

## 남부독일 상부쥐라기 판상석회암의 미세 동공구조와 미크라이트 입자

박명호\*, 이성주\*\*, 서광수\*

\*공주대학교 지질환경과학과

\*\*경북대학교 지질학과

**요 약:** 남부독일의 상부쥐라기 판상석회암은 점토질이 많은 층과 석회질이 우세한 층이 교호되어 전형적인 판상석회암을 보인다. 호층은 다짐작용, 압력용해작용, 스타일롤라이트(stylolite) 또는 교질작용과 같은 초기속성작용을 받았다. 판상석회암의 기질은 미크라이트가 95% 이상이며, 일부는 미크로스파라이트로 구성되어 있다. 판상석회암은 직경이 5  $\mu\text{m}$ 에서 최대 25  $\mu\text{m}$ 까지 이르는 다양한 크기의 동공구조를 갖고 있다. 이러한 미세 동공 구조(coccosphere 또는 calcisphere)는 형태나 구조가 구상 화석과 유사하기 때문에 구상 박테리아나 미세조류의 흔적으로 해석되기도 한다. 그러나 남부독일 판상석회암에서 나타나는 동공구조에 대한 주사전자현미 관찰과 전자현미 분석은 미크라이트 입자로 구성된 기질이 상부쥐라기 구상 생명체인 미세조류로부터 직접 기원되었다기보다는 후기속성작용 중에 미크라이트작용(micritization)에 의하여 형성되었음을 보여준다.

### 서 론

미세한 미크라이트 입자로 이루어진 독일 상부쥐라기 판상석회암은 시조세 등 세계적으로 잘 알려진 화석은 물론 보존이 매우 잘 된 600종 이상의 동물화석이 발견된 지층으로도 유명하다(Gall, 1983; Flügel *et al.*, 1992). 그러나 수많은 화석은 수백 년 동안 수집된 결과의 하나일 뿐(Barthel *et al.*, 1990), 실제로 화석의 산출빈도는 매우 낮으며, 야외에서 화석을 찾기도 쉽지 않다.

상부쥐라기 판상석회암은 점토성분이 상대적으로 많은 층과 대부분 석회암으로 구성된 층이 교대로 이루어진 호층이다. 판상석회암이 몇 가지 주기적인 요소로 이루어졌을 것이라는 연구가 있었으나(Swinburne and Hemleben, 1994), 이를 직접적으로 증명하지는 못했다. 최근 들어, Park and Fürsich (2001a,b)는 푸리에(Fourier) 주기분석과 시뮬레이션 방법을 이용하여 졸른호펜층(Solnhofen Formation)의 호층이 밀란코비치(Milankovitch) 주기와 밀접하게 관련되어 있음을 보여주었다. 또한, Park and Fürsich(2003)는 지층의 1차주기(1st-order cycle)가 상부쥐라기의 세차율(precession)과 관련이 있으며, 세차율과 주기변화의 상관관계를 기준으로 퇴적률을 계산하였다. 퇴적률 계산에 따르면, 지층의 퇴적기간은 약 55만 년이며, 상부층이 하부층에 비하여 상대적으로 두꺼움에도 불구하고 퇴적기간은 반대로 짧았다. 이는 상부층의 퇴적률이 하부층에 비하여 상대적으로 높았음을 의미한다(Park and Fürsich, 2003).

주사전자현미경 관찰에 의하면, 상부쥐라기 판상석회암은 특징적인 모양의 동공구조를 갖고 있다. Keupp(1977a)는 이들 미세 동공구조를 구상남조세균(coccolith cyanobacteria)의 활동에 의해 분비되어 형성된 구조라고 설명한 반면, 다른 의견으로(Barthel *et al.*, 1990) 동공구조는 코콜리드(coccolith)가 재결정작용을 받아 원래의 모양이 변질되어 인식하기 힘들게 된 것이라고 추론하였다. 이번 논문에서는 상부쥐라기 판상석회암에서 나타나는 동공구조의 특징과 기원에 관하여 알아보았으며, 판상석회암의 대부분을 차지하는 미크라이트 입자의 기원에 대해서도 고찰하였다.

## 연구지역의 지질과 층서

남부 프랑코니아 알프스(Southern Franconian Alb)는 독일의 바이에른 중북부에 위치해 있고, 전체지역이 뮌헨과 뉘른베르크 사이에 걸쳐 있다. 남쪽으로는 다뉴브강이 흐르고, 알트뮈일(Altmühl)강이 프랑코니아 중앙부를 관통한다. 남동쪽으로 약 2~3° 경사진 지층의 구조 이외에 지질구조는 매우 단순한 양상을 보인다(Meyer and Schmidt-Kaler, 1984). 이런 지층구조 때문에 쥐라기보다 오래된 지층은 프랑코니아 북서쪽에 주로 분포하며, 쥐라기보다 젊은 지층은 주로 남동쪽에 분포하는 양상을 보인다(Fig. 1).

