

<Short Note>

## 군산분지 마이오세-플라이오세 식물파편의 탄소동위원소 조성

홍성경\* · 신영재

한국지질자원연구원 석유해저연구본부

### 요 약

군산분지 IIIH-1XA와 Haema-1 공의 신제삼기 퇴적층은 식물 파편을 다량 포함한다. 식물 파편의 탄소동위원소 조성은 군산분지에 포함된 식물 파편이 C3 식물에서 유입된 것임을 지시한다. 식물파편의 탄소동위원소 조성 변동은 식물의 서식 당시 대기 중 이산화탄소 탄소동위원소의 조성 변동을 반영한다. 따라서 군산 분지 식물 파편의 탄소동위원소 변동은 신제삼기 지층의 퇴적시기 해석 및 시추공 간의 층서 대비에 추가적 정보로 활용될 수 있다. IIIH-1XA 공의 식물 파편 탄소동위원소 변동은 중기 마이오세-플라이오세에 퇴적된 해양 탄산염 퇴적물의 탄소동위원소의 변동과 유사하다. 이전 생층서 연구 자료와 탄소동위원소 변동을 종합하면, IIIH-1XA 공의 최대값을 보이는 516~660 m 구간은 12~16 Ma에, 최소값을 보이는 264 m는 2~4 Ma에 대비될 수 있다. Haema-1 공의 610~720 m 구간은 IIIH-1XA 공의 516~624 m 구간과 유사한 탄소동위원소 조성과 변동을 보이므로 퇴적 시기를 중기 마이오세로 해석하였다.

**주요어:** 군산분지, 식물파편, 탄소동위원소, 마이오세-플라이오세, 퇴적시기

**Sung Kyung Hong and Young Jae Shinn, 2014, Carbon isotopic composition of Miocene-Pliocene terrestrial plant matters in Gunsan Basin, Yellow Sea. Journal of the Geological Society of Korea. v. 50, no. 4, p. 529-537**

**ABSTRACT:** Cenozoic strata of IIIH-1XA and Haema-1 wells in the Gunsan Basin contain abundant terrestrial plant matters. The carbon isotopic compositions ( $\delta^{13}\text{C}$ ) of plant matters indicate that the plant matters were originated from C3 plants. The variation found in  $\delta^{13}\text{C}$  of plant matters reflects change in the  $\delta^{13}\text{C}$  of atmospheric  $\text{CO}_2$ . Thus, the variation of  $\delta^{13}\text{C}$  of plant matters can be used to define depositional age and to make stratigraphic correlation between wells in the Gunsan Basin. The  $\delta^{13}\text{C}$  curve in IIIH-1XA well is correlated with that of the Middle Miocene-Pliocene deep-sea carbonate. Considering general biostratigraphy and carbon isotope curve together, 516~660 m interval having the maximum  $\delta^{13}\text{C}$  value and 264 m interval having the minimum  $\delta^{13}\text{C}$  value can be correlated with 12~14 Ma and 2~4 Ma, respectively.  $\delta^{13}\text{C}$  compositions and variations for 610~710 m interval in Haema-1 well are similar to those of 516~624 m interval of the IIIH-1XA well. This result suggests that the 610~720 m interval in Haema-1 well was deposited during the Middle Miocene.

**Key words:** Gunsan Basin, Plant matters, Carbon isotope, Miocene-Pliocene, Depositional age

(Sung Kyung Hong and Young Jae Shinn, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resource, Petroleum and Marine Research Division, 124 Gwahang-no, Yuseong-gu, Daejeon 305-350, Republic of Korea)

### 1. 서 론

대기 중 이산화탄소의 탄소동위원소 조성은 전지구적 장주기 탄소 순환(long term global carbon cycle)에 영향을 받아 지질시대에 따라 다양한 변동을 보인다(Kump and Arthur, 1999; Montañez *et al.*, 2000). 따라서 대기 중 이산화탄소의 탄소동위원소

변동 복원은 화석이 부족한 지역의 지질시대를 밝히는 중요한 정보로 활용될 수 있다. 해양 탄산염퇴적물의 탄소동위원소 변동은 대기 중 이산화탄소의 탄소동위원소 변동을 지시하므로 이를 이용한 지질시대 해석연구가 진행되고 있다(Holser, 1997; Veizer *et al.*, 1999). 비록 식물의 탄소동위원소는 대기 중 이산화탄소의 탄소동위원소 조성 이외에 서식환경 등에

\* Corresponding author: +82-42-868-3394, E-mail: [skhong@kigam.re.kr](mailto:skhong@kigam.re.kr)

영향을 받지만 해양 탄산염퇴적물과 식물의 탄소동위원소 변동은 지질시대에 걸쳐 유사한 것으로 알려져 있다(Gröcke, 1998; Hasegawa, 2001; Hasegawa *et al.*, 2013). 따라서 퇴적물에 포함된 식물파편의 탄소동위원소 조성은 해양 탄산염퇴적물과 더불어 지질시대 해석에 유용하다.

