

경상분지 남서부 진교-사천 지역 전기백악기 퇴적암에 대한 고자기 연구

김인수* · 강희철* · 이현구**

Palaeomagnetism of Early Cretaceous Sedimentary Rocks in Chingyo-Sach'on Area, Southwestern Kyongsang Basin

In-Soo Kim*, Hee-Cheol Kang* and Hyun Koo Lee**

ABSTRACT: A total of 264 independently oriented core samples were collected from 26 sites in the southwestern part (the Naktong Trough) of the Cretaceous Kyongsang Basin in south Korea. The sampled formations comprise the sedimentary Shindong and the Hayang Groups of the Lower Cretaceous age.

Alternating field and thermal demagnetizations were conducted. Characteristic remanent magnetization (ChRM) was relatively easily isolated in each formation except in the Chinju formation, from which only remagnetization circles were observed. Even though an extensive use of the fold test was not possible due to the nearly homoclinal nature of the strata in the area, we believe that the ChRM of each formation is of primary origin based on the following grounds: The *in-situ* ChRM direction of each formation is different from the present geomagnetic field direction. Fisherian precision parameter becomes enhanced through the tilt correction in all formations, closely to the values required for a positive fold test. Three out of the five studied formations pass the reversal test.

The mean palaeomagnetic pole position from the studied area is found to be statistically different from the contemporary pole from the Chinese block exclusive of the Shandong area. The difference in magnetic declination suggests a $14.5^\circ (\pm 10.5^\circ)$ clockwise rotation of the studied area relative to the Chinese block comprising the west of the Tan-Lu fault. On the other hand, any significant difference in magnetic inclination and concurrent palaeolatitude is not observed between the studied area and China as well as the other area (Taegu-Andong area) in the Kyongsang Basin.

The dual nature of the magnetic polarity confirmed in all formations suggests an older than 124 Ma (Neocomian or older) age of the studied sedimentary strata.

서 론

한반도의 백악기 경상누층군은 경상분지를 주 분포지로 하여 해남분지, 능주분지, 내장산분지, 진안분지 등의 호남지역과 옥천대를 따르는 공주분지, 음성분지, 풍암분지, 통리분지, 영동분지 등지에 널리 분포되어 있다 (장기홍, 1982). 주 분포지인 경상분지 자체는 암상과 층서적 차이에 근거하여서 다시 낙동곡분 (소분지), 밀양지괴, 의성 (도평)지괴, 영양지괴 (소분지) 등으로 나뉘어진다 (Chang, 1975; 장기홍, 1977, 1982).

이와같이 널리 산재되고 세분된 각 분지나 지괴 (소분지)

간의 지층대비나 상대운동의 여부를 규명하는 일은 한반도에서의 백악기 地史나 분지들의 발달양상을 밝혀내는데 있어서 중요한 일이다. 특히 경상분지내 밀양지괴에서는 북북동방향의 右向주향이동성 양산단층계가 발달하고 있으며 의성지괴에서는 서북서방향의 가음단층, 금천단층 등의 좌향주향이동성 단층들이 통과하고 있어서 단층작용에 관련된 지괴의 수평회전 가능성도 생각해 볼 수 있다.

금번 연구에서는 지구조적으로 안정되었던 것으로 인정되는 진주남방 진교-사천 일대의 낙동곡분 지역 (Fig. 1)을 선택하여 잔류자기 연구를 실시하였다. 연구의 주목적은 상기 각 분지들의 층서와 지괴운동의 규명에서 기준역할을 할 한반도의 전기백악기 표준 잔류자기 방향을 알아내는 데에 있다. 아울러 지층별 잔류자기의 極性연구는 이 지역 퇴적층들의 연령에 관한 정보 (constraints)도

* 부산대학교 지질학과 (Dept. of Geology, Pusan National University, Pusan 609-735, Korea)

** 충남대학교 지질학과 (Dept. of Geology, Chungnam National University, Taejeon 302-764, Korea)

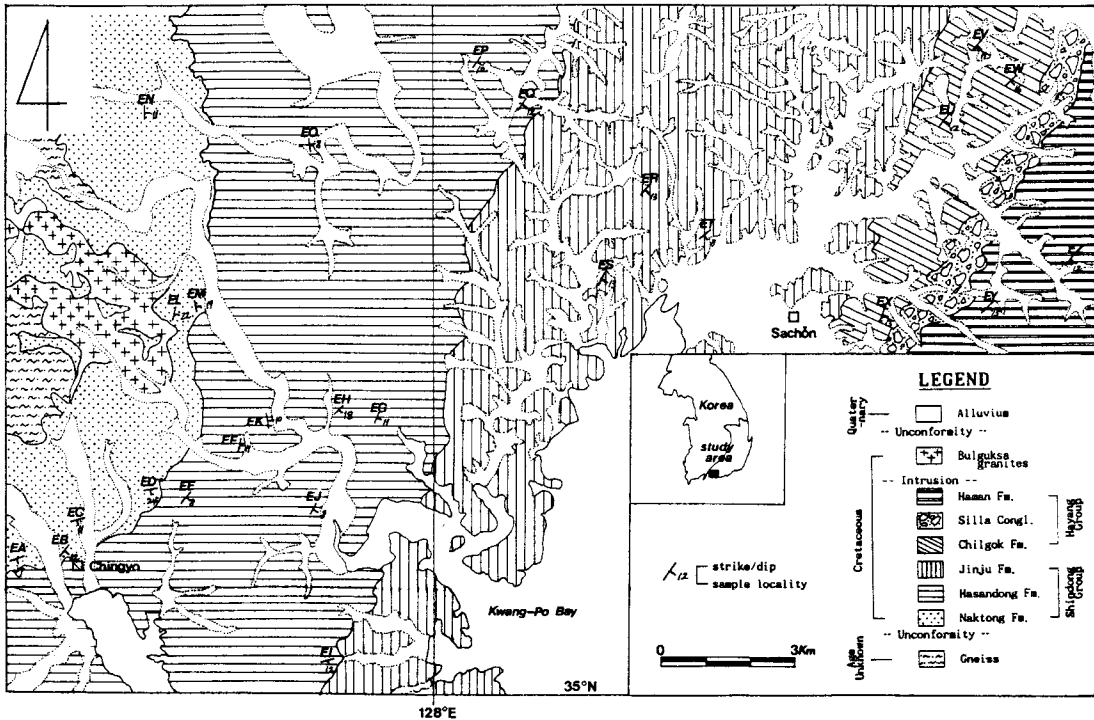


Fig. 1. Geologic and sample locality map of the study area.

제공하게 될 것이다.

경상분지의 암석에 대한 그 동안의 고자기학적 연구로서는 Kienzle and Sharon (1966), 박창고 외 (1967), Ito and Tokieda (1980), 민경덕 외 (1982), Otofujii et al. (1983), Kim and Jeong (1986), Otofujii et al. (1986), Lee et al. (1987), 김인수 (1988), 이기동 (1990) 등 다수가 있어 다른 지역에 비하면 연구의 역사가 길고 그 숫자도 많은 셈이다. 그러나 Lee et al. (1987) 앞서까지의 연구들에서는 지층의 경사보정이 실행되지 않았거나, 10~30 m에 불과한 교류자기세척 또는 150°C 정도의 낮은 열세척에 의한 잔류자기를 특성잔류자기 (ChRM)로 하고 있어서, 650°C 이상의 고온에서 비로소 1차 잔류자기가 추출되는 것으로 결론을 얻은 Lee et al. (1987)에 의하여 그 신빙성들이 문제시되고 있다. 한편 김인수 (1988)의 연구는 고온세척이 시행된 것이기는 하나 양산단층과 동래단층사이의 구조적 퇴적분지의 것으로서 안정 경상분지의 표준 잔류자기의 역할을 하기에는 곤란이 있다. 따라서 경상분지에서의 신빙성 있는 잔류자기 연구로서는 현재 Lee et al. (1987)만 존재하는 셈이다 (이기동 1990은 이와 동일한 내용의 논문임). 본 연구는 진주남부의 낙동곡분 지역에 대한 것으로서, 대구지역 낙동곡분에서 수행된 이 Lee et al. (1987)

의 연구결과에 비교가 되는 자료를 제공하는 것이다.

한편 경상분지 안정지역에 대한 고자기 연구의 국제적 의의는 Lee et al. (1987)에 잘 설명된 바 있다: 그들은 한-중지괴와 시베리아 그리고 유럽을 망라하는 Eurasia대륙에서 신빙성 있는 백악기-신생대의 고자기학적 연구결과가 결핍되어 있음을 지적하고, 기존 데이터의 범위내에서 그들의 대구 및 안동 지역으로부터의 연구결과를 비교하며 논의하였다. 여기서 기존 데이터라 함은 Eurasia대륙 안정지역에서 고자기연구로부터 직접 구해진 자북의 위치들과, 미대륙의 자북위치로부터 간접적으로 환산해낸 (transferred) Eurasia대륙의 자북위치들을 말하는 것이다. 결론만을 간추릴 때, 그들은 후기백악기에는 한-중지괴와 유럽의 고자기학적 자북의 위치가 서로 잘 일치되는 반면에 전기백악기의 자북위치는 위도상으로 서로 약 12°의 차이를 나타낸다는 사실로부터 그들이 구한 대구 및 안동지역의 데이터가 Eurasia대륙 전체를 대표하는 전기백악기의 표준 자북위치가 된다는 커다란 의미를 부여하였다 (Lee et al., 1987).

지질개요

연구지역은 낙동곡분 (장기흥, 1977) 혹은 낙동소분지

(Chang, 1975)로 불리워지는 경상분지의 남서단부 지역으로서 (Fig. 1) 1:50,000 지질도의 진교도폭 (김남장, 강필중, 1965) 및 사천도폭 (최유구, 유병화, 1969)에 걸쳐 있다. 본 지역 서부를 이루는 진교도폭의 서반부는 선캄브리아-쥬라기 (엄상호 외, 1983)의 기반암으로 이루어져 있으며 그 위에 백악기 경상누층군이 부정합으로 덮이어 동편으로 계속되고 있다. 연구지역의 퇴적층들은 대체적으로 N10-40°E의 주향과 15° 내외의 남동향 경사를 가지는 단사구조 (homocline)를 이루고 있다. 본 경상누층군 퇴적지역에는 다른 경상분지 지역과는 달리 지층을 이동 (displacement)시킬 만 한 단층이 나타나지 않는다.

도폭조사자들 (김남장, 강필중, 1965; 최유구, 유병화, 1969)은 이 지역의 퇴적층들을 상부 쥬라기로 기재하고 하위로부터 원지층, 마동층, 구랑리층 (진주층), 칠곡층, 신라역암층, 함안층, 진동층으로 명명하였다. 주지하는 바와 같이 훗날에 경상분지 전역의 백악기 지층들을 통괄적으로 명명하려는 시도가 일어나 화산물질의 함유여부 및 퇴적환경 (암색)을 기준으로 하여서 하위로부터 신동층군, 하양층군, 유천층군 등의 세 층군으로 대분하게 되었다 (Chang, 1975; 장기홍, 1982; 엄상호 외, 1983; Choi, 1986a). 이들 전체는 경상누층군으로 불리우며 그 연령은 백악기로 취급되고 있다. 이 분류안에 의거하면 전자인 신동층군은 낙동층, 하산동층, 진주층으로 세분되는 바 본 지역의 원지층, 마동층, 구랑리층은 이들 각각에 해당되고 (엄상호 외, 1983) 나머지인 칠곡층, 신라역암층, 함안층, 진동층들은 하양층군으로 묶어진다.

이들 모든 지층들은 정합적이고 연속적으로 퇴적된 것으로 받아들여지고 있다. 그러나 사암층부의 기재에 흔히 침식구조들이 나타나는 것으로 보고되고 있음 (엄상호 외, 1983)을 감안할 때, 길이는 불명하나 층간에 시간적 간극이 존재하는 것으로 추정된다.

Chang (1975)의 정의에 따르면 신동층군은 화산성 물질을 포함하지 않은 것이며 하양층군은 화산성 물질을 포함하는 것이다 한다. 그러나 본 지역의 사천도폭 설명서에는 신동층군의 마동층 (하산동층)을 구성하는 암석으로서 응회질 사암이 기재되어 있으며, 진주층에도 화산기원의 퇴적물이 포함되어 있는 것으로 알려지는 등 (Choi, 1986a, 1986c) 여러 증거들은 신동층군의 퇴적시기에 벌써 화산활동이 있었음을 말하고 있다. 아울러 정대교, 정창희 (1983)는 진주지역의 하부 하양층군내에 안산암질 혹은 현무암질의 역들이 포함되어 있음을 기재하였는 바 이들 역시 신동층군 퇴적시의 화산활동 산물일 가능성이 있다.

