

남서태평양 심해분지 주상퇴적물의 지자기 층서 연구

박정기* · 문재운 · 김기현 · 지상범 · 이근창 · 도성재¹
한국해양연구원 심해저자원연구센터, ¹고려대학교 지구환경과학과

Paleomagnetism of Deep-sea Core Sediment in Southwestern Pacific

CHEONG-KEE PARK*, JAI-WOON MOON, KI-HYUNE KIM, SANG-BUM CHI,
GUN-CHANG LEE AND SEONG-JAE DOH¹

Deep-Sea Resources Research Center, Korea Ocean Research and Development Institute, Ansan, P.O. Box 29, 425-744, Korea
¹Dept. of Earth and Environmental Sciences, Korea University, Seoul 136-701, Korea

남서태평양 심해분지에서 채취한 피스톤 코어퇴적물을 대상으로 퇴적시기 및 고환경 변화양상을 알아내기 위하여 고지자기 연구를 수행하였다. 퇴적물의 자화성분은 안정적인 잔류자화로 정자화와 역자화의 극성을 기록하고 있다. 퇴적물의 퇴적시기는 플라이스토세에서 플라이오세 후기에 해당하며, 퇴적율은 0.63~1.85 mm/천년으로 매우 낮은 퇴적율을 기록하고 있다. 퇴적깊이에 따른 대자율의 변화양상은 플라이오세 후기 이후로 자성광물의 유입변화가 있었음을 지시한다.

A paleomagnetic investigation was carried out to analyze magnetostratigraphic information and to evaluate the relationship between paleoenvironment and magnetic properties in sedimentary sequences of piston cores recovered from the abyssal basin of the southwestern Pacific. Paleomagnetic results revealed that the sediments had a stable remanent magnetization and recorded both normal and reversal polarities. The age of sediments was from late Pliocene and Pleistocene determined by matching the polarities with the geomagnetic time scale. The sedimentation rates were in the range of 0.63–1.85 mm/10³ year which were extremely low rates. The results of the paleomagnetic analyses indicated that intervals of the magnetically stable layers as well as high value of susceptibility were significantly affected by the input changes which resulted input of large-quantity materials of relatively stable magnetic carriers.

서 론

퇴적물의 잔류자화 성분은 시간에 따른 동시대적인 지구자기장의 변화를 기록하고 있기 때문에 고지자기 특성을 이용한 층서연구는 심해퇴적물의 지사연구 뿐 만이 아니라 퇴적시기와 퇴적당시의 고환경특성을 규명하는데 널리 활용되고 있다.

또한, 퇴적물내 쇄설성 자성광물은 기후변화로 인한 육성기원 퇴적물의 유입정도 및 유입경로(Doh, 1989; Park, 1997), 저층류의 강도(Corliss and Hollister, 1979; Park *et al.*, 2000) 및 생산력(productivity) 변화에 따른 퇴적물의 기원, 이동경로, 퇴적층 형성시 변화과정과 퇴적후 변화요인등을 해석하는데 널리 적용되는 연구방법이다.

본 조사해역이 포함된 남서태평양의 퇴적환경은 우선 백악기 초기부터 후기에 걸친 광범위한 화산활동으로 해저산이 발달해 있으며, 침강과 용기에 의한 탄산염층이 기반암을 피복하고 있는 것이 일반적이다(Winterer and Metzler, 1984; Lincoln *et al.*, 1993). 그러나 해저산사이의 탄산염 보상심도 이하에 위치하기 때문에 해저산을 피복하고 있는 퇴적물과는 기원적으로 상이하며, 특정시기

에 저층류의 활동에 의한 침식 또는 퇴적결층(hiatus)의 형성, 열점을 통과하는 동안 지각의 용기 및 침강, 생산력 변화에 의한 자성광물 유입기원 변화와 화산쇄설층의 존재가 층서연구의 지표로 이용되기도 한다.

남서태평양 해저산에 대해서는 ODP(Ocean Drilling Project) 또는 DSDP(Deep Sea Drilling Project) 등에서 해저산의 진화과정, 지구조 메카니즘 규명을 위해 장기적이고 대규모적인 연구가 수행되었으나 심해저 분지 퇴적물에 대한 연구는 백악기와 마이오세를 중심으로 고해양학적 연구에 집중되어 있다. 본 연구에서는 남서태평양에서 전형적으로 나타나는 기요(guyot) 형태의 해저산(OSM#01과 OSM#02) 사이의 심해분지 퇴적물내 잔류자화 성분 분석을 통하여 자기층서를 확립하고, 이를 이용한 지층대비 및 퇴적율을 규명함으로써 연구지역에 분포하는 퇴적물에 대한 층서자료를 제공하고자 한다.

연구자료 및 방법

연구지역은 동쪽에 위치하는 마셜제도(Marshall islands), 서쪽 마리아나제도(Mariana islands)와 남쪽에 위치하고 있는 캐롤라인