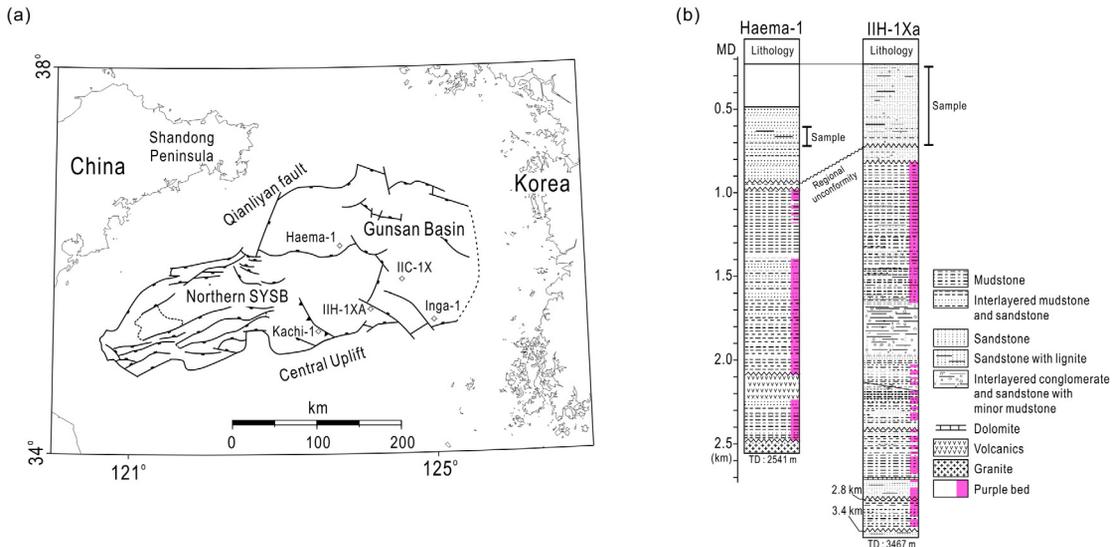
군산분지는 서해 대륙붕에 위치하는 백악기-신생대 퇴적분지로 육성 쇄설성암과 화산암으로 충전되어 있다(그림 1). 군산분지에서 석유가스 탐사를 목적으로 5공의 시추가 이루어졌으며 물리탐사가 수행되었다. 5개 시추공의 미화석 생층서 연구(Park *et al.*, 1997; Cheong *et al.*, 1998; Yun *et al.*, 2000; KNOC, 2008; Byun *et al.*, 2013a)와 탄성과 층서 연구(Ryu *et al.*, 2000; Park *et al.*, 2010; Shinn *et al.*, 2010)는 중기마이오세부터 군산분지는 완만한 침강이 지속되면서 중기마이오세-현생 퇴적층이 광역적으로 퇴적되었음을 지시한다.

군산분지 신제삼기 퇴적층은 식물 파편을 포함한다. 따라서 신제삼기 퇴적층 식물파편의 탄소동위원소 조성 연구는 군산분지에 광역적으로 분포하는 신제삼기 퇴적층의 퇴적시기 해석 및 시추공 대비에 요구되는 정보를 제공할 수 있을 것으로 판단된다. 이번 연구에서는 IIIH-1XA과 Haema-1공의 마이오

세-플라이오세 퇴적층에 포함된 식물 파편의 탄소동위원소 변동 원인을 밝히고, 해양 탄산염퇴적물의 탄소동위원소와 대비하여 군산분지 신제삼기 퇴적층의 퇴적시기에 대한 추가적인 정보를 제공하고자 한다.

## 2. 연구지역

연구지역인 군산분지는 산둥반도 남동쪽 해역에 동북동-서남서 방향으로 발달하는 북부 남황해분지(Northern South Yellow Sea Basin)의 동부 지역으로 북쪽의 Qianliyan 융기대와 남쪽으로 Central 융기대와 접하고 있다(그림 1a). 군산분지에서는 북동-남서 방향의 주향이동성 단층과 북서-남동 방향의 공액단층 시스템들이 우세하게 나타난다. 군산분지는 전기 백악기에 형성되기 시작하여, 에오세 시기까지 구조적 침강과 분지 확장을 겪었다. 중기 마이오세 이전에 압축구조운동이 있었고, 그 후에 열적 수축에 의한 완만한 침강이 지속되면서 중기 마이오세-현생 퇴적층이 발달하였다. 석유탐사를 목적으로 시추된 5개 탐사공의 석회질(운조, 복족류, 개형충, 유공충) 및 유기질 미화석(화분, 포자)의 생층서 연구를 통해 군산분지 퇴적층의 지질시대는 백악기에



**Fig. 1.** (a) Geological setting of the South Yellow Sea Basin (SYSB) (modified from Shinn *et al.*, 2010) and location of the Gunsan Basin and 5 exploratory wells. (b) Lithology of Haema-1 and IIIH-1XA wells (modified from Shinn *et al.*, 2010).

**Table 1.** Carbon isotopic compositions of plant matters in IIIH-1XA and Haema-1 wells.

| Well     | Depth (m) | d <sup>13</sup> C <sub>PDB</sub> (‰) | Well     | Depth (m) | d <sup>13</sup> C <sub>PDB</sub> (‰) |
|----------|-----------|--------------------------------------|----------|-----------|--------------------------------------|
| IIIH-1XA | 246       | -28.0                                | IIIH-1XA | 642       | -25.4                                |
|          | 264       | -28.7                                |          | 660       | -25.9                                |
|          | 282       | -28.1                                |          | 678       | -26.7                                |
|          | 300       | -26.9                                |          | 696       | -26.2                                |
|          | 372       | -26.5                                |          | 714       | -26.4                                |
|          | 390       | -27.8                                |          | Average   | -26.3                                |
|          | 426       | -26.7                                |          | Max       | -24.8                                |
|          | 462       | -25.8                                |          | Min       | -28.7                                |
|          | 480       | -25.6                                |          | 610       | -24.7                                |
|          | 498       | -25.8                                |          | 680       | -24.9                                |
|          | 516       | -24.8                                | 690      | -25.8     |                                      |
|          | 534       | -25.2                                | 700      | -25.6     |                                      |
|          | 552       | -25.3                                | 710      | -25.8     |                                      |
|          | 570       | -25.5                                | 720      | -25.6     |                                      |
|          | 588       | -25.9                                | Average  | -25.4     |                                      |
|          | 606       | -25.6                                | Max      | -24.7     |                                      |
| 624      | -25.6     | Min                                  | -25.8    |           |                                      |

