

동해 울릉분지에서 채취한 코아 PC1과 PC2의 탄산염 함량 변화 차이와 그 원인

이종민, 허진비, 김형직, 김부근*

부산대학교 해양학과

Different CaCO₃ profiles in cores PC1 and PC2 from the Ulleung Basin in the East Sea

Jong-Min Lee, Jinbee Heo, Hyung Jeek Kim, and Boo-Keun Khim

Pusan National University

요약 : 동해 울릉분지 사면에서 채취된 코아 PC1과 PC2의 탄산염 함량 변화를 조사하였다. 코아 PC1과 PC2의 탄산염 함량은 각각 0.6-17.2% 그리고 0.3-43.0%의 변화를 보였다. 코아 PC1의 MIS 1에 해당되는 상부구간에서 탄산염 함량은 5% 미만의 값을 보이는 반면, MIS 2에 해당되는 하부구간에서 탄산염 함량은 10% 이상의 높은 값을 보인다. 코아 PC1의 탄산염 함량 결과는 동해 퇴적물의 탄산염 함량 변화에 대한 이전 연구들의 결과와 유사하다. 코아 PC2 경우, 상부구간의 탄산염 함량은 코아 PC1의 상부구간과 비슷한 값을 보였다. 하지만, 코아 PC2 하부구간의 탄산염 함량은 40% 이상의 매우 높은 값을 보였다. XRD와 SEM 분석에 의하면 코아 PC2 하부구간(MIS 2)에서 보이는 매우 높은 탄산염 함량은 일반적인 생물기원의 탄산염 광물보다는 자생적으로 형성된 탄산염 광물이 많다는 것을 확인했다. 이러한 자생기원의 탄산염 광물들은 울릉분지에서 발견된 메탄 하이드레이트의 해리와 관련되어 형성되는 것으로 해석된다.

주요어 : 생물기원 탄산염, 자생기원 탄산염, 메탄 하이드레이트, 울릉분지, 동해

Abstract : We investigated the variation of CaCO₃ contents in cores PC1 and PC2 recovered from the continental slope area of the Ulleung Basin in the East Sea. CaCO₃ contents of cores PC1 and PC2 varied between 0.6 and 17.2% and between 0.3 and 43.0%, respectively. CaCO₃ contents in the upper part of core PC1 corresponding to MIS 1 are less than 5%, whereas those in the lower part of MIS 2 are more than 10%. Such variation of CaCO₃ contents in core PC1 confirms the previous results of CaCO₃ studies in the East Sea. In core PC2, CaCO₃ contents of the upper part are similar to those of core PC1. However, CaCO₃ contents in the lower part of core PC2 are more than 40%. According to XRD operation and SEM examination, the high CaCO₃ contents in the lower part of core PC2 are more attributable to the authigenic carbonate minerals rather than the biogenic carbonate composition. Such abundant authigenic carbonate minerals are closely related to the dissociation of methane hydrates which were observed in the Ulleung Basin.

Key Words : biogenic carbonate, authigenic carbonate, methane hydrate, Ulleng Basin, East Sea

* corresponding author: Boo-Keun Khim, Department of Oceanography, Pusan National University, Busan 609-735, Korea(e-mail: bkkhim@pusan.ac.kr, phone: +82-51-510-2212, fax: +82-51-581-2963)

