자원환경지질, 제35권, 제5호, 429-436, 2002
Econ. Environ. Geol., 35(5), 429-436, 2002

독일 남부지역에서 시추한 상부쥐라기 코어 시료의 유기물 특성 연구

박명호[1] · 김일수[1]* · 이영주[2]

[1]연세대학교 지구시스템과학과, [2]한국지질자원연구원 석유 · 해저자원연구부

Characterization of Organic Matter in Upper Jurassic Core Samples Drilled in Southern Germany

Myong-Ho Park[1], Il-Soo Kim[1]* and Youngjoo Lee[2]

[1]Department of Earth System Sciences, Yonsei University, Shinchon-dong 134, Seodaemun-gu, Seoul 120-749, Korea

[2]Petroleum · Marine Resources Research Division, Korea Institute of Geoscience and Marine Resources, Daejeon 305-350, Korea

Core samples, drilled in the middle region of Bavaria, were analyzed to study the characteristics of organic matter in the Upper Jurassic Solnhofen limestone of southern Germany. The core (48°53'N, 11°19'E) contains Upper Jurassic Solnhofen strata ranging from the upper part of the Geisental Formation throughout the Solnhofen Formation to the lower part of the Mörnsheim Formation. In the core, the Upper Jurassic lithologies consist of platy limestone, bedded limestone and massive limestone often interbedded with some chert layers. Geochemical variations (Carbon, Nitrogen and Total Organic Carbon) and Rock-Eval pyrolysis parameters (S_2 peak and Hydrogen Index) indicate that the organic matter in the Upper Jurassic limestone is mostly of marine origin. Particularly, the relationship of Hydrogen Index and S_2 as a function of Total Organic Carbon suggests that the upper formation of the core (Mörnsheim Formation) was more influenced by terrigenous influx than the Solnhofen and Geisental Formations.

Key words : Solnhofen limestone, organic matter, Total Organic Carbon, Upper Jurassic, southern Germany

남부독일의 상부쥐라기 석회암 내에 들어 있는 유기물의 특성을 연구하기 위하여 바이에른 중부지역에서 시추한 코어 시료를 분석하였다. 코어(북위 48°53', 동위 11°19')는 가이젠탈층의 상부에서 졸른호펜층의 전체를 걸쳐 뫼른스하임층의 상부까지 중생대 상부쥐라기의 석회암으로 구성되어 있다. 코어에서 상부쥐라기 암질은 판상석회암, 층상석회암 및 괴상석회암으로 이루어져 있으며, 일부 처어트층이 협재되어 나타나기도 한다. 지화학 변화(탄소, 질소, 총유기탄소)와 Rock-Eval 열분해 데이터(S_2 피크와 수소지수)는 상부쥐라기 석회암이 대부분 해양성 기원임을 지시한다. 특히, 수소지수와 총유기탄소 그리고 S_2의 상호 상관관계는 층에 따라 비례 또는 반비례의 관계를 보여주고 있다. 이는 코어의 하부층(가이젠탈층과 졸른호펜층)에 비하여 코어의 상부층인 뫼른스하임층이 육원성 퇴적물의 유입에 영향을 좀 더 많이 받았음을 의미한다.

주요어 : 졸른호펜 석회암, 유기물, 총유기탄소, 상부쥐라기, 남부독일

1. 서 론

독일의 남부지방에 분포하는 상부쥐라기 석회암은 시조새(*Archaeopteryx*) 화석 등 정교하게 보존된, 수많은 무척추 및 척추동물 화석의 산출로 유명하다. 생물의 뼈대나 껍질 부분 이외에도 일반적으로 화석화되기 어려운 연체부분의 정교한 부분까지 화석화작용을 받아 산출되기도 한다. 이러한 특성 때문에 Seilacher (1970)는 상부쥐라기 석회암을 '화석광상'(fossil lagerstätten)의 대표적인 예라고 언급한 바 있다 (Shields, 1998).

상부쥐라기 석회암 중에서 졸른호펜층(Solnhofen

*Corresponding author: ilsoo_kim@lycos.co.kr

mation)의 석회암은 대부분 탄산염광물이 90% 이인 층(소위 플린츠층, flinz bed)과 육원성 광물 등에 해 탄산염광물의 정량이 다소 낮은 층(소위 포일레 , fäule bed)이 서로 교호하며 이루어져 있다 Hückel, 1974; Barthel *et al.*, 1990; 문지원 등, 001). 졸른호펜층의 퇴적기간은 약 55만 년이며, 층의 주기성은 주로 상부쥐라기 세차주기(ca. 18.2 kyr : Berger and Loutre, 1994)의 영향 하에 형성된 것으로 보인다(Park and Fürsich, 2002). 또한 주기분석과 시뮬레이션 결과에 의하면, 졸른호펜층을 이루는 플린츠층과 포일레층의 한 쌍(couplet)은 수백 년에서 천 년의 기후주기를 의미한다(Park and Fürsich, 2001). 이들 교호층은 다시 밀리미터 단위 이하(sub-millimeter)의 엽리(laminae)로 이루어져 있다. Hemleben (1977)은 층의 엽리가 1년 단위의 시간을 의미한다고 생각했으나, 최근의 연구결과에 따르면 엽리는 1년 주기와 관계가 없는 평균 2년 이상의 다년(multi-year) 주기이다(Park and Fürsich, 2001).