*Corresponding author: ckpark@kordi.re.kr

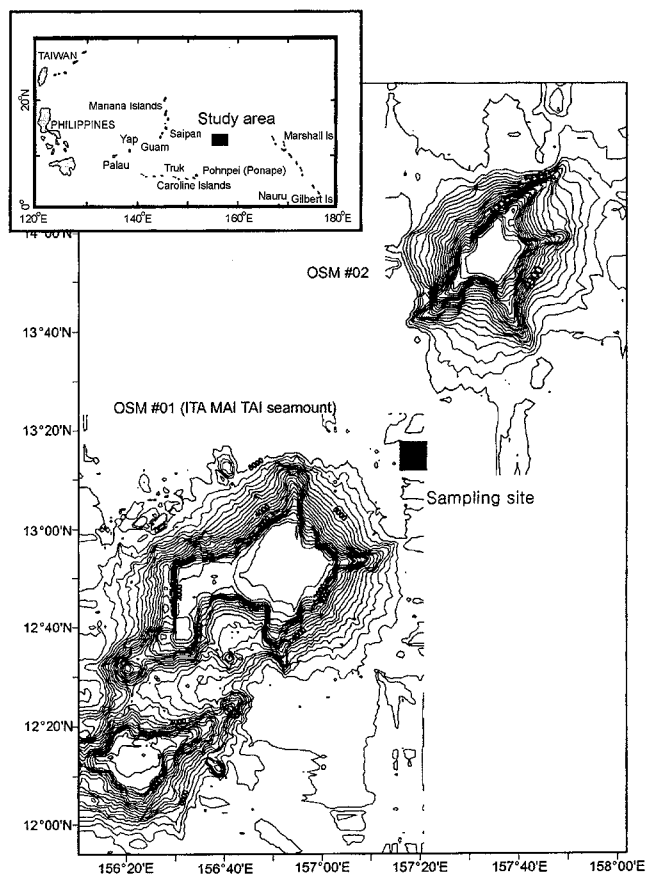


Fig. 1. Map showing the sampling site and topographic feature.

제도(Caroline islands) 사이에 마리아나 분지(East Mariana basin)의 동쪽에 위치하고 있다(Fig. 1). 연구정점 하부에 위치하고 있는 OSM#01은 백악기(Aptian과 Albian)와 에오세(Eocene) 기간동안 두 번에 걸친 화산활동에 의해 현재의 형태로 진화하였으며, 이시기에 분출된 화산쇄설질이 주변 분지에 광범위하게 퇴적되었다(Wedgeworth and Kellogg, 1987).

연구를 위한 시료채취는 한국해양연구원 소속의 온누리호에 장착된 피스톤 코어러를 이용하였으며, 코어시료는 북위 13°15', 동경 156°19'에서 채취하였으며, 수심이 6,051 m인 심해분지이다(Fig. 1). 퇴적물내 잔류자화는 코어 라이너를 설치할 때, 설정한 기준선(oriented line)을 따라 절개한 후 10 cc 비자성 플라스틱 시료박스로 코어 상부부터 하부까지 연속적으로 157개의 시료를 채취하여 아래와 같은 순서로 분석하였다.

채취한 시료는 Bartington MS2B 대자율 측정기(magnetic susceptibility meter)를 이용하여 대자율을 측정한 후, 교류소자기를 이용하여 교류소자(AF demagnetization)실험을 수행하였다. 교류소자실험은 퇴적물의 특성 및 암상변화에 따라 대표시료(pilot sample)를 선정하여 초기 NRM(natural remanent magnetization)을 측정된 후, 5, 7.5, 10, 12.5, 17.5, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 mT(milli tesla) 단계별로 소자시킨 후, 회전자력계(spinner magnetometer)에서 각 소자단계별 편각(declination), 복각(inclination)과 자화강도(magnetic intensity)를 측정하였다. 측정된 결과는

vector diagram(Zijderveld, 1967)을 이용하여 단계별로 측정된 잔류자화 성분이 일정한 방향성을 갖고 원점을 향하여 감소하는지를 판별한 후, 적절한 소자준위를 결정하여 나머지 시료들에 대한 단계별 소자실험을 실시하였다.

결과 및 토의

코어퇴적물 특성

Fig. 2는 퇴적깊이에 따른 퇴적상의 변화와 색상관찰 결과이다. 최상부에서 20 cm까지는 10YR3/6(dark yellowish brown)으로 표층에서 5 cm이하에서는 생층서교란의 흔적이 나타난다. 20~30 cm구간에서 어두운 갈색층(10YR3/3)이 나타났다가 70 cm까지는 연갈색층(10YR5/4)가 나타나며, 30~40 cm구간에서 심하게 얼룩진 퇴적상이 나타나는 것은 생물교란(bioturbation)에 의한 퇴적물의 재분포가 활발했음을 지시한다. 그 이하에서 97.5 cm까지는 암회색층(2.5YR3/2)와 암갈색층(10YR3/3)이 나타나며, 101.5 cm이하에서는 연갈색층(10YR6/4), 갈색계열(10YR4/3, 2.5YR5/4)층이 발달해 있으며, 172 cm이후에는 다시 암갈색 또는 어두운 연갈색(10YR3/4)이 나타난다. 197~227 cm 사이에는 생층서교란의 흔적이 나타나다가 그 이후에는 미세한 층리가 미약하게 발달해 있는 것이 특징적이다. 이러한 층리는 265.5 cm까지 연속적으로 나타나며, 295 cm까지는 균질한 암갈색층이 나타난다. 특히 255 cm이후부터 최하단부까지는 검은띠(5YR2.5/2) 형태의 층리가 매우 뚜렷하게 발달해 있다.

퇴적깊이에 따라 나타나는 코어퇴적상의 변화는 최상부에서 230 cm까지는 불규칙하지만 안정적인 퇴적환경을 유지한 반면에 그 이전에는 지속적이고 규칙적인 저층류의 유입으로 렌즈형 층리(lenticular lamination)가 뚜렷히 발달해 있다. 이는 특정시기에 일정기간 동안 저층류 영향에 의해 화산쇄설층 또는 육성기원 입자의 유입이 반복적으로 이루어졌었음을 지시한다.