서 신생대에 이르는 것으로 알려져 있다. 관심구간인 IIIH-1XA 공 800 m와 Heama-1 공 1000 m 상부 구간은 식물 파편을 포함하고 있는 미고결 사암과 이암으로 구성되며 주로 하호성 환경에서 형성되었다(그림 1b). 식물 파편이 관찰되는 Haema-1 공의 610~720 m 구간을 중심으로 기존 생층서 연구를 살펴보면 중기-후기 마이오세(Park *et al.*, 1997; Cheong *et al.*, 1998), 중기 마이오세(Yun *et al.*, 2000; Yi *et al.*, 2003; Byun *et al.*, 2013a), 초기-중기 마이오세(KNOC, 2008)로 다양하게 해석된다. 식물 파편이 관찰되는 IIIH-1XA 공 246~714 m 구간은 기존 연구자들에 의해서 중기 마이오세와 플라이오세(Park *et al.*, 1997; Cheong *et al.*, 1998; Yun *et al.*, 2000; KNOC, 2008; Byun *et al.*, 2013a)로 해석되었다. NPI (2000)은 357~469 m 구간에 후기 마이오세가 존재하는 것으로 제안하였다.

### 3. 연구방법

식물파편은 IIIH-1XA 공(246~714 m)과 Haema-1 (610~720 m) 공에서 채취되었다(그림 1b). 퇴적물에 포함된 1~3 mm 크기의 식물 파편을 구간별 100

여개 채취였다. 식물파편은 증류수로 세척한 후 건조하여 분말로 분쇄하였다. 퇴적물 내 식물파편의 탄소동위원소 비를 측정하기 위해서 분말 시료를 10% 염산(HCl)에 반응시켜 탄산염물질을 제거하였다. 전처리를 완료한 시료는 한국기초과학지원연구원 EA-IRMS (Elemental Analyzer-Isotope Ratio Mass Spectrometer, 영국 GV Instruments사의 Isoprime 모델)를 이용하여 유기물의 <sup>13</sup>C/<sup>12</sup>C 비를 분석하였다. 표준물질은 NBS22를 이용하였다. 탄소동위원소 분석정밀도는 약 ±0.2‰이다.

### 4. 분석결과 및 토의

#### 4.1 군산분지 식물 파편의 탄소동위원소 분석결과

IIIH-1XA 공 246~714 m 구간 식물 파편의 탄소동위원소 조성은 -28.7~-24.8‰(평균 -26.3‰) 범위를 보인다(표 1). 687~714 m 구간을 제외하고 430 m 하부 구간은 -25.8‰ 보다 높은 값을 보이는 반면에서 246~426 m 구간은 -26.8‰ 보다 낮은 값을 보인다. 전반적인 탄소동위원소 조성은 714 m에서 516 m 까지 증가하며 이후에 감소한다(그림 2). Haema-1 공 610~720 m 구간 식물파편의 탄소동위원소 조성

은 -24.7~-25.9‰(평균 -25.4‰)의 범위에 분포하며 (표 1) 상부로 갈수록 증가한다(그림 2).

**4.2 군산분지 식물 파편의 탄소동위원소 변동에 영향을 미친 요인**

이번 연구에서 제시한 식물 파편의 탄소동위원소 조성은 구간별 100여개의 식물파편을 추출하여 측정한 값으로 퇴적 시기 동안 퇴적 분지 전체 걸쳐 서식하던 식생들의 탄소동위원소 조성을 지시한다. 따라서 군산분지 식물 파편의 탄소동위원소 조성 변동은 단시간에 걸쳐 한정된 지역에서 발생하는 요인에 영향 받기보다 광합성 기작, 광합성에 사용된 이산화탄소의 탄소동위원소 조성, 식생의 서식 환경과 같이 장기간에 걸쳐 넓은 지역에 발생하는 요인에 영향을 받은 것으로 판단된다(Arens *et al.*, 2000; Hasegawa, 2003). 식물은 광합성 기작에 따라 C3, C4,

CAM 식물로 구분된다. C3의 식물은 평균 -26‰, C4 식물은 평균 -12‰의 탄소동위원소 조성을 보이며 CAM 식물은 C3와 C4 식물의 중간 값을 나타낸다(Smith, 1972). 군산분지 식물파편의 탄소동위원소 범위는 -28.7~-24.8‰로 식물 파편은 대부분 C3 식물에 기원한 것으로 판단된다. 그러나 IIIH-1XA 공 462~660 m, Haema-1 공 610~720 m 구간은 평균 C3 탄소동위원소에 비해서 높은 탄소동위원소 조성을 보이는 반면 이들 구간 보다 상부는 C3 식물의 평균 보다 낮은 값을 보인다. 이러한 특성을 고려하면 IIIH-1XA 공의 462~660 m, Haema-1 공의 610~720 m 구간에 높은 탄소동위원소 조성을 보이는 C4 식물의 일부가 포함되었을 가능성을 제안할 수 있다. CAM 식물은 사막이외의 지역에서는 서식하지 않으므로 군산분지의 식물 파편에 CAM 식물이 포함될 가능성은 제외하였다(Quade *et al.*, 1989). C4 식물은 32-23 Ma