1. 서론

최근 대기 중의 온실 가스 농도의 증가로 인해 발생된 지구 온난화가 세계 각지에서 이상 기후를 발생시킴으로서 미래 기후 예측뿐만 아니라 과거 기후 변화에 대한 관심도 증가 되었다(IPCC, 2001). 특히, 해양 퇴적물을 이용한 활발한 연구는 과거 기후 변화 복원에 대한 주요한 연구 방법으로 알려져 있다. 해양 퇴적물은 오랜 시간 동안의 과거 기후를 잘 기록하고 있다. 계절적 변화 또는 천년 미만의 단주기에서 몇 십 만년의 장주기까지 해양과 대륙 그리고 대기 환경 변화에 대한 기록을 보존하고 있어 해양퇴적물은 고해양학적 환경 복원 연구에 있어서 중요한 자료로 쓰이고 있다(Bradley, 1999). 해양 퇴적물을 이용한 고해양학적 환경 복원에는 퇴적물 내에 보존된 고환경을 지시하는 다양한 인자들의 분석 결과가 필요하다. 여러 가지 인자들 중에서 퇴적물 내의 탄산염 함량은 탄산염 골격으로 구성된 생물들의 표층에서의 생산성 정도를 지시 해주는 중요한 인자들 중의 하나이다.

Berger (1973)는 심해 퇴적물의 탄산염 함량은 일반적으로 세 가지 요인에 의해 조절된다고 발표하였다 ① 탄산염 용해(dissolution) 효과, ② 표층 생물기원 탄산염 생산성(productivity) 정도, ③ 육상기원 퇴적물에 의한 희석(dilution). 심해 분지 퇴적물에서 대부분의 탄산염 함량은 이 세 가지 요인들의 복합적인 작용에 의해 결정된다(Volat *et al.*, 1980; Dean *et al.*, 1981). 현재 동해의 탄산염 보상 심도(Carbonate Compensation Depth: CCD)는 약 1900 m로 매우 얇기 때문에 탄산염의 보존이 매우 어렵다(Ujii'e and Ichikura, 1973). 동해에서 수행된 탄산염 함량에 대한 이전 연구 결과에 의하면 일반적으로 간빙기인 MIS(Marine Isotope Stage; Martinson *et al.*, 1987) 1 구간에서는 탄산염의 함량이 ~5%미만으로 낮게 측정

된 반면, 마지막 빙하기인 MIS 2 구간에서는 ~10 - ~20%로 높게 측정되었다(Oba *et al.*, 1991; Ishiwatari *et al.*, 1994; Hyun *et al.*, 2007; Khim *et al.*, 2008). 이러한 탄산염 함량의 차이는 현재의 동해와 과거 빙하기 동안의 동해 환경에서 탄산염의 형성 또는 보존이 서로 다른 조건이었기 때문으로 해석된다.

Hyun *et al.* (2007)이 보고한 바에 의하면, 동해에서 간빙기인 MIS 1 시기 동안에 낮은 탄산염 함량 값을 보이는 것은 탄산염 생산성과 용해도와의 차이에 의해 나타난다고 설명하고 있다. MIS 1 시기에 표층에서 구조 생산성과 마찬가지로 탄산염 골격을 지닌 생물들의 생산성은 높아진다. 하지만 이와 동시에 높아진 해수면의 영향으로 주변 해역과 순환이 잘되고 표층과 저층 해수의 수직적인 순환이 활발해지게 된다. 그 결과 저층으로 용존산소 공급이 원활해지면서 유기물 분해 정도가 증가되고, 이 과정에 이산화탄소가 발생된다. 발생된 이산화탄소는 저서환경의 산성도를 높이게 된다. 따라서 MIS 1 동안에 탄산염 생물의 표층 생산성은 높지만, 저서환경의 낮아진 수소이온 농도(pH)로 인해 탄산염이 잘 보존되지 못한다고 설명하고 있다. 반면에 MIS 2 동안에는 낮아진 해수면으로 인해 동해 표층 해수는 담수화되고, 동해 해수의 성층화가 더욱 뚜렷해지게 된다(Oba *et al.*, 1991; Tada *et al.*, 1999). 이러한 성층화로 인해 표층과 저층해수와의 순환이 원활해지지 못하게 되면서 저층은 무산소환경으로 변화되었다. 그 결과로 빙하기인 MIS 2 동안에는 간빙기인 MIS 1동안에 비해 탄산염골격의 생물잔해들을 좀 더 잘 보존할 수 있기 때문에 높은 탄산염 값을 나타나게 된다고 설명하고 있다.