잔류자화 특성 및 자기총서

Fig. 3은 대표시료에 대한 단계별 교류소자 결과를 vector diagram 상에 도시한 것이다. 전반적으로 5~15 mT의 낮은 소자단계에서 급격한 방향변화를 보인 후, 소자단계를 증가시킬수록 원점을 향하는 경향을 보인다. 이와같은 결과는 대부분의 시료들이 점성잔류자화(viscous remanent magnetization) 성분인 2차 잔류자화가 5~10 mT의 비교적 낮은 소자단계에서 효과적으로 제거되고 안정된 방향성의 잔류자화성분이 유리됨을 지시한다. 퇴적물의 잔류자화 강도는 10~626 mA/m의 범위를 보인다.

퇴적물의 대자율은 0.1 mT이하의 낮은 외부자기장을 가했을 때 일시적으로 나타나는 시료의 자화특정도를 의미하며, 대자율의 크기는 퇴적물내에 존재하는 자성광물의 양, 입도와 광물학적 조성의 영향을 크게 받는다(Thompson and Oldfield, 1986). 심해 퇴적물에 있어서 대자율변화에 영향을 주는 주요성분으로는 ferrimagnetic 광물(titanomagnetite, titanomaghemite), canted-anti-ferromagnetic 광물(hematite, goethite) 뿐만이 아니라 점토광물, ferromagnesian silicate 광물과 일부 철황화물(pyrite, gregite) 등으로 대표되는 상자성(paramagnetic)광물이 있다(Robinson, 1990). 또한, 암석기원 퇴적물에서 주로 나타나는 강자성(ferromagnetic)

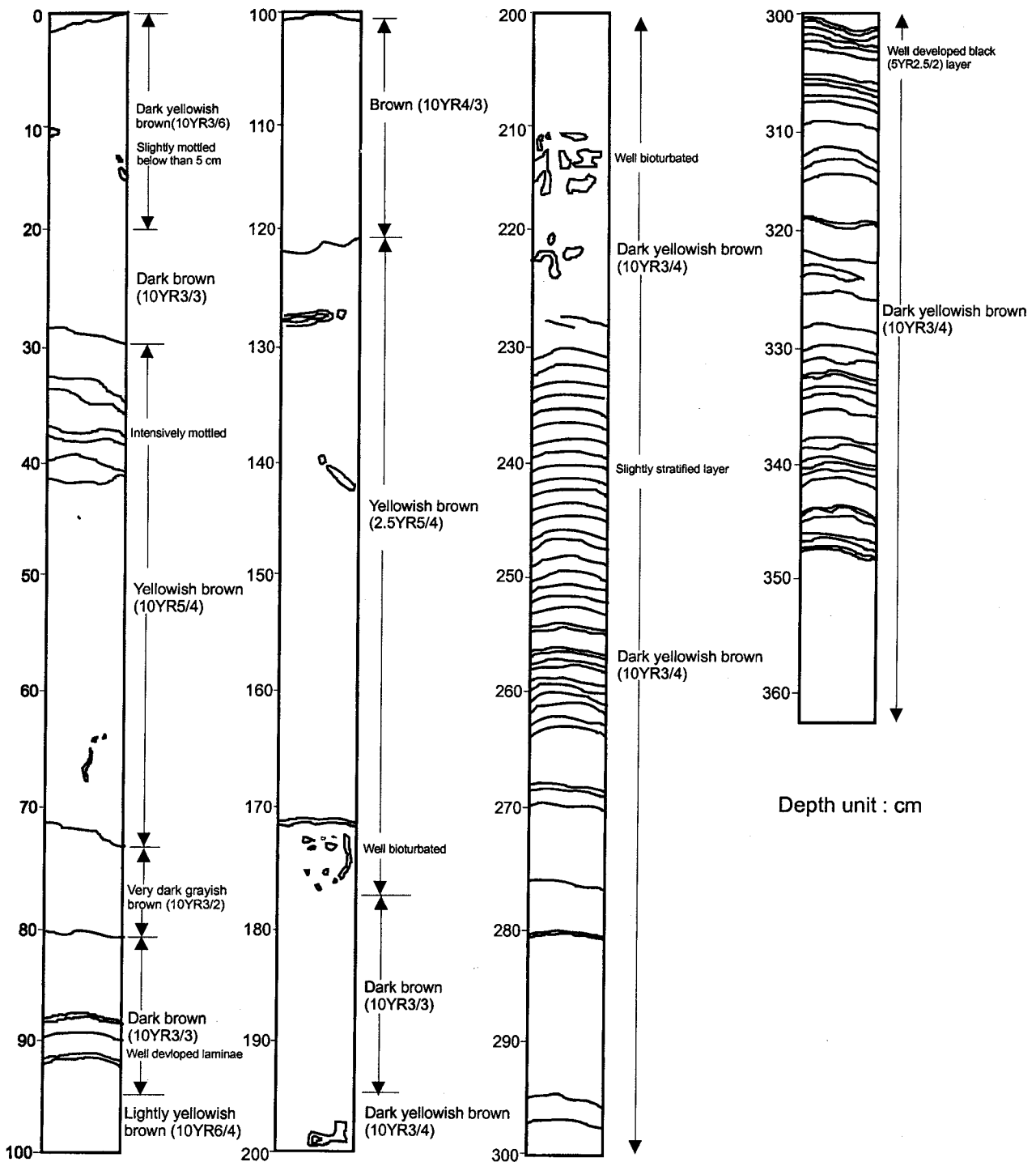


Fig. 2. Description of visual sedimentary characteristics of core P02.