남부 프랑코니아 알프스에는 알트뮈일 그룹이라고 부르는 상부쥐라기의 판상석회암 층이 잘 발달되어 있다(Freyberg, 1968). 이 그룹은 가이젠탈층(Geisental Formation), 뢰글링층(Rögling Formation), 졸른호펜층(Solnhofen Formation) 그리고 뫼른스하임층(Mörnsheim Formation)의 4 지층으로 구성되어 있다(Fig. 2). 최하부의 가이젠탈층(Geisental Formation)은 약간 무르고 규질성분이 많은 판상석회암이 서쪽으로 갈수록 차차 변하여 단단하고 규질성분이 거의 없는 층상석회암으로 대체된다. 이를 뢰글링층(Rögling Formation)이라고 부른다. 알트뮈일그룹의 중간부분인 졸른호펜층(Solnhofen Formation)은 호층이 잘 발달된 "전형적인" 판상석회암으로 이루어져 있다. 알트뮈일 그룹의 최상부층인 뫼른스하임층(Mörnsheim Formation)은 규질성분이 졸른호펜층보다 많고 두꺼운 판상석회암으로 구성되어 있다. 이 중에서 졸른호펜층은 Figure 2와 같이 퇴적구조에 따라 지층을 다시 세분한다. 지역에 따라 상부 또는 하부 슬럼프층(Upper or Lower Slump)이 발달되어 있지 않기도 하다(Meyer and Schmidt-Kaler, 1989).

남부 프랑코니아 알프스에는 두 종류의 퇴적상이 발달하여 있다. 가장 흔한 종류는 층리가 발달한 석회암으로 구성된 소위 비암초퇴적상(non-reefal facies)이며, 다른 종류로는 유기물(주로 산호와 해면)에 의해 형성된 암초퇴적상(reefal facies)이 있다(Meyer, 1977; Zeiss, 1977). 알트뮈일 그룹이 형성되던 시기에는 비암초퇴적상이 졸른호펜층의 중간과 상부에서 가장 발달하였고, 암초퇴적상은 가이젠탈층과 뫼른스하임층에서 많이 발달한 편이다(Barthel *et al.*, 1990).

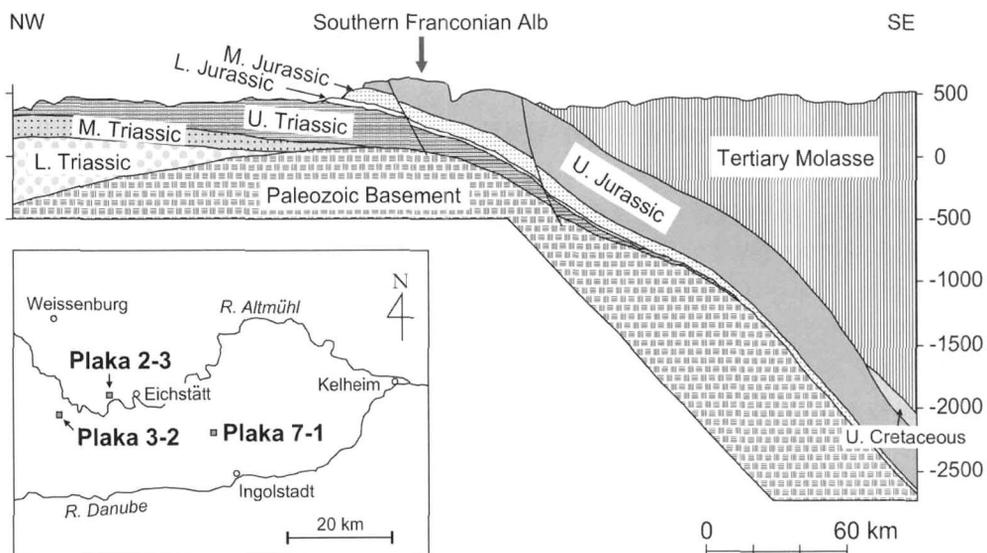


Fig. 1. Generalized geological section through strata of southern Germany and location map of the study cores Plaka 3-2, Plaka 2-3 and Plaka 7-1. Vertical scale of the geological section in meters. Modified from Meyer & Schmidt-Kaler (1984).

		Lithostratigraphy	Main Lithofacies	Ammonite Biozones			
Upper Jurassic	Lower Tithonian	Usseltal Formation		Bedded limestones and calcareous shales	<i>Neochetoceras mucronatum</i> <i>Dorsoplanitoides triplicatus</i> <i>Usseliceras tagmersheimense</i>		
		Altmühl Group	Mörnsheim Formation		Bedded limestones and calcareous shales	<i>Subplanites moernsheimensis</i> <i>Glochiceras lithographicum</i> <i>Gravesia gigas</i>	
			Solnhofen Formation		Calcareous shales	<i>Subplanites rueppelianus</i> <i>Neochetoceras steraspis</i> <i>Lithacoceras supremum</i>	
			Geisen-tal Fm.	Rögling Fm.	Bedded and calcareous limestones	<i>Lithacoceras riedense</i>	
	Kimmeridgian	Torleite Formation		Limestones and calcareous shales	<i>Virgataxioceras setatum</i> <i>Sutneria subeumela</i>		
		Treuchtlingen Formation		Carbonate sands	<i>Aulacostephanus eudoxus</i> <i>Aulacostephanus eulepidus</i> ( <i>Aspidoceras acanthicum</i> )		
		Arzberg Formation		Limestones and marls	<i>Katrolliceras divisum</i> <i>Ataxioceras hypselocyclum</i> <i>Sutneria platynota</i>		
					Upper Solnhofen Formation	Upper Slump	
					Upper Solnhofen Platy Limestone		
					Lower Solnhofen Formation	Lower Slump	
					Lower Solnhofen Platy Limestone		

Fig. 2. Upper Jurassic stratigraphy in the Southern Franconian Alb of southern Germany with the ammonite biozones and main lithologic characteristics. Modified from Zeiss (1977) and Koch *et al.* (1994).