본 지역에 대한 퇴적환경 연구로서는 고인석, 이영길 (1972), 정대교, 정창희 (1983)와 Choi (1986b, c) 등이

있다. Choi (1986b)는 河成의 하산동층에서 湖成의 진주층으로의 전환적 퇴적환경이었음을 밝힌 바 있으며 정대교, 정창희 (1983)는 하양층군의 퇴적환경이 공금지에서는 심한 화산활동이 일어나고 퇴적분지에서는 느린 침강이 있었던 건조 혹은 아건조 환경이었다고 했다. 고인석, 이영길 (1972)은 이 지역의 砂岩型이 상위로 갈수록 장식함량이 증가되는 그레이와크 (graywacke) 내지 장식질와크 (feldsparthic wacke)이며 북서-서측의 다양한 근원암으로부터 기원된 것이라고 하였다. Choi (1986c) 역시 이에 상응하는 결론을 얻었다.

한편 본 연구지역의 지층들에 관련된 하부경상누층군의 연령에 대해서는 다음과 같은 보고들이 있다: Yabe (1905)는 식물화석에 의하여 중기 내지 후기 쥬라기로, Tateiwa (1929)와 Kobayashi and Suzuki (1936)는 각각 식물화석과 2매패류를 비롯한 연체동물화석에 의하여 후기 쥬라기-전기 백악기의 육성층으로 해석하였다 (엄상호 외, 1983). 超미화석 (Fontaine and Poumot, 1980)과 개형충 화석 (Myeong, 1980)들은 전기백악기를 지지하는 것으로 알려지고 있으며 Lee et al. (1987)에 의하여 보고된 花粉연구의 결과는 후기 쥬라기 내지 후기 Aptian으로 되어 있다.

양승영 (1976; Yang, 1975, 1979)은 신동층군 下部産담수 2매패류를 연구하고 Aptian 내지 Albian으로 보았으며, Chang (1975)은 신동층군의 *Trigonioides-Plicatounio* 동물군이 일본의 Wakino(脇野)亞層群과 Ryoseki (頤石)層群의 것과 같으며 낙동층 식물군의 일부가 일본의 Tetori (手取) 및 Ryoseki 식물군의 종들에 일치함에 근거하여 백악기 최하부인 Berriasian을 상정하였다. 엄상호 외 (1978)는 신동층군 상부 산출의 화분 및 포자화석을 Barremian 내지 Cenomanian으로 보았다. 또한 Yang (1978)은 대구부근 연화동층 (낙동층)에서 2매패화석 *Nippononaia ryosekiana*를 발견하고 Aptian-Albian으로 알려진 일본의 Sebayashi층에 대비될 가능성을 추정하였다.

그러나 輪藻 (Charophyta)화석에 의한 낙동층의 시기는 보다 오래된 후기 Valanginian 내지 Hauterivian 또는 Barremian (Choi, 1989)으로 해석되고 있다. Choi (1985)는 진주층의 화분-포자화석이 Berriasian 혹은 보다 젊은 연령 (결국 Neocomian)을 지시한다고 하였으며 서승조 (1985) 역시 윤조화석에서 유사한 결과를 얻었다. (본 논문에서 Neocomian이라함은 Aptian 직전까지를 말함).

장기홍 (1980)은 일본에서 Neocomian과 Aptian 사이에 중요한 지각변동 (Oshima時階)이 있었음에 비추어 신동층군과 하양층군의 경계가 그 시기에 일치될 것으로 보았다. 그렇다면 신동층군과 하양층군은 각각 일본의 Wakino아층군과 Shimonoseki (下關)아층군에 대비되는 셈

이다.

연구방법

연구를 위한 시료채취는 주로 진교-사천, 진교-진주간 지방도로 및 국도변에서 채취되었다 (Fig. 1). 시료채취 지역의 지리적 중심좌표는 35.06°N, 128.01°E이다. 시료채취의 대상이 된 퇴적층은 신라역암층과 진동층을 제외한 이 지역에 분포된 모든 경상계 지층들이었다 (Table 1). 암질로 볼 때 이들은 주로 회색 및 녹색사암, 장석질 사암, 적색세일 및 사암들인데 그들 중 일부는 화산물질을 함유하고 있었다.

모든 시료들은 다이아몬드 비트를 장착한 가솔린 연료의 휴대용 착암기를 사용하여 직경 1인치의 암심 (core)으로 노두현장에서 鑿孔되었다. 각 암심들은 노두현장에서 定向 (orientation)되었으며, 정향과 지층의 주향경사 측정은 지질조사용 주향경사계 (clinocompass)로 시행되었다. 시료채취시, 자기층서학적 고찰에 필요한 磁化極性 정보를 최대한 확보하기 위하여 각 시료채취 장소별로 가능한 한 넓은 수직 층위범위를 망라하도록 하였다. 각개 암심간의 수직적 층위간격은 최소 1m이었으며 통상적으로는 2~3 m에 달한다. 이상의 방법에 의거 26개 장소에서 총 264 개의 시료 (sample)가 채취되었다. Fig. 1에는 연구지역의 지질도와 함께 시료를 채취한 장소 (이하 노두 혹은 site라고 함), 그리고 그 곳에서의 지층의 자세가 표시되어 있다. Table 1에는 독립정향된 시료들의 갯수와 암상이 지층별로 요약되어 있는데, 각 노두의 상하배열은 야외에서의 층서적 상호관계를 그대로 반영한 것이다.

본 연구에서 잔류자기측정을 위하여 사용한 기기는 Molspin rock magnetometer이었으며 자기세척실험을 위해서는 Molspin AC demagnetiser와 Schonstedt TSD-1 thermal demagnetizer가 이용되었다. 모든 자기세척실험과 측정은 철근건물로부터 15 m 이상 떨어진 단독 목조 건물내에서 실시하였다.

먼저 각 노두별로 2-3개의 시편 (specimen: 모두 직경 2.54 cm 높이 2.3~2.4 cm의 원주형)을 골라 단계적 交流磁氣洗滌실험을 실시하였다. 세척단계는 자연잔류자기 (NRM)의 재측정으로부터 시작하여 최고 (peak) 교류자장을 5~10 mT씩 증가시켜서 최고 100 mT에 이르도록 하였다. 이렇게 함으로서 각 시편마다 총 10~15 단계의 단계적 세척실험이 이루어졌다.

최고 교류자장 100 mT까지의 세척에도 불구하고 단일 자화성분이 분리되지 않거나 잔류자기의 현저한 감소를 나타내지 않는 강한 抗磁力 (coercivity)의 시편들에 대해

Table 1. Summary of the sampled stratigraphic units and lithology.

Stratigraphic unit	Locality name	No. of samples	Lithology
Hayang Group			
Haman Fm.	EZ	11	red shale/sandstone
	EY	8	red shale/sandstone
Ch'ilgok Fm.	EX	11	red shale/sandstone
	EW	10	red/green sandstone
	EU	10	red/green sandstone
	EV	9	red/green sandstone
Shindong Group			
Chinju Fm.	ET	8	greenish sandstone
	ES	8	greenish sandstone
	ER	11	greenish sandstone
Hasandong Fm.	EI	23	red shale
	EQ	13	red/green sandstone
	EP	9	green sandstone
	EG	13	green sandstone
	EJ	8	green sandstone
	EH	11	green sandstone
	EO	11	green sandstone
	EK	9	gray sandstone
Naktong Fm.	EF	7	red shale
	EE	9	gray sandstone
	ED	8	gray sandstone
	EB	9	gray sandstone
	EA	13	arkosic sandstone
	EC	11	red shale
	EM	8	arkosic sandstone
	EL	8	arkosic sandstone
EN	9	gray sandstone	
Total	26 sites	264 samples	

서는 단계적 熱磁氣洗滌실험을 적용하였다. 세척온도가 500°C 에 이르기까지는 100°C 간격으로 각 단계의 온도를 높여 갔으며 그 이상의 온도에서는 前단계까지의 자화방향 및 크기변화를 검토하여 50°C, 혹은 경우에 따라서 20°C 간격으로 온도차를 줄였고 600°C 이상의 고온구간에서는 10°C 이내 내지 2°~3°C 간격으로 단계별 세척온도차를 더욱 줄였다. 이렇게 함으로서 최고 가열온도인 690°C 까지 이르는 동안 시편별로 최고 14~16 단계까지의 세척실험이 이루어졌다. 열세척실험의 각 단계에서는 정해진 최고온도에 당도한 후 30~40분간 그 온도를 유지시켜 놓음으로서 시편내부까지 온도의 평형이 이루어지도록 했으며 냉각시에는 40~50분간 이상 충분히 환풍시킴으로서 시편내부까지 상온으로 냉각되도록 하였다. 한편, 가열에 의한 자성광물의 광물학적 변화를 파악하기 위하여 매 세척단계마다 시편을 냉각시킨 후 帶磁率 측정기 (Mol-spin Minisep)를 사용 총대자율 (bulk magnetic suscepti-

bility)을 측정하였다.

단계적 세척에 의한 잔류자기의 방향과 크기의 변화양상은 vector diagram (Zijderveld diagram: Zijderveld, 1967)과 等積 입체투영도 (equal-area net, Schmidt net)를 이용하여 고찰하였으며 이로서 단일 잔류자기성분의 유리가 일어나는지 여부의 판별과 차기 세척단계의 강도가 결정되었다. 이러한 방법으로 매 노두당 최소한 3개 이상씩의 시편들 (pilot specimens)에 대하여 교류자기세척과 열자기세척실험을 수행하고 공통이 되는 최적의 세척방법과 강도를 결정하였다. 나머지 시편들은 이 최적의 세척강도부근의 3~4단계로 일괄 세척처리하였고 그 결과가 vector diagram에서 원점을 향하여 직선을 이루는 시료들만을 Fisher통계처리 (Fisher, 1953)에 회부함으로써 각 노두별의 평균 특성잔류자기방향 (ChRM: characteristic remanent magnetization)을 계산하였다. 이상의 과정에서 총대자율이 초기값(NRM 상태)의 두배이상으로 증가된 열세척단계의 결과들은 평균계산에서 제외하였다.

한편 벡터다이아그램에서 최소한 세점 이상으로 직선을 이루는 부분이 나타나는 경우에 대해서는 Kirschvink (1980)의 주성분 분석법 (PCA, principal component analysis)을 적용시켜서 세척시 소거된 잔류자기의 방향을 산출해내었다. 또한 입체투영도에서 大圓 (great circle, remagnetization circle)을 이루는 부분에 대해서는 시편별로 이에 가장 잘 일치하는 (best fitting) 대원 (specimen great circle)을 설정하고 여러 시편대원들의 교점을 이용하여 그 노두의 평균잔류자기방향을 도출해 내었다 (Halls, 1976). 본 연구에서는 전자보다도 후자가 보다 더 널리 이용될 수 있었다. 그러나 진주층을 제외하고는 이들 두 방법은 오로지 참고와 비교의 수단으로만 사용하였을 뿐

이 방법으로 산출된 것들을 연구의 결과로 하지는 않았다. 각 방법의 적용에 관한 보다 자세한 내용은 세척실험의 실예에 결부하여 다음항에 설명되어 있다. 연구결과는 Table 2에 집약되어 있는데 진주층을 제외하고는 모두 앞 문단의 방법에 의거하여 구한 것이다.

자기세척실험

본 항에서는 각 지층별로 단계적 세척실험의 결과를 보고한다. 지층별로 우선 자연잔류자기 (NRM)의 강도와 암상별 (Table 1 참조)의 일반적 세척습성을 기술한 후 세척실험에서의 전형적인 예들을 그림과 함께 제시한다.

낙동층

거의 모든 시편들이 1mAm⁻¹ 단위 혹은 그 이하의 미약한 NRM강도를 가지고 있었는데 적색세일인 EC노두의 시편들만이 10 mAm⁻¹ 단위의 보다 강한 잔류자기를 보였다. 시편의 상당수는 NRM상태에서 남서방향의 逆磁化를 보이고 있었다.