전통적으로 남부독일의 상부쥐라기 석회암은 개방형 해양환경이라기보다는 해수의 유입이 어느 정도 제한된 석호(lagoon)에 가까운 환경에서 형성되었을 것으로 생각하고 있다. 그러나 염도는 현생 아열대 석호환경에서 발견되는 염도(예: 텍사스의 Laguna Madre-최대 65‰ : Friedman and Sanders, 1978; Tomczak and Godfrey, 1994])보다 상당히 낮았을 것으로 추정하고 있다(Barthel *et al.*, 1990). 분지의 하부층은 상부층에 비하여 산소가 결핍한 환경이었고, 분지 내의 물은 염도 차에 의하여 안정적인 층(stratification)이 형성되었다(Keupp, 1977).

그러나 상부쥐라기 석회암의 유기지화학적 특성에 대한 연구는 지금까지 전무하다. 따라서 본 논문에서는 상부쥐라기 석회암의 유기물(organic matter)에 대한 지화학적 특성을 밝히고자 하였다. 또한 지화학 분석결과로부터 졸른호펜 분지(Solnhofen basin)의 퇴적환경에 대하여 논의하였다.

2. 상부쥐라기 석회암의 지질과 층서

소위 알트뮐그룹(Altmühl Group)이라고 부르는 상부쥐라기의 퇴적층(sediment package)이 독일 남동부 지역에 잘 발달되어 있다(Fig. 1 : Freyberg, 1964). 알트뮐그룹의 하부는 가이젠탈층(Geisental Formation)이며, 보통 층리가 발달되어 있지 않은 석회암으로 구성되어 있다. 중간층과 상부층은 졸른호펜층과 뫼른스하

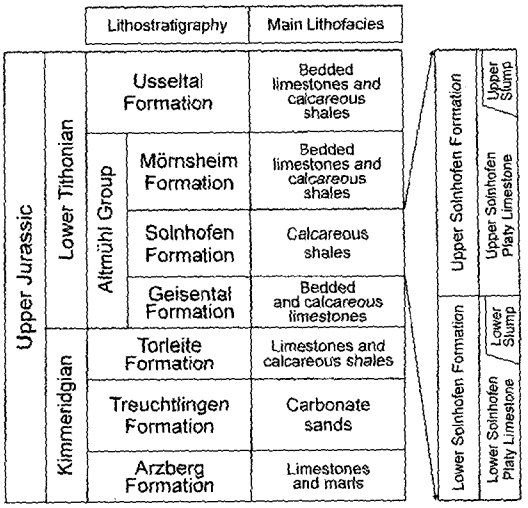

Fig. 1. Upper Jurassic stratigraphy of southern Germany with main lithologic characteristics. Modified from Zeiss (1977).

임층(Mörnsheim Formation)으로 각각 이루어져 있다. 특히 졸른호펜층은 하부 졸른호펜판상석회암(Lower Solnhofen Platy Limestone), 하부 슬럼프층(Lower Slump), 상부 졸른호펜판상석회암(Upper Solnhofen Platy Limestone), 상부 슬럼프층(Upper Slump) 등으로 세분할 수 있다(Barthel *et al.*, 1990). 노두에서 슬럼프층은 그의 퇴적구조 때문에 수평층리가 발달된 판상석회암과 쉽게 구별할 수 있다(Fig. 2). 슬럼프층의

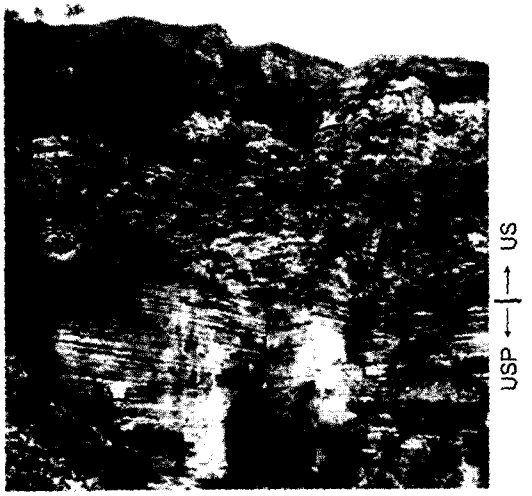

Fig. 2. Upper Solnhofen Formation in the west wall of the Horstberg quarry, south of Solnhofen. The dotted line indicates the boundary between Upper Slump (US) and Upper Solnhofen Platy Limestone (USP).

층 두께는 큰 폭으로 변하며, 퇴적분지에 따라 슬럼프층을 보이지 않는 곳도 있다(Meyer and Schmidt-Kaler, 1989).