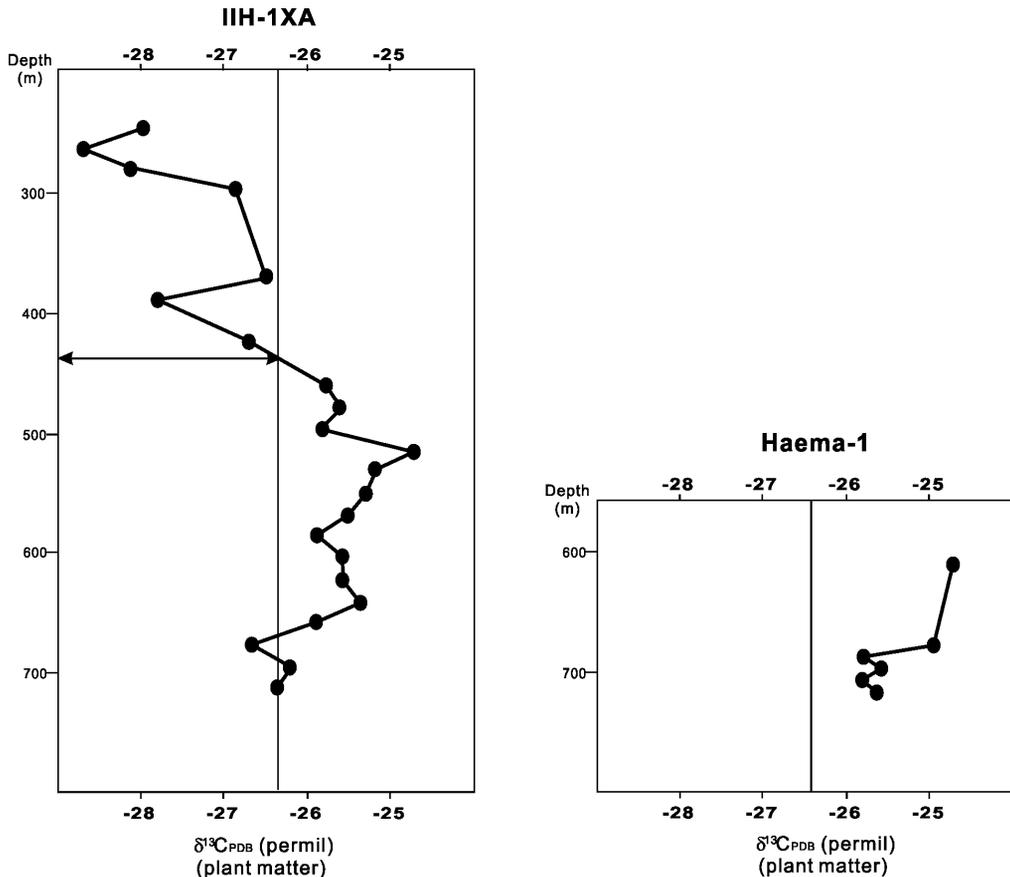


Fig. 2. Variation in carbon isotopic composition of plant matters in IIIH-1XA and Haema-1 wells.

에 나타나기 시작하나(Fox and Koch, 2003; Edwards *et al.*, 2010; Urban *et al.*, 2010), 마이오세 최후기에 본격적으로 서식한 것으로 알려져 있다(Dettman *et al.*, 2001; Retallack, 2001). 군산분지가 포함된 아시아 지역에서 C4 식물은 건조한 대륙 내부지역을 중심으로 최후기 마이오세 이후에 서식한 증거들이 관찰되고 있다(Ding and Yang, 2000; Zhang *et al.*, 2009; Sun *et al.*, 2013). 군산분지의 높은 탄소동위원소 조성을 보이는 구간은 미화석 연구를 통해서 퇴적 시기는 중기 마이오세로 평가된다(Park *et al.*, 1997; Cheong *et al.*, 1998; Yun *et al.*, 2000; KNOC, 2008; Byun *et al.*, 2013a). 따라서 이들 구간이 상부에 비해서 다량의 C4 식물을 포함할 가능성은 매우 희박하다. 게다가 C4 식물은 건조한 지역에 우세하며 우림이 발달한 습윤한 지역에는 C3 식물이 우세한 특성을 고려할때 중기 마이오세 동안 고온 다습한 난온대 기후를 유지하고(Byun *et al.*, 2013b), 난온대 활엽수림이 분포했을 군산분지에 C4 식물이 서식하기 어려웠을 것으로 판단된다(Pound *et al.*, 2012). 따라서 IIIH-1XA 공의 250~710 m, Haema-1 공의 610~720 m 구간에 퇴적 시기와 고환경을 종합하면 이번 연구에 사용된 식물 파편은 대부분은 C3 식물에서 기원하는 것으로 판단된다.

C3 식물의 탄소동위원소는 당시 대기의 이산화탄소 조성뿐만 아니라 식물의 서식 당시의 환경에 영향을 받는다. 즉 강수량, 캐노피 효과, 온도, 염도, 계절 변화, 영양분, 식생의 성장정도 등 다양한 요소에 의해서 영향을 받는다(Gröcke, 1998; Arens *et al.*, 2000). 퇴적물에 포함된 식물파편은 기원지에서 서식하던 식물들이 이동되어 퇴적되었기 때문에 좁은 지역에서 단기간에 걸쳐 발생하는 염도, 계절 변화, 영양분 및 식생의 성장정도 등과 같은 영향은 배제 가능하다(Hasegawa, 2001). 온도는 극지방과 같이 극심하게 낮은 기후에서 성장하는 식생에 영향을 미치는 요소이며, 캐노피 효과는 열대우림에서 서식하는 식생에서 관찰된다(Aren *et al.*, 2000). 따라서 온도, 캐노피 효과 또한 군산분지와 같이 중위도 지역에 서식하는 식물의 탄소동위원소 변동에 영향을 미치는 원인으로 고려하기 어렵다. 강수량은 식물의 탄소동위원소 변동에 영향을 미치는 가장 중요한 요소로 알려져 있다(Nguyen Tu *et al.*, 1999). 강수량이 많은 지역에 서식하는 식물의 탄소동위원소 조성