과 상자성(paramagnetic) 성분과는 달리 규질과 탄산질 성분의 생물기원 입자는 낮은 대자율값을 보일뿐 만 아니라 대자율이 음(-)의 값을 갖는 반자성(diamagnetic) 광물특성을 나타낸다. 그러므로 심해퇴적물에서 퇴적깊이에 따른 대자율의 변화는 생물기원과 암석기원 성분의 성분비를 통해 기원이 상이한 자성광물의 유입 변화 요인을 유추하는데 이용된다(Heller and Liu, 1982; Robinson,

1990; 박 등, 1996).

본 연구에서 질량대자율의 범위는 $26.93 \sim 292.23 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}$ 이다. 전반적으로 연갈색계열의 퇴적상에서는 질량대자율이 $50 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}$ 내외의 범위로 낮게 나타난다(Fig. 5). 그러나 어두운 암갈색층(20~42 cm, 70~95 cm, 180~195 cm)이 발달해 있는 구간, 색상경계이하에서 퇴적물의 교란이 일어난 구간과 295 cm이하의

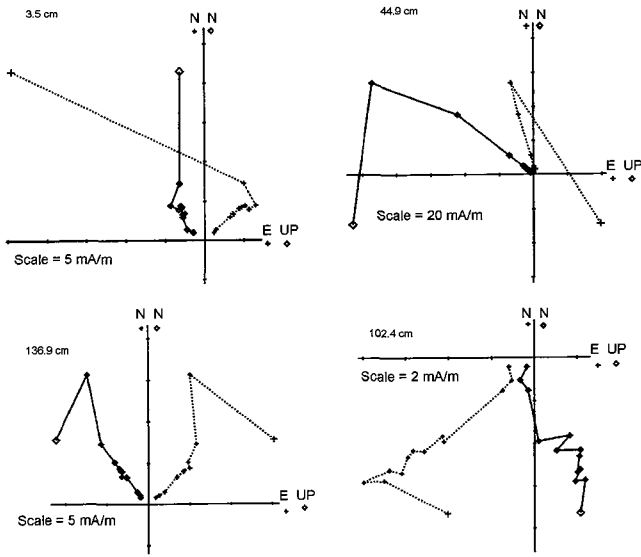


Fig. 3. Zijderveld plots for the representative samples from core P02 (+: horizontal, ◇: vertical, demagnetization level: NRM, 5, 7.5, 10, 12.5, 17.5, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 mT).

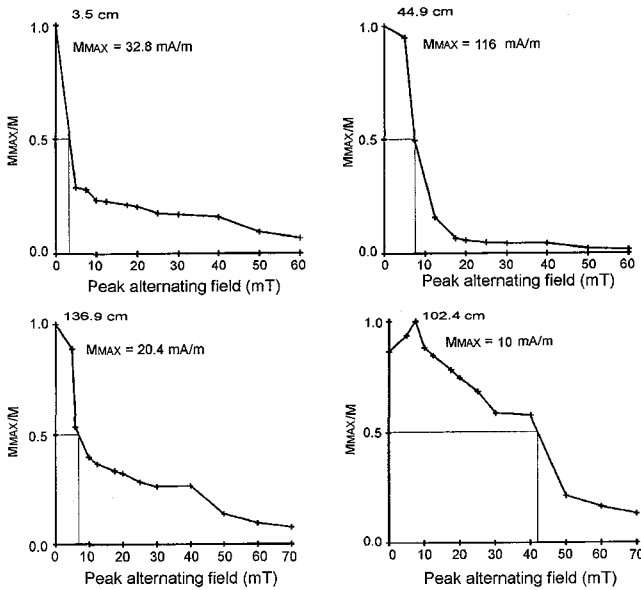


Fig. 4. Change in relative magnetic intensity with progressive alternating field demagnetization for selected samples from core P02.

깊은띠층리가 발달해 있는 구간에서 대자율의 급격한 변화가 나타나는 것은 대자율 변화양상이 퇴적상의 변화와 매우 밀접한 관계가 있음을 시사한다(Fig. 2와 5). 층리가 연속적으로 발달해 있는 225~265 cm에서는 미약하지만 퇴적깊이에 따라 점진적으로 대자율이 증가하는 양상을 보여준다. 대자율의 급격한 변화양상이 속성작용에 의해 야기될 가능성을 배제할 수 없으나 기존 연구에 의하면 태평양 지역에서 나타나는 갈색계열의 퇴적층은 상당한 깊이까지 산화상태의 퇴적환경을 유지하고 있기 때문에 본 연구지역이 suboxic환경과 같이 자생기원 광물형성과 쇄설성 광물의 속

