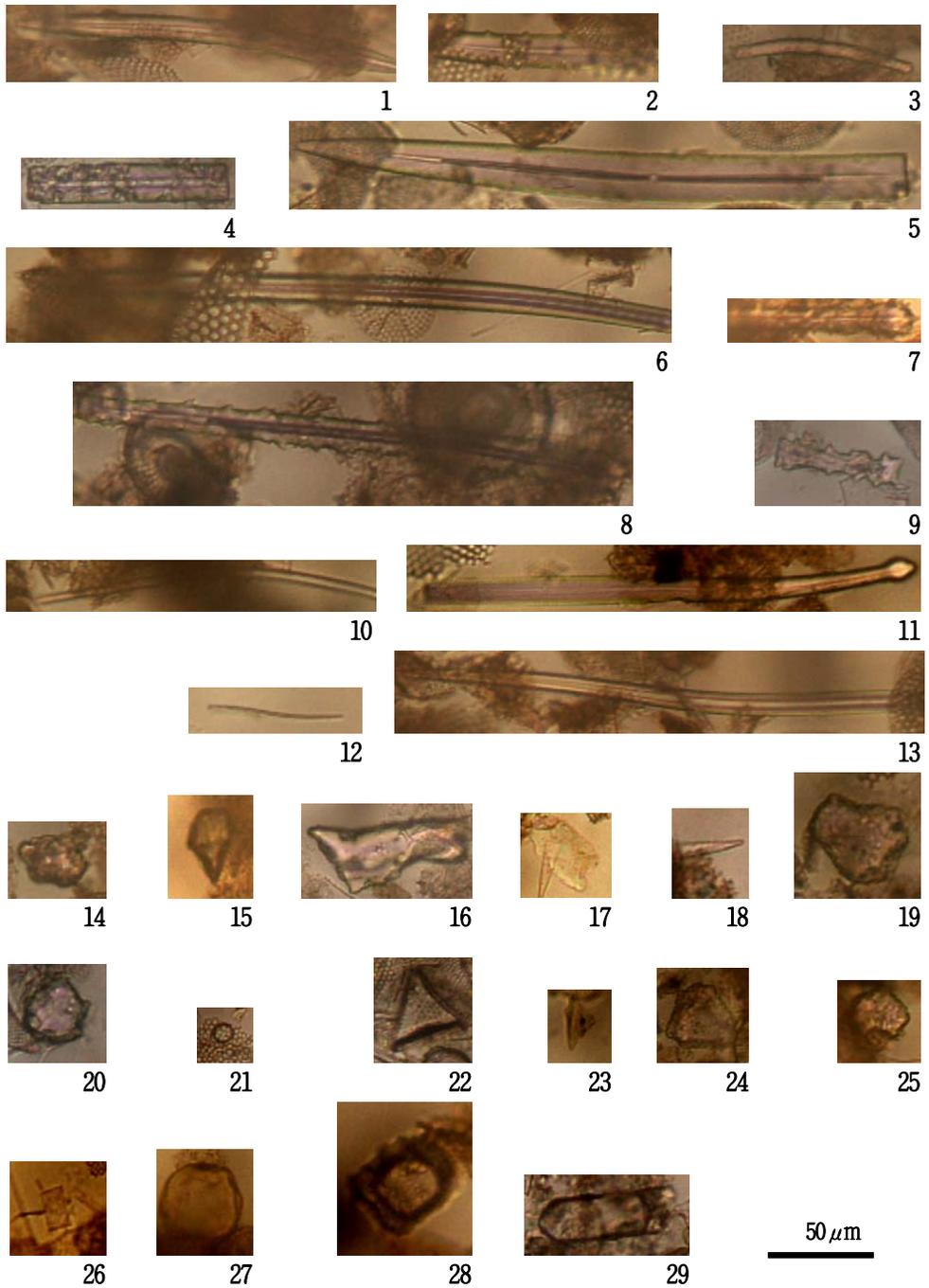
B. 식물규소체 형

- 14~16, 24, 25. Polyhedral, 14~16, DJ1, 16, polyhedra(blocky?), 24, 25, DJ2
17. Cuneiform(?), DJ1
18. Elongate, 뾰족한 원통상, DJ1
- 19, 20. Fan-shaped, 표면에 작은 함몰부, CJ1-1
21. Globular, DJ3
- 22, 23. Lanceolate(?), DJ1, 22, 넓은 삼각형
- 24, 25. Polyhedral, 표면 돌기, 24, DJ1, 25, CJ1-1
26. Rectangle, DJ3
27. Tabular(?), DJ2
28. Trapeziform(?), DJ2

C. 구조류 휴면포자

29. *Urosolenia* sp.(?), DJ1

< 도 판 >



자 료 : 본 연구 내용에 의함