지층의 구조는 남동쪽으로 기울어져 있으며, 층의 경사는 3 이하로 거의 수평에 가까울 정도로 완만하다(Meyer and Schmidt-Kaler, 1994). 이 지역에서 쥐라기 지층의 석회암은 500 m 이상 두껍게 발달되어 있으며(Flügel *et al.*, 1992), 그 중에서 하부 티톤(Lower Tithonian) 시기 중에 형성된 졸른호펜층은 평균 50 m 정도의 두께를 보인다. 쥐라기 지층의 최상부는 풍화를 받아 결층이 되었다. 부정합으로 백악기 상부의 석회암이 남동부 독일에 부분적으로 퇴적되었으며, 이후 신생대 제3기와 제4기의 쇄설퇴적물이 여러 지역에 걸쳐 퇴적되었다(Barthel *et al.*, 1990).

졸른호펜층을 포함하는 남동부 독일의 쥐라기 지층에는 크게 두 가지의 퇴적상(sedimentary facies)이 있다. 지층의 층리면(bedding plane)이 발달한 소위 일반퇴적상(normal facies)이 지배적이며, 산호나 해면류의 부산물로 형성된 소위 암초퇴적상(reef facies)도 여러 지역에서 발견되고 있다(Zeiss, 1977; Reitner *et al.*, 1995). 알트뮐그룹에서는 일반퇴적상이 졸른호펜층의 상부와 중간 부분에서 발달되어 있는 반면, 암초퇴적상은 졸른호펜층의 상·하부에 놓이는 가이젠탈층과 뫼른스하임층에서 발달되어 있다(Zeiss, 1977).

3. 분석방법

연구코어(Plaka 7-1)는 바이에른 지질연구소의 주관하에 1998년 시추되었고, 코어의 층과 암석이 파괴되어 있지 않고 잘 보존되어 있는 편이어서 본 연구를 위하여 선택하였다. 연구코어는 남동부 독일의 뮌헨(Munich)과 뉘른베르크(Nuremberg) 사이에서 시추한 70.3 m 길이의 코어이다. 시추한 고도는 491 m이고, 위치는 북위 48°53', 동위 11°19'이다(Fig. 3). 코어는 길이축 방향으로 절단하여, 반은 보존코어(archive core)로서 반영구적으로 보존하였으며, 나머지 반은 분석코어(working core)로서 이용하였다. 분석코어는 다시 반으로 절단하여, 한 쪽은 코어 표면을 연마한 후 코어기재용으로 이용하였으며, 다른 한 쪽은 몇 가지 지화학 분석을 위한 시료채취용으로 사용하였다.

석회암 내의 유기물의 특성을 분석하기 위하여 코어 시료를 냉동건조 후 분말화하여 사용하였다. 총탄소(Total Carbon)의 함량은 LECO사의 WR-112를 사용하였고, 총유기탄소(Total Organic Carbon)의 함량과

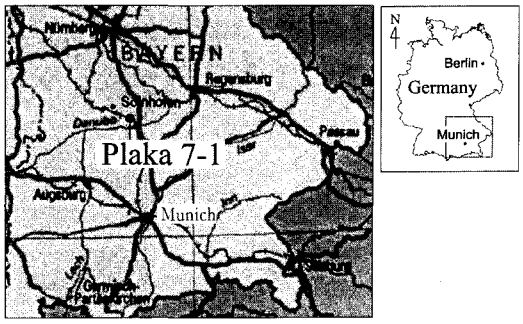

Fig. 3. Location of the study core.

수소지수(Hydrogen Index) 및 S_2(=S_2 peak value)를 측정하기 위하여 Vinci사의 Rock-Eval 6을 사용하였다. Rock-Eval 6의 기기 구성은 크게 열분해(pyrolysis) 부분과 산화(oxidation) 부분으로 나누어진다. 열분해 부분에서는 유기탄소를 주로 측정하고, 산화 부분에서는 일부 유기탄소 및 무기탄소를 측정한다. 열분해 동안에는 유리 탄화수소(free hydrocarbon) 및 잠재 탄화수소(potential hydrocarbon)가 불꽃이온화검출기(FID: Flame Ionization Detector)에 의해서 검출되어 나타나는 것으로 크게 S_1, S_2로 나뉠 수 있다. S_1 피크는 오븐의 온도가 200°C에서 300°C로 높아질 때 암석 내의 액상 유리 탄화수소가 휘발되어 검출되는 것이고, S_2 피크는 석유의 근원물질인 케로젠(kerogen)이 300°C에서 650°C 사이에서 열분해 되어 나타나는 것이다. 여기서 S_1, S_2의 단위는 mg HC/g Rock, 즉 1 g의 암석이 생성했거나 혹은 생성할 수 있는 탄화수소의 양을 나타낸다. 열분해 동안에 생성되는 일산화탄소(승온 온도 500°C 이하) 및 이산화탄소(승온 온도 400°C 이하)는 적외선검출기(Infra-red Cell)로 정량화하여 계산한다.

4. 결 과

4.1. 코어의 암질

코어 Plaka 7-1은 상부 가이젠탈층부터 졸른호펜층을 거쳐 하부 뫼른스하임층까지의 암질을 포함하고 있다(Fig. 4). 하부 뫼른스하임층 위에는 제3기 퇴적층이 부정합 관계로 놓여 있으며, 주로 쇄설성 규산질 퇴적물로 구성된 실트질 점토(silty clay)이다.