이 연구에서는 동해 울릉분지 서쪽 사면에서 채취한 코아 PC1, PC2 퇴적물에서 측정된 탄산염 함량의 차이와 그 원인을 알아보는 것이다.

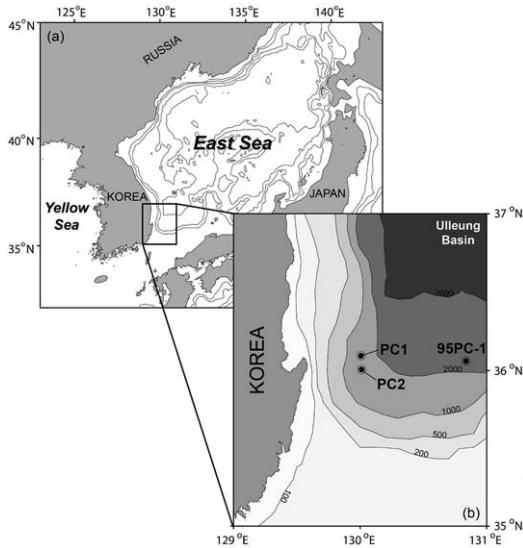


Fig. 1. Map showing (a) study area and (b) core location (PC1 and PC2 of this study with 95PC-1 from Hyun *et al.* (2007)).

2. 재료 및 방법

2.1 시료 채취

피스톤 코아 PC1(36° 05.9' N, 130° 06.3' W, 길이 6.53 m, 수심 1492 m)과 PC2(36° 05.9' N, 130° 04.7' W, 길이 3.98 m, 수심 1452 m)는 동해 울릉분지(Ulleung Basin) 서쪽 사면에서 한국 해양연구원(KORDI)의 온누리호에 의해 채취되었다(그림 1). 채취된 코아 퇴적물은 선상에서 냉장 보관하였으며, 실험실로 운반한 후 절개하였다. 모든 코아 퇴적물은 부산대학교 공동실험실습관에서 동결 건조 후 분석되었다.

2.2 탄산염(CaCO₃) 함량

코아 PC1 퇴적물 시료 69개 (10 cm 간격)와 코아 PC2 시료 52개 (0-100 cm: 5 cm간격, 100-400 cm: 10 cm 간격)인 총 121개 시료에 대해 탄산염 함량을 측정하였다. 탄산염 함량은 총 무기탄

소(Total Inorganic Carbon: TIC)와 탄소에 대한 탄산염 함량 비(CaCO₃/C)인 8.333을 곱하여 구하였다. 총 무기탄소 함량은 무기탄소분석기(UIC CO₂ Coulometer, Model CM5014)를 이용해서 측정하였다.

2.3 X-선 회절분석(XRD: X-Ray Diffractometer)

코아 PC2의 350-352 cm(#176)와 358-360 cm(#180) 지점의 퇴적물 분말 시료를 6% 과산화수소수(H₂O₂)를 이용하여 유기물을 제거한 후, 64 μm 체를 사용하여 사질 퇴적물을 분리하였다. 남아있는 세립질 퇴적물에 2% 확산제(sodium hexametaphosphate) 50 ml를 첨가한 후 유리막대로 잘 저어었으며, 잘 혼합된 시료에서 Stokes' law를 이용하여 2 μm 이하의 점토 입자만을 추출하였다. 이후 원심분리기(4000 rpm, 30 분)를 이용하여 점토 입자 시료를 농축시켰으며, 슬라이드 글라스(slide glass) 위에 일정한 방향으로 얇게 도포하는 smear-on-glass slide 방법(Stokke and Carson, 1973)을 이용하여 점토광물 분석 시료를 제작하였다. 자연 건조되어 완성된 점토광물 분석 시료는 점토광물의 동정을 위해 부산대학교의 X선 회절분석기(Rigaku 2013)을 이용하여 30kv, 15m Å 조건에서 2° scanning speed로 40° - 2° 까지 분석 하였다.