회색사암인 EB와 EN 두 노두로부터의 대부분 시편들은 교류와 열 세척실험에서 안정치 못한 잔류자기 습성을 보였으며 ED 노두로부터의 대다수 시편들은 강한 현재 자장의 영향을 받고 있거나 불안정적임이 드러났다. 장석질 (arkosic) 사암인 EA, EL, EM 노두 시편들의 경우에는 거의가 세척시 대원 (great circle, circle of remagnetization)을 그리는 잔류자기의 방향변화를 보였다 (Fig. 4, 나중에 다시 설명함). 이들 시편들은 중첩된 항자력 스펙트럼을 갖는 북동상한의 正磁化와 남서상한의 逆磁化의 두

Table 2. Summary of the study results.

Formation	n	Treat. level	Before bedding correction				After bedding correction				Palaeomagnetic north pole				Palaeo-Polarity	
			d(°)	i(°)	α_{95} (°)	k	d(°)	i(°)	α_{95} (°)	k	lat(°N)	lon(°E)	dp(°)	dm(°)		
Hayang Group																
Haman	10	650°C	16.6	52.2	3.6	179.9	33.2	55.4	3.5	189.3	63.1	206.4	3.6	5.0	35.9	N+(R)
Ch'ilgok	15	670°C	18.6	55.4	5.6	47.0	35.0	53.5	5.5	49.9	61.3	209.9	5.3	7.6	34.0	N+(R)
Shindong Group																
Chinju	21*	AF/great	193.1	-50.5	5.5	34.7	205.2	-53.5	4.3	55.2	69.3	213.6	4.2	6.0	34.0	N+(R)
Hasandong	23	40 mT, 683°C	33.2	55.1	4.9	39.5	42.5	52.6	3.8	65.3	55.0	208.5	3.6	5.2	33.2	N+R
Naktong	13	40-60 mT, 680°C	19.6	54.2	7.4	32.7	39.8	55.2	5.3	62.7	57.7	204.8	5.3	7.5	35.8	N+R
Regional mean	5 [#]		20.0	53.7	4.7	264.9	35.2	54.2	3.9	386.3	61.3	208.4	3.8	5.5	34.7	

n; number of specimens, *; number of intersection points of remagnetization circles, [#]; number of formations, AF/great; great circle fitting to the AF-treated data, and N+R; coexistence of normal and reverse polarity in NRM level, and N+(R); hidden reversed component revealed during stepwise demagnetization.

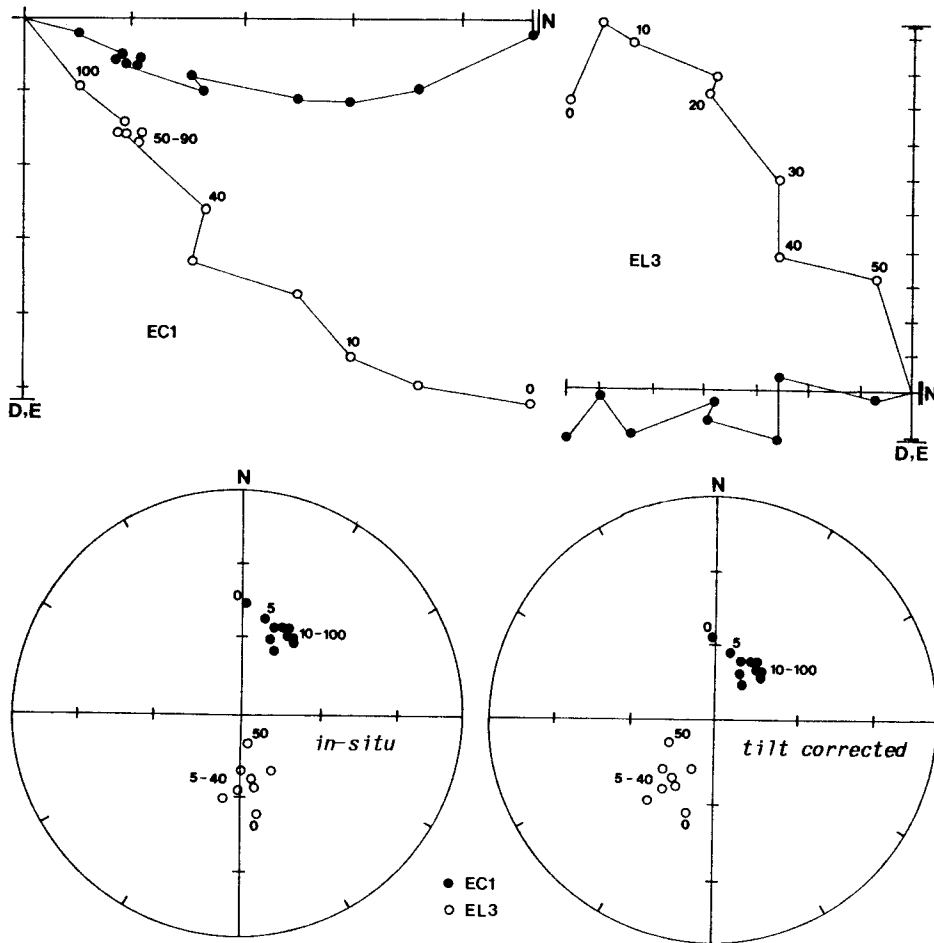


Fig. 2. Examples of AF demagnetization of the Nakdong Formation. EC; red shale and EL; arkosic sandstone. All the vector (Zijderveld) diagrams in this paper are depicted in *in-situ* coordinates with the solid (open) symbols projected onto the horizontal (vertical) plane. Note the positive inclination in EC1 and the negative inclination in EL3. One scale; $3 \times 10 \text{ mAm}^{-1}$ in EC1, and 3 mAm^{-1} in EL3. All the pair of equal-area stereogram (Schmidt net) in this paper is so arranged that the left (right) one is drawn in *in-situ* (bedding) coordinates with the solid (open) symbols representing downward (upward) inclination.

잔류자기성분으로 구성된 것이다. 본 낙동층에서 단일성분의 특성잔류자기 (ChRM)가 명확히 분리될 수 있었던 시편들은 주로 EC노두의 적색세일이었다.

Fig. 2는 낙동층 시편들에 대한 대표적인 교류자기세척 실험의 예를 보이는 것이다. 우선 EC1 적색세일 시편은 원래 현재자장방향에 유사한 잔류자기방향을 가지고 있었으나 10 mT에서는 이 성분이 상당히 소거되고, 40 mT에서부터는 북동방향의 단일 정자화 잔류자기 성분만이 유리되고 있음을 보여준다. 입체투영도 (Schmidt net)에서도 잔류자기의 안정종점 (stable end point)이 나타나고 있다. 장석질 사암인 EL3 시편의 경우에는 0.4 mAm^{-1}

이하의 약한 잔류자기를 갖는 관계로 세척실험이 완전히 만족스럽지는 못하였다. 그러나 앞선 EC1시편에서 나타났던 정자화의 방향에 反平行 (antiparallel, antipodal)인 역자화의 특성잔류자기가 제시되고 있음이 특징적이다.

이상에서 본 바와 같이, 회색사암 및 장석질 사암들의 교류자기세척에 대한 일반적인 반응은 30~40 mT에서 현재 지구자장 및 2차적 성분으로 생각되는 낮은 항자력의 잔류자기가 제거되는 것이었다. 그러나 적색세일 시편들의 경우에는 100 mT까지의 세척에도 불구하고 잔류자기 강도가 NRM의 30% 정도 밖에 감소하지 않았다. 이들에 대해서는 열자기세척실험을 계속하였다.

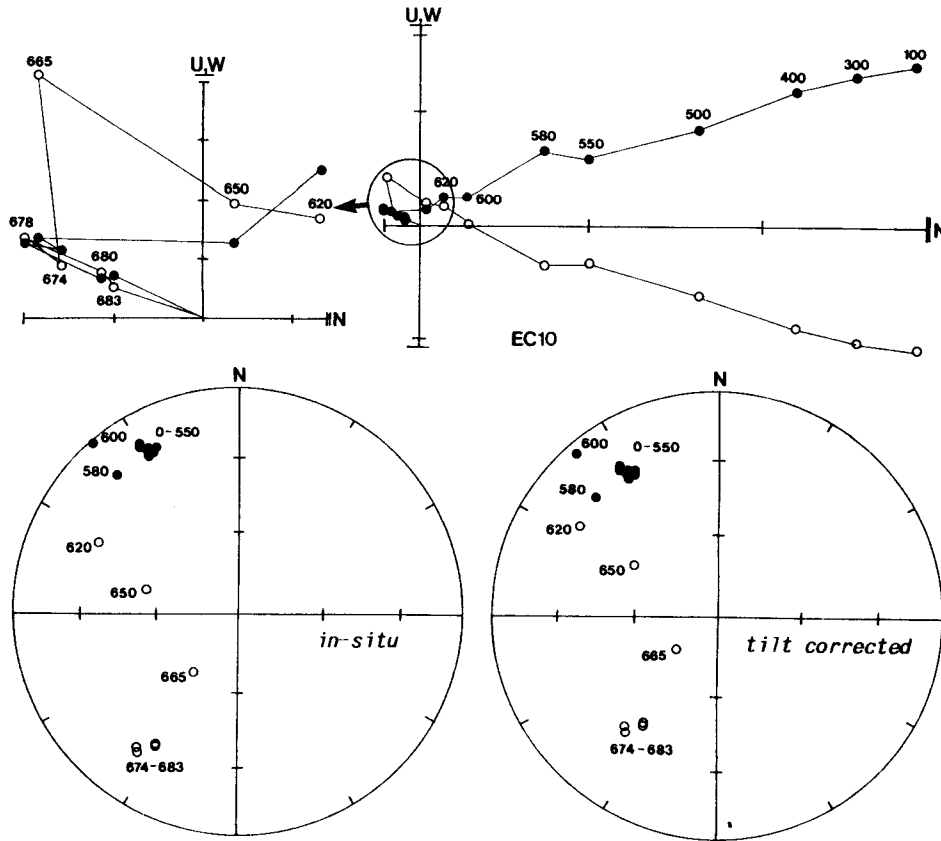


Fig. 3. Example of thermal demagnetization of a red shale sample from the Naktong Formation. Coordinates and symbol conventions are the same as in Fig. 2. The upper left diagram is an enlarged view of the circled part of the upper right vector diagram. One scale; $3 \times 10^2 \text{ mAm}^{-1}$ in the left, and $3 \times 10^2 \text{ mAm}^{-1}$ in the right vector diagram.

Fig. 3은 낙동층 적색세일에 대한 열자기세척실험의 한 예이다. 550°C 까지 거의 고착되어 있던 잔류자기의 방향이 580°C 부터는 변화를 나타내기 시작하고 620°C 에 이르러서는 북각값이 -로 변화되었다. 결국 674°C 부터는 남서상한 역자화의 안정중점이 형성된다. 이 방향은 앞서 Fig. 2의 EL3시편에서의 방향과 유사하다. 또 한가지 주목할 만한 사실은 580°C와 600°C 사이의 20°C 간격의 세척구간에서 잔류자기 강도의 감소가 다른 구간에서보다 크다는 것이다. 이는 자철석이 함유되어 있음을 뜻하는 것이다. 따라서 낙동층은 자성광물로서 자철석과 적철석 모두를 포함하고 있는 것이다. 또한 이상의 세척실험 결과로부터 낙동층은 정자화와 역자화의 두 성분을 모두 포함하는 지층임을 알 수 있다.

이상에 설명한 시편들과는 달리 세척강도의 증대에도 불구하고 정자화와 역자화 두 잔류자기성분들이 끝까지 분리되지 않고 공존하여서 총체적 잔류자기방향이 입체

투영도상에서 대원 (specimen great circle)을 그리며 변화되는 것들이 상당수 나타났다 (Fig. 4). 이러한 특성을 보이는 시편들은 한 적색세일의 예를 제외하고는 모두가 장석질 사암들이었다. 이 대원들의 궤적은 북동의 정자화에서 남서의 역자화를 향하고 있었으며 이 대원들의 교점 평균은 $d=204.1^\circ$ $i=-44.4^\circ$ 로서 앞서 설명한 교류 및 열자기세척에서 나타났던 남서의 역자화 방향에 거의 일치하는 값이다.