### 시추코어와 연구방법

코어(Plaka 2-3, Plaka 3-2 및 Plaka 7-1)는 석재자원탐사의 일환으로 바이에른 주립지질연구소에 의하여 시추되었다(Fig. 3). 코어의 길이는 각각 33.3 m, 88 m, 70.3 m이다. 층서는 가이젠탈층의 상부에서 피른스하임층의 하부까지 포함하고 있기 때문에 모든 코어는 졸른호펜층 전체를 포함하고 있다. 코어의 최상부에는 제3기의 실트점토층이 부정합으로 놓여 있다.

코어는 1차 처리실로 옮겨서 길이 방향으로 절개하였다. 한 쪽 코어(archive core)는 반영구적으로 보존되었으며, 나머지 코어(working core)는 절개한 후에 40°C에 건조하여 분석하고자 하는 목적에 따라 사용되었다.

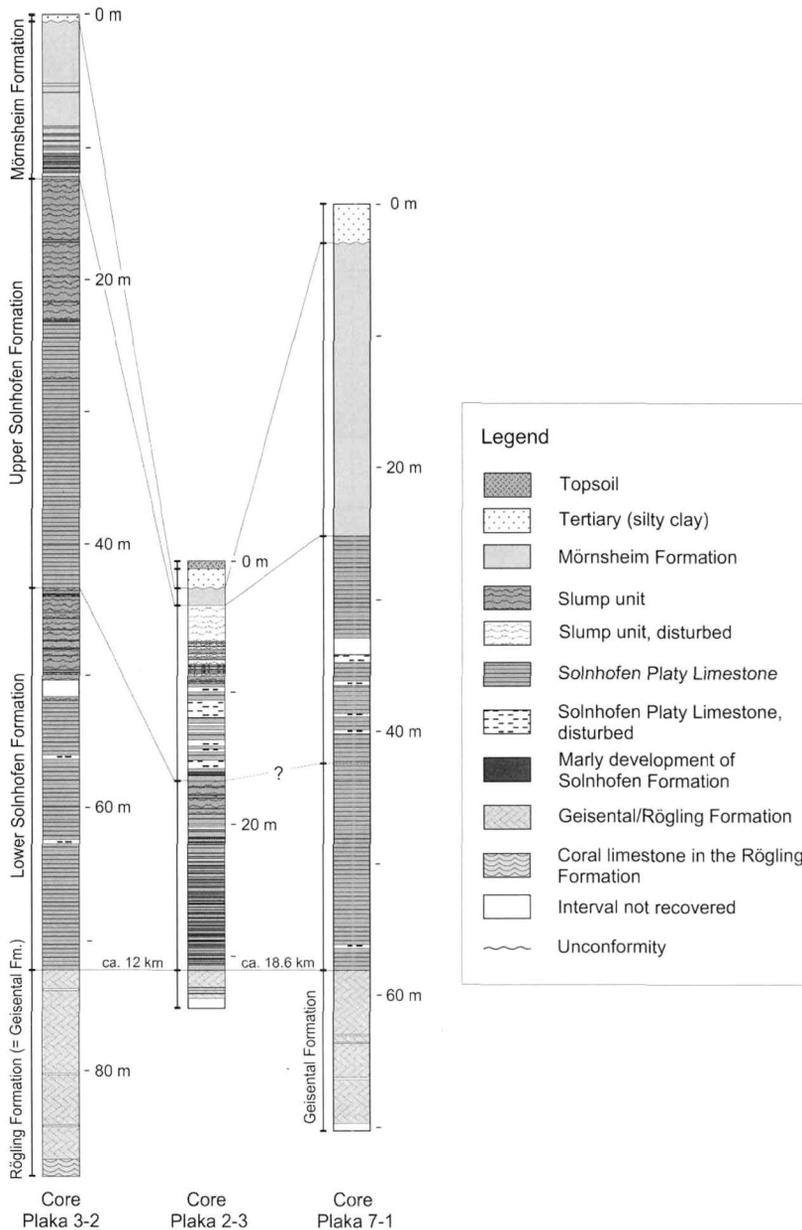
판상석회암의 암상이나 퇴적구조를 관찰하기 위하여 박편을 만들었으며, 박편관찰을 통하여 퇴적암 석학적 특징을 관찰하였다. 편광현미경으로 관찰하기 어려운 미세 퇴적구조는 주사전자현미경으로 관찰하였다. 이를 위하여 분석할 샘플을 건조한 다음 금으로 코팅하였고, Carl Zeiss(DSM 962)의 주사전자현미경을 이용하여 관찰하였다.

미크라이트 입자의 정확한 광물성분과 속성작용의 내용을 분석하기 위해서 일부 박편에 대하여 전자현미 분석을 하였다. 분석기기는 CAMELA SX50이었으며, 작동시간은 Ca, Mg, Sr, Ba에는 20초, Fe와 Mn에는 30초로 하였다. 주성분의 오차율은 <1%, 측정 한계값은 0.05%에서 0.1%이었다.

### 결과 및 토의

#### 판상석회암의 일반적인 암상

상부쥐라기 판상석회암은 밝은 회청색이지만, 노두에서 관찰되는 일반적인 색은 노란 색이다. 이는



**Fig. 3.** Lithostratigraphic correlation of the study cores. In core Plaka 7-1, the stratigraphic boundary between the Lower and Upper Solnhofen formations could not be determined by lithologic characteristics.

판상석회암에 소량 포함된 황화철이 풍화과정을 통하여 산화되면서 형성된 색이다(Gall, 1983).