코어를 이루고 있는 세 층의 일반적인 암질은 다음과 같다:

1. 가이젠탈층(Geisental Formation): 다른 층에 비하여 상대적으로 밝은색을 띄고 있는 가이젠탈층의 석

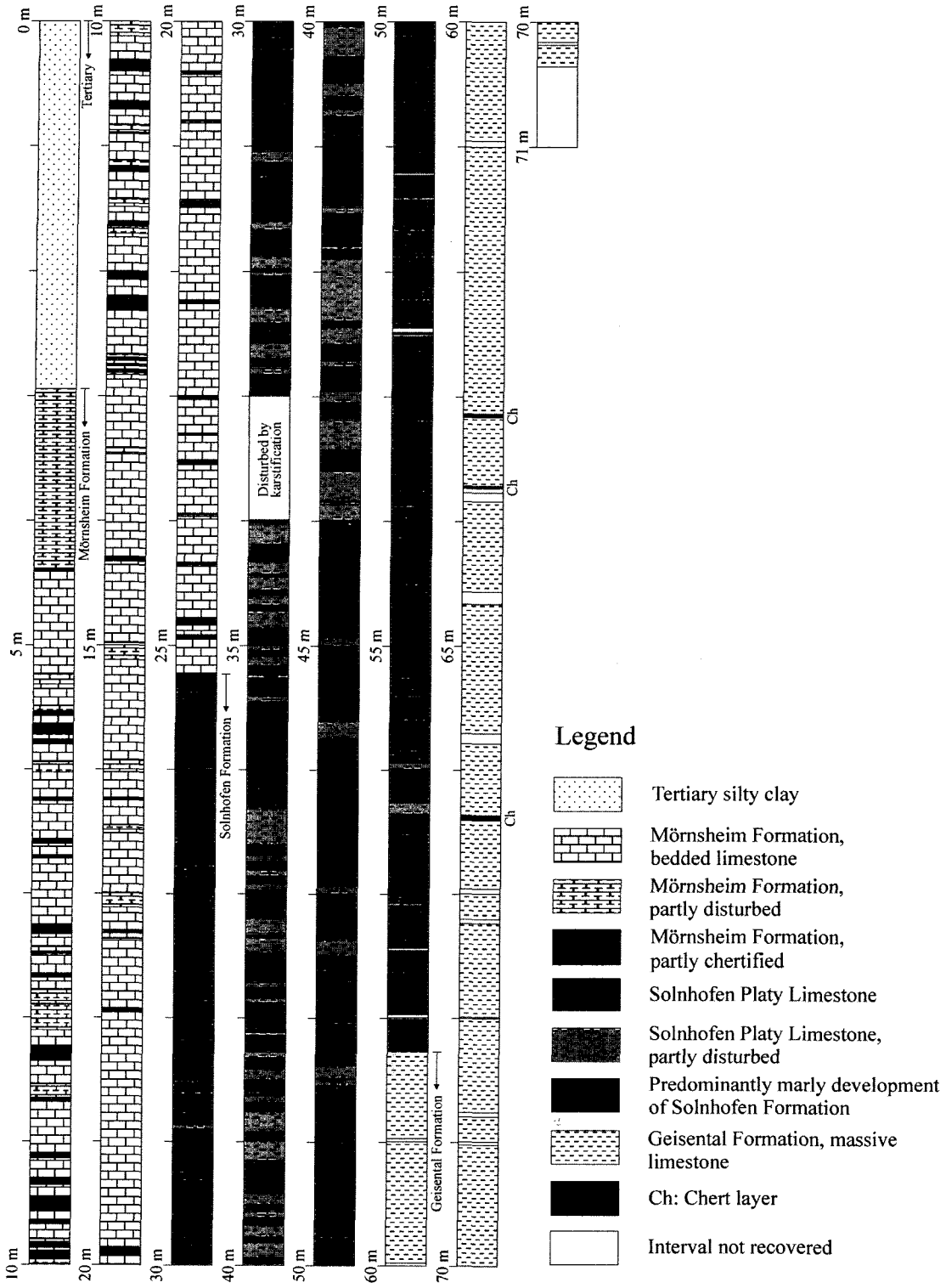

Fig. 4. Lithologic profiles of core Plaka 7-1.

회암은 층리가 발달되어 있지 않고 괴상(massive)이다. 코어에서는 세 개의 쳐어트층(chert layer)이 발달되어 있지만, 이들 쳐어트층이 서쪽지역에서는 발견되지 않는다(Meyer and Schmidt-Kaler, 1989). 층의 상부에는 석고(gypsum) 결정이 밀리미터 크기의 자형으로 일부 존재한다.

2. 졸른호펜층(Solnhofen Formation): 졸른호펜층을 이루는 포일레층과 플린츠층은 밀리미터 규모의 엽리로 이루어져 있다. 포일레층의 엽리가 플린츠층의 그것보다는 평균적으로 더 얇다. 연구지역의 동쪽 퇴적분지(레겐스부르크 부근)와는 달리, 본 연구지역의 졸른호펜 석회암은 유기물을 거의 함유하고 있지 않기 때문에 유질석회암에서 보이는 것과 같은 짙은 색을 띠지 않는다. 포일레층은 황갈색(10YR 7/2)에서 회색빛 오렌지색(10YR 7/3)이고, 플린츠층은 이보다는 약간 밝은 황갈색(5Y 7/1)이 대부분이다. 하부층(가이젠탈층)과는 암질에서 쉽게 구분이 가지만, 상부층(뫼른스하임층)과의 경계부분은 다소 모호하다. 코어에서는 층서지시자인 상·하부 슬럼프층이 발달되어 있지 않으며, 상부 졸른호펜층의 일부 코어 구간이 카르스트작용(karstification)으로 파괴되었다.