이상의 세척실험과 vector diagram 고찰을 통하여 낙동층 각 시편들의 ChRM방향을 구하고 그들의 Fisher평균을 산출해보면 (Table 2, Fig. 5) 지층경사 보정전에는 $d=19.6^\circ$, $i=54.2^\circ$, $\alpha_{95}=7.4^\circ$, $k=32.7$, $n=13$ 이며, 지층경사 보정후에는 $d=39.8^\circ$, $i=55.2^\circ$, $\alpha_{95}=5.3^\circ$, $k=62.7$, $n=13$ 이 된다. 지층경사 보정후 k값이 1.92배 증가되고 (1.98배 증가되면 95% positive fold test) 지층경사보정전의 자화방향이 현재자기장의 방향과는 상이한 것으로

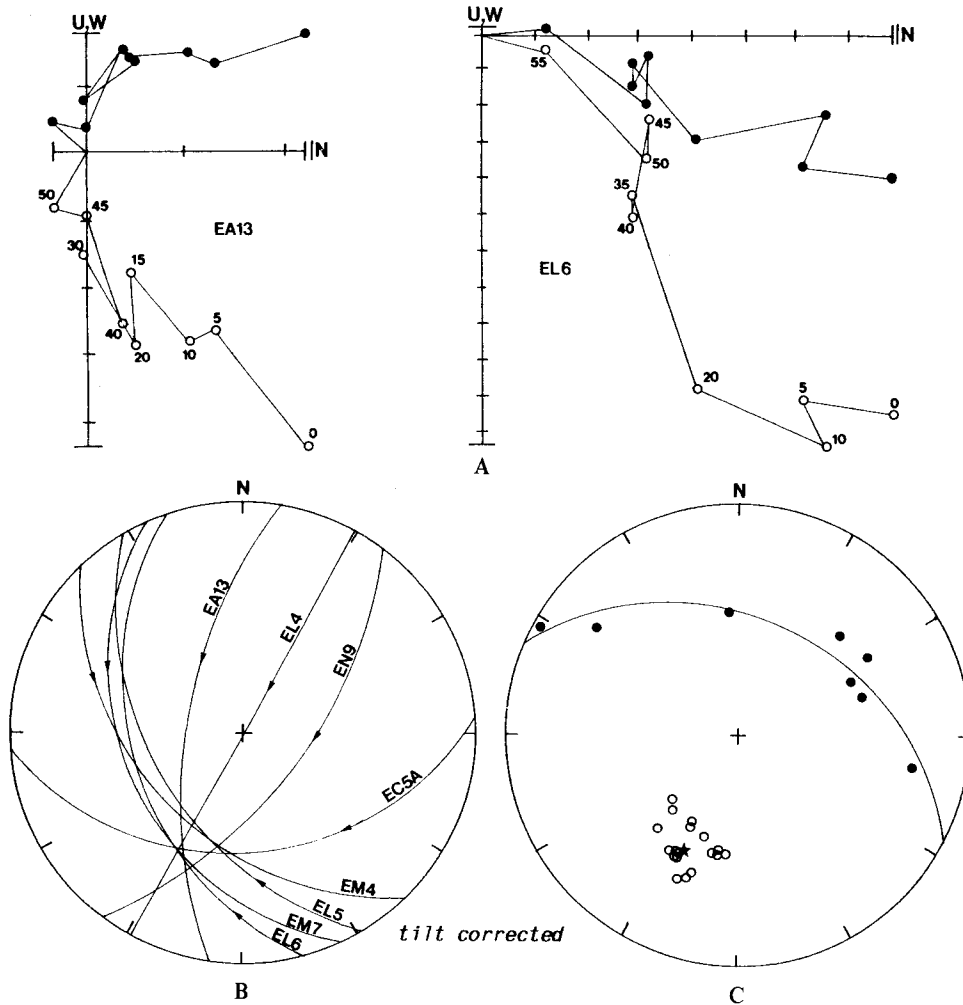


Fig. 4. Most greenish sandstone samples in the study area showed remanent magnetization which does not collapse toward the origin of the Zijderveld diagram (A). This is an example from the Nakdong Formation. The lower figures illustrate Hall's remagnetization circle method (Hall, 1976) applied in this study. Upper hemispherical equal-area projections. Left (B); Best-fitting specimen remagnetization circles converging in the upper southwest quadrant. This implies the existence of a reversed remanent. Remanent directions of the individual demagnetization steps have been omitted for clarity and simplicity. Typical examples are shown in the above Zijderveld diagrams. Right (C); Open symbols represent intersections of remagnetization circles shown in the left diagram. Solid symbols represent pole of each remagnetization circle. The arc represents the best-fitting great circle through the poles. The pole (black star) of this best-fitting great circle is fallen in the midst of the open symbols.

미루어보아 이 ChRM은 낙동층 퇴적시의 지구자장방향을 표현하는 1차잔류자기인 것으로 생각된다. 후자인 지층경사 보정후의 평균 ChRM방향으로부터 계산된 고자기학적 자북 (palaeomagnetic north pole)의 위치는 57.7°N, 204.8°E이다. 낙동층은 역자화와 정자화를 동시에 간직한 지층이다.

한편 낙동층의 전체 시편들 중 약 50%는 자기적으로

불안정한 것으로 판명되었다. 따라서 그들로부터는 아무런 고자기학적 정보도 얻어내지 못하였다.

하산동층

EF노두의 시편들은 10 mAm⁻¹ 단위의 NRM강도를, EL, EP, EQ시편들은 1-10 mAm⁻¹ 단위, 나머지 시편들은 1

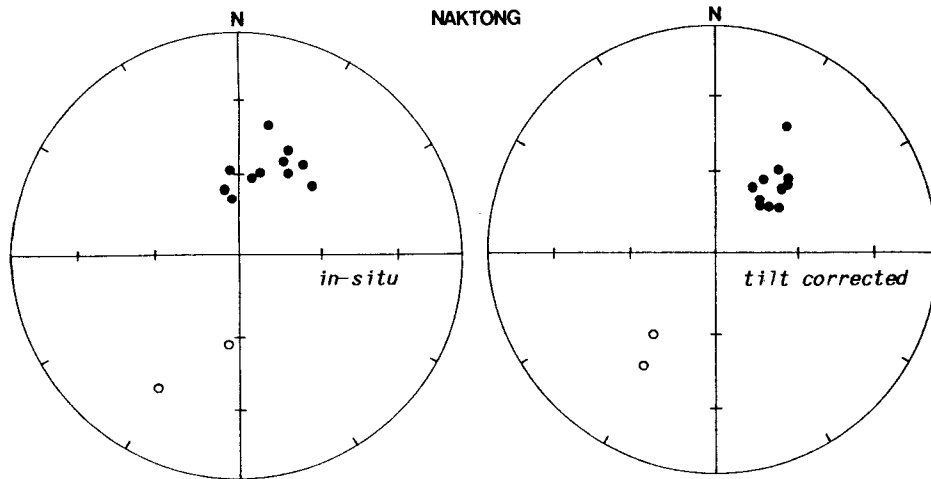


Fig. 5. Characteristic remanent magnetizations (ChRMs) of the Naktong Formation. Conventions are the same as in the stereograms in Fig. 2.

mAm⁻¹ 이하의 NRM강도를 보였다. 녹색사암노두의 NRM방향들은 북동의 정자화에서 남서의 역자화로 흐르는 (streaking) 분포패턴을 보였으며 일부 시편들은 남서방향으로 역자화되어 있었다.

회색사암인 EE노두와 녹색사암인 EG, EH노두의 시료들은 교류세척실험에서 좋은 결과를 보여주지 않았다. 회색사암 EK와 녹색사암 EJ노두의 시료들에는 현재자장의 영향이 강하게 중첩 (overprint)되어 있었다. 이상의 시료들은 모두 공통적으로 1 mAm⁻¹ 이하의 미약한 잔류자기를 가지는 것들이었다. 따라서 더이상 연구에 이용될 수가 없었다.

한편 EO, EP, EQ노두의 녹색사암 시료들에서는 일반적으로 대원의 세척계획이 관찰되었다. 이상과는 대조적으로 EQ노두의 일부 적색사암 시료들과 EF, EI노두의 적색세일 시료들은 한단계 더 높은 잔류자기 강도를 가졌을 뿐 만 아니라 열자기세척실험에서 훌륭한 결과들을 보여주었다.

Fig. 6은 원점으로 소멸되는 단일성분의 안정 잔류자기가 추출되는 녹색사암에서의 예외적 예를 보이는 것이다. EO11시편은 역자화된 것인데 35 mT의 교류세척 강도에서 단일 자화성분의 효과적인 분리가 일어나고 있다. 이 잔류자기는 60 mT의 세척강도에서 거의 소멸되는 것으로 보아 자철석이 자성광물의 역할을 하고 있음을 알 수 있다. 이에 반하여 EP4시편은 정자화되어 있으며 같은 녹색사암인데도 680°C 이상에 달하는 고온 열세척으로만이 단일 잔류자기 성분의 분리가 가능하였고 690°C 이상의 온도에서 잔류자기가 소멸되었다. 이는 적철석이 자성광

물임을 뜻한다. 그러나 580~600°C의 구간에서도 다른 구간보다 비교적 큰 잔류자기강도의 감소가 나타나고 있음이 주목된다. 이는 자성광물로서 자철석이 추가로 포함되어 있음을 지시하는 것이다. 이러한 현상은 Fig. 7의 다른 열세척 시편들에서도 마찬가지로 나타나고 있다.

Fig. 7은 적색세일 시료들에 대한 열자기세척실험의 예이다. 본 연구에서는 적색퇴적암인 경우 열자기세척만이 효과적인 것으로 판명되었다. EF7시편에서는 400°C의 열세척에 의하여 약한 2차자화성분이 사라지고 원점을 향하여 직선적으로 소멸되는 단일 잔류자기성분의 분리가 나타나고 있다. 함께 소개된 EI6시편의 세척습성은 흥미롭다. 북동방향의 자연잔류자기는 그 방향을 유지한 채 점진적으로 강도가 감소되다가 665°C에 이르러 -의 북각으로 역전되고, 678°C부터는 편각값 또한 180° 역전된 방향에 도달되어 원점으로 소멸하는 단일 자화성분을 이루고 있다.

본 하산동층에서도 자기세척에 따른 자화벡터 성분의 분리를 보이지 않고 대원형의 잔류자기벡터 변화계획을 그리는 시편들이 7~8개 있었다. 이들은 주로 녹색사암이었다. 이 원호상의 계획들은 앞선 낙동층의 경우처럼 (Fig. 4) 북동의 정자화 방향으로부터 남서의 역자화 방향을 향하여 수렴되었는 바, 교점들의 평균치는 $d=215.8^\circ$, $i=-58.5^\circ$ 이었다. 이러한 사실은 하산동층 역시 역자화와 정자화를 동시에 가진 지층임을 지시하는 것이다.

Fig. 8과 Table 2는 이상의 세척실험에 의거 40 mT 혹은 683°C로 모든 시편들을 처리하여 구해진 단일특성잔류자기 (ChRM) 방향들 그리고 그들의 평균값을 나타낸 것이

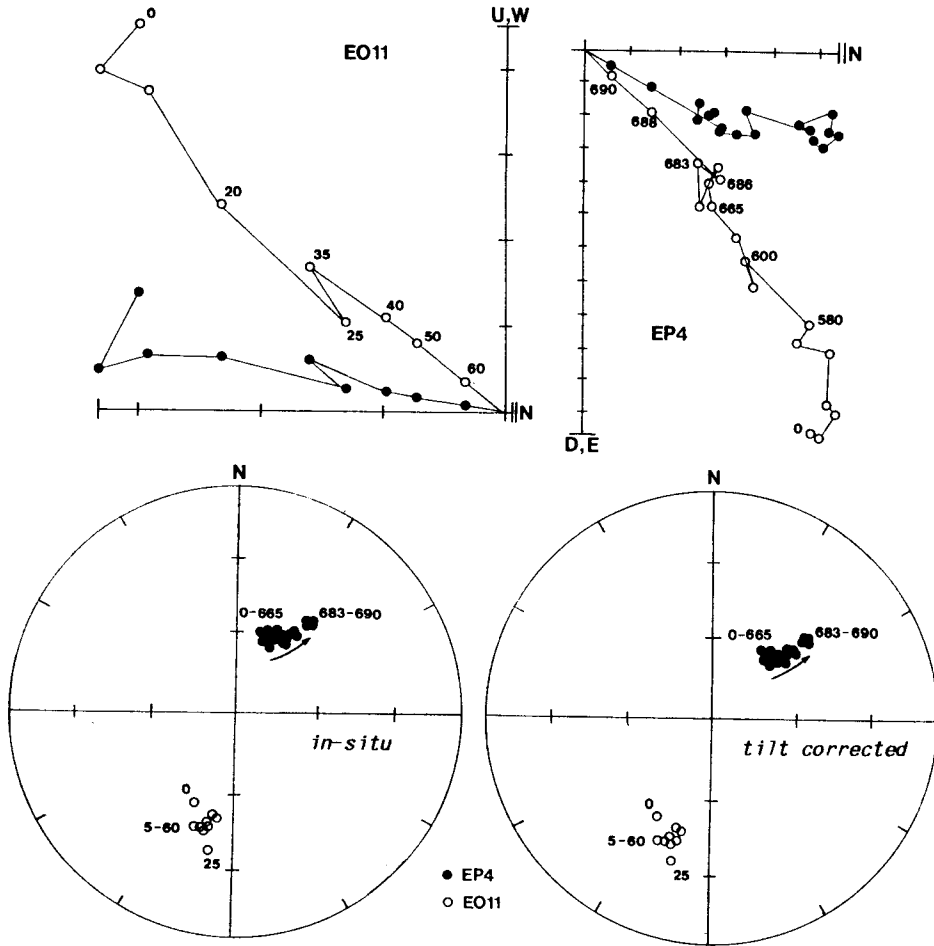


Fig. 6. Examples of AF (EO11) and thermal (EP4) demagnetization of greenish sandstone samples from the Hasandong Formation. Conventions are the same as in Fig. 2. One scale; 10 mAm^{-1} in EO11, and $3 \times 10\text{ mAm}^{-1}$ in EP4. Note the antipodal relationship of the remanent directions.