동쪽 코어(Plaka 7-1 및 Plaka 2-3)에서 가이젠탈층은 규질성분이 많은 판상석회암으로 이루어져 있고 2-3개의 처어트층을 갖고 있다. 처어트층은 항상 가이젠탈층 최상부에 협재되어 나타나기 때문에 층의 경계를 짓는데 매우 유용하다. 기질에는 석고 위형(gypsum pseudomorph)이 자형으로 존재하지만, 현미경 관찰을 해보면 속성작용을 받아 규질화(silicification)되었음을 알 수 있다. 서쪽 코어(Plaka 3-2)에서는 처어트층이 존재하지 않으며 판상석회암보다는 층상석회암이 우세하게 발달되어 있다.

줄른호펜층의 판상석회암은 코어 Plaka 2-3에서 27.8 m의 전체 층 두께를 보이는데, Plaka 3-2에서

는 거의 60 m의 층 두께로 두꺼워진다. 이는 퇴적분지에 따라서 퇴적물이 다르기 때문이다(Park and Fürsich, 2003). 층의 상부구간 한두 군데에서는 카르스트작용을 받아 심하게 파괴되기도 하였다. 층의 상부와 하부를 나누는 슬럼프층은 동쪽 코어(Plaka 7-1)에서는 존재하지 않기 때문에 암질에 의한 층 구분은 사실상 불가능하였다(Fig. 3).

졸른호펜층 상부에는 뫼른스하임층이 놓인다. 졸른호펜층처럼 판상석회암으로 이루어져 있지만 규질성분이 상대적으로 풍부한 편이다. 이는 방산층과 해면류의 규질성분의 화석을 상대적으로 많이 함유하고 있기 때문이다. 그러나 층의 상부로 갈수록 규질성분은 적어지고 층은 다시 층상석회암으로 변한다.

#### 판상석회암의 호층과 기질

졸른호펜층의 판상석회암은 상·하부의 가이젤탈층과 뫼른스하임층과는 달리 점토광물이 상대적으로 많은 층(포일레층 *fäule bed*, 85~90% CaCO<sub>3</sub>)과 대부분 석회암으로 이루어진 층(플린츠층 *flinz bed*, 95~98% CaCO<sub>3</sub>)의 호층으로 되어 있다(Fig. 4; Flügel *et al.*, 1992; Park and Fürsich, 2001a; 박명호 외, 2002). 점토광물은 주로 일라이트, 카올리나이트 및 스멕타이트로 구성되어 있다(Hückel, 1974).

호층의 두께는 0.57 cm서부터 70 cm까지 매우 큰 폭으로 변한다. 포일레층과 플린츠층의 평균 두께는 각각 0.16 cm와 2.49 cm이다. 즉 코어에서의 플린츠층과 포일레층은 지층 두께에 있어서 15배 이상 차이가 남을 보여 준다.

분석한 코어의 판상석회암층은 여러 곳에서 엽층이 관찰되었으며(Fig. 4), 이들 엽층리는 다시 점토광물이 풍부한 엽층과 점토광물이 거의 없는 엽층이 쌍으로 호층(mini-couplet)을 이루고 있다. 하나의 엽층이 형성되는데 동일한 시간이 걸렸다고 가정한다면, 플린츠층은 포일레층보다 퇴적기간이 3.5 배 길었다(Park and Fürsich, 2003). 그러나 엽층리의 두께에서 차이가 나는 것은 점토광물을 상대적으로 많이 함유하고 있는 포일레층이 플린츠층보다 다짐작용을 많이 받았기 때문인 것으로 보인다.

판상석회암의 쪼개지는 면은 주로 포일레층과 플린츠층의 경계이다. 판상석회암이란 이름도 석회암의 이런 특성으로부터 유래하였다(Barthel *et al.*, 1990). 그러나 쪼개짐은 층(*bed*)의 경계에서만 일어나는 것은 아니며 엽층리(*lamina*)의 경계에서도 관찰되기 때문에, 단면에서 판상석회암을 관찰하면 얇은 종이를 쌓아놓은 모습처럼 보인다.

주로 방해석으로 구성된 기질의 입자는 5  $\mu\text{m}$  이하의 직경을 가지며, 대부분은 직경이 1~2  $\mu\text{m}$  사이인 미크라이트이다(Fig. 5). 그러나 일부 입자는 신형태작용(*neomorphism*)을 받아 형성된 6~9  $\mu\text{m}$  직경의 미크로스파라이트(*microsparite*)로 이루어져 있다. 이로 인하여 판상석회암은 복모드 입도



**Fig. 4.** Photograph of the Upper Jurassic platy limestone showing a typical alternation of pure micritic carbonate beds and marly micritic beds (arrows) with a sub-millimetric lamination, at site Schernfeld, 1 km west of core Plaka 2-3.

분포(bimodal size distribution)를 보인다고 할 수 있지만, 기질에서 미크로스파라이트는 대부분 3% 정도를 차지할 뿐이다(Fig. 5). 이외에 10  $\mu\text{m}$  이상의 직경을 가진 calcisphere와 코콜리드로 싸여있는 coccolithophorid가 드물게 관찰된다. 거화석 중에는 극피류의 *Saccocoma* 속(Frickhinger, 1994)과 연체류의 작은 조개껍질들도 드물게 관찰된다.

