

영양소분지에 분포하는 경상누층군에 대한 고지자기 연구

도성재* · 석동우** · 김범철*

Paleomagnetism of the Cretaceous Sedimentary rocks in the Yongyang Sub-Basin

Seong-Jae Doh*, Dongwoo Suk** and Bum-Cheol Kim*

ABSTRACT : Paleomagnetic and rock magnetic investigations have been carried out for the Cretaceous Hayang Group, exposed in the Yongyang Sub-Basins within the Kyeongsang Basin, eastern South Korea. A total of 452 oriented core samples was drilled from 31 sites for the study. The in-situ site mean direction ($D/I=359.4^\circ/51.1^\circ$, $k=23.6$, $\alpha_{95}=5.6^\circ$) is more dispersed than the mean direction after bedding correction ($D/I=6.1^\circ/55.3^\circ$, $k=41.5$, $\alpha_{95}=4.2^\circ$), indicating that the fold test is positive at 95% confidence level. In addition, the stepwise unfolding of the characteristic remanent magnetization (ChRM) reveals that a maximum value of k is observed at 90% unfolding. Furthermore, the rock magnetic investigations and electron microscope observations of the representative samples show that the main magnetic carrier of the Hayang Group is the detrital specular hematite of single and pseudo-single domain sizes with negligible contribution of pigmentary hematite grains. These results collectively imply that the ChRM direction is the primary component acquired at the time of the formation of the strata. Provided the primary nature of the ChRM, a magnetostratigraphic correlation between polarities of the studied formation and the Geomagnetic Time Scale indicates that the Hayang Group in the Yongyang Sub-Basin can be correlated to the Cretaceous Long Normal Superchron. The paleomagnetic pole position from this study ($217.4^\circ E$, $85.5^\circ N$, $A_{95}=5.2^\circ$) is significantly different from those of the Hayang Group in the Euseong and Milyang Sub-Basins. Rather the paleomagnetic pole position of the Hayang Group of the study area is closer to that of the Quaternary period or present time of the Korean Peninsula. It is hypothesized that the study area might be rotated about 25° anticlockwise with respect to the Euseong and Milyang Sub-Basins after the formation of the strata and acquisition of the ChRM, although there is not enough geologic evidence supporting the rotation hypothesis.

서 언

한반도 동남부의 경상분지에 분포하는 퇴적암류와 화산암류로 구성된 경상누층군은 암상에 따라 하부로부터 신동층군, 하양층군 및 유천층군 (장기홍, 1975) 혹은 낙동층군, 신라층군 및 유천층군 (원종관, 1989)으로 구분되며, 이들 지층의 시대는 주로 고생물학적 및 방사능 동위원소 연대측정 연구를 통하여 백악기로 알려져 있으나 각 지층의 정확한 퇴적 시기에 대하여는 연구자들에 따라

많은 이견이 있다. 하양층군의 경우, 본 층군이 퇴적되는 동안에 일어난 WNW방향의 단층으로 인하여 경상분지가 3개의 소분지들 (밀양, 의성 및 영양 소분지)로 분리되면서 각 소분지의 침강 및 퇴적 양상의 변화가 생겼다 (장기홍, 1987). 이로 인하여 각 소분지간의 암상과 지층두께의 차이가 생겨 각 소분지간의 층서 (stratigraphic sequences) 차이를 보여준다. 본 층군은 암상에 의하여 세분되었고 각 소분지간의 대비는 주로 색깔 및 열쇠층 (key beds) 등과 같은 암상에 의하여 시도되었으나, 열쇠층이 모든 지역에서 광범위하게 산출되지 않을 뿐만 아니라 각 소분지간에 많은 암상의 차이를 보여주어, 층서 분류 및 각 소분지간의 지층대비에 학자들간에 이견이 많다. 예를 들면, 하양층군 하부의 경우 팔공산 syn-tectonic line을 경계로 의성 소분지에 속하는 북쪽은 하

* 고려대학교 지구환경과학과 (Department of Earth and Environmental Sciences, Korea University, Seoul, 136-701, Korea), E-mail: sjdoh@kuccnx.korea.ac.kr

** 한양대학교 지구해양학과 (Department of Earth and Marine Sciences, Hanyang University, Ansan, 425-791, Korea)

Table 1. Stratigraphic correlation of the Hayang Group in the Kyeongsang Basin (Chang, 1977).

Yongyang Sub-Basin	Euseong Sub-Easin	Milyang Sub-Basin
Shinyangdong Fm.		Kconcheonri Fm.
Kisadong Fm.	Chunsan Fm.	Chaeyaksan Fm. — Jindong Fm.
Togyedong Fm.	Sagog Fm.	Songnaedong Fm. — Panyawol Fm.
Osippong Fm.		Haman Fm. — Haman Fm.
Cheongryangsan Fm.	Jeomgog Fm.	Hakbong Fm. — Silla Fm.
Kasongdong Fm.	Kugyedong Fm.	Chilgog Fm.
Tongwhachi Fm.	Kumidong Fm.	
	Paekchadong Fm.	
Ullyeonsan Fm.	Iljig Fm.	

부로부터 상부로 일직층, 백자동층, 구미동층, 구계동층, 점곡층으로, 밀양 소분지에 속하는 남쪽은 칠곡층, 신라역암층, 학봉화산암층으로 각각 세분되어 있는데, 밀양 소분지에 속하는 신라역암층을 장기홍 (1987)은 의성 소분지의 점곡층으로 최현일 (1985)은 구미동층과 대비하였다. 이와같이 경상분지내의 층서분류와 지층들의 대비는 소분지들 사이는 물론 각 소분지 내에서도 한계점 및 문제점을 내포하고 있다. 경상누층군의 이러한 층서적 문제점 이외에도 각 소분지간의 구조운동 또한 아직 명확히 해결되지 않은 상태이다.

고지자기 연구는 연구 지층에 대하여 시층서 및 지구조 운동에 관한 중요한 자료를 제공하여 주므로 지질학 연구에 많이 활용되고 있다. 경상분지의 소분지 중 의성소분지와 밀양소분지에 분포하는 경상누층군에 대한 고지자기 연구는 여러 연구자에 의하여 수행되었으나 (예, 민경덕 외, 1982; Otofujii *et al.*, 1982, 1986; Kim and Jeong, 1986; Lee *et al.*, 1987; 도성재 외, 1990, 1994; 김광호와 김두수, 1991; 김인수 외, 1993; 도성재와 김광호, 1994), 경상분지의 북부에 위치하는 영양소분지에 대한 고지자기 연구는 지금까지 보고된 바가 없다. 본 연구는 영양 소분지에 분포하는 하양층군을 대상으로 고지자기 및 암석자기 연구를 수행하여 자기층서 자료를 제공하고, 고지자기극의 위치를 확립하여 연구지역 및 경상분지에 대한 광역적 지구조 해석에 필요한 자료를 제공하는데 그 목적이 있다.

지질개요

영양소분지에 분포하는 하양층군은 하부로부터 울런산

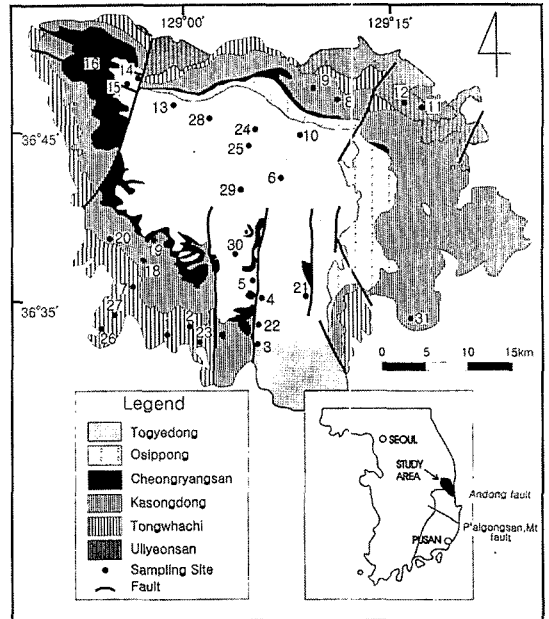


Fig. 1. Geologic map of the Yongyang Sub-Basin, showing the locations of the paleomagnetic sampling sites.