다. 지층경사 보정전에는 평균방향이 $d=33.2^\circ$, $i=55.1^\circ$, $\alpha_{95}=4.9^\circ$, $k=39.5$, $n=23$ 이며 지층경사 보정후에는 $d=42.5^\circ$, $i=52.6^\circ$, $\alpha_{95}=3.8^\circ$, $k=65.3$, $n=23$ 이다. 지층경사 보정후의 평균 자화방향으로부터 계산된 고자기학적 자북의 위치는 55.0°N , 208.5°E 로서 낙동층의 값과 유사하다.

진주층

연구를 위하여 채취된 시료들은 모두 녹색 사암들로서 NRM강도가 1 mAm^{-1} 이하에 불과하였다. 모든 시편들은 NRM상태에서 북극이 上向 (+)인 정자화를 보이고 있었다.

각 노두별로 잔류자기 강도가 높은 순위로 5~6개의 시편들을 골라 단계적 교류자기세척실험을 실시하였다. 모든 시편들에서 교류자기세척의 효과가 발휘되어 잔류자기방향의 체계적인 변화가 일어났다. 이로 보아 본 진주층의 자성광물은 자철석인 것으로 추정된다. 그러나 잔류자기 방향변화가 거의 모든 시편들에서 대원궤적으로 나타나서 단일 ChRM의 추출은 불가능하였다. 나머지 시편들을 열자기세척 해보는 것도 필요할지 모르겠으나 잔류자기가 너무 미약하여 측정의 정밀도가 보장되기 어려우므로 실행하지 않았다.

Fig. 9에 圖示된 ES8시편에서는 10 mT의 세척으로 약한 항자력의 점성잔류자기 (VRM)가 소거되고 원점으로 소멸되는 단일 자화성분이 분리되고 있는 듯하다. 그러나

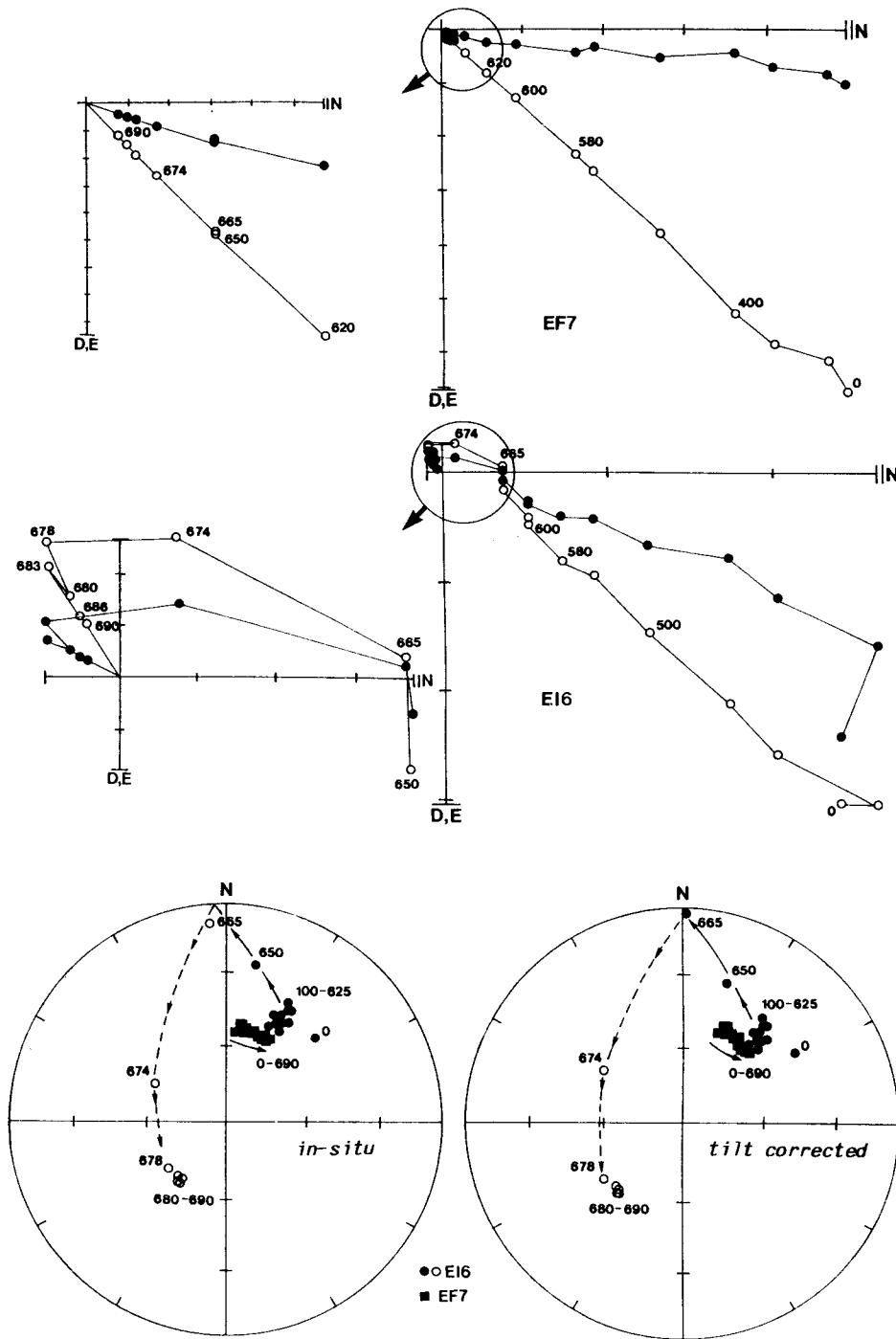


Fig. 7. Examples of thermal demagnetization of red shale samples from the Hasandong Formation. Conventions are the same as in Fig. 2. The left vector diagrams are enlarged views of the circled part of the right vector diagrams. One scale; $3 \times 10^1 \text{ mA m}^{-1}$ in the left, and $3 \times 10^2 \text{ mA m}^{-1}$ in the right diagrams. Note the antipodal relationship of the stable end points in EI6 and EF7 samples.

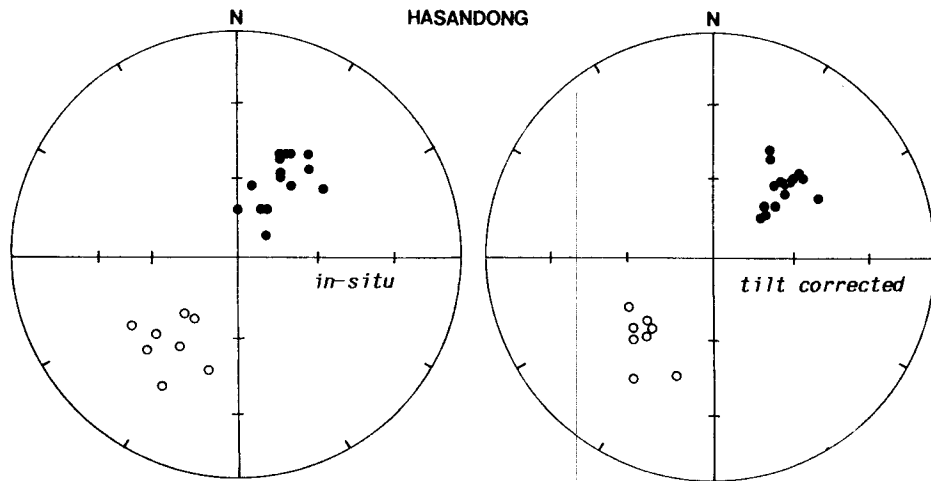


Fig. 8. Characteristic remanent magnetizations (ChRMs) of the Hasandong Formation. Conventions are the same as in the stereograms in Fig. 2.

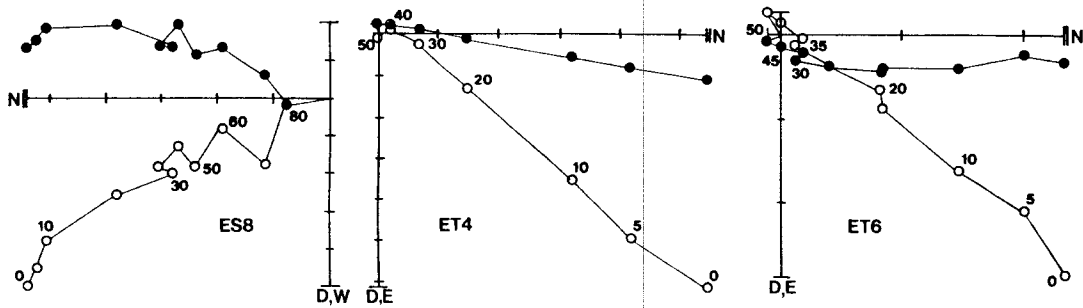


Fig. 9. Examples of AF demagnetization of the greenish sandstone samples from the Chinju Formation. Note that remanent magnetizations do not collapse exactly toward the origin of the vector diagram. One scale; 10 mAm^{-1} in ES8, and $3 \times 10 \text{ mAm}^{-1}$ in ET4 and ET6. See Fig. 10 for direction change in stereogram.

낮아지는 잔류자기 강도로 인하여 측정된 방향값이 점차로 흔들려져 간다. ET4 시편의 경우에는 점성잔류자기가 거의 존재하지 않는다. 그러나 잔류자기의 소멸체적은 원점을 벗어나는 방향이다. ET6 시편에서는 30 mT에 이르기까지 현재자장성분이 제거되고 35-50 mT 구간에서는 앞서의 다른 지층에서와 같은 북동의 정자화 성분이 세척되고 있다.

이상에서 본 바와 같이 진주층에서는 명확하게 원점으로 소멸되는 단일 ChRM의 분리를 이룩할 수가 없었다. 한편, 분리를 보이지 않은 잔류자기성분들은 단계적 세척과정에 따라 북동상한의 정자화에서 남서상한의 역자화로 대원을 그리면서 변이되었다 (Fig. 10A). 이러한 세척반응은 교류 세척을 적용시킨 거의 모든 시편들에서 공통으로 나타나는 현상이었다. 이는 NRM상태에서 진주층 시료가 모두 +북각을 보이고 있지만 감추어진 역자화 성분도 지니고

있음을 뜻한다.

본 진주층에서는 단일 성분의 분리가 일어나는 시편들이 적었으므로 세척에 따른 잔류자기벡터의 변화궤적 (specimen great circle)들을 함께 모아 그 교점들 (Fig. 10A, Fig. 10B의 하얀점들)의 Fisher평균을 구함으로써 평균 특성 잔류자기 (ChRM) 방향으로 하였다. 이렇게 구해진 평균 자화방향 (Table 2)은 지층경사 보정전에는 $d=193.1^\circ$, $i=-50.5^\circ$, $\alpha_{95}=5.5^\circ$, $k=34.7$, $n=21$ 이며 지층경사 보정 후에는 $d=205.2^\circ$, $i=-53.5^\circ$, $\alpha_{95}=4.3^\circ$, $k=55.2$, $n=21$ 이다. 후자로부터 계산된 고자기학적 북극의 위치는 69.3° N , 213.6° E 이다.