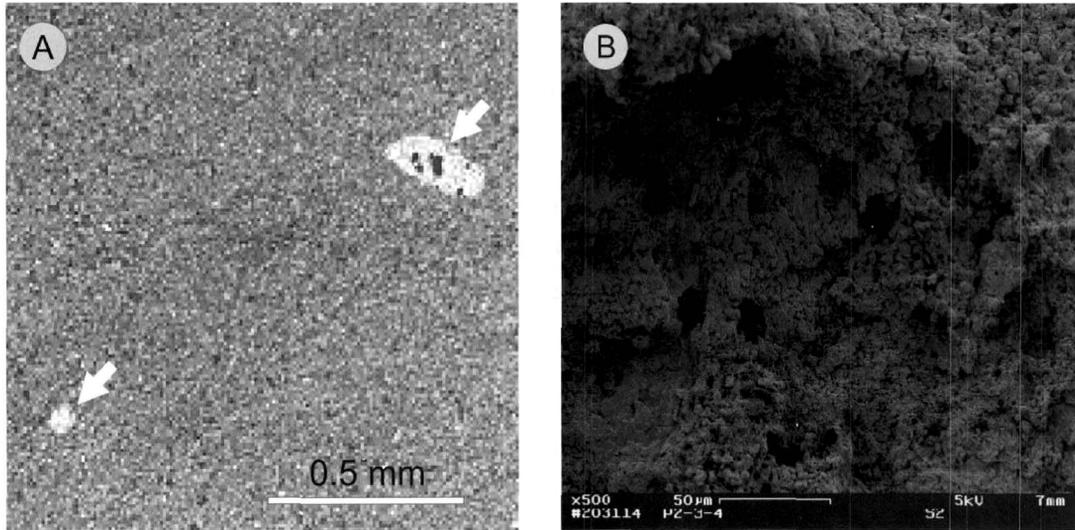


Fig. 5. Sedimentary facies of the Upper Jurassic platy limestone: (A) Microphotograph of the monotonous facies consisting of micritic (>95%) and recrystallized microsparitic (ca. 3%) matrix with some calcitic cements (arrows). (B) SEM micrograph of micritic matrix with some microcavities (10-25  $\mu\text{m}$  in diameter).