3. 뫼른스하임층(Mörnsheim Formation): 두꺼운 층상석회암이 주구성 암석이고 판상석회암이 일부분 협재되어 있다. 층의 하부에서 졸른호펜층과 마찬가지로 포일레층과 플린츠층이 일부분 교대되어 나타난다. 그러나 뫼른스하임층은 졸른호펜층에 비하여 규질 성분의 화석들(예: 해면류의 침골)이 전체적으로 풍부한 편이다. 규질성분 중엔 옥수(chalcedony)와 같이 이차적으로 형성된 광물이 교질물로 존재한다.

4.2. 지화학 분석결과

분석된 총탄소(TC)의 함량은 평균 10.22%(4.56~12.46%)로 높게 나타난다. 반면, 총유기탄소(TOC)의 함량은 평균 0.032%(0.01~0.17%)로 매우 낮게 나타난다(Fig. 5). 하부층(가이젠탈층)에서 상부층(뫼른스하임층)으로 갈수록 총탄소의 함량은 11.89%에서 9.47%로 약간 감소하는 양상을 나타내지만, 총유기탄소의 함량은 층에 따라 거의 변화를 보이지 않는다. 단지 하부 졸른호펜층에서 채취한 한 시료(51.75 m)에서 상대적으로 높은 총유기탄소의 값을 보인다. 이는 시료가 유기물과 점토광물의 함량이 높고 탄산염광물의 함량이 상대적으로 낮은, 전형적인 포일레층(fäule bed)이기 때문이다(Barthel *et al.*, 1990). 가이젠탈층과 졸른호펜층의 하부 구간(49.37~57.89 m)에서 총탄소의 함량이

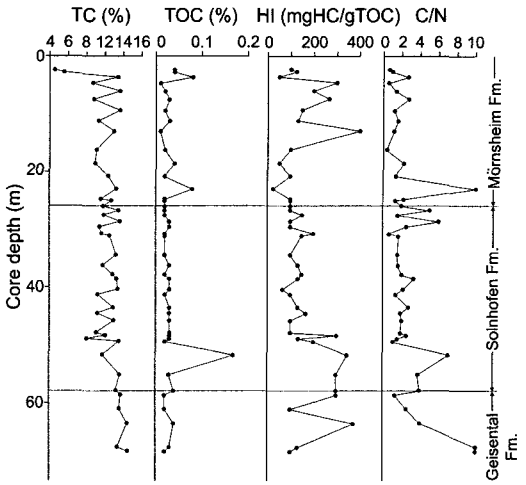

Fig. 5. Variations in Total Carbon (TC), Total Organic Carbon (TOC), Hydrogen Index (HI), and C/N ratio with depth for core Plaka 7-1.

다소 증가하는 양상을 보이며 이 구간은 수소지수(HI)의 변화양상과 대비된다. 수소지수는 평균 159.79 mgHC/gTOC이며(Fig. 5), 뫼른스하임층의 4.63~16.23 m 구간과 졸른호펜층의 하부구간(49.37~57.89 m)에서 상대적으로 높은 값을 가진다. 수소지수의 평균값도 가이젠탈층으로 갈수록 증가하는 양상을 보인다(146.67 mgHC/gTOC에서 201.60 mgHC/gTOC까지). 특히 졸른호펜층의 하부에서 증가하는 양상이 뚜렷이 보인다. 코어에서 총유기탄소와 질소의 비율(C/N 비)은 0.33에서 10까지의 값을 가지며, 평균 2.73의 값을 나타낸다(Fig. 5). 뫼른스하임층의 하부, 졸른호펜층의 하부, 그리고 가이젠탈층에서 C/N 비가 증가하는 경향을 보인다.

5. 토 의

총유기탄소와 질소의 비율에 대한 연구(Emerson and Hedges, 1988; Jasper and Gagosian, 1990; Meyers, 1994)에 의하면, C/N 비가 4~6의 범위이면 신선한 해양성 기원으로, 20보다 큰 값을 갖는 경우는 육원성 기원으로 본다. 육원성 맥관식물(vascular plants)에는 섬유소(cellulose)가 상대적으로 많은 반면, 조류(algae)에는 섬유소가 상대적으로 결여되며 질소성 단백질(nitrogenous protein)을 풍부하게 갖고 있기 때문에 이런 비율의 차이가 생긴다(Meyers, 1997). 분석시료에서 측정된 평균값이 2.73으로 낮은 것은 퇴적물 내의 유기물이 해양성 기원임을 시사한다(Jasper and