은 낮은 값을 보이는 반면에 건조한 지역에서 서식하는 식물의 탄소동위원소 조성은 높은 값을 보인다(Kohn, 2010). 예를 들면 연강수량이 500 mm 이하인 지역에 서식하는 식생의 탄소동위원소 조성은 -2.5‰ 보다 높은 값을 보이는 반면에 연강수량이 2000 mm 이상인 열대 우림지역의 경우 -31.5‰보다 낮은 값을 보인다(Kohn, 2010). IIIH-1XA 공의 462~714 m, Haema-1 공의 610~720 m 구간은 -26‰ 보다 높으며 최대 -24.8‰을 보인다. 반면에 이들 구간보다 상부는 -26‰ 보다 낮으며 최저 -28.7‰을 보인다. 이러한 변동 원인을 강수량으로 해석한다면 IIIH-1XA 공의 462~714 m, Haema-1 공의 610~720 m 구간은 상부보다 훨씬 건조한 기후인 건조 내지 아건조 기후로 해석할 수 있다. 그러나 미화석 연구를 살펴보면 IIIH-1XA 공의 462~714 m, Haema-1 공의 610~720 m 구간은 상부보다 습윤했던 시기로 알려져 있으며(Byun *et al.*, 2013b), 건조 기후를 지시하는 증발광물이나 건열과 같은 증거는 관찰되지 않는다. 또한 앞서 제시한 기후 모델에 따르면 중기 마이오세 동안 군산분지를 포함하는 동아시아 지역은 온난하고 습윤하였을 것으로 판단된다(Pound *et al.*, 2012). 따라서 군산분지의 C3 식물의 탄소동위원소의 변동은 환경 변화의 영향을 반영하기보다 광합성 당시 대기 이산화탄소의 탄소동위원소 조성에 주로 영향을 받은 것으로 해석할 수 있다. 즉 군산분지 식생의 탄소동위원소 변동은 C3 식물의 성장 당시 대기 이산화탄소의 탄소동위원소 변동을 지시한다고 볼 수 있다.

### 4.3 군산분지 식물 파편의 탄소동위원소 변동이 지시하는 퇴적 시기

군산분지 식물 파편의 탄소동위원소 변동은 대기 이산화탄소의 탄소동위원소 변동을 지시하므로 해양의 탄산염퇴적물의 탄소동위원소 변동과 대비하여 퇴적 시기 해석이 가능하다. 미화석 연구들은 시기에 차이는 있으나 IIIH-1XA 공의 246~714 m 구간은 중기 마이오세와 플라이오세로 해석하였다(Park *et al.*, 1997; Cheong *et al.*, 1998; Yun *et al.*, 2000; KNOC, 2008; Byun *et al.*, 2013a). NPI (2000)은 화분과 포자를 분석하여 387~469 m 구간을 후기 마이오세로 설정하였다. Zachos *et al.* (2001)은 약 40개 지역의 DSDP와 ODP 시추공에서 수집된 자료를 중

함하여 고해상도의 신생대 해양 탄산염퇴적물 탄소 동위원소 조성 변동을 그림 3과 같이 제시하였다. 이번 연구에서는 생층서 연구 자료를 고려하여 군산분지 식물 파편의 탄소동위원소를 Zachos *et al.* (2001)가 제안한 마이오세-플라이오세 해양 탄산염퇴적물의 탄소동위원소 조성에 대비하였다.

해양 탄산염퇴적물의 탄소동위원소 조성을 살펴보면 초기 마이오세에서 후기 마이오세 후기까지 0.8‰보다 높은 값을 보이는 반면 후기 마이오세 후기 이후 플라이오세에는 0.8‰보다 낮은 값을 보인다(그림 3). 이러한 후기 마이오세와 플라이오세 구간의 탄소동위원소 조성 변동은 지난 20년간 전 세계의 해양 퇴적층에 관찰되었고 그 원인에 대해서 다양한 의견이 제시되고 있다(Haq *et al.*, 1980; Dickens and Owen, 1999; Grant and Dickens, 2002). 최근에 육상 퇴적층에서도 후기 마이오세-플라이오세 변동이 보고되고 있다(Harzhauser *et al.*, 2007; Uno *et al.*, 2011; Hynek *et al.*, 2012). IIIH-1XA 공 식물 파편의 탄소동위원소 조성을 살펴보면 678 m 시료를 제외

하고 462~714 m 구간은 -26.4‰ 보다 높은 값을 보이며 426~246 m 구간은 -26.4‰ 보다 낮은 값을 갖는다(그림 2). 이러한 수직적 변동은 후기 마이오세-초기 플라이오세에 발생한 전지구적 탄소 순환의 변동이 군산분지 식물 파편의 탄소동위원소 조성에 반영되었을 가능성을 제시한다.

해양 탄산염퇴적물 탄소동위원소의 전반적인 변동을 살펴보면 전기 마이오세 후기부터 증가하여 중기 마이오세에 가장 높은 값을 유지한 후 중기 마이오세 후기부터 감소한다. 이후 플라이오세에 가장 낮은 값을 보인 후 증가한다(그림 3). 이러한 전반적인 변동은 IIIH-1XA공 식물 파편의 탄소동위원소 조성이 714 m에서 증가하기 시작하여 516 m에서 가장 높은 값을 보이고 이후 감소하여 264 m에서 가장 낮은 값을 보인 이후 미약하게 상승하는 변동과 유사하다(그림 3). 분석 시료의 부족으로 정확한 대비는 어려우나 해양 탄산염퇴적물의 탄소동위원소 조성이 20 Ma에 증가하기 시작하여 12~16 Ma에 다른 시기보다 높은 값을 보인 후 감소하며 2~4 Ma 사이