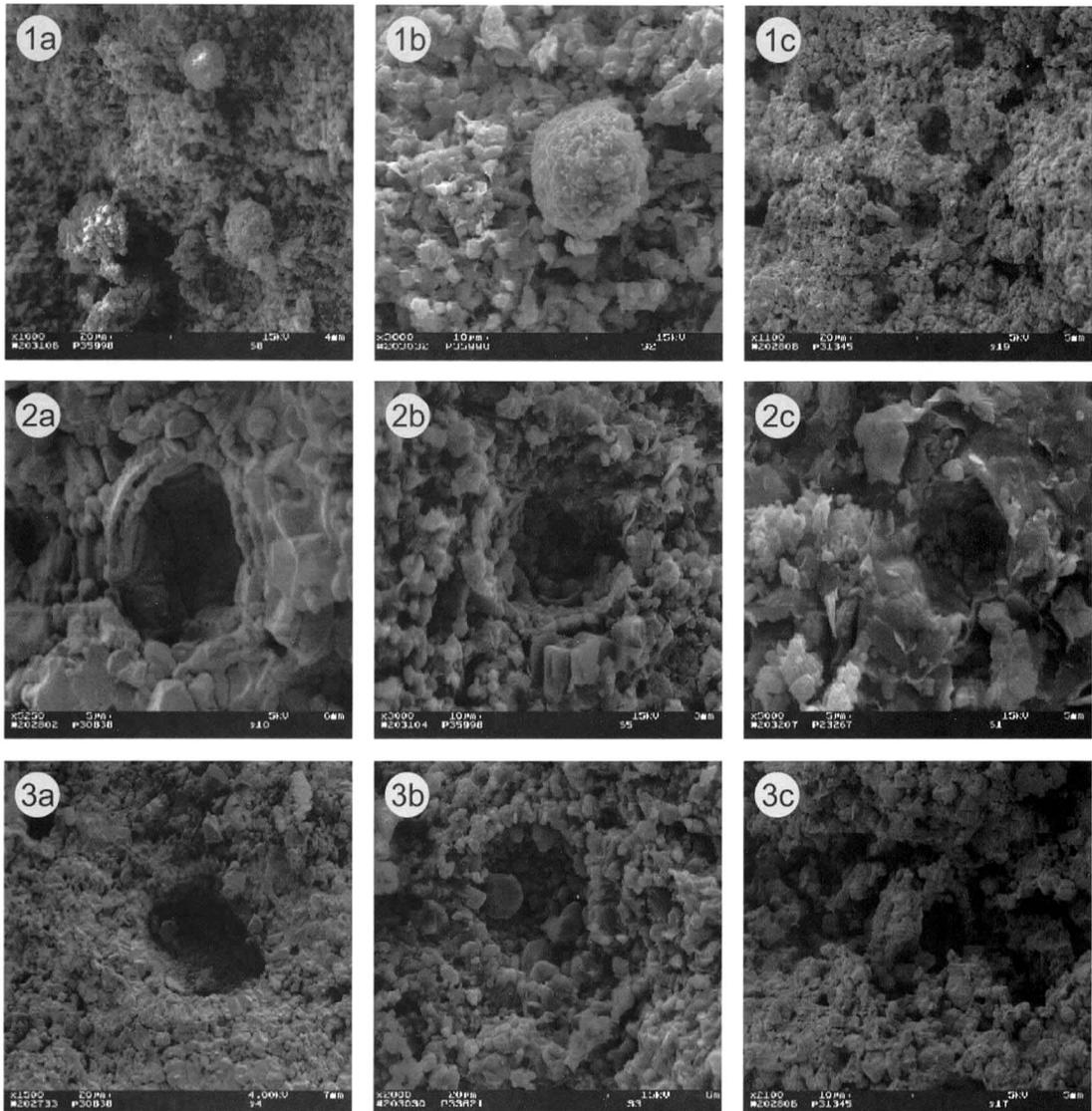
### 미세 동공구조의 종류

상부쥐라기 판상석회암은 몇 가지 특징적인 모양의 미세 동공구조를 갖고 있다. 주사전자현미경 관찰에 의하면 판상석회암에서 관찰되는 미세 동공구조는 형태와 크기가 매우 다양하지만 다음과 같이 크게 세 가지 종류로 나눌 수 있다(Fig. 6). 첫째, 구상형 남조세균 또는 미세조류의 형태를 띤 구형의 구조(Fig. 6-1a)와 이러한 구형체의 외부몰드처럼 보이는 동공구조(Fig. 6-1c)이다. 동공의 직경은 대부분 5~12  $\mu\text{m}$ 이다. 둘째, 코콜리드로 싸여 있는 coccosphere의 동공구조(Fig. 6-2a)로서 동공의 크기는 보통 10~15  $\mu\text{m}$ 이다. 재결정작용에 의하여 coccosphere의 일부 동공구조는 변질되어 외벽에 있는 코콜리드를 식별하기 힘들며(Fig. 6-2b), 심하게 변성 받은 동공구조는 원래의 모양조차 인식하기 힘든 모양이 된다(Fig. 6-2c). 마지막으로 관찰되어지는 동공구조는 calcisphere로부터 형성된 것으로 추정되는 동공구조(Fig. 6-3a)이다. 직경이 약 20  $\mu\text{m}$ 이며, 첫째와 둘째 종류의 직경보다 약 2배 정도 크고 특징적인 외벽을 갖고 있기 때문에 변질이 되었다고 하더라도 상대적으로 쉽게 구분이 가는 편이다.

이와 같이 판상석회암은 Keupp(1977a)가 언급한 구상형 미세조류의 구조와 Barthel *et al.*(1990)이 언급한 coccosphere 기원의 동공구조, 그리고 calcisphere에서 기원한 동공구조 등 세 종류의 형태 모두를 연구코어에서 찾을 수 있었다(Fig. 6). 그러나 미세 동공구조는 기질에서 2~3% 정도를 차지하고 있으며, 대부분의 기질은 미크라이트 입자로 구성되어 있다.

### 미세 동공구조와 미크라이트 입자의 기원

Noel(1978)은 지중해의 상부쥐라기와 백악기 석회암의 대부분이 미크라이트로 이루어져 있으며, 구성성분은 *Nannoconus*와 같은 식물성 플랑크톤이라고 밝힌 바 있다. 또한, Gocht(1973)와 Barthel *et*



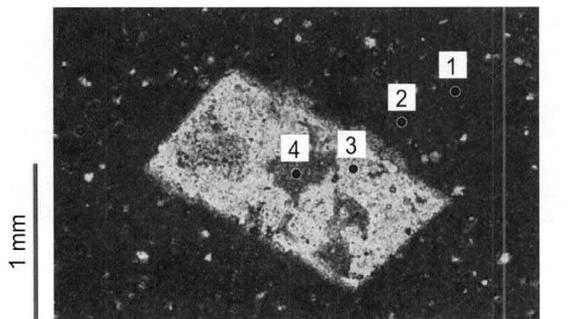
**Fig. 6.** SEM microphotographs showing possible diagenetic processes (a→b→c) of the open-space microstructures, which look like the outer walls secreted from coccoid cyanobacteria (1), originated from coccolithophorids (2) and calcareous cysts (3): (1a) Microstructure of the Lower Solnhofen Formation. Core Plaka 3-2 at 59.98 m. (1b) Close-up view of Fig. 6.1a. (1c) Upper Slump. Core Plaka 3-2 at 13.45 m. (2a) A coccosphere of *Cyclogelosphaera margereli*. Mömsheim Formation. Core Plaka 3-2 at 8.38 m. (2b) Lower Solnhofen Formation. Core Plaka 3-2 at 59.98 m. (2c) Geisental Formation. Core Plaka 2-3 at 32.67 m. (3a) Calcareous cyst of dinoflagellate (*Pithonella piriformis*). Mömsheim Formation. Core Plaka 3-2 at 8.38 m. (3b) Upper Solnhofen Formation. Core Plaka 3-2 at 36.21 m. (3c) Upper Slump. Core Plaka 3-2 at 13.45 m.

al.(1990)은 상부쥐라기 판상석회암의 기원을 코콜리드로 보고 있다. 즉 판상석회암의 1~3  $\mu\text{m}$  입자 크기는 코콜리드가 분해된 결정이고, 이것이 재결정작용을 받아서 인식하기 힘든 모양을 갖게 된 것이라고 추론한다. 코콜리드를 구성하고 있는 결정은 실제로 판상석회암의 마이크라이트 입자크기와 비슷하다. 그러나 코콜리드의 내부에서 유래된 결정은 정육면체(<1  $\mu\text{m}$ )이고 아주 약한 압력용해작용을 받아도 용해되며, 재침전이 일어나면 오히려 더 큰 입자(3~4  $\mu\text{m}$ )로 성장한다(Keupp, 1977a). 또한 안정적인 LMC(low-Mg-calcite)로 구성된 코콜리드의 결정이 용해작용으로 구상의 마이크라이트 입자로

되기에는 결정의 크기가 너무 작다. 게다가 판상석회암 내에서 코콜리드 화석은 보존이 양호한 상태로 발견되고 있기 때문에 코콜리드 판 주변의 기질만 선택적인 재결정작용을 받았다고 하기에는 설득력이 부족하다.