한편, 대원들의 교점평균을 구하는 대신 각 대원 (site great circle)의 극 (pole)들 (Fig. 10B의 검은점들)을 통과하는 새로운 대원의 극을 구하여 보면 지층경사 보정전 $d=192.7^\circ$ $i=-49.9^\circ$, 지층경사 보정후 $d=204.0^\circ$ $i=$

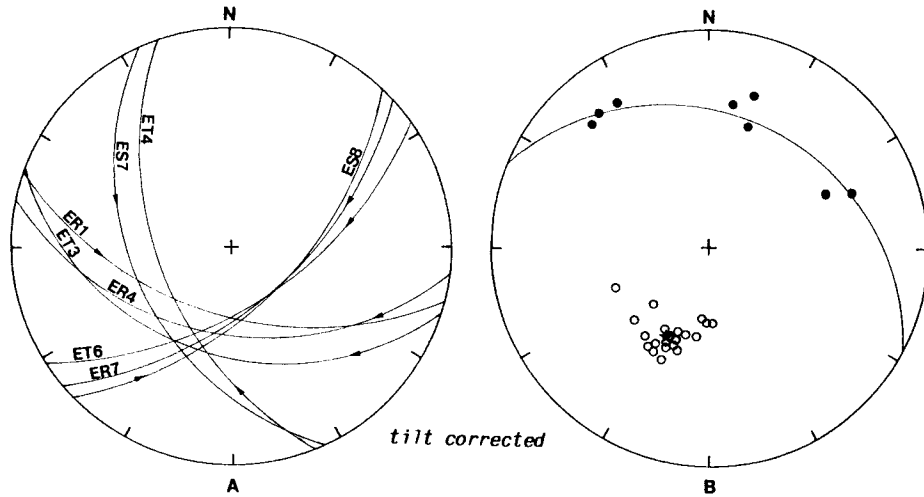


Fig. 10. Best-fitting specimen remagnetization circles of the Chinju Formation in the upper hemispherical equal-area projection. They are intersecting each other in the upper southwest quadrant, representing existence of a reversed remanent component. Conventions and other explanations for the right streogram are the same as in Fig. 4.

-52.3°로서 앞서의 값과 거의 동일하였다.

철곡층

다른 지층들에 비하여 비교적 강한 잔류자기를 가진 지층으로서 EW노두의 경우에는 NRM강도가 10 mAm⁻¹ 단위에 이르고, 나머지 노두들에서는 100 mAm⁻¹ 단위에 이르렀다. 모든 시편들은 NRM의 상황에서 정자화를 보였다. 그러나 소수의 시편들은 단계적 세척에서 反平行의 역자화를 향하는 대원의 일부를 나타내거나 고온 단계에서 반전방향을 드러내었다. 이러한 시편들은 감추어진 역자화의 잔류자기를 지닌 것이다.

각 노두별로 하나씩의 시편들을 교류자기 세척하였는데 세척효과가 미미하고 잔류자기의 방향변화가 원호의 작은 일부만을 그리는 것으로 나타나서 이후에는 열자기세척만을 적용하였다. 각 노두별로 2~3개씩의 시편들을 열자기세척해 본 결과 결국 EU 및 EX노두에서만 ChRM을 분리해낼 수 있음을 알 수 있었다. Fig. 11의 EU7A시편에서는 500°C 까지 VRM이 빠져나가고 550°C 부터 단일 ChRM성분이 유리되고 있다. EX6시편에서는 600°C 이상의 가열에서 단일 ChRM이 분리된다. 잔류자기 소멸온도로부터 알 수 있는 바와 같이 전자의 시편은 자철석, 후자의 시편은 적철석을 자성광물로 보유하고 있는 것이다. 600°C 이하의 중온구간에서 단일성분이 분리되는 것은 화산성 기원의 자철석에 기인되는 것으로 생각된다.

EU 및 EX노두의 모든 시료들에 대해서 685°C 까지 10

단계의 열자기 세척을 실시하고 670°C 에서의 잔류자기 평균방향을 산출한 결과 (Fig. 11 EU7A시편의 550°C 값도 포함) 지층경사 보정전에는 d=18.6°, i=55.4°, α₉₅=5.6°, k=47.0, n=15, 지층경사 보정후에는 d=35.0°, i=53.5°, α₉₅=5.5°, k=49.9, n=15의 값이 얻어졌다 (Table 2, Fig. 12). 이 후자의 값으로부터 구한 고자기학적 북극의 위치는 61.3°N, 209.9°E이다.

참고로, 대원형의 세척습성을 보이는 시편들을 모아서 진주층에서와 마찬가지로의 방법으로 대원들의 교점평균을 구해보면 지층경사 보정후 d=208.9° i=-61.7°로 나타나며, 각 대원들의 극을 통과하는 새 대원의 극을 구하여 보면 지층경사 보정후 d=209.8° i=-60.2°가 되어서 이 두 값은 앞서의 값과 반평행으로 유사하다.

함안층

채취된 시편들은 NRM강도 10 mAm⁻¹ 단위의 적색 세일 및 사암이었다. NRM상태에서 모든 시편들이 정자화를 보이고 있었다.

각 노두별로 한개씩의 시편들을 골라 교류자기세척 하여본 결과 60 mT까지는 잔류자기의 강도가 NRM의 1/3 이하까지 감소되는 지속적인 세척효과가 나타났다. 그러나 잔류자기의 방향에서는 변화가 거의 없었다. 이 이상에서부터 100 mT까지의 세척에서는 잔류자기 강도의 감소마저 거의 일어나지 않았다. 이는 본 지층에 자철석과 적철석이 동시에 포함되어 있는데 후자가 양적으로 압도하고 있음을

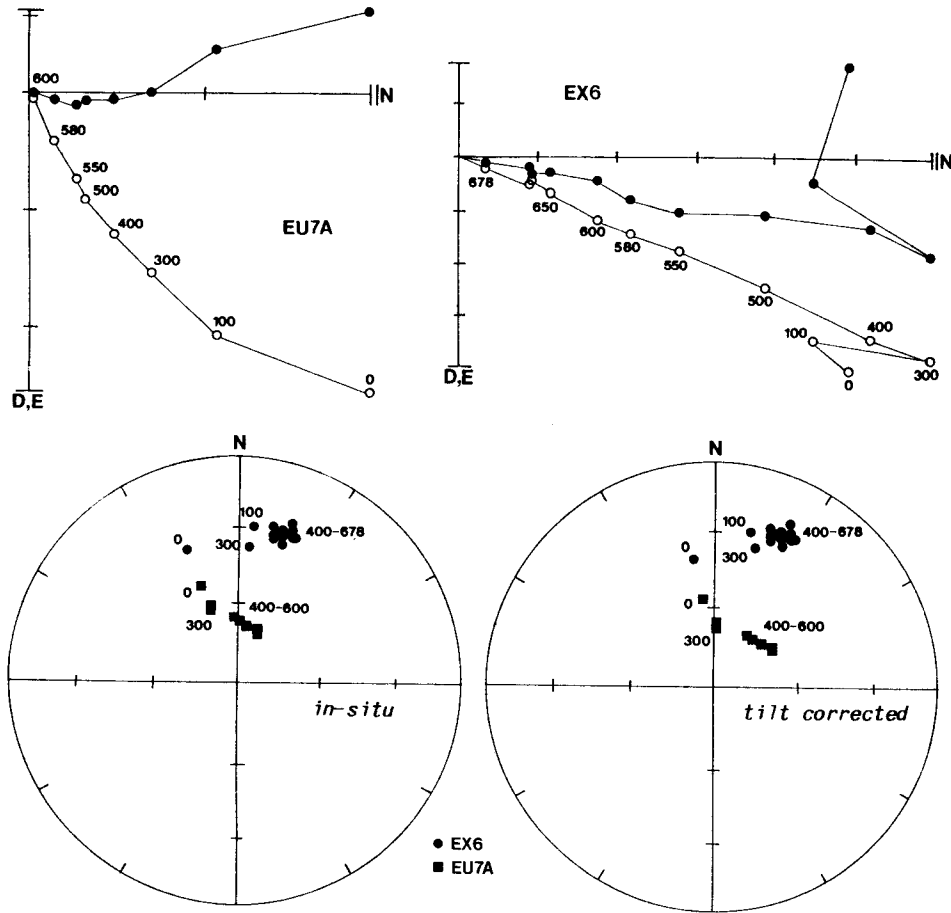


Fig. 11. Examples of thermal demagnetization of red shale samples from the Ch'ilgok Formation. Coordinates and symbol conventions are the same as in Fig. 2. One scale; $3 \times 10^3 \text{ mAm}^{-1}$ in the left, and $3 \times 10^2 \text{ mAm}^{-1}$ in the right vector diagram.

뜻하는 것이다. 따라서 나머지의 세척실험은 열자기법으로 수행하였다. Fig. 13은 열자기 세척실험의 대표적 예들을 보이는 것인데 550~600°C 에서부터 단일성분 (ChRM)이 유리되는 것이 나타나 있다.

한편, 앞서의 항에서 예시했던 시편들과 상황이 유사하므로 圖示는 생략하나 EZ1, EY4 등 5개 시편의 잔류자기는 열자기세척의 강도가 증가됨에 따라서 북동상한의 정자화에서 남서상한의 역자화로 대원을 그리며 변화되었다. 따라서 함안층은 정자화가 우세하나 감추어진 역자화 성분을 동시에 지니고 있는 지층임을 알 수 있다.

650°C 이상에서 원점으로 소멸되는 단일 잔류자기 성분들을 모아서 지층의 평균을 구하면 지층경사 보정전 $d=16.6^\circ$, $i=52.2^\circ$, $\alpha_{95}=3.6^\circ$, $k=179.9$ $n=10$ 지층경사 보정후 $d=33.2^\circ$, $i=55.4^\circ$, $\alpha_{95}=3.5^\circ$, $k=189.3$, $n=10$ 의

값이 된다 (Table 2, Fig. 14). 후자의 값으로부터 계산된 고자기학적 자북의 위치는 63.1°N , 206.4°E 이다.

한편, 세척시 잔류자기의 방향이 대원을 그리며 변화되는 시편들을 모아 (5개) 대원들의 교점평균을 구하면 지층경사 보정후의 값으로 $d=200.2^\circ$, $i=-53.5^\circ$ 이 얻어지며, 대원의 극들을 통과하는 새로운 대원의 극을 구하면 $d=202.9^\circ$ $i=-54.1^\circ$ 의 값이 얻어진다.

결과와 고찰

자기세척실험을 통하여 얻어진 연구지역 각 지층별의 특성잔류자기 (ChRM)와 그들의 Fisher통계 등의 정보들은 Table 2에 종합되어 있다. 각 지층별 ChRM으로부터 계산된 고자기학적 자북의 위치는 다른 지역에서의

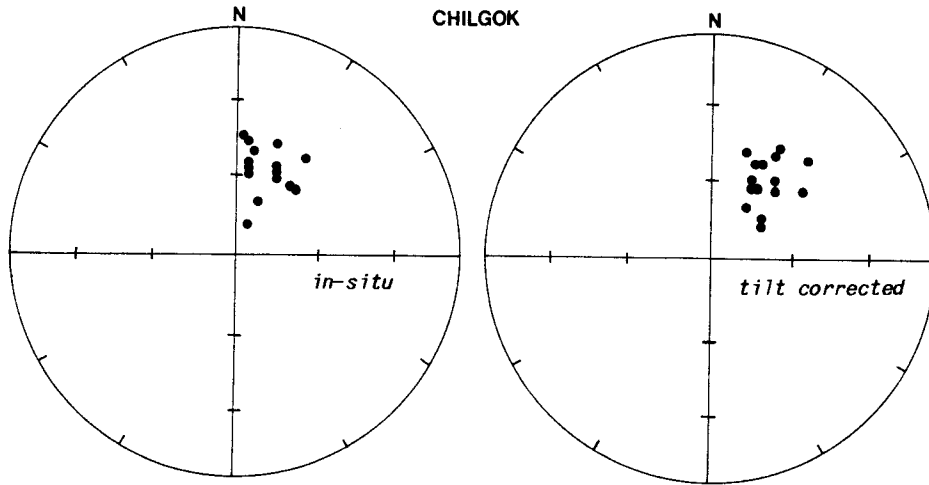


Fig. 12. Characteristic remanent magnetizations (ChRMs) of the Ch'ilgok Formation. Conversions are the same as in the stereograms in Fig. 2.