2.4 주사전자현미경(SEM: Scanning Electron Microscope) 분석

코아 PC2의 350-352 cm(#176)와 358-360 cm (#180)지점의 퇴적물들 구성 입자를 주사전자현미경을 이용하여 육안으로 확인하였다. 코아 퇴적물 시료를 관찰용 스테브(stub)에 고정하여 금(Au)으로 표면을 코팅 시킨 후 부산대학교 공동실험실습관의 HITACHI S-3500N 기종의 주사전자현미경으로 관찰 및 촬영하였다.

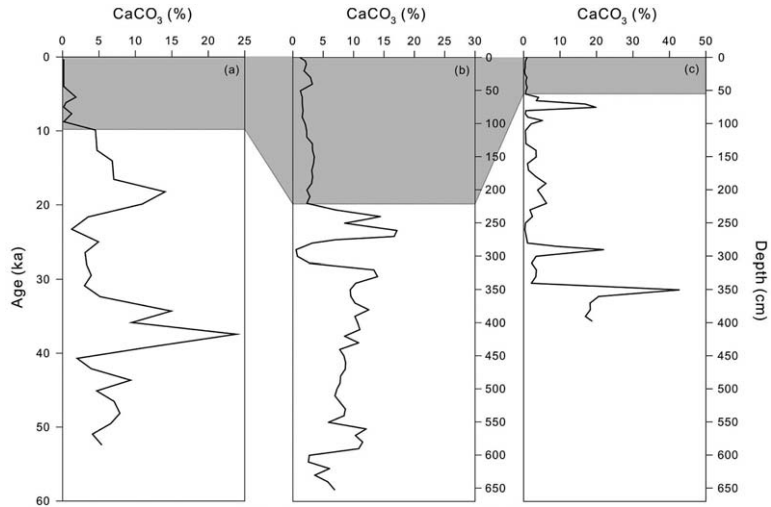


Fig. 2. Downcore variation of CaCO_3 contents of (a) core 95PC-1 (modified from Hyun *et al.*, 2007), (b) core PC1, and (c) core PC2. Shading interval indicates the MIS 1.

3. 결과

코아 PC1 퇴적물의 탄산염 함량은 $\sim 0.6 - \sim 17.2\%$ 사이에서 변동하고(그림 2b), 코아 PC2 퇴적물의 탄산염 함량은 약 $\sim 0.3 - \sim 43.0\%$ 사이에서 변동한다(그림 2c). 각 코아들의 연대는 측정되지 않아 정확한 MIS 1과 MIS 2시기의 경계를 알 수는 없다. 그러나 동해의 일반적인 탄산염 함량 변화인 MIS 1 시기에는 낮고, MIS 2 시기에 높은 특징을 이용하여 코아들의 MIS 1과 MIS 2 시기의 경계를 추정해 보았다. Hyun *et al.* (2007)에 의해 발표된 동해 울릉분지에서 채취된 코아 95PC-1의 탄산염 함량 변화와 비교해 보면, 코아 PC1의 경우 코아 깊이 230.5 cm에 그리고 코아 PC2의 경우 코아 깊이 55.5 cm 지점이 MIS 1과 MIS 2 시기의 경계로 연결된다(그림 2). 이러한 연대 추정에 의하면, 울릉분지에서 채취된 세 코아 모두 MIS 1시기에 낮은 탄산염 함량을 보인다. 그리고, MIS 2 동안에는 코아 95PC-1과 코아 PC1는 서로 유사한 탄산염 함량의 변화를 보이며 일반적으로 동해에서 관찰되는 결과와 부합된다. 그러

나, 코아 PC2의 경우는 코아 PC1과 다르게 코아 깊이 350-360 cm 구간에서 탄산염 함량 값이 일반적인 동해에서의 MIS 2시기의 탄산염 함량보다 매우 높은 $\sim 43\%$ 로 나타났다(그림 2c).