층, 동화치층, 가송동층, 청량산층, 오십봉층, 도계동층, 기사동층 및 신양동층으로 분류된다 (장기홍, 1977; Fig. 1, Table 1). 본 연구에서는 기사동층 및 신양동층을 제외한 하양층군의 6개 지층을 대상으로 수행하였다. 연구지역의 지층은 전반적으로 완만한 향사구조를 이루고 있으며, 부분적으로 소규모의 배사 및 향사구조가 발달되어 있다. 영양소분지에 분포하는 하양층군은 주로 역압, 사암 및

세일로 구성된 퇴적암이나, 퇴적기간 중 있었던 화산활동으로 염기성 내지 중성 화산암이 협재한다. 하양층군의 최하부층인 울련산층은 하양층군의 기저역암층으로 역암과 사암으로 구성되어 있으며 층후는 약 700 m로서 주로 연구지역의 북부에 분포한다. 연구지역에 분포하는 울련산층 노두는 대부분이 역암이나 조립질 사암으로 고지자기 연구에 적합하지 않아, 단 2개의 적색 사암 노두에서 시료를 채취하였다. 울련산층의 상부층인 동화치층은 사암과 세일로 구성되어 있다. 층후는 약 130~500 m로 연구지역의 북쪽으로 갈수록 층후가 증가하며, 6개의 동화치층 적색 세일 노두에서 고지자기 시료를 채취하였다. 가송동층은 동화치층의 상부층으로 역암, 사암 및 세일로 구성되어 있으며, 층후는 약 250~400 m로 연구지역의 북쪽으로 갈수록 층후가 증가한다. 가송동층에서는 본 연구를 위하여 6개의 적색 사암과 세일 노두에서 시료를 채취하였다. 청량산층은 주로 역암이며 사암 및 세일이 협재하고, 층후는 약 130~700 m로 연구지역의 북쪽으로 갈수록 층후가 증가한다. 청량산층의 대부분은 암석입자의 입도가 고지자기 연구에 적합하지 않은 조립질로 1개의 적색 세일 노두에서만 시료를 채취하였다. 청량산층의 상부층인 오십봉층은 현무암과 역암, 사암 및 세일로 이루어져 있으며, 층후는 약 500~900 m이다. 오십봉층에서는 노두발달의 불량으로 현무암과 적색 사암 노두 3개에서 고지자기 시료를 채취하였다. 영양소분지의 중심부에 가장 넓게 분포하는 도계동층은 연구지역에 분포하는 하양층군의 최상부 지층으로, 역암, 사암, 실트스톤 및 세일로 구성되어 있으며 층후는 약 900 m이다. 도계동층에서는 13개의 세립질 적색 사암, 적색 실트스톤 및 적색 세일 노두에서 고지자기 시료를 채취하였다.

연구방법

고지자기 연구를 위한 시료 채취는 야외용 착암기를 이용하여 직경 2.5 cm의 코아시료 (core sample)들을 채취하였다. 각 노두 (site)에서 가능하면 수직·수평의 등간격으로 시료 채취장소를 선정하였으며 브란톤 컴퍼스를 이용하여 코아 채취시 시료의 방향을 현장에서 측정하였다. 이러한 방법으로 31개의 노두에서 독립된 정향 코아시료들을 채취하여 (Fig. 1) 실험실에서 2.2 cm 길이로 절단하여 총 452개의 시료들을 얻었다.

모든 시료들에 대하여 회전 자력계 (spinner magnetometer)를 이용하여 자연잔류자화 (natural remanent magnetization)를 측정하였으며 대자를 측정기 (magnetic susceptibility meter)를 사용하여 대자율 (magnetic suscep-

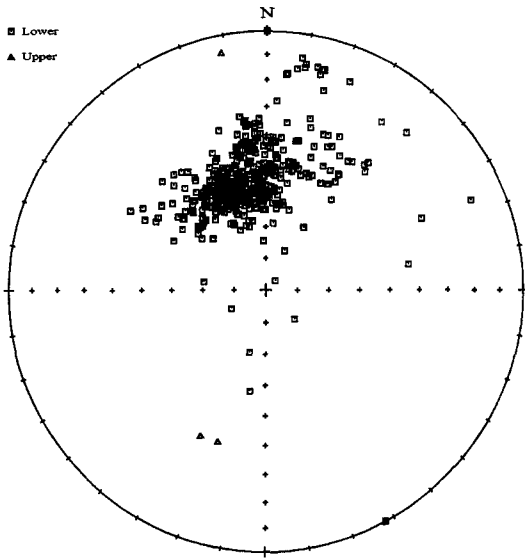
tibility)을 측정하였다. 각 노두에서 4개 이상의 표본시료 (pilot sample)들을 선정하여, 단계별 열소자 및 교류소자 실험을 수행하였다. 각 노두의 단계별 열소자와 교류소자 결과에 근거를 두어 시료들의 최적 소자방법을 선택한 후, 모든 잔여 시료에 대하여 단계별 소자실험을 실시하여 각 단계별 잔류자화 (remanent magnetization)를 측정하였다. 열소자 실험은 200°C까지는 100°C 단계, 500°C까지는 50°C 단계, 500°C 이상에서는 20°C 단계로 최대 700°C 혹은 각 시료의 잔류자화를 기록하는 자성 광물의 큐리 온도 (Curie temperature)까지 수행하였다. 열소자 실험시 소자 과정에서 발생하기 쉬운 부수적인 재자화 (systematic parasitic remagnetization) 획득을 방지하기 위해 각 열소자 단계마다 시료의 방향을 바꾸어 열소자 실험을 실시하였다. 또한, 열소자시 가열에 따른 새로운 자성광물의 생성 혹은 자성광물의 화학 변화를 감지하기 위해 각 열소자 단계에서 잔류자화 측정 후 대자를 측정기를 이용하여 대자율 변화를 측정하였다. 교류소자 실험은 30 mT까지는 5 mT 단계, 30 mT 이상에서는 10 mT 단계로 수행하였다. 실험 중 모든 시료는 Mu-metal 상자에 보관하였다. 각 노두의 대표시료들을 선정하여 최대 1 T까지의 등온잔류자화 (isothermal remanent magnetization) 획득실험 및 잔류항자기력 (coercivity of remanence) 측정 등의 암석자기 연구를 수행하였고, 연마편을 제작하여 전자현미경하에서 자성광물을 관찰하였다.

고지자기 자료처리는 직교소자도 (vector diagram, Zijdeveld, 1967) 상에 나타나는 방향변화를 주성분 분석법 (principal component analysis, Kirschvink, 1980)을 이용하여 특성잔류자화 (characteristic remanent magnetization) 성분을 추출하였다. 주성분 분석법 적용 시에는 일직선상에서 나타나는 최소 3점 이상의 점들과 원점을 이용한 anchored line fit 방법을 적용하였다. 소자 단계에 따른 잔류자화의 방향변화가 원점을 향하지 않으나 stereonet상에서 대원을 따라 방향이 변할 경우는 McFadden and McElhinny (1988)의 sector constraints를 이용한 대원법 (great circle method)을 이용하여 특성잔류자화 성분을 추출하였다.

결 과

고지자기 결과

연구암석들의 초기자연잔류자화 강도는 퇴적암이 5~1000 mA/m이고 현무암은 50~1500 mA/m로 비교적 높은 자연잔류자화 강도를 갖는다. 영양소분지에 분포하는



Geographic Coordinates

Fig. 2. Total natural remanent magnetization direction in geographic coordinates.

퇴적암의 자연잔류자화 방향은 분산되어 있지만 주로 연구지역의 현재 지구자기장 방향으로 우세하게 모여있다 (Fig. 2). 이러한 현재 지구자기장 방향의 자연잔류자화의 방향은 기존에 연구된 한반도 지층들에 기록된 2차 잔류자화의 방향과도 일치하며 (예, Shibuya *et al.*, 1985; Otofujii *et al.*, 1986; Lee *et al.*, 1987; 도성재, 1993), 이것은 자연잔류자화에 기록된 2차 잔류자화가 주로 점성잔류자화 (viscous remanent magnetization)임을 지시한다. 대부분의 시료들에 대한 최적의 소자방법으로는 열소자가 교류소자에 비하여 효과적인 것으로 판명되었으며, 각 지층별 대표적인 시료에 대한 단계별 열소자 실험결과는 Figure 3에 도시하였다. 거의 모든 시료들에서 저온 성분 (low blocking temperature component)과 고온 성분 (high blocking temperature component)의 2성분이 관찰이 되며, 약 200~400°C의 온도에서 연구 지역의 현재 지구자기장 방향으로 자화된 저온 성분이 제거되고, 소자단계가 증가함에 따라 직교소자도 상에서 잔류자화의 방향이 일정하게 원점을 향하는 고온 성분인 특성잔류자화 성분이 추출되었다. 대부분의 시료들은 단계별 열소자 후에도 일정한 대자율 값을 보여주나, 600°C~680°C 이상 고온의 열소자 단계에서 자성광물의 화학변화를 지시하는 대자율값이 증가한 시료의 대자율값 증가 후의 측정결과와 방향변화가 불규칙한 시료들은 특성잔류자화 성분 추출시 제외하였다. 특성잔류자화 연구결과는 Table 2에 요약하였다.

울련산층

본 지층의 주 구성암석은 역암 및 사암으로 고지자기 연구에 적합한 시료채취 장소는 극히 제한되어 있으며, 단지 2개의 사암 노두 (노두 11과 12)에서만 시료를 채취하였다. 두 노두에서 채취한 시료들은 소자단계가 증가함에 따라 방향변화가 불규칙하며, 현재 지구자기장 방향과 유사한 저온 혹은 낮은 항자기력 성분을 제외한 고온 성분의 특성잔류자화의 방향을 추출할 수 없었다.

동화치층

약 300°C까지의 열소자에 의하여 점성잔류자화로 추정되는 저온 성분이 제거된 후, 660°C까지 직교소자도 상에서 원점으로 향하는 단일 성분의 특성잔류자화 성분이 추출되었다 (Fig. 3a). 본 지층은 모두 정자극기 방향의 잔류자화를 기록하고 있다.