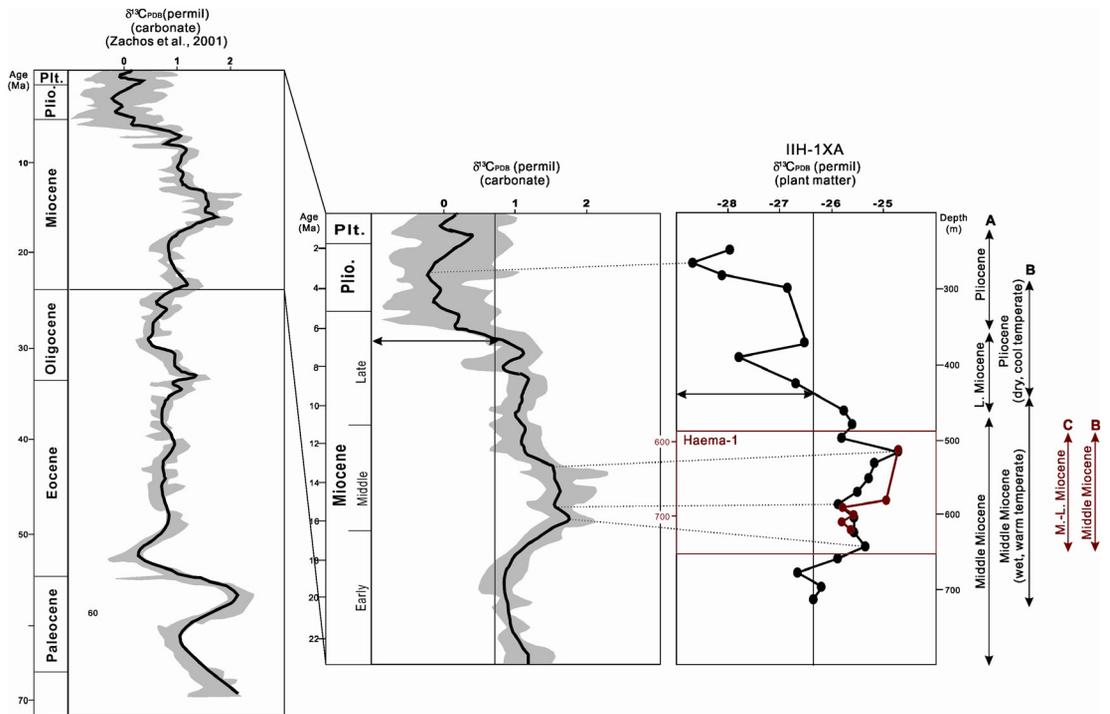


Fig. 3. Global deep-sea carbon isotope records based on data from DSDP and ODP sites (Zachos *et al.*, 2001) and variation of carbon isotopic compositions for plant matters in IIIH-1XA and Haema-1 wells. Black and red arrows indicate depositional age of IIIH-1XA and Haema-1 wells (A: NPI, 2000, B: Byun *et al.*, 2013a, C: Park *et al.*, 1997).

에서 가장 낮은 값을 보이는 변동을 고려하면 다른 구간에 비해서 높은 값을 보이는 516~660 m 구간은 12~16 Ma에, 최소값을 보이는 264 m는 2~4 Ma에 대비될 가능성이 있다(그림 3). 식물 파편의 탄소동위원소 해석과 생층서 연구를 종합하면 IIIH-1XA 공의 246~714 m 구간 퇴적시기를 중기 마이오세에서 플라이오세로 설정할 수 있다.

Haema-1 공의 610~720 m 구간 식물파편 탄소동위원소 조성은 -24.7~-25.9‰의 범위를 보이며 상부로 갈수록 증가한다. 부화된 탄소동위원소 조성과 수직적 증가 경향은 중기 마이오세로 해석되는 IIIH-1XA 공의 516~624 m 구간과 일치한다(그림 3). 따라서 Haema-1공의 610~720 m 구간을 중기 마이오세로 해석하였다.

**5. 결론**

군산분지 IIIH-1XA 공의 246~714 m와 Haema-1 공의 610~720 m 구간의 식물 파편은 C3 식물 기원으로 식물의 서식 당시 대기 중 이산화탄소 탄소동위원소 조성 변동의 복원에 이용할 수 있다. IIIH-1XA 공 246~714 m 구간 식물 파편의 탄소동위원소 조성은 중기 마이오세-플라이오세의 해양 탄산염퇴적물의 탄소동위원소 조성과의 유사한 변동을 보이며, 후기 마이오세와 플라이오세 구간에 관찰되는 전지구적 탄소 순환 변동을 반영하는 것으로 판단된다. 이러한 특성을 고려하면 IIIH-1XA 공의 246~714 m 구간의 퇴적시기를 중기 마이오세-플라이오세로 설정할 수 있다. Haema-1 공의 610~720 m 구간 식물 파편의 탄소동위원소 조성 및 변동은 IIIH-1XA 공의 516~624 m 구간에 유사하다. 따라서 이 구간의 퇴적시기를 중기 마이오세로 해석하였다.

이번 연구를 통해 군산분지 신제삼기 퇴적층에 분포하는 식물 파편 탄소동위원소 조성의 변동이 퇴적시기 해석에 유용한 정보로 활용될 수 있음을 확인하였다. 그러나 일부 제한된 구간에 확보된 식물 파편 시료를 이용하여 탄소동위원소 변동을 제시하였기 때문에 정확한 퇴적시기 해석 및 시추공 간의 대비에 어려움이 있었다. 향후 군산분지 시추공에 포함된 식물 파편을 통해 고해상도의 탄소동위원소 변동이 복원된다면 신제삼기 퇴적시기 해석 및 시추공 간의 대비에 유용하게 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

**사 사**

본 연구는 해양수산부 주관하에 한국해양과학기술진흥원의 지원에 의한 “CO<sub>2</sub> 해양지중저장기술개발” 사업과 미래창조과학부 주관하에 (재)한국이산화탄소포집및처리연구개발센터의 지원을 받아 수행된 연구이며(NRF-2012-0008916) 연구비 지원에 감사드립니다. 논문 심사에서 유익한 조언을 해주신 형기성 박사님, 익명의 심사위원과 편집위원장께 진심으로 감사드립니다.