코아 PC2의 깊이 350-360 cm에서 측정된 매우 높은 탄산염 함량의 광물 분석을 위하여 깊이 350-352 cm와 358-360 cm의 퇴적물 분말 시료를 이용하여 XRD 분석 결과에 의하면 탄산염 광물인 방해석(calcite)와 마그네슘 방해석(Mg-calcite)이 매우 풍부하게 나타남을 확인 할 수 있었다(그림 3). 동일 시료들의 SEM 분석 결과, 생물 잔해들도 포함되었지만 탄산염 골격의 생물 잔해는 거의 발견되지 않았고, 매우 세립한 광물 형태의 방해석 결정들이 다량 확인 되었다(그림 4).

4. 토의 및 결론

동해의 일반적인 탄산염 함량 변화는 MIS 1 시기에 $\sim 5\%$ 미만의 낮은 탄산염 함량을 보이고, MIS 2 시기에는 $\sim 10 - \sim 20\%$ 로 MIS 1 시기에 비

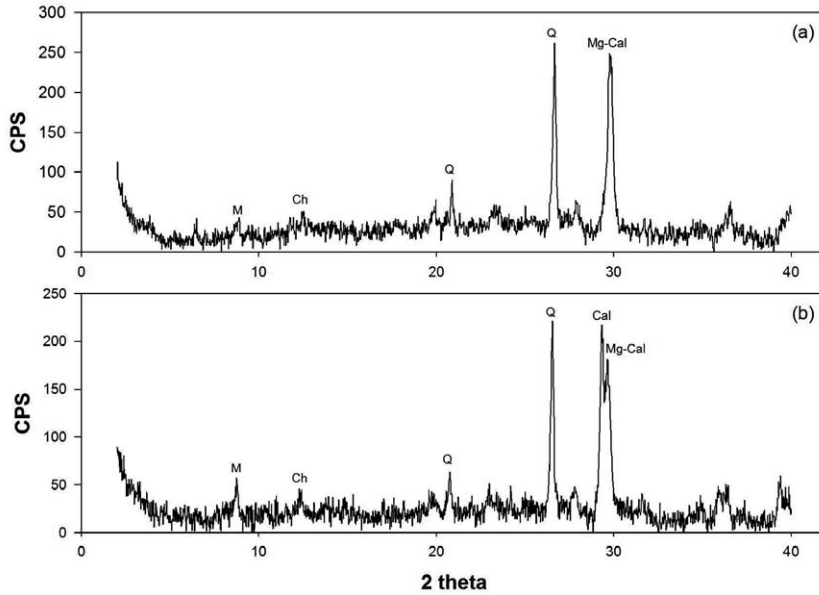


Fig. 3. X-ray diffraction (XRD) patterns of core PC2 bulk sediment samples. (a) depth 350-352 cm (#176) and (b) depth 358-360 cm (#180).