가송동층

약 350°C까지의 열소자에 의하여 점성잔류자화로 추정되는 저온 성분이 제거된 후, 620°C까지 직교소자도 상에서 원점으로 향하는 단일 성분의 특성잔류자화 성분이 추출된다 (Fig. 3b). 본 층은 정자극기 방향의 잔류자화를 기록하고 있다.

청량산층

약 300°C까지의 열소자에 의하여 점성잔류자화로 추정되는 저온 성분이 제거된 후, 680°C까지 직교소자도 상에서 원점으로 향하는 단일 성분의 특성잔류자화 성분이 추출된다 (Fig. 3c). 주로 역암으로 구성된 본 지층에서는 역암층내에 협재된 적색 사암 노두 1개소에서만 고지자기 연구에 적합한 시료를 채취할 수 있었다. 정자극기 방향을 기록하고 있다.

오십봉층

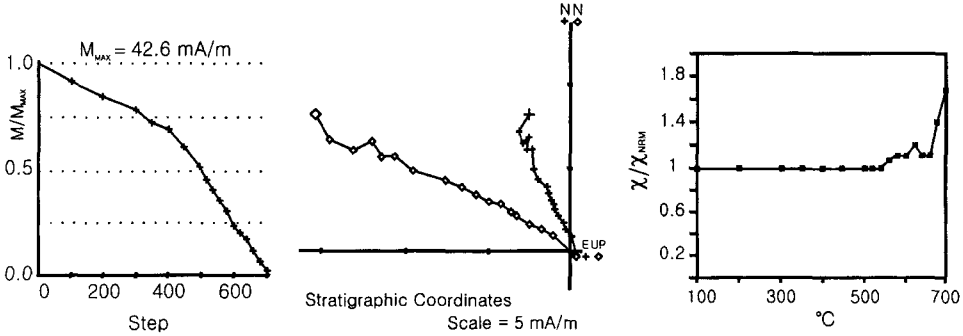
약 400°C까지의 열소자에 의하여 점성잔류자화로 추정되는 저온 성분이 제거된 후, 660°C까지 직교소자도 상에서 원점으로 향하는 단일 성분의 특성잔류자화 성분이 추출된다 (Fig. 3d). 본 지층은 정자극기 방향의 잔류자화를 기록하고 있다.

도계동층

약 200°C까지의 열소자에 의하여 점성잔류자화로 추정되는 저온 성분이 제거된 후, 640°C까지 직교소자도 상에서 원점으로 향하는 단일 성분의 특성잔류자화 성분이 추출된다 (Fig. 3e). 본 지층에서는 13개 노두들에서 시료를

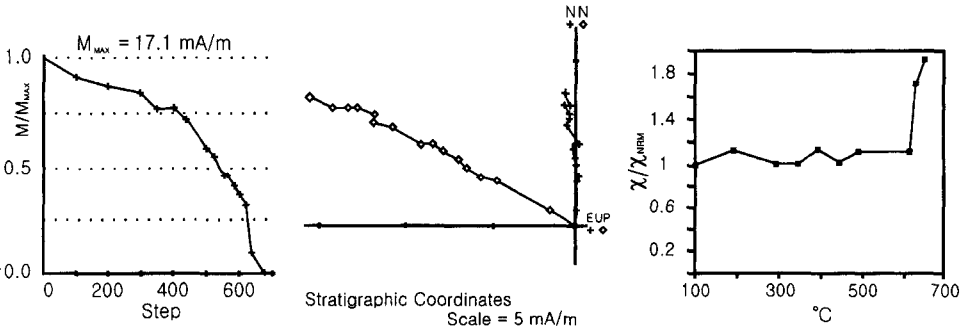
a) 23-31 (Tongwhachi Formation)

NRM T100 T200 T300 T350 T400 T450 T500 T520 T540 T560 T580 T600 T620 T640
T660 T680 T700



b) 19-1 (Kasongdong Formation)

NRM T100 T200 T300 T350 T400 T450 T500 T520 T540 T560 T580 T600 T620 T640
T680



c) 16-2 (Cheongryangsan Formation)

NRM T100 T200 T300 T350 T400 T450 T500 T520 T540 T560 T580 T600 T620 T640
T660 T680 T700

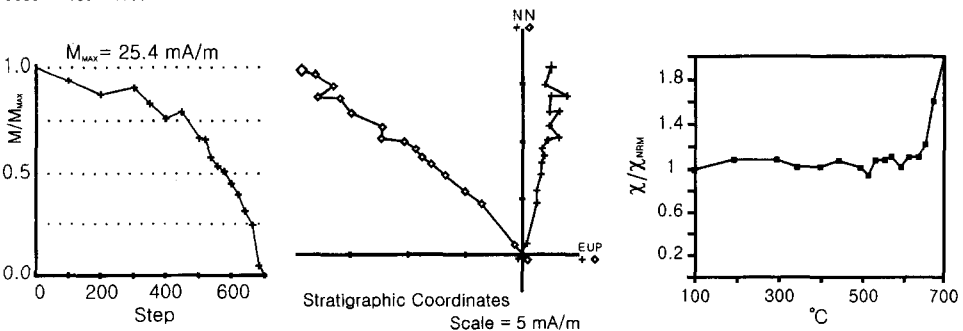


Fig. 3. Typical thermal demagnetization results (normalized intensity curves, Zijderveld diagrams in stratigraphic coordinates, and normalized susceptibility curves) of samples from the Yongyang Sub-Basin. (a) Tongwhachi Formation, (b) Kasongdong Formation, (c) Cheongryangsan Formation, (d) Osippong Formation, and (e) Togyedong Formation. Demagnetization steps are shown below sample number.

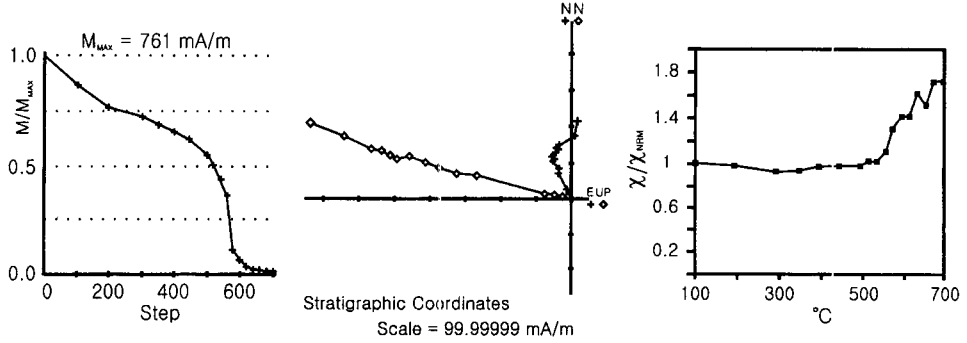
채취하였으며 이들의 평균 특성잔류자화는 모두 정자극 기 방향을 보여준다.

일반적으로 평균 특성잔류자화 방향과 고지자기극 (paleomagnetic pole)의 위치 계산은 각 층에 대한 평균

값을 이용하여 계산하나, 본 연구의 경우 하양층군의 각 층을 구성하는 노두의 수가 충분하지 않아 각 노두의 평균값을 이용하여 평균 특성잔류자화 방향과 고지자기극의 위치를 계산하였다. 이러한 방법으로 계산된 하양층군

d) 15 - 7 (Osippong Formation)

NRM T100 T200 T300 T350 T400 T450 T500 T520 T540 T560 T580 T600 T620 T640
T660 T680 T700



e) 30 - 10 (Togyedong Formation)

NRM T100 T200 T300 T350 T400 T450 T500 T520 T540 T560 T580 T600 T620 T640
T660

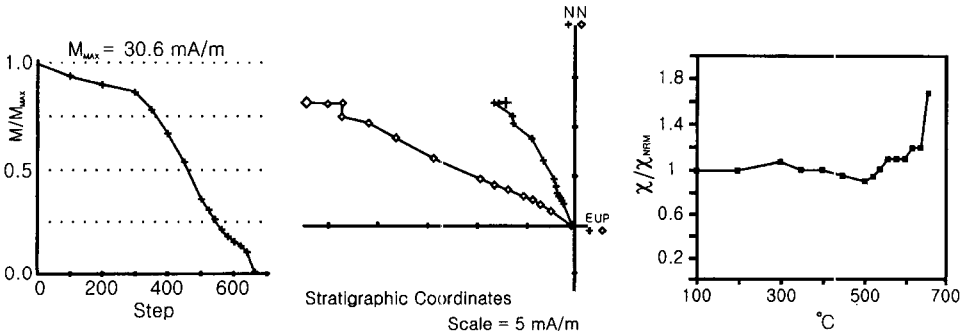


Fig. 3. Continued.