**REFERENCES**

Arens, N.C., Jahrens, A.H. and Amundson, R., 2000, Can C3 plants faithfully record the carbon isotopic composition of atmospheric carbon dioxide? *Palaeobiology*, 26, 137-164.

Byun, H., Chung, C.H., Park, S.O., Lee, B.S., Kwon, Y., Park, M. and Yi, S., 2013a, Review on playnofloral studies of the Kunsan Basin (northern South Yellow Sea Basin) and their implications for depositional age. *Journal of the Geological Society of Korea*, 49, 119-144 (in Korean with English abstract).

Byun, H., Chung, C.H., Park, S.O., Lee, B.S., Kwon, Y., Park, M. and Yi, S., 2013b, Review on paleoenvironments of the Kunsan Basin (northern South Yellow Sea Basin) based on palynofloral assemblage. *Journal of the Geological Society of Korea*, 49, 145-163 (in Korean with English abstract).

Cheong, T.J., Kwak, Y.H., Son, J.D., Oh, J.H., Bong, P.Y., Lee, H.Y., Ryu, B.J., Son, B.K., Hwang, Y.G., Kwon, Y.I., Lee, Y.J., Kim, H.J., Park, K.S., Park, K.P., Sunwoo, D., Yoo, D.G. and Kim, K.O., 1998, Petroleum Resources Assessment of the Kunsan Basin. KIGAM Research Report, KR-98(C)-33, 3-194 (in Korean with English abstract).

Dettman, D.L., Kohn, M.J., Quade, J., Ryerson, F.J., Ojha, T.P. and Hamidullah, S., 2001, Seasonal stable isotope evidence for a strong Asian monsoon throughout the past 10.7 m.y. *Geology*, 29, 31-34.

Dickens, G.R. and Owen, R.M., 1999, The latest Miocene-early Pliocene biogenic bloom: A revised Indian Ocean Perspective. *Marine Geology*, 161, 75-91.

Ding, Z.L. and Yang, S.L., 2000, C<sub>3</sub>/C<sub>4</sub> vegetation evolution over the last 7.0 Myr in the Chinese Loess Plateau: Evidence from pedogenic carbonate δ<sup>13</sup>C. *Paleogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 160, 291-299.