반면, Keupp(1977a, b)는 미세 동공구조의 크기가 구상 미세조류의 작은 세포(외부직경: 8-20  $\mu\text{m}$ )에서 기원되었다고 추론하였다. 그의 가정에 따르면, 구상 미세조류는 아라고나이트보다는 방해석을 분비하여 1~3  $\mu\text{m}$  크기의 작은 결정들로 이루어진 구상 구조를 만들었고, 포일레층의 주된 퇴적성분이 되었다고 한다. 그의 가설은 판상석회암의 기질이 왜 1~3  $\mu\text{m}$ 의 입자분포를 갖는지 잘 설명해 주고 있다. 그러나 구상 미세조류의 외벽 등 직접적인 화석 기원의 증거를 찾지 못하는 약점이 있다. 또한 다른 화석들이 잘 보존된 점을 감안한다면, 구상 미세조류에 대한 직접적인 증거가 나올 가능성이 높음에도 불구하고, 지금까지 보고된 게 전혀 없다. 그리고 구상 미세조류가 포일레층의 주된 성분이라고 했지만(Keupp, 1977a; Barthel *et al.*, 1990), 구상 미세조류에 의해 형성되었다는 동공구조는 플린츠층에서도 비슷한 빈도로 관찰되었다.

따라서 기존의 가설로는 판상석회암의 미세 입자에 대한 기원을 충분히 설명하지 못하고 있다. 그러나 모든 층 단위의 박편관찰과 전자현미 분석은 기질의 대부분을 차지하는 미크라이트 입자가 적어도 한 번 이상의 속성작용을 거쳐서 최종적으로 형성된 입자임을 잘 보여주고 있다. 이번 연구결과에 따르면, 후기속성작용, 특히 미크라이트작용은 기질뿐만이 아니라 자형결정에도 광범위하게 영향을 미치면서 판상석회암 전체에 영향을 주었다(Fig. 7). 즉, 판상석회암의 미크라이트는 그 기원에 있어서 후기속성작용에 의해 형성된 입자인 것으로 생각된다. 또한 자형결정 내의 미크라이트는 극히 일부분에 있어서 약한 돌로마이트작용(dolomitization)을 추가로 더 받기도 하였다. 기질에서의 돌로마이트작용은 코어에서는 관찰되지는 않았지만 인근 연구지역의 Kimmeridge의 하부층에서 이미 보고된 바 있다(Heim, 1999). 그러나 이웃한 지역의 하부층에 비하면, 연구코어에서 관찰된 판상석회암은 돌로마이트작용을 미약하게 받았거나 거의 받지 않았다.



- 1: Micrite ( $\text{CaCO}_3$ -97.5%,  $\text{MgCO}_3$ -0.69%,  $\text{SrCO}_3$ -0.44%)
- 2: Micrite ( $\text{CaCO}_3$ -96.7%,  $\text{MgCO}_3$ -1.0%,  $\text{SrCO}_3$ -0.32%)
- 3: Quartz ( $\text{SiO}_2$ -99.2%)
- 4: Micrite ( $\text{CaCO}_3$ -95.9%,  $\text{MgCO}_3$ -1.45%,  $\text{FeCO}_3$ -0.68%)

**Fig. 7.** Microphotograph of a gypsum pseudomorph in the micritic matrix and some selected EPMA examinations. The euhedral crystal was partially replaced by fine-grained micrite (relatively dark parts) forming poikiloblast-like texture in thin section. Core Plaka 7-1 at 68.73 m depth. Plane-polarized light.

## 결론

(1) 독일의 상부 쥐라기 판상석회암은 점토질이 상대적으로 많은 층과 대부분 석회암으로 구성된 층이 호층으로 되어 있다. 방해석 입자는 주사전자현미경을 이용한 관찰에서나 구분이 가능한 미크라이트(대부분 1~2  $\mu\text{m}$  직경)가 95% 이상이며, 일부 미크로스파라이트(직경: 6~9  $\mu\text{m}$ )로 구성되어 있다.

(2) 졸른호펜층의 판상석회암은 다짐작용, 압력용해작용, 스타일롤라이트 및 교질작용과 같은 속성

작용을 초기에 받았으며, 층의 일부 구간은 후기에 카르스트작용을 강하게 받아서 시추코어에서 결층이 되기도 하였다. 이와 같은 속성작용의 과정은 졸른호펜층의 상하층인 뢰른스하임층과 가이젠탈층에서도 비슷하게 관찰된다.

(3) 판상석회암의 기질은 특징적인 미세 동공구조를 갖고 있다. 동공의 직경이 대부분 5~25  $\mu\text{m}$ 이다. 빈도수 분석을 해보면 판상석회암의 미세 동공구조는 2~3%이다. 미세 동공구조는 단일 기원의 구조가 아니며, coccosphere, calcisphere 등 여러 가지 구상의 화석으로부터 유래한 흔적을 뚜렷이 보여주고 있다.

(4) 판상석회암이 받은 변화과정을 주사전자현미경과 전자현미를 이용하여 분석해 본 결과, 판상석회암의 미세 기질은 압력용해작용 및 규질작용 이후에 받은 마이크로이트작용의 후기속성작용을 통하여 형성된 것으로 보인다.

## 사 사

시추코어 작업과 운반을 도와준 바이에른 주립지질연구소(뮌헨)에 감사드린다. 독일의 U. Schüssler 박사는 전자현미 분석을 도와주었으며, 폴란드의 P. Kulbicki는 박편을 제작하여 주었다. 본 논문을 심사한 한국고생물학회지의 편집위원장인 이용남 박사와 연세대의 김남수 박사 그리고 익명의 심사위원께 감사드린다.