의 평균 특성잔류자화 방향은 지층경사 보정 전이 $D/I=359.4/51.1^\circ$ ($k=23.6$, $\alpha_{95}=5.6^\circ$)이며, 보정 후는 $D/I=6.1/55.3^\circ$ ($k=41.5$, $\alpha_{95}=4.2^\circ$)로서 보정 후 방향의 분산도가 보정 전보다 좋아진다. 보정 후의 방향으로부터 구한 고지자기극의 위치는 $217.4^\circ E$, $85.5^\circ N$ ($K=27.7$, $A_{95}=5.2^\circ$)이다 (Table 2, Fig. 4). 한편 주로 역암으로 구성된 청량산층과 그 하부지층인 가송동층과의 경계를 비정합으로 해석하는 경우도 있으므로 (예, 김옥준과 홍만섭, 1963; 김옥준 외, 1963) 이러한 두 지층 사이에 비정합적 관계를 고려하여 비정합을 경계로 상부와 하부의 방향을 비교할 수 있다. 상부에 속하는 청량산층, 오십봉층 및 도계동층의 평균 특성잔류자화 방향은 지층경사 보정 전이 $D/I=356.6/50.9^\circ$ ($k=22.3$, $\alpha_{95}=7.7^\circ$)이며, 보정 후는 $D/I=4.9/56.0^\circ$ ($k=40.4$, $\alpha_{95}=5.7^\circ$)이고, 이로부터 구한 고지자기극의 위치는 $205.0^\circ E$, $86.6^\circ N$ ($K=26.3$, $A_{95}=7.1^\circ$)이다 (Table 2, Fig. 4). 한편 비정합면 하부에 속하는 동화치층 및 가송동층의 평균 특성잔류자화 방향은 지층경사 보정 전이 $D/I=3.4/51.3^\circ$ ($k=24.6$, $\alpha_{95}=8.9^\circ$)이며, 보정 후

는 $D/I=7.7/54.4^\circ$ ($k=40.2$, $\alpha_{95}=6.9^\circ$)이고, 이로부터 구한 고지자기극의 위치는 $226.9^\circ E$, $83.7^\circ N$ ($K=28.0$, $A_{95}=8.3^\circ$)이다 (Table 2, Fig. 4).

암석자기 결과

등온잔류자화 획득실험 결과에 의하면 연구지층들의 시료들을 1) 300 mT에서 90% 내외의 포화상태에 도달하는 형 (유형 1, Fig. 5a), 2) 500 mT에서 완전한 자기적 포화상태에는 도달하지 못하지만 90% 내외의 포화상태에 도달하는 형 (유형 2, Fig. 5b), 3) 자기장의 강도가 증가함에 따라 등온잔류자화의 값이 계속 증가하며 1 T의 자기장에서도 포화상태에 도달하지 않는 형 (유형 3, Fig. 5c)의 세 유형으로 분류할 수 있다. 유형 1은 시료 내에 웨리자성광물 (ferrimagnetic mineral)과 경사 반강자성광물 (canted antiferromagnetic mineral)을 포함하나, 경사 반강자성광물의 함량이 웨리자성광물의 함량에 비하여 적은 경우로 울련산층과 오십봉층의 시료들에서 관

Table 2. Paleomagnetic results from the Hayang Group in the Yongyang Sub-Basin.

Site	Site		n/N	Dg	Ig	Ds	Is	k	α_{95}	VGP		dp	dm	Remarks	
	Lat.	Long.								Lat.	Long.				
3	36.33	129.05	24/24	6.8	39.2	11.7	54.5	58.0	3.9	80.4	224.7	3.9	5.5	Red Shale	Togyedong
4	36.35	129.06	21/22	357.2	52.7	350.8	56.6	54.2	4.4	82.6	46.5	4.6	6.4	Red Sandstone	"
5	36.36	129.05	19/20	345.9	57.5	358.9	51.8	105.6	3.8	85.7	321.7	3.5	5.2	"	"
6	36.41	129.07	18/19	345.3	51.8	340.3	60.0	29.1	6.5	74.1	60.5	7.4	9.8	Red Shale	"
10	36.44	129.09	14/18	2.1	56.6	16.3	62.0	237.9	2.6	76.0	186.6	3.1	4.0	"	"
13	36.45	129.00	13/14	335.5	50.5	336.7	55.9	72.9	4.9	71.3	45.1	5.0	7.0	"	"
21	36.35	129.09	6/7	1.0	52.7	5.8	56.3	999.7	1.7	85.3	214.0	1.8	2.5	"	"
22	36.34	129.05	8/10	5.9	56.8	9.4	49.3	102.5	6.0	79.9	255.6	5.3	8.0	Red Siltstone	"
24	36.44	129.05	16/17	1.4	54.4	14.3	52.3	127.1	3.4	77.7	233.1	3.2	4.7	Red Sandstone	"
25	36.43	129.05	18/20	358.5	52.6	10.1	58.8	561.9	1.5	81.6	196.6	1.7	2.2	"	"
28	36.45	129.02	9/10	13.9	55.8	23.9	50.7	450.4	2.8	69.6	227.1	2.5	3.8	"	"
29	36.41	129.04	12/14	30.4	38.5	27.9	48.2	54.2	6.3	65.5	228.7	5.4	8.2	Red Shale	"
30	36.37	129.04	21/24	341.1	59.0	336.7	64.6	163.2	2.5	70.1	76.0	3.2	4.0	Red Sandstone	"
7	36.45	129.10	23/23	10.8	14.6	1.8	35.8	54.1	4.2	73.0	303.4	2.8	4.9	Basalt	Osippong
14	36.47	128.57	9/9	317.3	44.3	357.2	64.7	82.5	5.7	80.0	117.9	7.4	9.2	Red Shale	"
15	36.47	128.57	8/8	311.6	51.4	346.8	72.5	169.3	4.3	67.3	110.6	6.8	7.6	Red Shale+Basalt	"
16	36.47	128.54	8/10	16.6	43.7	23.1	40.2	60.8	7.2	65.7	247.4	5.2	8.7	Red Shale	Cheongry-angsan
Upper Group			17/17	356.6	50.9			22.3	7.7						
Mean						4.9	56.0	40.4	5.7	86.6	205.0	K=26.3	A ₉₅ =7.1		
8	36.46	129.11	15/15	35.0	31.3	26.6	58.2	60.1	5.0	69.0	205.3	5.5	7.4	Red Shale	Kasongdong
9	36.46	129.09	15/15	34.6	41.4	26.6	42.1	107.0	3.7	64.0	240.4	2.8	4.5	"	"
18	36.37	128.57	11/11	345.3	53.6	349.7	57.5	104.5	4.5	81.7	52.5	4.8	6.6	"	"
19	36.38	128.58	7/7	342.3	54.8	2.4	55.0	380.9	3.1	87.8	247.8	3.1	4.4	Red Sandstone	"
20	36.38	128.55	8/8	0.7	64.1	8.2	61.4	95.5	5.7	81.4	173.4	6.8	8.8	Red Shale	"
31	36.35	129.16	17/17	3.7	61.3	25.4	56.1	363.4	1.9	69.7	211.4	2.0	2.7	"	"
1	36.34	128.58	14/16	349.1	53.8	352.4	33.1	53.2	5.5	70.3	330.9	3.5	6.2	"	Tongwhachi
2	36.33	129.01	7/9	350.9	54.5	3.4	57.7	232.0	4.0	86.8	184.4	4.3	5.9	"	"
17	36.36	128.56	11/12	12.8	49.2	352.5	57.5	217.8	3.3	83.8	55.6	3.5	4.8	"	"
23	36.33	129.01	7/7	335.9	56.6	341.5	57.9	84.4	6.6	75.2	52.4	7.1	9.7	"	"
26	36.33	128.54	14/17	2.8	31.1	12.9	47.0	108.0	3.8	76.3	252.8	3.2	4.9	"	"
27	36.34	128.55	27/29	3.6	45.4	29.3	55.7	77.3	3.2	66.5	210.9	3.3	4.6	"	"
*11	36.46	129.17	0/11					Unstable						Red Sandstone	Ullyeonsan
*12	36.46	129.16	0/9					Unstable						"	"
Lower Group			12/14	3.4	51.3			24.6	8.9						
Mean						7.7	54.4	40.2	6.9	83.7	226.9	K=28.0	A ₉₅ =8.3		
Total				359.4	51.1			23.6	5.6						
Mean			29/31			6.1	55.3	41.5	4.2	85.5	217.4	K=27.7	A ₉₅ =5.2		

n/N: number of specimens used in mean/measured; Dg (Ds) and Ig (Is): in-situ (tilt-corrected) declination and inclination; k: Fisherian precision parameter; α_{95} : radius of cone of 95% confidence interval; VGP: virtual geomagnetic pole; dp: the semi axis of the confidence ellipse along the great-circle path from site to pole; dm: the semi axis of the confidence ellipse perpendicular to the great-circle path; K: the best-estimate of the precision parameter k for the observed distribution of site-mean VGPs; A₉₅: the radius of the 95% confidence circle about the calculated mean pole; *: Not included in mean calculation.