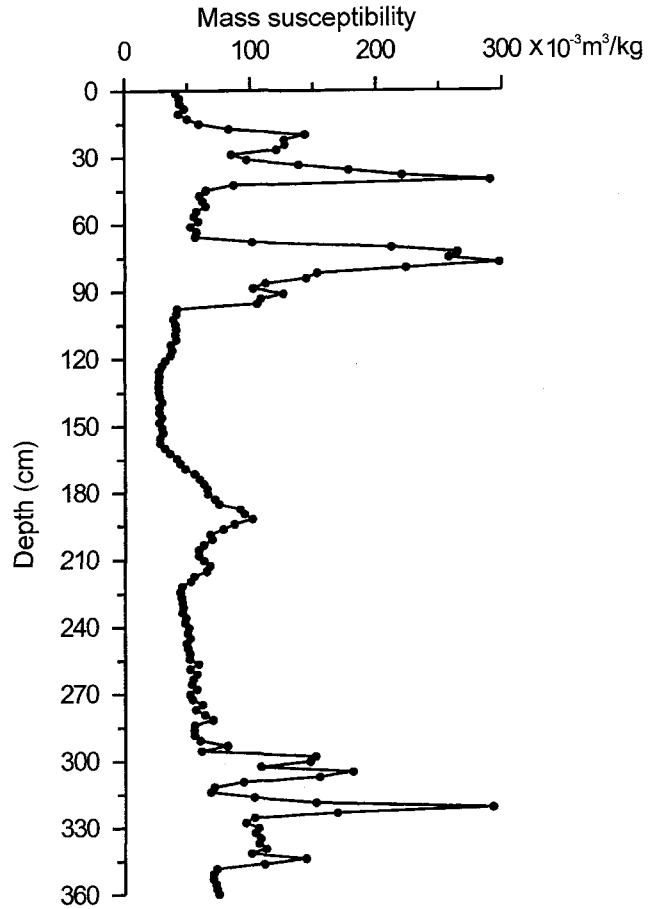


Fig. 5. Vertical profiles of mass susceptibility of core P02.

성작용에 의한 변화(Karlin, 1990)는 일어나기 어렵다(Yamazaki et al., 1991).

대자율이 상대적으로 높게 나타나는 심도 부근에서 자기적 안정도가 비교적 높게 나타난다(Fig. 5와 6). 이와같은 현상은 산화 환경하에서 퇴적깊이와 비례하여 세립질 자성광물의 용해(dissolution)로 자기안정도가 낮게 나타나는 북동 적도 태평양 심해퇴적물(Park, 1997)과는 달리 퇴적당시 자기적으로 안정된 세립질 자성광물이 유입된 결과인 것으로 사료된다. 암석자기특성상 대자율이 상대적으로 자성광물의 함량을 지시하는 파라미터(King et al., 1982)임을 고려할 때, 상부 70~95 cm, 180~195 cm 구간과 하부 295~345 cm이하의 깊은 띠형태의 층리가 발달해 있는 구간에서는 자기적으로 안정한 자성광물의 유입이 활발했음을 지시한다. 상부 20~42 cm구간은 자성광물의 유입이 활발했지만 주로 자기적으로 불안정한 성분을 함유하고 있는 조립질 자성광물 특성이 반영된 결과로 사료된다. 퇴적깊이와 퇴적층 변화에 따른 자기특성의 변화양상은 퇴적물의 암석자기(ARM, SIRM, magnetic hysteresis)성분간의 상관관계를 통해 보다 명확히 규명할 수 있을 것으로 예상된다.

피스톤코어에서는 방위(azimuthal orientation)를 알 수 없기 때문에 편각변화는 상대적이다. 일반적으로 자극변화를 판단하기 위해서는 북각과 편각의 변화를 이용하여 결정하는데, 본 조