함께 Fig. 15에 圖示되어 있다. 진주층은 예외이나, 그밖의 지층들에서는 평균 잔류자기 방향과 자북의 위치들이 서로 상당히 유사하다.

자화시기와 적색층의 문제

연구지역 지층들의 자세가 單斜構造인 관계로 잔류자기 (ChRM)의 1차성 (primary) 여부를 판별할 습곡검사 (fold test)는 불확정적 (not significant)이었다. 그러나 다음과 같은 상황을 고려할 때 Table 2의 특성잔류자기가 암석의 퇴적과 동시, 혹은 거의 비슷한 시기에 획득된 1차잔류 자기인 것으로 믿어진다.

우선 이 잔류자기의 지층경사 보정전, 즉 현장상태에서의 방향들은 현재의 지구자기장 방향과 구별되는 차이를 보인다. 또한 몇 노두들 (낙동층군의 EL노두, 하산동층의 EG, EO, EP노두)에서 나타나는 역자화는 정자화 ChRM과 反平行 (antiparallel, antipodal)을 이루고 있다. 한편 비록 엄격한 통계학적 습곡검사는 불가능이었으나, 모든 지층들에서 지층경사 보정을 통하여 Fisher군집지수 k가 한결같이 증가되었다 (Table 2). 이들 중 신동층군의 세 지층 (낙동층, 하산동층, 진주층)에서의 k값 증가비율은 습곡검사를 통과하기 위한 값에 대단히 근접되어 있다. 끝으로, 아래에서 언급되는 바 시대에 따른 磁北의 이동경로 (APWP) 또한 하위지층에서 상위지층으로 갈수록 현재의 자북에 접근되는 체계적 변화를 보인다 (Fig. 15). 이와같은 상황들은 퇴적후 오랜시간이 경과된 후의 재자화, 특히 지층傾動 이후의 재자화일 가능성을 희박하게 한다.

한편 적색 세일층의 자연잔류자기 (NRM)는 모든 지층 모든 노두에서 정자화이다. 그러나 일부 시편들에서는 강한 열세척에 의하여 정자화가 소거되며 역자화가 노출되는 것이 관찰되는데 이는 퇴적이후의 자철석→적철석의 산화과정에서 낮은 폐색온도 (unblocking temperature)의 정자화가 후차적으로 추가되었을 가능성을 시사하는 것이다. 그러나 앞서의 여러 각도의 상황들이 잔류자기의 1차성 (pre-folding, pre-tilting)을 지지함을 염두에 둘 때 이 정자화의 획득은 퇴적이후라 할지라도 지층의 傾動에 앞서는, 예를들어 속성작용의 단계 등에서 이루어졌을 것이다. 따라서 이 정자화는 고자기학적 견지에서 역시 1차적 (primary)이다. 그러나 퇴적학적으로는 2차적의 것이다. 요약하건데 정자화와 역자화가 동시에 나타나는 본 지역 적색층에서, 적색의 원인이 되는 세립 적철석 (산화작용의 산물인 red pigment로 추정)과 높은 폐색온도를 가진 쇄설성 퇴적기원의 조립 적철석 (鑛鐵石으로 추정됨) 사이에는 생성시기에서 차이가 있다는 말이다. 그러나 적색층의 모든 적철석들이 지층퇴적의 이후에 생겨나는 것 만은 아니다. 쇄설성 퇴적기원 적철석의 존재에 관해서는 김인수 (1988)에 논의되어 있다.

여기에서 주장하는 바대로 적색층의 적철석이 퇴적이후에 생성된 것이라면 이에 의한 암색 (적색)은 퇴적환경의 반영이라기보다 후차적 因子 (낮은 폐색온도의 red pigment에 의한 쇄설성 입자들의 피복 등)에 의한 것이 된다. 그렇다면 암색의 적색화는 퇴적이후 산화에 유리한 장소나 층준을 따라서 선별적으로 이루어 질 수 있는 것이므로 적색여부가 지층분류의 본원적인 기준이 될 수가 없다.

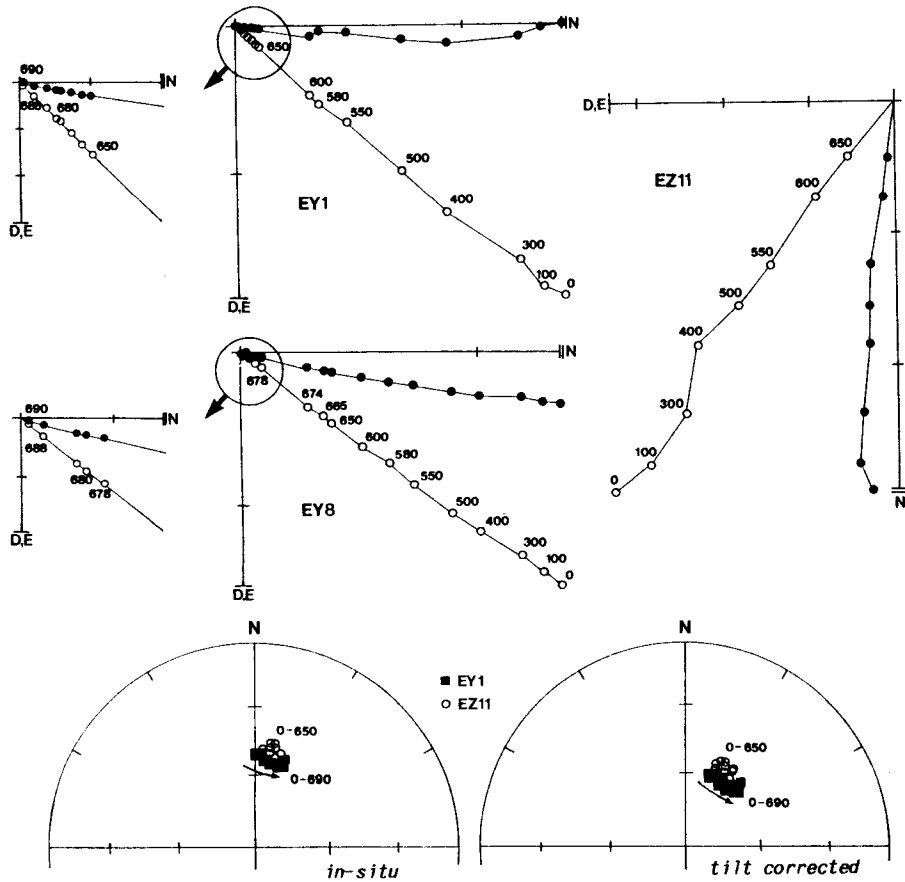


Fig. 13. Examples of thermal demagnetization of red shale samples from the Haman Formation. Coordinates and symbol conventions are the same as in Fig. 2. The left vector diagrams are the enlarged views of the circled part of the middle diagrams. One scale; $3 \times 10^3 \text{ mAm}^{-1}$ in the middle diagrams, and $3 \times 10^2 \text{ mAm}^{-1}$ in the other diagrams. All inclinations in the stereograms are downward. Remanent directions of EY8 sample are overlapping those of EY1 sample, and therefore omitted from the stereograms for clarity.

따라서 현재 통용되고 있는 암색에 따른 경상계 지층의 분류안은 再考되어야 할 것이다. 실제로 본 연구를 수행하는 중 야외현장에서 관찰된 바에 의하면, 종래부터 非 적색층으로 정의된 낙동층과 진주층의 분포지 도처가 적색층 노두로 되어있음이 인지되었다.

자기층서학적 지층의 연령

앞서 일반지질 향에서 살펴본 바에 의하면 화석연구에 따른 신동-하양층군의 시대는 중기 유라기로부터 후기 백악기 Cenomanian에 이르는 넓은 시간대역으로 나타나고 있었다. 이러한 연령의 폭은 본 연구로서 밝혀진 각 지층들의 잔류자기 極性데이터에 의하여 좀 더 좁혀질 수 있다. 범세계적 磁氣層序學의 연구로부터 잘 알려져 있는

바에 의하면 (Harland et al., 1990; 등) 백악기의 124~83 Ma 동안에는 오랜 정자극 (正磁極)의 기간 (Cretaceous Normal Polarity Superchron, marine Magnetic Quiet Zone에 해당)이 있었으며 그 전과 후는 지구 자기장이 빈번히 역전되던 기간이었다. 앞서서 본 바와 같이 본 연구지역의 모든 지층들에서는 정자화와 역자화가 혼합되며 나타나고 있다. 진주, 칠곡, 함안층에서의 역자화는 세척과정에서 드러나는 것이었으나 Lee et al. (1987) 역시 칠곡, 함안층에서 역자화를 확인한 바 있으므로 前者가 세척과정에서 일어난 부분자발역전 (partial self reversal) 때문이 아닌 것이 확실하다. 따라서 본 연구지역에 노출된 하부 함안층까지의 경상누층군 퇴적암들은 124 Ma 이전의 正磁極과 逆磁極이 빈번히 교호되던 시기에 퇴적된 것임을 알 수 있다. Harland et al. (1990)에 의하면 Neocomian과

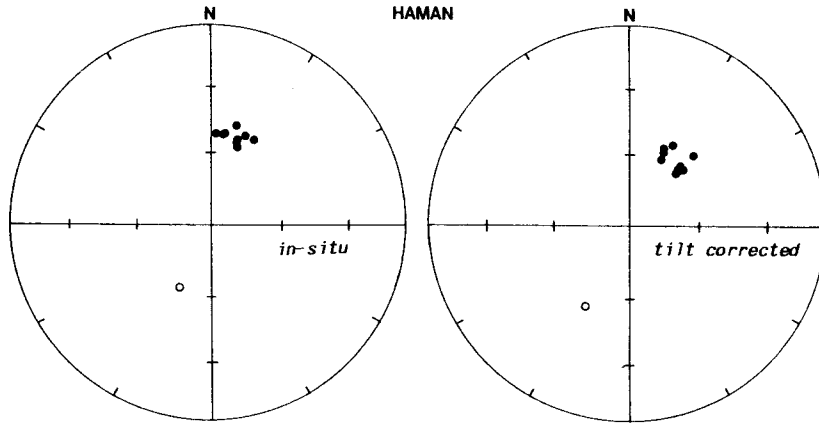


Fig. 14. Characteristic remanent magnetizations (ChRMs) of the Haman Formation. Conventions are the same as in the stereograms in Fig. 2.

Aptian의 경계는 124.5 Ma이므로 본 연구지역에 노출된 퇴적층의 연령을 지질시대론 말하자면 Neocomian 및 그 이전이 된다.

한편 지층연령 결정을 위한 또 다른 고자기학적 수단으로서 자극이동곡선 (APWP)을 이용해 볼 수 있다. 이 방법은 아직 지역 (지괴)별 자극이동곡선이 확실히 확립되지 않은 관계로 많은 오차나 불확실성을 수반할 수 있다. 새로운 연구가 나타날 때마다 자극이동의 경로가 변경될 수가 있으며 각 연구들의 신뢰도를 엄격히 분별하기가 곤란하기 때문이다. 그럼에도 불구하고, Fig. 15에 도시된 바와같이 본 연구로부터 밝혀진 각 지층의 자극위치들의 연결선 모양과 Irving (1977)의 Eurasia 자극이동곡선이 아주 유사하다는 점에서 두 연구결과를 대비해 볼 가치가 있다. Irving (1977)의 곡선은 고생대로부터 한결같이 북상하던 자북의 위치가 160~130 Ma 기간동안 최북단에 정체되어 있다가 다시 남하하여 120 Ma에 최남에 이르고 다시 북상하는 모양을 이루고 있다 (Fig. 15B). 본 연구에서 나타난 경상계지층의 자북위치를 이에 대응시켜본다면 낙동층과 하산동층은 중기 쥐라기인 170 Ma의, 진주층은 Neocomian (Barremian)인 130 Ma, 그리고 칠곡층과 함안층은 Aptian인 120 Ma의 (혹은 이보다 약간 많은) 연령을 가지는 것으로 나타난다. 아주 흥미로운 결과이나 위에서 지적한 불확실성을 감안 차후의 검정을 지켜보아야 할 것이다.