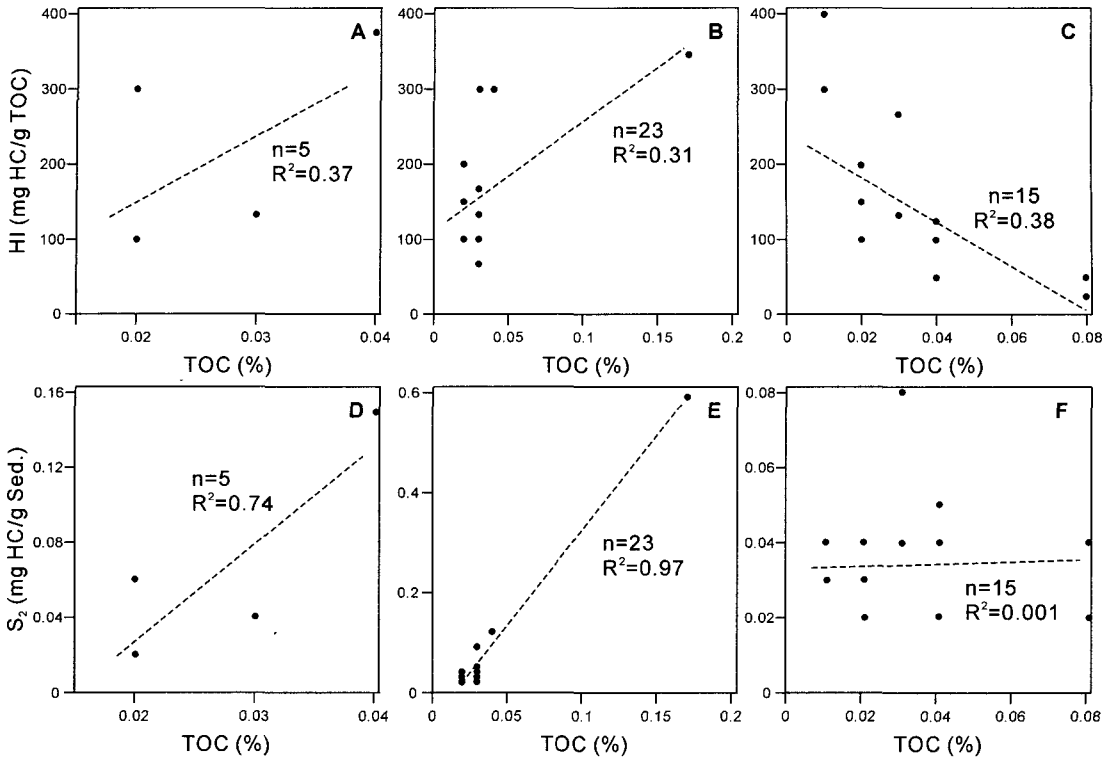

Fig. 6. Crossplots between TOC and HI (A-C), and between Rock-Eval pyrolysis S2 peak values and TOC (D-F) for the Geisental Formation (A, D), Solnhofen Formation (B, E), and Mörnsheim Formation (C, F). n = number of samples.

Gagosian, 1990; Meyers, 1994). 그러나 일부 구간에서 해양성을 지시하는 비율보다 낮은 값을 갖고 있어 전체적으로 명확한 기원을 밝히기 위해서는 좀 더 정밀한 실험을 필요로 한다. 특히 일부 시료의 측정치가 1 이하로 나타나는 경우도 있는데, 이런 경우는 너무 낮은 값을 갖기 때문에 C/N 비만을 갖고 유기물의 기원을 판단할 수는 없다(Meyers, 1997).

총유기탄소와 수소지수의 상관관계에서 세 층의 특징을 비교해 보면, 우선 뫼른스하임층은 반비례 관계의 추세를 보인다(Fig. 6C). 기존 연구결과에 의하면 (Tissot and Welte, 1984; Hunt, 1996), 이와 같은 반비례 관계는 해양성 기원의 유기물이 총유기탄소 안에 상대적으로 적음을 의미한다. 반면, 뫼른스하임층의 하부층인 졸른호펜층과 가이젠탈층에서는 총유기탄소가 증가하면 수소지수도 증가하는, 비례관계를 보인다 (Fig. 6A, B). 이는 해양성 유기물이 상대적으로 많이 포함되어 총유기탄소의 증가에 영향을 미치고 있기 때문이다. 그러나 세 층 모두 다소 낮은 상관지수(R_2= 0.31~0.37)를 보이기 때문에, 총유기탄소와 수소지수의 비례 또는 반비례 관계를 이용한 유기물의 기원을 명확히 밝히는데 문제가 있을 수 있다. 또한 수소지수 함량은 점토광물(예: 스멕타이트, 일라이트)이나 석고 또는 방해석과 같은 광물의 함량 증가로 인하여 그 값이 현격히 떨어질 수 있는 원인을 제공하기 때문에 (Espitali *et al.*, 1980; Orr, 1983; Hunt, 1996), 이와 같은 변수도 함께 고려하여 판단해야 한다.