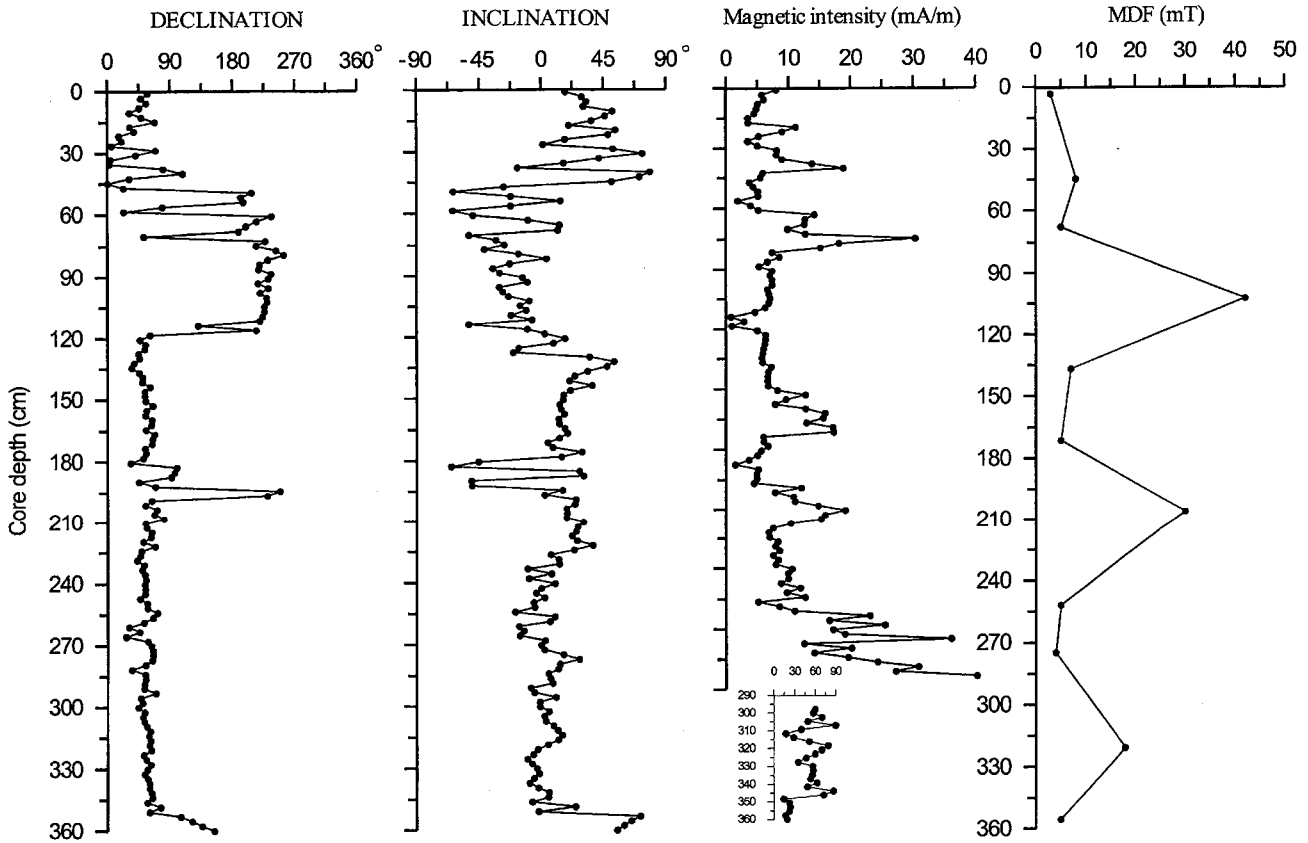


Fig. 6. Vertical profiles of paleomagnetic directions.

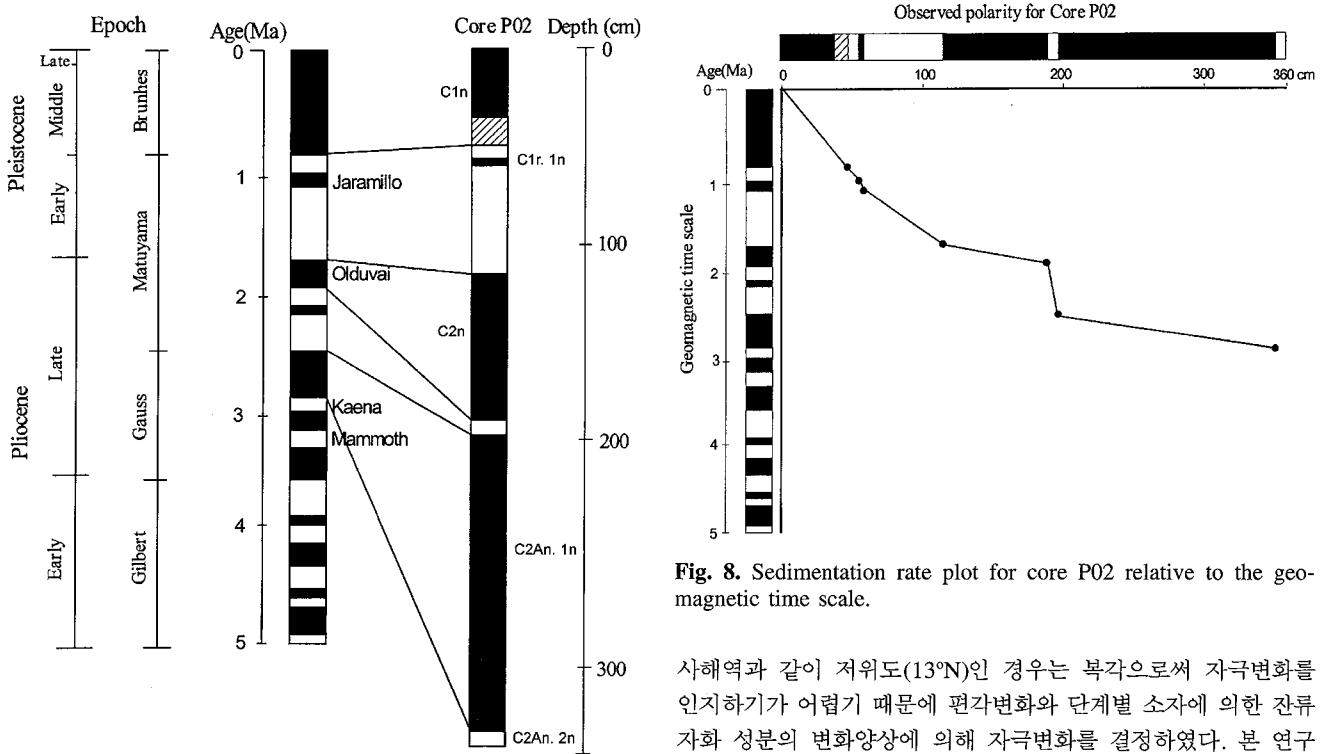


Fig. 7. Magnetostratigraphic correlation for core P02. The geomagnetic time scale is that of Cande and Kent (1995).

사해역과 같이 저위도(13°N)인 경우는 북각으로써 자극변화를 인지하기가 어렵기 때문에 편각변화와 단계별 소자에 의한 잔류자화 성분의 변화양상에 의해 자극변화를 결정하였다. 본 연구에서 측정된 코어의 편각방향은 자극변화가 인지되는 심도에서 180° 내외의 변화를 나타내며, 이러한 곳에서는 북각의 변화 또

Fig. 8. Sedimentation rate plot for core P02 relative to the geomagnetic time scale.

한 나타난다. 교류소자 후, 코어시료의 퇴적깊이에 따른 편각, 복각과 자화강도 결과는 Fig. 6에 도시하였다. 자극변화를 도시할 때, 검은 부분은 정자극, 흰부분은 역자극을 나타내었으며, 자극변화를 판단하기 어려운 상부 교란층은 사선으로 표시하였다(Fig. 7).