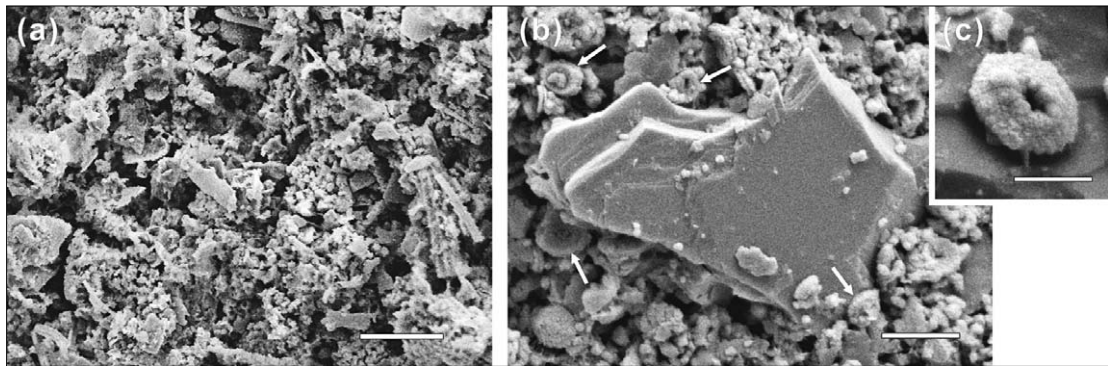


Fig. 4. SEM image of core PC2. (a) bulk sediment of depth 350-352 cm (#176, scale bar=15 μm), (b) bulk sediment (scale bar=5 μm) and (c) coccolith image (scale bar=2 μm) of depth 358-360 cm (#180). White arrows indicate the coccolith.

해 높은 함량을 나타낸다(Oba *et al.*, 1991; Ishiwatari *et al.*, 1994; Hyun *et al.*, 2007; Khim *et al.*, 2008). Hyun *et al.* (2007)은 이러한 탄산염 함량의 차이를 탄산염의 생산성과 용해도로 잘 설명하고 있다. 간빙기인 MIS 1 시기에는 표층에서 탄산염 골격을 지닌 유공충과 인편모조류들의 생산성이 높아진다. 하지만 표층과 저층 간의 순환이 활발해지면서 용존산소에 의하여 침강하고 퇴

적된 유기물들의 분해가 증가된다. 이 때 발생된 이산화탄소가 저서환경을 산성화 시켜 탄산염 골격을 지닌 생물들의 잔해들을 용해시켜 잘 보존되지 못하게 된다. 반면 빙하기인 MIS 2 시기에는 저층의 무산소환경화로 인해 MIS 1 시기에 비해 탄산염 생물 잔해들이 좀 더 잘 보존 되어진다고 설명하고 있다.

동해 울릉분지 서쪽 사면에서 채취된 코아 PC1

과 PC2의 탄산염 함량 결과는 PC1은 동해의 전형적인 탄산염 함량 변화를 보이는 반면, PC2는 PC1과는 다른 결과를 보여준다(그림 2). 코아 PC1의 경우, MIS 1 시기에 1.2~7.1%(평균 2.6%)로 낮은 탄산염 함량 변화를 보였고 반면에 MIS 2 시기에는 0.6~17.2%(평균 8.6%)의 변화를 보였다. 이 결과들은 동해에서 관찰되는 일반적인 탄산염 함량 변화와 잘 부합한다(Oba *et al.*, 1991; Hyun *et al.*, 2007; Khim *et al.*, 2008). 코아 PC2의 경우, MIS 1 시기의 탄산염 함량 변화는 0.3~1.0%로 일반적인 동해의 MIS 1 시기 탄산염 함량 변화와 잘 일치하지만, 코아 깊이 350-360 cm 구간에서 탄산염 함량이 43%로 일반적인 MIS 2 시기의 탄산염 함량 보다 매우 높게 나타났다. 탄산염 함량이 높게 나타나는 이들 구간에 대해 XRD 분석 결과 탄산염 광물인 방해석과 마그네슘-방해석이 매우 풍부하게 나타난 것을 확인할 수 있다(그림 3).

탄산염을 형성하는 종류로는 크게 인편모조류나 유공충 등과 같은 생물기원의 탄산염과 무생물 기원의 자생 탄산염으로 구분된다(Berger, 1973). 일반적으로 동해 퇴적물에서 분석되고 보고된 탄산염의 경우 대부분 생물기원의 탄산염으로 알려져 있다(Oba *et al.*, 1991; Hyun *et al.*, 2007; Khim *et al.*, 2008). 그러나, PC2에서 분석된 40%이상의 탄산염 함량의 경우 동해에서 생물기원의 탄산염으로 구성되기에는 매우 어려운 환경이다. SEM 분석의 결과 PC2의 방해석과 마그네슘-방해석 광물들은 탄산염 생물 골격체의 광물이 아니라 자생으로 형성된 광물 결정들로 확인 되었다(그림 4). 따라서 코아 PC2의 350-360 cm 구간에서 측정된 43%의 높은 탄산염 함량은 생물기원의 탄산염 보다 자생기원의 탄산염 광물로 구성된 것이다.