그러나 위와 같은 상관관계는 S2와 총유기탄소의 관계에서도 비슷하게 보여주고 있다(Fig. 6D-F). 즉 가이젠탈층과 졸른호펜층에서는 해양환경에서 볼 수 있는 비례형태를 나타내고 있다(Fig. 6D, E : Katz and Elord, 1983; Langford and Blanc-Valleron, 1990). 이들 두 층에서의 상관지수는 상대적으로 높은 편이다 (R_2=0.74~0.97). 그러나 뫼른스하임층에서는 S_2와 총유기탄소의 상관관계가 거의 인식되지 않는다(Fig. 6F). 또한 가이젠탈층에 비해 졸른호펜층이 좀 더 해양환경의 영향을 받았던 것으로 생각되지만(Keupp, 1977; Barthel *et al.*, 1990), 총유기탄소와 S_2의 절대값이 상당히 낮은 관계로 두 층의 양상이 뚜렷이 구분되지는 않는다.

위에서 기술한 두 가지의 상관관계로 생각해 볼 때,

세 층 모두 해양환경에서 형성되었으나, 상부층인 뫼른스하임층은 하부층인 가이젠탈층과 졸른호펜층에 비하여 육원성의 영향을 좀 더 많이 받은 것으로 보인다. 이는 가이젠탈층에서 뫼른스하임층으로 전이되면서 해수면 하강(sea-level lowering)에 따른 해퇴(regression)에 의한 것으로 생각된다. 졸른호펜층 내에서의 퇴적률과 암상 변화에 대한 연구에 따르면(Park and Fürsich, 2002), 코어 Plaka 7-1은 하부졸른호펜층에서 평균 4.8 cm/kyr의 퇴적률을 보이며 상부졸른호펜층에서는 평균 7.16 cm/kyr의 퇴적률이며, 상부슬럼프층에서는 퇴적률이 9.25 cm/kyr로 증가하여, 졸른호펜층 내에서는 상부로 갈수록 퇴적률이 분명하게 증가함을 보여주었다. Park and Fürsich(2002)은 퇴적률 증가와 함께 층의 안정성이 감소하여 붕락(slumping)이 일어난 결과로 슬럼프층이 형성된 것으로 보고 있다. 이와 같은 현상은 졸른호펜층의 퇴적기간 동안 이루어진 해퇴에 의한 결과로 생각된다. 본 논문에서 밝힌 유기물의 특징에 대한 상관관계도 퇴적률과 암질 변화의 연구 결과와 전체적으로 부합하여 나타나고 있다.

6. 결 론

총 70.3 m 길이의 코어 Plaka 7-1은 가이젠탈층의 상부 부분부터 졸른호펜층의 전체부분을 거쳐 뫼른스하임층의 하부 부분까지 포함하고 있다. 세 지층은 상부쥐라기의 하부 티톤(150.7~149.3 Ma : Hardenbol *et al.*, 1998) 중에 형성된 석회암층이며, 층의 경계는 암상(lithologic facies)에 의해 어렵지 않게 구분할 수 있다. 특히 판상석회암으로 이루어진 졸른호펜층은 플린츠층과 포일레층의 호층(alternating beds)으로 이루어져 있으며, 각각의 호층에는 미세한 엽리가 잘 발달되어 있다. 그러나 연구코어에서는 졸른호펜층에서 일반적으로 관찰되는 상 · 하부 슬럼프층(Upper and Lower Slump units)이 관찰되지 않는다. 이는 퇴적분지가 상대적으로 안정한 지형에 위치해 있었기 때문에(Hemleben, 1977) 붕락이 일어나지 않은 것으로 보인다.

상부쥐라기 석회암은 유질석회암에서 볼 수 있는 색을 전혀 띠지 않으며, 총유기탄소 분석에서도 매우 낮은 함량(평균 0.032%)을 갖고 있다. 총유기탄소, 수소지수 및 S_2의 상호 상관관계는 분석한 세 층 모두가 해양환경의 퇴적분지에서 형성된 석회암임을 지시하고 있다. 또한 유기지화학 분석의 결과는 코어의 상위구간으로 갈수록 육원성 퇴적물의 유입에 영향을 좀 더 많이 받았음을 보여주고 있다.

사 사

저자는 코어를 제공해 준 독일 바이에른 지질조사소(Barbarian Geological Survey in Munich)에 감사드린다. 또한 논문을 심사해 주신 연세대 김남수 박사님과 무명의 심사위원께 건설적 비평과 조언에 대하여 감사드린다. 연구기간 동안 독일학술연구재단(German Research Foundation, Fu 131/23-1)으로부터 재정적인 지원을 받았다.

참고문헌

문지원, 박명호, 송윤구, 문희수 (2001) 졸른호펜 석회암의 퇴적성인에 대한 점토광물학적 연구. 자원환경지질, v. 34, p. 243-254.

Barthel, K.W., Swinburne, N.H.M. and Conway Morris, S. (1990) Solnhofen: A study in Mesozoic Palaeontology. Cambridge Univ. Press, Cambridge, 236 p.

Berger, A.L. and Loutre, M.F. (1994) Astronomical forcing through geological time. Int. Ass. Sediment., Spec. Publ., v. 19, p. 15-24.

Emerson, S. and Hedges, J.I., (1988) Processes controlling the organic carbon content of open ocean sediments. Paleoceanography, v. 3, p. 621-634.

Espitali , J., Madec, J. and Tissot, B. (1980) Role of mineral matter in kerogen pyrolysis: Influence on petroleum generation and migration. AAPG Bull., v. 64, p. 58-66.