위와 같은 결과에 의해 나타난 자극변화를 Cande and Kent(1995)의 지자기 층서표(geomagnetic time scale)에 대비하면 퇴적물 상부의 정상자극상태를 나타내는 구간이 Brunhes normal polarity에 해당함으로 코어 P02의 49.5 cm가 Brunhes normal chron과 Matuyama reverse chron 경계에 대비되며, 56.4~58.7 cm가 Jaramillo normal subchron에 대비된다. Olduvai normal subchron은 116.2~192.1 cm에서 인지되며, Matuyama reverse chron/Gauss normal chron의 경계와 Kaena reverse subchron은 각각 196.7과 350.8 cm에서 나타난다(Fig. 5). 자극변화 구간에서 편각의 변화는 결층을 지시하는 방향성분의 교란 흔적(도 등, 1996)이 나타나지 않는 것으로 볼 때, 본 조사해역에서 채취한 퇴적물의 퇴적시기는 플라이스토세와 후기 플라이오세에 해당한다(Fig. 6과 7).

연구시료의 퇴적율은 Brunhes normal chron, Brunhes normal chron/Matuyama reverse chron, Jaramillo normal subchron, Olduvai normal subchron, Matuyama/Gauss chron과 Kaena reverse subchron 경계 구간을 각각 대비하였다. 플라이스토세 중기와 후기(현재 ~0.78×10⁶년)에 해당하는 시기의 퇴적율은 0.63 mm/10³년을 나타내며, 플라이스토세 초기(0.78~1.77×10⁶년) 기간 동안의 퇴적율은 0.67 mm/10³년을 보여주고 있다. 플라이오세 후기(1.77~3.04×10⁶년) 퇴적율은 1.85 mm/10³년으로 플라이스토세 보다 2.85배 높은 퇴적율을 나타내고 있다(Fig. 8).

고해양학적 관점에서 플라이오세와 플라이스토세는 북반구 빙하기의 시작과 이에 따른 급격한 기후변화로 특성지을 수 있다(Douglas and Savin, 1975; Janecek and Rea, 1983). 현재보다 급격한 온도구배 차이에 따른 대기와 해수순환 강화는 풍성기원 입자의 유입을 촉진시켰으며, 연구지역 주변에서 조사된 현재의 유입되는 양(15~35 mg/cm²/10³년) 보다 최대 10배 정도로 많은 풍성기원 입자가 유입·퇴적되었다(Turekian and Cochran, 1981; Janecek and Rea, 1983). 본 연구에서 대자율과 자기안정도 변화양상은 풍성기원 퇴적물의 유입이 활발했던 시기에 비자성 입자와 동일한 과정을 통해 자기적으로 안정한 자성광물(Leinen and Heath, 1981; Yamazaki and Katsura, 1990)이 다량으로 유입되었을 것으로 생각되며, 플라이오세후기 이후부터는 퇴적물의 유입이 감소하였다. 연구지역 주변 해저산의 화산활동이 에오세(Eocene) 이후로 일어나지 않았던 결과(Jackson and Schlanger, 1976; Wedgworth and Kellogg, 1987)에 비추어 볼 때, 본 연구지역 3 Ma이내의 퇴적물에 함유되어 있는 자성광물의 대자율 변화양상과 퇴적율 변화는 플라이오세 후기 이후의 해양환경 변화에 의한 대기순환 강화(Janecek and Rea, 1983)와 이에 따른 자성광물의 유입 변화를 반영한 것이며, 플라이스토세에서는 상대적으로 유입정도가 감소하였다.

결론

조사해역에서 채취한 피스톤 코어퇴적물에 대한 지자기 층서 연구결과는 다음과 같다. 퇴적물에 함유되어 있는 자성입자의 잔

류자화성분은 낮은 소자단계에서 점성잔류자화성분으로 생각되는 잔류자화가 효과적으로 제거되어 퇴적당시 지구자기장 방향을 기록하고 있는 안정한 잔류자화성분이다.

안정된 잔류자화성분에 의해 기록되어 있는 퇴적물의 편각, 복각과 자화강도의 변화양상은 자극변화가 일어났던 퇴적시기를 명확히 지시하고 있으며, 자극변화에 의한 연구지역 퇴적물의 퇴적시기는 주로 플라이스토세와 플라이오세 후기에 해당한다. 퇴적율은 0.63~1.85 mm/10³년으로 낮은 퇴적율을 나타내고 있지만 플라이오세 후기 퇴적율은 플라이스토세 보다 2.85배 높은 퇴적율을 나타내고 있다. 퇴적시기에 따른 퇴적율의 변화양상은 플라이오세 후기 이후의 해양환경 변화에 의한 대기순환 강화와 이에 따른 자성광물의 유입 변화를 반영한 것으로 사료된다.

비록 낮은 퇴적율이라 하더라도 퇴적 상부층과 렌즈형 층리가 연속적으로 발달해 있는 하부심도에서의 대자율 변화양상은 자성광물의 함량변화와 밀접한 관계가 있는 것으로 보이며, 자기적으로 안정한 자성광물 유입이 증가했음을 지시한다. 그러나 자성광물의 성분과 퇴적상 변화에 따른 변화양상을 고해양학적 관점에서 보다 명확히 규명하기 위해서는 퇴적물의 암석자기 연구(ARM, SIRM, magnetic hysteresis)가 필요하다.

사사

본 연구는 2000년도 한국해양연구원에서 수행한 해양수산부 연구개발과제인 “남서태평양 망간각 탐사 및 개발사업” 지원하에 수행되었습니다. 원고에 대한 세밀한 검토와 의견을 주신 심사위원께 깊은 감사 드리며, 실험과 자료정리에 많은 도움을 주신 함동진군에게 감사의 마음을 전합니다.