자생기원의 탄산염 광물들은 여러 가지 경로를 통해 형성되지만 최근에 해저 퇴적물에서 메탄 하이드레이트가 해리되는 동안 형성되는 것으로

보고되었다(Matsumoto, 1989; Lu *et al.*, 2005; Ohkushi *et al.*, 2005; Hoshiba *et al.*, 2006). 해저에 보존된 메탄 하이드레이트가 불안정한 조건에서 해리되고 해저면을 통해 이산화탄소가 방출되면서 자생기원의 탄산염 광물이 형성된다(Bohrmann *et al.*, 1998). 코아 PC2의 탄산염 광물에서 분석된 동위원소 자료는 없지만, 이러한 조건에서 형성된 탄산염광물들은 일반적으로 높은 $\delta^{18}\text{O}$ 값과 낮은 $\delta^{13}\text{C}$ 값을 나타낸다(Matsumoto, 1989; Lu *et al.*, 2005; Hoshiba *et al.*, 2006). 동해에서 메탄하이드레이트의 해리와 관련된 연구 결과는 이전에도 보고되었다. 남승일, 이현경 (2009)은 울릉분지 코아 퇴적물에 보존된 유공충의 $\delta^{13}\text{C}$ 값이 매우 낮은 이상값을 보이는 것이 아마도 메탄 하이드레이트가 해리되면서 발생한 이산화탄소의 영향으로 해석하였다. 또한 Lim *et al.* (2009)도 울릉 분지에서 메탄 하이드레이트의 해리와 관련된 자생 탄산염의 특성을 보고하였다. 따라서 코아 PC2의 하부에서 나타나는 매우 높은 함량의 탄산염은 메탄 하이드레이트와 관계된 자생 탄산염임을 확인할 수 있다.

끝으로 이번 연구의 간단한 결론을 다음과 같이 정리할 수 있다.

- i) 울릉 분지에서 채취된 코아 PC1에서 분석된 MIS 1과 MIS 2의 탄산염 함량은 동해 퇴적물의 전형적인 탄산염 함량 변화와 유사하다.
- ii) 울릉 분지에서 채취된 코아 PC2에서 분석된 MIS 2 구간의 매우 높은 탄산염 함량은 이례적인 현상이다.
- iii) 코아 PC2의 하부 350-360 cm 구간에서 관찰된 XRD 및 SEM 결과 높은 탄산염 함량은 생물기원이 아닌 자생기원의 탄산염 광물에 의한 것이다.
- iv) 동해 퇴적물의 탄산염 함량에 영향을 주는 요인으로는 생물 기원의 탄산염 이외에 지역적으로 메탄 하이드레이트의 해리와 관련된

자생기원 탄산염 광물도 고려해야 한다.

감사의 글

이 연구를 위하여 울릉분지 코아들을 제공해 주신 한국해양연구원 남해분원의 여러 연구원님들께 감사를 드립니다.