찰된다. 동일 시료들의 잔류자기력은 50 mT 내의 혹은 그 이하의 값을 보여주고 있다 (Table 3). 유형 2는 쉘리 자성광물과 더불어 유형 1에 비하여 보다 많은 양의 경사 반강자성광물이 함유되어 있는 경우로, 오십봉층 및 도계동층의 시료들에서 관찰된다. 이 시료들의 잔류자기력

값은 115~150 mT의 범위로 시료 내에 상당한 양의 경사 반강자성광물이 함유되어 있음을 지시한다. 유형 3은 주 자성광물이 경사 반강자성광물로, 동화치층, 가송동층, 청량산층 및 도계동층의 시료들에서 관찰된다. 동일 시료들의 잔류자기력은 200~600 mT의 범위로 주 자성광물

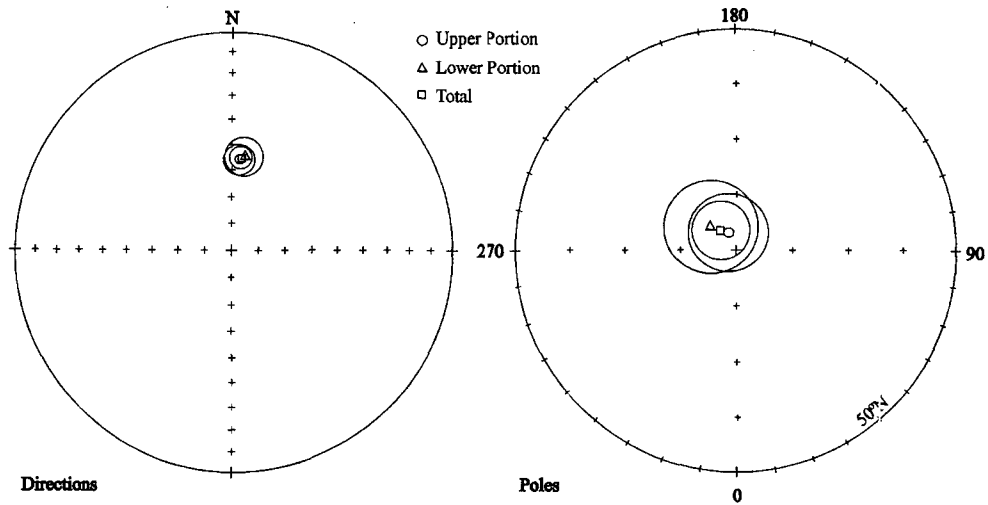


Fig. 4. (a) Mean directions and (b) paleomagnetic poles with 95% confidence circles. Upper Hayang Group: open circle; Lower Hayang Group: open triangle; All Hayang Group: open square.

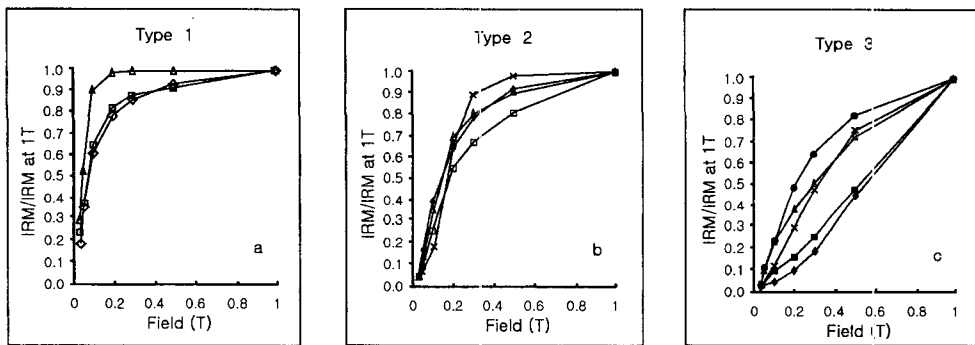


Fig. 5. Isothermal remanent magnetization acquisition curves for selected samples. (a) Type 1, (b) Type 2, and (c) Type 3.

이 경사 반강자성광물임을 지시한다.

전자현미경 관찰

영양소분지에 분포하는 하양층군은 주로 역암, 사암 및 셰일로 구성된 퇴적암으로, 사암 및 셰일 중 대표적인 시료에 대하여 전자현미경을 이용한 자성광물의 관찰을 실시하였다. 전자현미경 관찰 결과 기재시 적철석과 자철석의 구분이 가능한 경우에는 광물명을 사용하였으며, 구분이 되지 않는 경우와 두 광물을 통칭할 경우에는 철산화물 (iron oxide)이라는 용어를 사용하였다.

셰일시료에 대한 전자현미경 관찰 결과 수 내지 수십 μm 크기의 스페큘라 적철석 (specular hematite)으로 해석되는 철산화물이 가장 빈번히 관찰되었다. 셰일시료에서 관찰된 단축 길이 $\sim 10 \mu\text{m}$, 장축 길이 $\sim 25 \mu\text{m}$ 인 철

산화물 입자는 약간 마모된 주상의 자형 형태로 스페큘라 적철석으로 해석되며 석영 (Qtz), 조장석 (albite, Ab) 및 거의 변질을 받지 않은 흑운모 (biotite)와 함께 관찰되었다 (Fig. 6a). 사암 시료에서도 $\sim 70 \mu\text{m}$ 크기의 타형의 철산화물 입자가 석영 (Qtz), 회장석 (anorthite, An) 및 미량의 방해석 (Ca)과 함께 관찰되었다 (Fig. 6b). 이상과 같은 철산화물 입자들은 암석 생성 후 암석 내의 변질작용에 의해 이차적으로 형성된 자생적 광물이기보다는 퇴적 당시 유입된 퇴적기원의 철산화물 (detrital iron oxides)로 해석하였다.

이와 함께 암석 입자 사이를 따라 형성된 피그멘터리 적철석 (pigmentary hematite)으로 보이는 각각의 입자 크기가 $1 \mu\text{m}$ 또는 그 이하인 미세한 철산화물 및 흑운모-녹니석의 변질과정을 통하여 흑운모를 일부 치환한 철산화물이 확인되었다 (Fig. 6c). 그러나 이들 중 $1 \mu\text{m}$ 이

Table 3. Coercivity of remanence (Hcr) of selected samples.

Type	Sample #	Hcr (mT)	Rock Type	Formation
1	11-1	61.4	Sandstone	Ullyeonsan
	12-1	55.2	Sandstone	"
	15-7	28.7	Basalt	Osippong
2	7-2	121.1	Basalt	"
	7-7	130.6	Basalt	"
	14-2	115.8	Red Sandstone	"
	15-5	137.2	Basalt	"
	29-15	149.9	Red Shale	Togyedong
3	1-9	593.2	Red Shale	Tongwhachi
	2-1	545.2	Red Shale	"
	17-3	551.5	Red Siltstone	"
	23-3	548.5	Red Shale	"
	26-10	478.9	Red Sandstone	"
	3-8	286.1	Red Sandstone	Togyedong
	4-2	323.9	Red Sandstone	"
	5-3	287.8	Red Sandstone	"
	6-7	196.1	Red Sandstone	"
	10-2	421.3	Red Shale	"
	21-5	306.1	Red Shale	"
	13-9	322.6	Red Shale	"
	22-8	267.0	Red Shale	"
	24-5	480.0	Red Sandstone	"
	25-10	398.7	Red Sandstone	"
	28-2	559.1	Red Sandstone	"
	30-5	337.5	Red Sandstone	"
	16	487.4	Red Shale	Cheongryangsan
	8-3	552.7	Red Shale	Kasongdong
	9-9	491.7	Red Shale	"
18	247.6	Red Sandstone	"	
19-2	338.2	Red Sandstone	"	
20-6	351.9	Red Shale	"	
31-8	534.2	Red Shale	"	

하의 미세한 철산화물은 입자의 크기가 작아서 전자현미경 하에서도 광물종의 판별이 어려운 점을 고려하면 단자 기구역 (single domain)에 해당하는 크기의 자철석의 부재를 완전히 배제할 수는 없다. 이와 유사한 것으로 혹은 모 입자 내에 형성된 피그멘터리 적철석으로 보이는 입자 크기가 1 μm 또는 그 이하인 철산화물이 세일 암석 시료에서 관찰되었다. 이 경우 혹은모는 성분상으로 보아 변질의 정도가 미약하나 철산화물은 배태 양상으로 보아 2차적으로 형성된 것으로 해석된다 (Fig. 6d). 또한 2차적 성인의 피그멘터리 적철석은 퇴적 기원의 스페큘라 적철석보다 관찰되는 빈도가 현저히 낮다.

이상과 같이 영양소분지에 분포하는 하양층군 내의 자성광물들은 주로 수 μm 크기에서부터 수 십 μm에 달하는 퇴적 당시 유입된 스페큘라 적철석이 주종을 이루며, 따라서 이들이 퇴적 당시의 특성잔류자화를 기록하고 있

는 것으로 해석된다. 암석 내의 미약한 변질작용에 의해 이차적으로 형성된 것으로 보이는 피그멘터리 적철석이 관찰되기는 하나 산출 빈도가 극히 낮으므로, 이들이 형성될 시기에 기록된 2차 자화성분에 의한 퇴적 당시의 특성잔류자화에 대한 영향은 없을 것으로 해석된다.