참고문헌

- 도성재, 박찬호, 강정극, 김기현, 1996. 북태평양 KODOS-90지역 심해저 퇴적물의 고지자기 연구. 한국해양학회지(바다), 1: 1-12.
- 박정기, 도성재, 김기현, 1996. 북동 태평양 피스톤 코어퇴적물의 고지자기 및 암석자기 연구. 한국해양학회지(바다), 1: 20-31.
- Cande, S.C. and D.V. Kent, 1995. Revised calibration of the geomagnetic polarity time scale for the Late Cretaceous and Cenozoic. *J. Geophys. Res.*, **100**: 6093-6095.
- Corliss, B.H. and C.D. Hollister, 1979. Cenozoic sedimentation in the central north Pacific. *Nature*, **282**: 707-709.
- Doh, S.J., 1989. Stratigraphic and sedimentological implications of rock-magnetic properties of marine sediments from the northwest Pacific. *J. Geol. Soc. Korea*, **25**: 137-151.
- Heller, F. and T. Liu, 1982. Magnetostratigraphical dating of loess deposits in China. *Nature*, **300**: 161-163.
- Jackson, E.D. and Schlanger, S.O., 1976. Regional syntheses, Line Islands Chain, Tuomato Island Chain, and Manihiki Plateau, Central Pacific Ocean. In Schlanger, S.O., Jackson, E.D., et al., Init. Repts. DSDP, **33**: Washington (U.S. Govt. Printing Office), 915-927.
- Janecek, T.R. and D.K. Rea, 1983. Eolian deposition in the northeast Pacific ocean: Cenozoic history of atmospheric circulation. *Geol. Soc. Am. Bull.*, **94**: 730-748.
- Karlin, R., 1990. Magnetic mineral diagenesis in suboxic sediments

- at Bettis site W-N, NE Pacific. *J. Geophys. Res.*, **95**: 4421–4436.
- King, J., S.K. Banerjee, J. Marvin and O. Ozdemir, 1982. A comparison of different magnetic methods for determining the relative grain size of magnetite in natural materials: Some results from lake sediments. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **59**: 404–419.
- Kobayashi, K., K. Kitazawa, T. Kanaya and T. Sakai. 1971. Magnetic and micropaleontological study of deep-sea sediments from the west-central equatorial Pacific. *Deep-Sea Res.*, **18**: 1045–1062.
- Leinen, M. and G.R. Heath, 1981. Sedimentary indicators of atmospheric activity in the northern hemisphere during the Cenozoic. *Paleogeogr. Paleoclimatol. Paleoecol.*, **36**: 1–21.
- Lincoln, J.M., M.S. Pringle and P. Silva, 1993. Early and Late Cretaceous volcanism and reef-building in the Marshall Islands. In Pringle, M.S., W.W. Sager, W.V. Silter and S. Stein (eds.), *The Mesozoic Pacific. Am. Geophys. Union, Geophys. Monogr. Ser.*, **77**: 1–435.
- Park, C.K., 1997. Paleomagnetism and rock-magnetism of deep-sea sediments in the KODOS area, northeastern equatorial Pacific, Ph.D. Thesis, Korea University, Seoul, 149 pp.
- Park, C.K., S.J. Doh, D.W. Suk and K.H. Kim, 2000. Sedimentary fabric on deep-sea sediments from KODOS area in the eastern Pacific. *Mar. Geol.*, **171**: 115–126.
- Rea, D.K. and T.R. Janecek, 1982. Late Cenozoic changes in atmospheric circulation deduced from north Pacific eolian sediments. *Mar. Geol.*, **49**: 149–161.
- Robinson, S.G., 1990. Applications for whole-core magnetic susceptibility measurements of deep-sea sediments: Leg 115 results. *proceedings of the ODP*, **115**: 737–771.
- Thompson, R. and F. Oldfield. 1986. *Environmental Magnetism: Allen and Unwin, London, 227 pp.*
- Turekian, K.K. and J.K. Cochran, 1981. ^{210}Pb in surface air at Eniwetok and the Asian dust flux to the Pacific. *Nature*, **292**: 522–524.
- Wedgworth, B. and J. Kellogg, 1987. A 3-D gravity-tectonic study of Ita mai tai guyot: an uncompensated seamount in the eastern Mariana basin. In Keating, B.H., P. Fryer, R. Batiza and G.W. Boehlert(eds.), *Seamounts, Islands, and Atolls. Am. Geophys. Union, Geophys. Monogr. Ser.*, **43**: 73–95.
- Winterer, E.L. and C.V. Metzler, 1984. Origin and subsidence of Guyots in mid-Pacific Mountains. *J. Geophys. Res.*, **89**: 9969–9979.
- Yamazaki, T., 1986. Paleomagnetic stratigraphy of deep-sea sediments in the central equatorial Pacific (GH 81-4 area). *Geol. Surv. Japan Cruise Rep.*, **2**: 173–194.
- Yamazaki, T. and T. Katsura, 1990. Magnetic grain size and viscous remanent magnetization of pelagic clay. *J. Geophys. Res.*, **95**: 4373–4382.
- Yamazaki, T., I. Katsura, and K. Marumo, 1991. Origin of stable remanent magnetization of siliceous sediments in the central equatorial Pacific. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **105**: 81–93.
- Zijderveld, J.D.A., 1967. Ac demagnetization of rocks: Analysis of results. In Collinson, D.W., Creer, K.M. and Runcorn, S.K. (eds.) *Method in Palaeomagnetism. Elsevier, Amsterdam*, pp. 254–286.

2001년 2월 17일 원고접수

2001년 5월 21일 수정본 채택

담당편집위원: 김대철