참고문헌

- 남승일, 이현경, 2009, 부유성 유공충의 산소·탄소 동위원소 이상과 동해 울릉분지에서의 메탄 하이드레이트 해리 증거. *지질학회지*, 45, 379-390.
- Berger, W. H., 1973, Deep-sea carbonates; pleistocene dissolution cycles. *Journal of Foraminiferal Research*, 3, 187-195.
- Bohrmann, G., Greinert, J., Suess, E. and Torres, M., 1998, Authigenic carbonates from the Cascadia subduction zone and their relation to gas hydrate stability. *Geology*, 26, 647-650.
- Bradley, R. S., 1999 *Paleoclimatology*, Academic Press, London, 613p.
- Dean, W. E., Gardner, J. V. and Čepek, P., 1981, Tertiary carbonate-dissolution cycles on the sierra leone rise, eastern equatorial Atlantic Ocean. *Marine Geology*, 39, 81-101.
- Hoshiba, M., Ahagon, N., Ohkushi, K., Uchida, M., Motoyama, I. and Nishimura, A., 2006, Foraminiferal oxygen and carbon isotopes during the last 34 kyr off northern Japan, northwestern Pacific. *Marine Micropaleontology*, 61, 196-208.
- Hyun, S., Bahk, J. J., Suk, B. and Park, B., 2007, Alternative modes of quaternary pelagic biosiliceous and carbonate sedimentation: A perspective from the east sea Japan Sea. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 247, 88-99.
- Ishiwatari, R., Hirakawa, Y., Uzaki, M., Yamada, K. and Yada, T., 1994, Organic geochemistry of the japan sea sediments-1: Bulk organic matter and hydrocarbon analyses of core KH-79-3, C-3 from the Oki Ridge for paleoenvironment assessments. *Journal of Oceanography*, 50, 179-195.
- IPCC, 2001, Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC Third assessment report. Cambridge University press, UK.
- Khim, B. K., Park, Y. H., Bahk, J. J., Jin, J. H. and Lee, G. H., 2008, Spatial and temporal variation of geochemical properties and paleoceanographic implications in South Korea Plateau East Sea during the late Quaternary. *Quaternary International*, 176/177, 46-61.
- Lim, D., Choi, J., Xu, Z., Kim, M., Choi, D., Jung, H. and Lee, P.M., 2009, Methane-derived authigenic carbonates from the ulleung basin sediments, East Sea of Korea. *Continental Shelf Research*, 29, 1588-1596.
- Lu, H. F., Liu, J., Chen, F., Liao, Z. L., Sun, X. M. and Su, X., 2005, Mineralogy and stable isotopic composition of authigenic carbonates in bottom sediments in the offshore area of southwest Taiwan, South China Sea: Evidence for gas hydrate occurrence. *Earth Science Frontiers*, 12, 268-276 (in Chinese with English abstract).
- Martinson, D. G., Pisias, N. G., Hays, J. D., Imbrie, J., Moore Jr., T. C. and Shackleton, N.J., 1987,

- Age dating and the orbital theory of the ice ages: Development of a high-resolution 0 to 300,000-year chronostratigraphy. *Quaternary Research*, 27, 1-29.
- Matsumoto, R., 1989, Isotopically heavy oxygen-containing siderite derived from the decomposition of methane hydrate. *Geology*, 17, 707-710.
- Oba, T., Kato, M., Kitazato, H., Koizumi, I., Omura, A., Sakai, T. and Takayama, T., 1991, Paleoenvironmental changes in the Japan Sea during the last 85,000 years. *Paleoceanography*, 6, 499-518.
- Ohkushi, K., Ahagon, N., Uchida, M. and Shibata, Y., 2005, Foraminiferal isotope anomalies from northwestern Pacific marginal sediments. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 6, Q04005.
- Stokke, P. R. and Carson, B., 1973, Variation in clay mineral X-ray diffraction results with the quantity of sample mounted. *Journal of Sedimentary Petrology*, 43, 957-964.
- Tada, R., Irino, T., and Koizumi, I. 1999, Land-ocean linkages over orbital and millennial timescales recorded in Late Quaternary sediments of the Japan Sea. *Paleoceanography*, 14, 236-247.
- Ujii'e, H. and Ichikura, M., 1973, Holocene-uppermost Pleistocene planktonic foraminiferas of a piston core from off San'in district, Sea of Japan. *Transactions and Proceedings of Paleontological Society of Japan* 91, 137-150.
- Volat, J. L., Pastouret, L. and Vergnaud-Grazzini, C., 1980, Dissolution and carbonate fluctuations in Pleistocene deep-sea cores: a review. *Marine Geology*, 34, 1-28.

투 고 일 2011. 7. 15
심 사 일 2011. 7. 17
심사완료일 2011. 8. 25