고찰

영양소분지의 하양층군에서 채취한 29개 노두의 평균 특성잔류자화 방향은 지층경사 보정 전이 D/I=359.4/51.1° (k=23.6, α₉₅=5.6°)이며, 보정 후의 방향은 D/I=6.1/55.3° (k=41.5, α₉₅=4.2°)이며, k₂/k₁=1.76 (N=29 sites)으로, McElhinny (1964)의 습곡시험을 통계학적으로 95%의 신뢰도를 가지며 통과하여 지층경사 보정 후의 특성잔류자화 방향이 지층경사 이전에 획득한 성분임을 지시한다. 한편 연구지층들 중 청량산층과 가송동층의 경계를 비정합으로 해석할 경우 (예, 김옥준과 홍만섭, 1963; 김옥준 외, 1963), 이를 기준으로 연구지층들을 상부와 하부로 구분할 수 있다. 상부에 속하는 청량산층, 오십봉층 및 도계동층의 17개 노두들에 대한 평균 특성잔류자화 방향은 지층경사 보정 전이 D/I=356.6/50.9° (k=22.3, α₉₅=7.7°)이며, 보정 후는 D/I=4.9/56.0° (k=40.4, α₉₅=5.7°)이고, k₂/k₁=1.81 (N=17 sites)로 McElhinny (1964)의 습곡시험을 통계학적으로 95%의 신뢰도를 가지며 통과한다. 그러나 하부에 속하는 동화치층 및 가송동층의 12개 노두들에 대한 평균 특성잔류자화 방향은 지층경사 보정 전이 D/I=3.4/51.3° (k=24.6, α₉₅=8.9°)이며, 보정 후는 D/I=7.7/54.4° (k=40.2, α₉₅=6.9°)로서 지층경사 보정 후의 분산도가 보정 전보다 줄어든다, k₂/k₁=1.63 (N=12 sites)으로 95%의 신뢰도 수준에서 McElhinny (1964)의 습곡시험을 통과하지 못한다. McElhinny의 습곡시험은 지층경사 혹은 습곡 이후인 현재 지층상태에서의 정밀도 변수 (precision parameter, k₁)와 지층경사 혹은 습곡 이전의 수평상태로 복원하였을 경우의 정밀도 변수 (k₂)의 비를 시료 또는 노두의 숫자에 따라 95% (또는 99%)의 신뢰도 (confidence limit)수준에서 계산된 값과 비교하는 것이나, 본 연구 지역과 같이 지층경사가 완만한 경우에는 지층경사 보정에 따른 정밀도 변수의 변화율 (k₂/k₁)이 의미 있는 것이 아니라는 지적이 있다 (McFadden and Jones, 1981). 또한 청량산층과 가송동층을 경계로 상부와 하부로 구분하여 특성잔류자화 방향 및 고지자기극의 위치를 비교하였을 경우, 이들 두 방향과 극의 위치는 각각 서로의 오차한계 (radius of cone of 95% confidence interval, α₉₅) 내에 포함되며

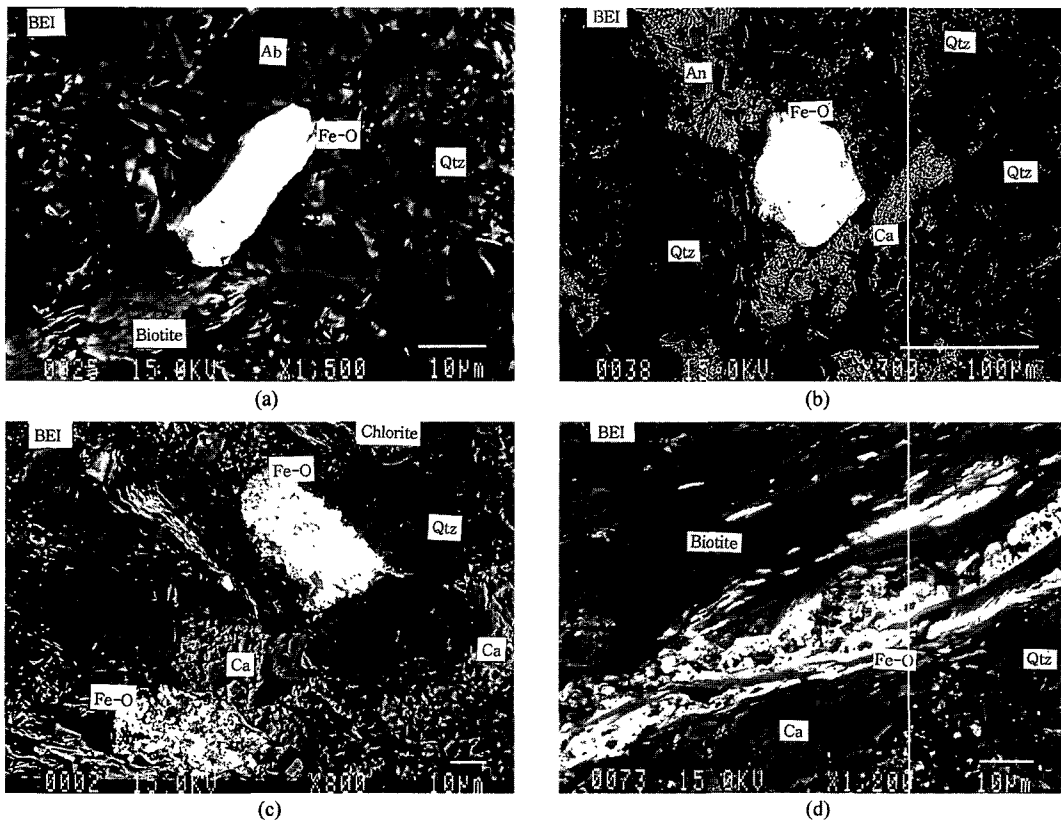


Fig. 6. Electron Probe Microanalyzer photomicrographs (back-scattered electron image, BEI) of representative samples of the study area. (a) Elongate iron oxide grain (bright grain) is interpreted as specular hematite, (b) Anhedral iron oxide grain with quartz, anorthite and calcite is presumably detrital in origin, (c) Aggregates of submicron-size iron oxide grains and pigmentary hematite formed through biotite-chlorite-iron oxide alteration processes, (d) Pigmentary hematite grains along the cleavages of less altered biotite grain. Scale bars are shown on the photomicrographs.

로 청량산층과 가송동층을 경계로한 상·하부의 특성잔류자화 방향은 통계학적으로 동일한 방향으로 해석된다 (Fig. 4). 따라서 영양지역에 분포하는 하양층군의 특성잔류자화 방향은 연구대상인 총 29개 노두에서 관찰된 각 노두의 특성잔류자화 방향의 평균값 (지층경사 보정 전: $D/I=359.4/51.1^\circ$, $k=23.6$, $\alpha_{95}=5.6^\circ$; 보정 후: $D/I=6.1/55.3^\circ$, $k=41.5$, $\alpha_{95}=4.2^\circ$)으로 대표되며 (Table 2), 영양소분지에 분포하는 하양층군의 평균 특성잔류자화 방향은 지층경사 보정 후의 방향이 지층경사 보정 이전의 방향보다 덜 분산되므로 지층경사 이전에 획득된 성분임을 알 수 있다. 청량산층과 가송동층 사이의 암상 변화에 근거한 두 층 사이의 비정합관계는 두 층 형성에 시간적 공백기가 존재함을 의미하나, 이들 상·하부간의 특성잔류자화 방향의 동일성은 고지자기학적 비정합은 존재하지 않음을 지시하며, 이는 두 층의 형성시 특성잔류자화 방향의 차이를 나타낼만한 시간적 공백기가 없었거나, 두

층 형성시 충분한 시간적 공백이 있었다고 가정하더라도 그 기간동안 본 연구지역의 특기할 만한 위치변동이 없었음을 지시한다.

지층경사 혹은 습곡작용이 일어나는 도중에 지층이 잔류자화를 획득하면, 지층을 완전히 수평으로 복원한 상태가 아닌 부분적 복원상태에서 최대의 k 값을 가질 수 있다. 그러므로 지층경사 보정 또는 습곡시험 적용시 단계적 지층경사 보정에 따른 k 값의 변화를 관찰하여, 최대의 k 값을 갖는 지층경사 보정단계를 확인하는 단계적 습곡시험 (stepwise unfolding test)을 적용하여 잔류자화 획득시기를 결정하여야 한다. 일반적으로 최대 k 값이 $100(0) \pm 20\%$ 지층경사보정시 관찰되면 잔류자화는 지층경사 혹은 습곡 이전 (후)에 획득되었던 것이며, 최대 k 값이 30~70% 지층경사보정 단계에서 관찰되면 잔류자화는 지층경사 혹은 습곡 도중에 획득되었던 것으로 해석한다. Figure 7은 단계적 경사보정에 따른 정밀도 변수 (k)의

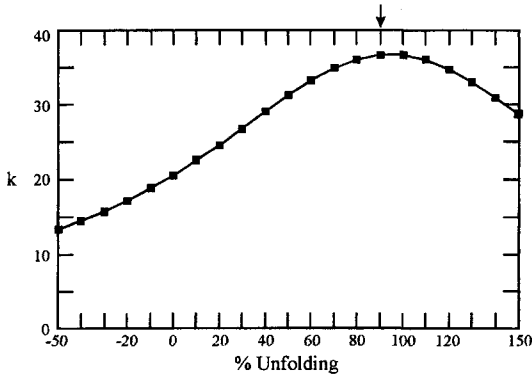


Fig. 7. Incremental fold test plotted with Fisher's precision parameter (k) versus percent unfolding.