Edwards, E.J., Osborne, C.P., Stromberg, C.A.E. and Smith,

- S.A., 2010, The origins of C4 glassands: Integrating evolutionary science. *Science*, 328, 587-591.
- Fox, D.L. and Koch, P.L., 2003, Tertiary history of C4 biomass in the Great Plains. *USA Geology*, 31, 809-812.
- Grant, K.M. and Dickens, G.R., 2002, Couple productivity and carbon isotope records in the southwest Pacific Ocean during the late Miocene-early Pliocene biogenic bloom. *Paleogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 187, 61-82.
- Gröcke, D.R., 1998, Carbon-isotope analyses of fossil plants as a chemostratigraphic and paleoenvironmental tool. *Lethaia*, 31, 1-13.
- Haq, B.U., Worsley, T.R., Burckle, L.H., Douglas, R.G., Keigwin, L.D., Opdyke, N.D., Savin, S.M., Sommer II, M.A., Vincent, E. and Woodruff, F., 1980, Late Miocene marine carbon isotopic shift and synchronicity of some phytoplanktonic biostratigraphic events. *Geology*, 8, 427-431.
- Harzhauser, M., Latal, C. and Piller, W.E., 2007, The stable isotope archive of Lake Pannon as a mirror of Late Miocene climate change. *Paleogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 249, 335-350.
- Hasegawa, T., 2001, Predominance of terrigenous organic matter in Cretaceous marine fore-arc sediments, Japan and Far East Russia. *International Journal of Coal Geology*, 47, 207-221.
- Hasegawa, T., 2003, Cretaceous terrestrial paleoenvironments of northeastern Asia suggested from carbon isotope stratigraphy: Increased atmospheric  $p\text{CO}_2$ -induced climate. *Journal of Asian Earth Sciences*, 21, 849-859.
- Hasegawa, T., Pratt, L.M., Maeda, H., Shigeta, Y., Okamoto, T., Kase, T. and Uemura, K., 2013, Upper Cretaceous stable carbon isotope stratigraphy of terrestrial organic matter from Sakhalin, Russia Far East: a proxy for the carbon isotopic composition of paleoatmospheric  $\text{CO}_2$ . *Paleogeography, palaeoclimatology, Palaeoecology*, 189, 97-115.
- Holser, T.W., 1997, Geochemical events documented in inorganic carbon isotopes. *Paleogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 132, 173-182.
- Hynek, S., Passey, B.H., Prado, J.L., Brown, F.H., Cerling, T.E. and Quade, J., 2012, Small mammal carbon isotope ecology across the Miocene-Pliocene boundary, northwestern Argentina. *Earth and Planetary Science Letters*, 321-322, 177-188.
- Kohn, M.J., 2010, Carbon isotope composition of terrestrial C3 plants as indicators of (paleo)ecology and (paleo)climate. *Proceeding of the National Academy of Sciences, USA*, 107, 19691-19695.
- Korea National Oil Corporation (KNOC), 2008, Integrated Interpretation of Yellow Sea Basin. KNOC Report, Exploration Project Authority 2, Domestic Team (in Korean with English abstract).
- Kump, L.R. and Arthur, M.A., 1999, Interpreting carbon-isotope excursions; carbonates and organic matter. *Chemical Geology*, 161, 181-198.
- Montañez, I.P., Osleger, D.A., Banner, J.L., Mack, L.E. and Musgrove, A., 2000, Evolution of the Sr and C isotope composition of Cambrian oceans. *GSA Today*, 10, 1-7.
- Nanjing Paleontological Institute (NPI), 2000, Biostratigraphy of Block II of the South Yellow Sea, off shore Korea. In: *Subsurface Consultants and Associates (SCA), 2002, Tectonostratigraphic Basin Evaluation and Play Concept Study of Blocks I & II of the South Yellow Sea, Offshore Korea*, 164 p.
- Nguyen Tu, T.T., Bocherens, H., Mariotti, A., Baudin, F., Pons, D., Broutin, J., Derenne, S. and Largeau, C., 1999, Ecological distribution of Cenomanian terrestrial plants based on  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  ratios. *Paleogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 145, 79-83.
- Park, K.S., Lee, H.Y., Kang, D.H. and Shin, W.C., 2010, Structural development and geological age of rocks in the Gunsan Basin, Yellow Sea: a perspective from seismic data interpretation. *Journal of the Geological Society of Korea*, 46, 577-593 (in Korean with English abstract).
- Park, K.S., Park, K.P., Sunwoo, D., Kwon, Y.I., Yoo, D.G., Cheong, T.J., Oh, J.H., Bong, P.Y., Son, J.D., Lee, H.Y., Ryu, B.J., Son, B.K., Hwang, I.G., Lee, Y.J. and Kim, H.J., 1997, Petroleum resources assessment on the western part of the Kunsan Basin. KIGAM Research Report, KR-97(C)-17, 3-190 p (in Korean with English abstract).
- Pound, M., Haywood, A.M., Saltzman, U. and Riding, J.B., 2012, Global vegetation dynamics and latitudinal temperature gradients during the Mid to Late Miocene (15.97-5.33 Ma). *Earth-Science Reviews*, 112, 1-22.
- Quade, J., Cerling, T.E. and Bowman, J.R., 1989, Development of Asian monsoon revealed by marked ecological shift during the latest Miocene in Northern Pakistan. *Nature*, 342, 163-166.
- Retallack, G.J., 2001, Cenozoic Expansion of Grasslands and Climatic Cooling. *Journal of Geology*, 109, 407-426.
- Ryu, I.C., Kim, B.Y., Kwak, W.J., Kim, G.H. and Park, S.J., 2000, Stratigraphic response to tectonic evolution of sedimentary basins in the Yellow Sea and adjacent seas. *Korean Journal of Petroleum Geology*, 8, 1-43 (in Korean with English abstract).
- Shinn, Y.J., Chough, S.K. and Hwang, I.G., 2010, Structural development and tectonic evolution of Gunsan Basin (Cretaceous-Tertiary) in the Central Yellow Sea.

- Marine and Petroleum Geology, 27, 500-514.
- Smith, B.N., 1972, Natural abundance of the stable isotopes of carbon in biological systems. *Bioscience*, 22, 226-231.
- Sun, J., Lu, T., Gong, Y., Liu, W., Wang, X. and Gong, Z., 2013, Effect of aridification on carbon variation and ecologic evolution at 5.3 Ma in the Asian interior. *Earth and Planetary Science Letters*, 380, 1-11.
- Uno, K.T., Cerling, T.E., Harris, J.M., Kunimastu, Y., Leakey, M.G., Nakatsukasa, M. and Nakaya, H., 2011, Late Miocene to Pliocene carbon isotope record of differential diet change among East African Herbivores. *Proceeding of the National Academy of Sciences, USA*, 108, 6509-6514.
- Urban, M.A., Nelson, D.M., Jimenez-Moreno, G., Chateaufneuf, J., Pearson, A. and Hu, F.S., 2010, Isotopic evidence of C4 grasses in southwestern Europe during the Early Oligocene-Middle Miocene. *Geology*, 38, 1091-1094.
- Veizer, J., Ala, D., Azmy, K., Bruchsch, P., Bulh, D., Bruhn, F., Cardern, G.A.F., Diener, A., Ebneith, S., Godderis, Y., Jasper, T., Koete, C., Pawellek, F., Podlaha, O.G. and Strauss, H., 1999,  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ,  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{18}\text{O}$  evolution of Phanerozoic seawater. *Chemical Geology*, 161, 59-88.
- Yi, S., Batten, D.J., Yun, H. and Park, S.J., 2003, Cretaceous and Cenozoic non-marine deposits of the Northern South Yellow Sea Basin, offshore western Korea: palynostratigraphy and palaeoenvironments. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 191, 15-44.
- Yun, H., Lee, E.H., Yi, S., Seo, S.H. and Cho, H.B., 2000, Biostratigraphy of the South Yellow Sea Basin, Korea. Research Institute of Basic Sciences, Chungnam National University, Report for Korean National Oil Corporation, 108 p (in Korean with English abstract).
- Zachos, J., Pagani, M., Sloan, L., Thomas, E. and Billups, K., 2001, Trends, rhythms, and jabberrations in global climate 65 Ma to present. *Science*, 292, 686-693.
- Zhang, C.F., Wang, Y., Deng, T., Wang, X.M., Biasatti, D., Xu, Y.F. and Li, Q., 2009, C4 expansion in the central Inner Mongolia during the latest Miocene and early Pliocene. *Earth Planetary Science Letter*, 287, 311-319.

---

투 고 일 : 2014년 3월 17일

심 사 일 : 2014년 3월 18일

심사완료일 : 2014년 7월 2일