Flügel, E., Groiss, J.T., 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 Reg. Meet. Sediment., Univ. Jena, Intern. Ass. Sediment., p. 99-132.

Freyberg, B.V. (1964) Geologie des Weißen Jura zwischen Eichstätt und Neuburg/Donau (Südliche Frankenalb). Erlanger geol. Abh., v. 54, p. 1-97.

Friedman, G.M. and Sanders, J.E. (1978) Principles of Sedimentology. John Wiley & Sons, New York, 792 p.

Hardenbol, J., Thierry, J., Farley, M.B., Jacquin, T., de Graciansky, P.-C. and Vail, P.R. (1998) Mesozoic and Cenozoic sequence chronostratigraphic framework of European basins. In: de Graciansky, P.-C., Hardenbol, J., Jacquin, T. and Vail, P.R. (eds.), Mesozoic and Cenozoic Sequence Stratigraphy of European Basins. SEPM, Spec. Publ. No. 60, p. 3-13.

Hemleben, C. (1977) Allochthone und autochthone Sedimentanteile in den Solnhofener Plattenkalken. N. Jb. Geol. Paläont. Mh., v. 1977, p. 257-271.

Hückel, U. (1974) Vergleich des Mineralbestandes der Plattenkalke Solnhofens und des Libanon mit anderen Kalken. N. Jb. Geol. Paläont. Abh., v. 145, p. 153-182.

Hunt, J.M. (1996) Petroleum Geochemistry and Geology. Freeman, New York, 743 p.

Jasper, J.P. and Gagosian, R. (1990) The sources and dep-

osition of orgtanic matter in the Late Quaternary Pygmy Basin, Gulf of Mexico. Geochim. Cosmochim. Acta, v. 54, p. 1117-1132.

Katz, B.J. and Elord, L.W. (1983) Organic geochemistry of DSDP Site 467, offshore California, Middle Miocene to Lower Pliocene strata. Geochim. Cosmochim. Acta, v. 47, p. 389-396.

Keupp, H. (1977) Ultrafazies und Genese der Solnhofener Plattenkalke (Oberer Malm, Südliche Frankenalb). Abh. Naturhist. Ges. Nürnberg, v. 37, 128 p.

Langford F.F and Blanc-Valleron, M.M (1990) Interpreting rock-eval pyrolysis data using graphs of pyrolysable hydrocarbons vs. total organic carbon. AAPG Bull., v. 74, p. 799-804.

Meyer, R.K.F. and Schmidt-Kaler, H. (1989) Paläogeographischer Atlas des süddeutschen Oberjura (Malm). Geol. Jb., v. A115, p. 3-77.

Meyer, R.K.F. and Schmidt-Kaler, H. (1994) Fazieswandel und Probleme der Stratigraphie im Obermalm (Tithon) zwischen Solnhofen und Neuburg/D. (Bayern). Erlanger geol. Abh., v. 123, p. 1-49.

Meyers, P.A. (1994) Preservation of elemental and isotopic source identification of sedimentary organic matter. Chem. Geol., v. 114, p. 289-302.

Meyers, P.A. (1997) Organic geochemical proxies of paleoceanographic, paleolimnologic, and paleoclimate processes. Org. Geochem., v. 27, p. 213-250.

Orr, W.L. (1983) Comments on pyrolytic hydrocarbon yields in source-rock evaluation. In Bjorϕy *et al.*(eds.), Advances in Organic Geochemistry. Wiley & Sons, p. 775-787.

Park, M.-H. and Fürsich, F.T. (2001) Cyclic nature of lamination of the Tithonian Solnhofen Plattenkalk of southern Germany and its palaeoclimatic implications. Geol. Rundschau (Intern. J. Earth Sci.), v. 90, p. 847-854.

Park, M.-H. and F rsich, F.T. (2002) Cyclicity in the alternating beds of the Upper Jurassic Solnhofen Formation (southern Germany) and its cyclostratigraphic implications. Newslett. Stratigr., v. 40, in press.

Reitner, J., Neuweiler, F., Flajs, G., Vigener, M., Keupp, H., Meischner, D., Paul, J., Warnke, K., Weller, H., Dingle, P., Hensen, C., Schäfer, P., Gautret, P., Leinfelder, R. R., Hüssner, H. and Kaufmann, B. (1995) Mud mounds: A polygenetic spectrum of fine-grained carbonate buildups. Facies, v. 32, p. 1-70.

Seilacher, A. (1970) Begriff und Bedeutung der Fossil-Lagerstätten. N. Jb. Geol. Paläont. Mh., v. 1970, p. 34-39.

Shields, G. (1998) What are Lagerstätten? Lethaia, v. 31, p. 124.

Tissot, B. and Welte, D.H. (1984) Petroleum Formation and Occurrence. Springer, Berlin, 699p.

Tomczak, M. and Godfrey, J.S. (1994) Regional Oceanography: An Introduction. Pergamon, Oxford, 422 p.

Zeiss, A. (1977) Jurassic stratigraphy of Franconia. Stuttgarter Beitr. Naturk., v. B31, p. 1-32.

2002년 8월 30일 원고접수, 2002년 10월 24일 게재승인.