변화를 도시한 것으로, 연구지역의 하양층군 29개 노두들에서 측정된 평균 특성잔류자화 방향이 90%의 지층경사 보정 단계에서 최대의 k값을 보여주어 연구지층에 기록된 특성잔류자화가 지층경사 혹은 습곡작용 이전에 획득되었음을 지시한다.

본 연구의 대상 암석 중 일부 퇴적암 시료들과 오십봉층의 현무암 시료들을 제외한 대부분의 시료들은 적색암으로 암석자기 연구결과는 주 자성광물이 적철석임을 지시하고 있다. 또한 영양소분지에 분포하는 하양층군의 대표적인 시료에 대한 전자현미경 관찰 결과에 의하면 하양층군 내의 자성광물들은 주로 수 μm 크기에서부터 수십 μm 에 달하는 퇴적 당시 유입된 스페큘라 적철석이 주종을 이루며 (Fig. 6a and 6b), 이와 함께 암석내의 미약한 변질작용에 의해 이차적으로 형성된 것으로 해석되는 피그멘터리 적철석이 관찰되기도 한다 (Fig. 6c and 6d). 적색암에 존재하는 적철석으로는 퇴적물과 같이 퇴적되어 자기적으로 매우 안정된 퇴적잔류자화 (detrital remanent magnetization)를 기록하고 있는 비교적 입자의 크기가 큰 스페큘라 적철석과, 퇴적물 퇴적 이후에 화학작용에 의하여 생성되어 자기적으로 불안정한 낮은 소자단계에서 쉽게 제거되는 점성잔류자화를 기록하는 1 μm 이하 크기의 피그멘터리 적철석의 2가지 형태가 알려져 있다 (예, Collinson, 1974; Tauxe *et al.*, 1980). 한편 영양소분지에 분포하는 하양층군에 기록된 특성잔류자화는 단계적 습곡실험 및 지층경사 보정 전후의 분산도 변화에 의해 지층경사 혹은 습곡작용 이전에 획득되었음이 앞에서 밝혀졌다. 따라서 전자현미경 관찰에서 보여진 것과 같이 가장 빈번히 관찰되는 스페큘라 적철석은 고온 성분의 퇴적 당시에 기록된 특성잔류자화를 기록하고 있고, 피그멘터리 적철석은 2차 자화인 점성잔류자화를 기록하고 있는 것으로 해석된다. 이와 같은 결과는 암석자기 연

구 결과와 함께 비교적 입자가 큰 단자기구역에서 위단자기구역 크기의 스페큘라 적철석이 특성잔류자화의 기록 매체임과, 스페큘라 적철석에 의하여 기록된 특성잔류자화는 지층경사 이전인 지층 퇴적시 혹은 지층 퇴적직후에 획득된 1차 잔류자화임을 명백히 지시하고 있다.

영양지역에 분포하는 총 29개 노두에서 관찰된 하양층군의 지층경사 보정 후 특성잔류자화 방향은 $D/I=6.1/55.3^\circ$ ($k=41.5$, $\alpha_{95}=4.2^\circ$)이며, 이 방향으로부터 구한 고지자기극의 위치는 217.4°E , 85.5°N ($K=27.7$, $A_{95}=5.2^\circ$)이다. 영양소분지에 분포하는 하양층군의 고지자기극의 위치와 의성 및 밀양소분지에 분포하는 하양층군에 대한 고지자기극의 위치를 비교할 때, 영양소분지에 분포하는 하양층군의 고지자기극의 위치는 의성 및 밀양소분지에 분포하는 하양층군의 고지자기극들의 위치와는 상이한 제4기 및 현재의 극과 유사한 곳에 위치하고 있다 (Fig. 8). 이러한 결과는 영양소분지에 분포하는 하양층군의 제4기 이후의 재자화에 의한 것으로 해석될 수 있으나 단계적 소자실험 결과 (Fig. 3), 단계적 지층경사 보정 결과 (Fig. 7) 및 전자현미경 관찰결과 (Fig. 6) 등을 종합하여 영양소분지에 분포하는 하양층군의 특성잔류자화 방향이 지층경사 이전인 지층 퇴적시 혹은 지층 퇴적직후에 획득된 1차 잔류자화임을 확인하였으므로 그 가능성은 배제된다. 영양소분지의 하양층군과 의성 및 밀양소분지의 하양층군 사이의 대비에 어려운 점들이 많이 있으나, 영양소분지의 하양층군이 의성 및 밀양소분지의 하양층군과 퇴적시기가 다르다는 보고는 없다. 따라서, 세 소분지에 분포하는 하양층군의 퇴적시기가 동일 혹은 적어도 유사하다고 가정을 하면, 세 소분지들의 자극위치는 구조운동에 기인한 것으로 해석할 수 있다. 더욱이 영양, 의성 및 밀양소분지에 분포하는 하양층군의 고지자기극들은 북극을 통과하는 호상에 위치하며, 이러한 고지자기극들의 호상분포는 연구지역과 의성 및 밀양소분지의 지층 퇴적시기의 차이에 의한 결과이기보다는 구조운동에 의한 상대적 회전에 의한 결과임을 의미한다. 영양소분지의 하양층군의 특성잔류자화 방향과 의성 및 밀양소분지에 분포하는 하양층군의 고지자기극 (각각 202.2°E , 64.9°N , $K=19.6$, $A_{95}=7.6^\circ$, 석동우와 조성재, 1996; 204.1°E , 66.4°N , $K=62.3$, $A_{95}=4.2^\circ$, 조성재 외, 1994)으로부터 영양소분지의 위치로 계산된 방향 ($D/I=30.9/58.6^\circ$, $\alpha_{95}=2.9^\circ$)과는 북각은 통계학적으로 동일하나 편각이 약 25° 의 차이를 나타내고 있다. 이와 같은 편각의 차이를 단순한 지피의 반시계방향으로의 회전에 의한 결과로 가정하고 연구지역에서 얻어진 특성잔류자화방향을 시계방향으로 25° 보정한 후 이로부터 계

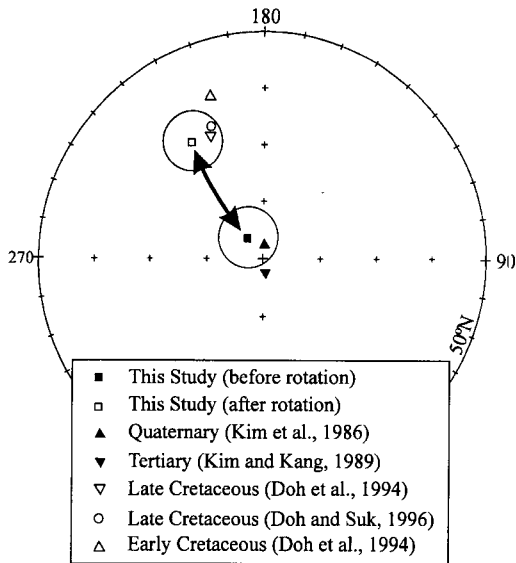


Fig. 8. Comparison of paleomagnetic poles of the Hayang Group from Yongyang Sub-Basin (before rotation: solid square, after rotation: open square), with those from Euisong (open circle) and Milyang Sub-Basin (inverted open triangle) and that of Sindong Group in the Milyang Sub-Basin (open triangle).

산된 고지자기극의 위치는 211.7°E , 65.0°N ($A_{95}=5.2^{\circ}$) 로써 의성 및 밀양소분지에서 구해진 극의 방향과 일치하고 있다 (Fig. 8). 그러나 상대적 회전을 야기시킨 그 조운동은 현재까지 수행된 연구들의 자료만으로는 정확한 규명을 하기가 어려운 실정이다. 경상분지에 분포하는 하양층군은 퇴적분지의 범위가 확장되면서 퇴적되기 시작하였으며, 퇴적 동시성 지괴운동이 수반되었다 (장기홍, 1977). 영양소분지와 의성소분지의 경계인 안동단층은 하양층군 퇴적 초부터 시작되어 하양층군의 퇴적기간동안 계속되었으며, 정단층으로 시작하여 이후에 역단층화되었다고 보고되었다 (장기홍, 1977, 1978). 자극들의 위치를 분리시키기 위하여는 두 분지들 사이에 상대적 수평운동에 의한 국지적 회전운동이 있어야 한다. 안동단층은 주향이동단층이 아니므로 일반적으로 분지들 사이에 수평 및 회전운동을 야기시키지는 않는다. 그러므로 영양소분지와 의성 및 밀양소분지 사이의 자극위치의 차이가 퇴적시기의 차이가 아닌 구조적 회전운동이 기인한 것이라면 자극의 위치를 분리시킨 회전운동은 안동단층으로는 설명될 수 없으며, 앞으로 이에 대한 보다 더 자세한 연구가 요망된다.