# Open-space microstructures and micritic particles of the Upper Jurassic platy limestone in southern Germany

Myong-Ho Park\*, Seong-Joo Lee\*\* and Kwang-Soo Seo\*

\*Department of Geoenvironmental Sciences, Kongju National University, Kongju, Chungnam 314-701, Korea

\*\*Department of Geology, Kyungbuk National University, Daegu 702-701, Korea

**Abstract:** The Upper Jurassic platy limestone in southern Germany consists of an alternation of calcite-rich and marly calcitic beds, which affected by early diagenesis such as compaction, dissolution, stylolitization or cementation. The matrix of the platy limestone is composed mainly of >95% micrites and partly of microsparites. The platy limestone contains several kinds of open-space microstructures ranging from 5 to 25  $\mu\text{m}$  in diameter. These have originated from several spherical fossils (e.g. coccosphere and calcisphere). However, SEM observations and electron microprobe analyses suggest that the micritic particles of the platy limestone have resulted from late diagenetic micritization rather than from the Upper Jurassic coccooids or coccoliths.

## 참고문헌

- 박명호, 김일수, 이영주, 2002 : 독일 남부지역에서 시추한 상부쥐라기 코어 시료의 유기물 특성 연구. *자원환경지질* v. 35, p. 429-436.
- Barthel, K., Swinburne, N. and Conway Morris, S., 1990 : Solnhofen : a Study in Mesozoic Palaeontology. Cambridge Univ. Press, Cambridge, 236 pp.
- Flügel, E., Groiss, J., Koch, R., Senowbari-Daryan, B. and Zeiss, A., 1992 : Facies and diagenesis of sponge-algal mudmounds (Franconian Alb). in : Falk, F. (ed.), Guidebook. 13. IAS Regional Meeting of Sedimentology, International Association of Sedimentologists, p. 99-132.

- Freyberg, B. v., 1968 : Übersicht über den Malm der Altmühl-Alb. *Erlanger geologische Abhandlungen*, v. 70, p. 1-37.
- Frickhinger, K., 1994 : The Fossils of Solnhofen : Documenting the Animals and Plants Known From the Plattenkalks. Goldschneck, Korb, 336 pp.
- Gall, J.-C., 1983 : Ancient Sedimentary Environments and the Habitats of Living Organisms: Introduction to Palaeoecology. Springer, Berlin, 219 pp.
- Gocht, H., 1973 : Einbettungslage und Erhaltung von Ostracoden-Gehäusen im Solnhofener Plattenkalk (Unter-Tithon, SW-Deutschland). *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Monatshefte*, v. 1973, p. 189-206.
- Heim, A., 1999 : Fazies, Diagenese und Fossilinhalt der oberjurassischen Plattendolomit-Fossilagestätte von Pfraundorf (unteres Altmühltal). Diploma thesis, University of Würzburg, 77 pp.
- Hückel, U., 1974 : Vergleich des Mineralbestandes der Plattenkalke Solnhofens und des Libanon mit anderen Kalken. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlungen*, v. 145, p. 153-182.
- Keupp, H., 1977a : Ultrafazies und Genese der Solnhofener Plattenkalke (Oberer Malm, Südliche Frankenalb). *Abhandlungen der Naturhistorischen Gesellschaft Nürnberg*, v. 37, 128 pp.
- Keupp, H., 1977b : Der Solnhofener Plattenkalk - ein Blaugrünalgen-Laminit. *Paläontologische Zeitschrift*, v. 51, p. 102-116.
- Koch, R., Senowbari-Daryan, B. and Strauss, H., 1994 : The Late Jurassic Massenkalk Fazies of Southern Germany: Calcareous sand piles rather than organic reefs. *Facies*, v. 31, p. 179-208.
- Meyer, R., 1977 : Mikrofazies im Übergangsbereich von der Schwammfazies zur Korallen-Spongiomorphorphiden-Fazies im Malm (Kimmeridge-Tithon) von Regensburg bis Kelheim. *Geologisches Jahrbuch A*, v. 37, p. 37-69.
- Meyer, R. and Schmidt-Kaler, H., 1984 : Erdgeschichte sichtbar gemacht. Ein geologischer Führer durch die Altmühlalb. *Bayerisches Geologisches Landesamt*, 260 pp.
- Meyer, R. and Schmidt-Kaler, H., 1989 : Paläogeographischer Atlas des süddeutschen Oberjura (Malm). *Geologisches Jahrbuch A*, v. 115, p. 3-77.
- Noel, D., 1978 : Les calcaires à *Nannoconus* (dits Calcaires à *Calpionelles*) de l'Ermitage d'Esparron (Isère), au passage Tithonique - Berriasien. Note de Laboratoire Paléontologie Université de Genève, v. 13, p. 109-113.
- Park, M.-H. and Fürsich, F.T., 2001a : Cyclic nature of lamination in the Tithonian Solnhofen Plattenkalk of southern Germany and its palaeoclimatic implications. *International Journal of Earth Sciences*, v. 90, p. 847-854.
- Park, M.-H. and Fürsich, F.T., 2001b : Simulation study on centimetric alternations of fäule and flinz beds in the Upper Jurassic Solnhofen Formation (Bavaria, Germany). *Archaeopteryx*, v. 19, p. 89-96.
- Park, M.-H. and Fürsich, F.T., 2003 : Cyclicity in the alternating beds of the Upper Jurassic Solnhofen Formation (southern Germany) and its cyclostratigraphic implications. *Newsletters on Stratigraphy*, v. 39, p. 125-142.
- Swinburne, N. and Hemleben, C., 1994 : The plattenkalk facies: A deposit of several environments. *Geobios, Memoir Special*, v. 16, p. 313-320.
- Zeiss, A., 1977 : Jurassic stratigraphy of Franconia. *Stuttgarter Beiträge der Naturkunde, B*, v. 31, p. 1-32.