본 연구에서 측정된 영양소분지에 분포하는 하양층군은 모두 정자화 방향만을 기록하고 있다. 연구지층과 대비되는 의성 및 밀양소분지에 분포하는 하양층군도 모두 정자

화를 기록하고 있고 이에 따라 이 지역 연구자들에 의해 이들 층군의 자기층서적 연대는 백악기 정자화 슈퍼크론 (Cretaceous Long Normal Superchron)이 시작되는 앵티안 (Aptian) 초 이후로 해석되었다 (도성재 외, 1994; 도성재와 김광호, 1994). 본 연구에서 얻어진 특성잔류자화 방향은 모두 정자화으로써 퇴적당시 기록된 1차 자화이며 약 25° 의 시계방향으로의 보정을 통하여 의성 및 밀양소분지에 분포하는 하양층군의 특성잔류자화 방향 및 고지자기극의 위치와 일치하므로, 영양소분지에 분포하는 하양층군의 퇴적시기 및 특성잔류자화 획득시기는 앵티안 초 이후인 백악기 정자화 슈퍼크론에 대비시킬 수 있다.

결론

1. 영양소분지에 분포하는 하양층군은 주로 단자기구역에서 위단자기구역 크기의 스펙쿨라-적철석에 의하여 특성잔류자화를 기록하고 있으며, 이 특성잔류자화 성분들은 전통적인 습곡시험 및 단계적 습곡시험을 통과한 지층경사 이전의 지층 퇴적시 혹은 지층퇴적 직후에 기록된 성분이다.

2. 영양소분지에 분포하는 하양층군 중 비정합면으로 해석되는 청량산층과 가송동층 사이를 경계로한 상·하부 하양층군의 경사보정후 평균 특성잔류자화 방향은 통계학적으로 동일한 방향이므로 청량산층과 가송동층 사이의 경계면은 고지자기학적 비정합면이 아닌 것으로 해석하였다. 전체 하양층군의 평균 특성잔류자화 방향은 $D/I=6.1/55.3^{\circ}$ ($k=41.5$, $\alpha_{95}=4.2^{\circ}$, $N=29$ sites)이며, 고지자기극의 위치는 217.4°E , 85.5°N ($K=27.7$, $A_{95}=5.2^{\circ}$)이다.

3. 영양소분지에 분포하는 하양층군의 고지자기극은 의성 및 밀양소분지에 분포하는 하양층군의 고지자기극 위치와 차이를 보이나, 이들은 복극을 통과하는 호상에 분포하므로 의성 및 밀양소분지에 분포하는 하양층군과 같은 시기에 자화를 획득한 후 소분지간의 상대적 회전운동에 의해 차이를 나타내는 것으로 해석하였다. 그러나 이를 뒷받침하여주는 지질학적 증거가 충분치 않음으로 앞으로 이에 대한 보다 더 자세한 연구가 요망된다.

4. 영양소분지의 하양층군은 모든 지층들이 정자화 방향만을 기록하여, 이들의 퇴적 및 자화획득 시기는 앵티안 초에 시작되는 백악기 정자화 슈퍼크론 기간 중인 것으로 해석하였다.

감사

본 연구는 한국과학재단 후원 전략광물자원연구센터의

연구비와 고려대학교 특별연구비의 지원에 의하여 수행되었으며, 이에 감사드린다. 자료처리 및 도면작성에 도움을 준 고려대학교 지구환경과학과의 김원년 및 윤순옥에게도 감사드린다. 또한, 본 논문을 세심하게 심사하셔서 좋은 지적을 하여주신 민경덕 교수님과 김인수 교수님께 심심한 감사를 드린다.

참고문헌

- 김광호, 김두수 (1991) 대구-경주 일대에 분포한 채약산층, 건천리층 및 주사산층의 지자기 층서. 지질학회지, 27권, p. 40-51.
- 김옥준, 홍만섭 (1963) 한국지질도 도계동 도폭 1:50,000. 국립지질조사소.
- 김옥준, 홍만섭, 원종관, 박희인, 박양대, 김기태 (1963) 한국 지질도 평해 도폭 1:50,000. 국립지질조사소.
- 김인수, 이현구, 윤혜수, 강희철 (1993) 의성지역 백악기 암석에 대한 고지자기 연구. 광산지질, 26권, p. 403-420.
- 도성재 (1993) 백운산 향사대에 분포하는 동고층에 대한 고지자기 연구. 광산지질, 26권, p. 383-393.
- 도성재, 김광호 (1994) 의성지역에 분포하는 백악기 지층에 대한 고지자기 연구. 자원환경지질, 27권, p. 263-279.
- 도성재, 박찬호, 지세정, 최선규 (1990) 경상북도 의성 일대에 분포하는 백악기 지층의 자기층서. 지질학회지, 26권, p. 594-595.
- 도성재, 황창수, 김광호 (1994) 밀양 소분지에 분포하는 경상 누층군 퇴적암류에 대한 고지자기 연구. 지질학회지, 30권, p. 211-228.
- 민경덕, 김옥준, 윤석규, 이대성, 주승환 (1982) 한국남부의 백악기말 이후의 화성활동과 광화작용에 의한 판구조론의 적용성 연구 (I). 광산지질, 15권, p. 123-154.
- 박찬호, 도성재, 민경덕 (1991) 의성지역에 분포하는 백악기 지층에 대한 고지자기 연구. 지질학회지, 27권, p. 549.
- 석동우, 도성재 (1996) 의성지역에 분포하는 백악기 지층에 대한 특성잔류자화방향의 재고찰. 지질학회지, 32권, p. 47-64.
- 원종관 (1989) 한국의 지질 및 광산. 지질학원론, 우성문화사, p. 595-643.
- 장기홍 (1975) 한반도 동남부의 백악기 층서. 지질학회지, 11권, p. 1-23.
- 장기홍 (1977) 경상분지 상부중생세의 층서, 퇴적 및 지구조. 지질학회지, 13권, p. 76-90.
- 장기홍 (1978) 경상분지의 층서, 퇴적 및 지구조 (II). 지질학회지, 14권, p. 120-135.
- 장기홍 (1987) Cretaceous strata. in Geology of Korea, edited by D.S. Lee, 교학사, p. 175-201.
- 최현일 (1985) 백악기 경상분지의 퇴적과 그의 층서분류와의 연관성. 지질학회지, 21권, p. 26-37.
- Collinson, D.W. (1974) The role of pigment and specularite in the remanent magnetism of red sandstones. Geophys. J. Roy. astron. Soc., v. 38, p. 253-264.
- Kim, K.H. and Jeong, B.I. (1986) A study on the paleomagnetism of Southern Korea since Permian. J. Korean Inst. Mining Geol., v. 19, p. 67-83.
- Kim, I.S. and Kang, H.C. (1989) Paleomagnetism of Tertiary rocks in the Eoil basin and its vicinities, southeast Korea. J. Geol. Soc. Korea, v. 25, p.273-293.
- Kirschvink, J.L. (1980) The least square line and plane and the analysis of paleomagnetic data. Geophys. J. Roy. astr. Soc., v. 62, p. 699-718.
- Lee, G.D., Besse, J., Courtillot, V. and Montigny, R. (1987) Eastern Asia in the Cretaceous: New paleomagnetic data from South Korea and a new look at Chinese and Japanese data. J. Geophys. Res., v. 92, p. 3580-3596.
- McElhinny, M.W. (1964) Statistical significance of the fold test in paleomagnetism. Geophys. J. Roy. astr. Soc., v. 8, p. 338-340.
- McFadden, P.L. and Jones, D.L. (1981) The fold test in paleomagnetism. Geophys. J. Roy. astr. Soc., v. 67, p. 53-58.
- McFadden, P.L. and McElhinny, M.W. (1988) The combined analysis of remagnetization circle and direct observation in paleomagnetism. Earth Planet Sci. Lett., v. 87, p. 161-172.
- Otofujii, Y., Oh, J.Y., Hirajima, T., Min, K.D. and Sasajima, S. (1982) Paleomagnetism and K-Ar age determination of Cretaceous rocks from Korean Peninsula-Gyeong-sang Supergroup in South Korea, in Tectonic and Geologic Evolution of Southeast Asian Seas and Island II, edited by Hays, D.E., Am Geophys. Union, Geophys. Monogr., v. 27, p. 388-396.
- Otofujii, Y., Kim, K.H., Inokuchi, H., Morinaga, H., Murata, F., Katao, H., and Yaskawa, K. (1986) A paleomagnetic reconnaissance of Permian to Cretaceous sedimentary rocks in southern part of Korean peninsula. J. Geomag. Geoelectr., v. 38, p. 387-402.
- Shibuya, H., Min, K.D., Lee, Y.S., Sasajima, S. and Nishimura, S. (1985) Some paleomagnetic measurements in Korean Peninsula. In Nishimura, S. and Min, K.D. (eds.), Physical Geology of Central and Southern Part of Korea, Kyoto University Press, Kyoto, p. 41-84.
- Tauxe, L., Kent, D.V. and Opdyke, N.D. (1980) Magnetic components contributing to the NRM of Middle Siwalik red beds. Earth Planet. Sci. Lett., v. 47, p. 279-284.
- Zijderveld, J.D.A. (1967) AC demagnetization of rocks: Analysis of results. In Collinson, D.W., Creer, D.W. and Runcorn, S.K. (eds.) Method in Paleomagnetism. Elsevier, Amsterdam, p. 254-286.