지구조운동에 관한 고찰

본 연구로부터 얻어진 연구결과와 지구조학적 의의를 파악하기 위하여서는 다른 지역으로부터의 연구결과들과

비교하는 것이 필요하다. Fig. 15A에는 본 연구에서 구해낸 진교-사천지역 각 지층들로부터의 고자기학적 북극의 위치와 이에 상응하는 시기의 중국대륙 (Enkin et al., 1992) 그리고 대구 및 안동지역 (Lee et al., 1987)의 것들이 함께 도시되어 있다. 중국대륙의 경우에는 Tibet를 제외한 Tan-Lu fault (Tancheng-Lujiang fault) 以西의 숲 중국지역을 망라하는 중기 쥐라기-중기 백악기 동안의 시대별 평균 북극의 위치 (Enkin et al., 1992)를 도시하였다.

먼저 진교-사천지역 지층들로부터의 磁北위치들 (▲표시)을 살펴보면 전체적인 분포형태가 연구지역 (Fig. 15A의 ★표시)을 중심으로하며 현 북극을 향하는 원호를 이룬다. 좀 더 구체적으로는 하위지층인 신동층군의 낙동층과 하산동층의 자북들은 보다 남쪽에 모여있고 상위지층인 하양층군의 칠곡층과 함안층의 것들은 보다 북쪽에 모여진 시대적 차이가 나타난다. 예외적으로 진주층의 자북위치는 더욱 북쪽으로 치우쳐져 있다.

이와같은 남에서 북으로 쭉어지며 현재의 북극을 향하는 원호형의 배열양상은 대구 및 안동지역 (●표시)이나 중국대륙 (■표시)의 자북분포에서도 나타난다. 이렇게 서로 相異한 지역에서 구한 APWP곡선이 서로 유사한 경향으로 나타나는 것은 세 지역의 연구 모두가 같은 시대의 자북 이동 모습을 올바르게 파악하였다는 것을 의미할 것이다.

진주층의 자북위치가 기타지층의 것들로부터 격리되어 있는 정확한 이유는 확실하지 않다. 진주층의 평균 잔류 자기방향이 대원들의 교점으로부터 구해졌기 때문에 다른 지층들에서보다도 많은 오차가 개재되었을 가능성도 있다. 그러나 단일 자화성분의 분리에 성공하였던 Lee et al. (1987)의 대구지역 진주층의 경우에서도 잔류자기 방향이 다른 지층의 것들과 상당한 차이를 보이고 있음이 확인

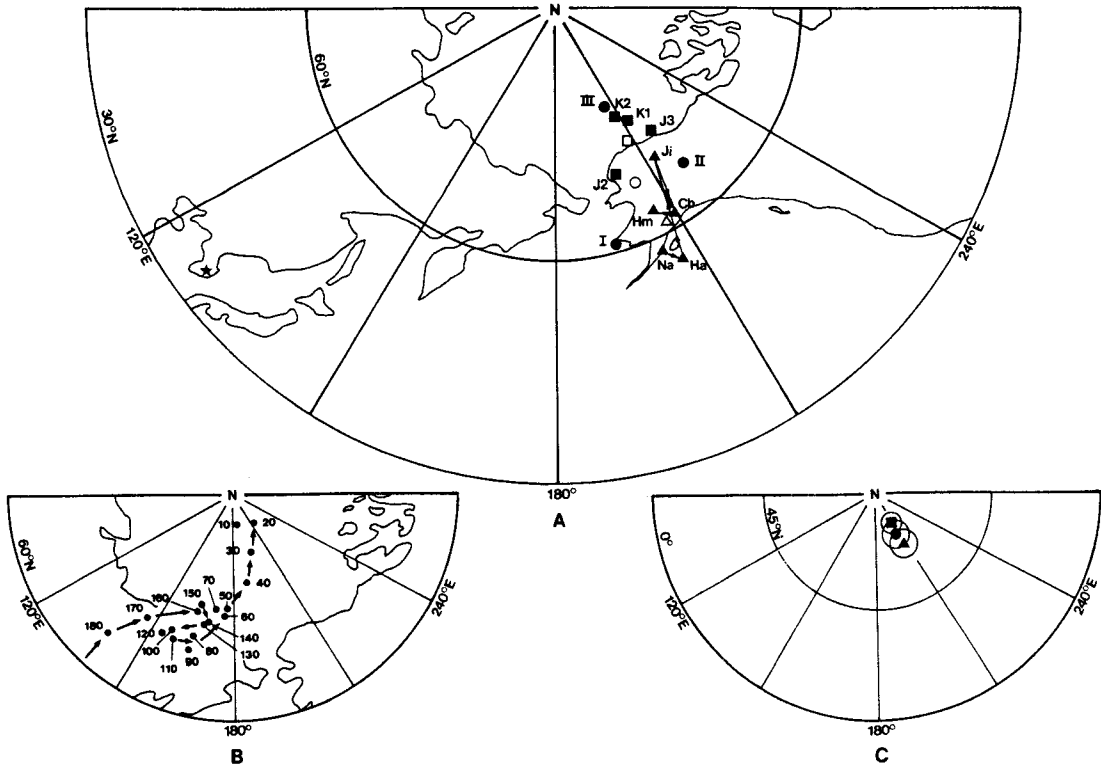


Fig. 15. Palaeomagnetic north pole positions from this study in comparison with those from other sources. A; Solid triangles represent pole positions obtained in this study (Na; Naktong Fm., Ha; Hasandong Fm., Ji; Chinju Fm., Ch; Ch'ilgok Fm., and Hm; Haman Fm.). Solid circles represent pole positions from the Taegu-Andong area (SK I, II and III of Lee et al, 1987). Solid squares represent pole positions from China excluding the Shandong area (Enkin et al, 1992) (J2; middle Jurassic, J3; late Jurassic, K1; early Cretaceous, and K2; middle Cretaceous). Each open symbol represents the mean of the solid symbols of the same shape. Star in the Korean peninsula represents the study area of this paper. B; A part of the apparent polar wandering path (APWP) of northern Eurasia (Irving, 1977). Note the similarity (hairpin) of the APWP trends with age in A and B. C; The mean palaeomagnetic pole positions in A (open symbols) are redrawn as filled symbols with each A_{95} error circle. About 14.5° clockwise rotation of the study area (solid triangle) is suggested relative to the Chinese block west of the Tan-Lu fault (solid square).

된다. 따라서 이 현상 (=hairpin)은 지역에 무관한 진주층 자체 혹은 그 시대의 일반적 특성일런지 모른다. 즉, 이러한 공통적 현상은 신동충군과 하양충군사이의 지각변동 (장기홍, 1980)과 연관이 있을 수도 있고 全적으로 지구 자북이 실제로 이동되었기 때문일 수도 있다. 앞서에서 소개되었던 바 Irving (1977)의 Eurasia 자극이동곡선의 전기백악기부분 (Fig. 15B)에서도 이와같은 현상이 확인된 후자의 가능성을 지지한다. 앞절에서는 자극이동곡선의 이러한 성질을 이용하여 지층연령결정을 시도하였고 또한 합리적인 답을 얻은 바 있다.

Fig. 15A의 자북위치들을 총체적으로 고찰할 때 주목되는 또 하나의 사실은 모든 자북들과 현 북극의 위치가 대략 한반도를 중심으로하는 동일 小圓帶 (즉, 동일 각지

리에 놓인다는 것이다. 이는 진교-사천지역, 대구 및 안동지역 그리고 중국대륙 모두가 중기 쥐라기-전기 백악기의 기간동안 현재와 같은 위도대에 머물어 있었음을 뜻하는 것이다 (Table 2의 고위도 값 참조).

한편 이 세 지역의 자북들이 총체적으로 동일 소원대에 있으나 지역별로 구분되는 무리를 이룸을 앞에서도 언급했다. 즉 진교-사천지역, 대구 및 안동지역, 중국대륙 등 각각의 자북들은 거명한 순서대로 남에서 북으로 서로 분리되는 경향을 보인다. 이러한 상황은 각 지역별의 평균자북 위치들을 구하여 보면 보다 가시화된다 (Fig. 15A, C). Fig. 15A의 흰 세모, 원, 네모 등의 표시는 각 지역의 평균자북 위치들인 바, 중국대륙의 것 (73.2°N , 208.79°E , $A_{95}=4.6^\circ$)은 Enkin et al. (1992)의 중기 쥐라기-중기 백

약기 데이터로부터, 진교-사천지역의 것 (61.3°N , 208.3°E , $A_{95}=5.4^{\circ}$)은 본 논문의 Table 2로부터 산출하였으며, 대구 및 안동지역의 것 (67.6°N , 205.1°E , $A_{95}=5.8^{\circ}$)은 Lee et al. (1987)의 SK I+II+III을 채택한 것이다. 이 평균자북 위치들을 통하여 부각되는 것은 지역 (지괴)들간의 상대적 변위나 회전운동의 가능성, 예를 들어서 대구 및 안동지역과 진교-사천지역의 중국대륙에 대한 시계방향 회전운동의 가능성이다.

지역 (지괴)들간의 상대적 변위운동 (displacement)여부를 정량적, 통계적으로 판별하기 위하여서는 각 지역 평균자북간의 거리를 구해내고 이 평균자북을 중심으로한 반경 A_{95} 의 원들이 서로 겹치는지를 검토하면 된다 (Fig. 15 C). 한쪽의 A_{95} 원내에 다른쪽의 평균자북이 들어오면 통계적 견지에서 상대적 변위는 없었다고 말할 수 있다. 각 자북간의 거리를 계산하면 중국대륙과 진교-사천지역간에서 11.9° , 중국대륙과 대구 및 안동지역간에서 5.7° , 진교-사천지역과 대구 및 안동지역간에서 6.4° 이다. 이 값들과 앞서의 A_{95} 값들에 의하면 진교-사천지역과 중국대륙 사이에는 각거리로 약 12° ($11.9^{\circ}\pm 10.00^{\circ}$)의 상대적 변위운동의 가능성이 나타난다. 그러나 중국대륙과 대구 및 안동지역간 ($5.7^{\circ}\pm 10.4^{\circ}$)이나 대구 및 안동지역과 진교-사천지역간 ($6.4^{\circ}\pm 11.2^{\circ}$)의 상대적 변위는 실질적으로 인정되지 않는다.

한편 중국대륙의 자북에 의거한 진교-사천지역에서의 기대위도 36.0°N 과 본 연구로 나타난 고위도 34.7°N , 그리고 현재의 위도 35.06°N 사이에는 별다른 차이가 나지 않으므로 남북방향의 상대적 변위의 가능성은 거의 무시될 수 있다.

끝으로 검토되어야 할 사항은 중국대륙과 진교-사천지역간의 상대적 수평회전운동의 가능성이다. 중국대륙의 자북에 의거한 진교-사천지역에서의 편각 기대치는 20.7° 인 반면 본 연구로 나타난 실제의 평균편각은 35.2° 였다. 이는 진교-사천지역이 중국대륙에 비하여 약 14.5° ($\pm 10.5^{\circ}$) 시계방향으로 회전되었음을 의미한다. 그러나 오차의 범위가 크므로 실질적으로 회전을 주장할 수 있는 논거는 미미하다. Lee et al. (1987) 역시 대구 및 안동지역이 중국대륙에 비하여 시계방향으로 약 9° ($\pm 11^{\circ}$) 회전된 듯한 연구결과를 얻었으나 데이터의 의미가 없는 것으로 결론지은 바 있다.

결 론

본 연구를 통하여 밝혀진 사항들을 간추리면 다음과 같다.

연구지역 지층들은 암상에 따라 확연히 구분되는 磁氣洗滌반응을 보인다. 적색세일과 적색사암들은 강하고 안정적인 잔류자기를 가지고 있으며 회색사암은 磁氣的으로 불안정하다. 녹색사암은 현재자기장의 강한 영향 (overprinting)을 받았으며 상당수의 시료들이 불안정한 세척습성을 보인다.

장석질 사암들과 일부 녹색사암들은 抗磁力 (coercivity, coercive force)과 세척온도 (unblocking temperature)에서 거의 중복이 되고있는 정자화와 역자화의 두 잔류자기성분으로 구성되어 있다. 따라서 세척시에 나타나는 자화방향의 변화는 大圓 (great circle, circle of remagnetization) 형이다.

진주층을 제외한 모든 지층들에서의 자성광물은 자철석과 적철석이며 진주층의 경우에는 자철석 단독인 것으로 추정된다.

연구지역 지층들이 單斜構造 (homocline)를 이루는 관계로 습곡검사 (fold test)는 불확정적인 것으로 나타났다. 그러나 다음과 같은 상황들은 각 지층들에서의 특성잔류자기 (ChRM)가 퇴적과 거의 동시에 형성된 1차잔류자기를 지지한다. 첫째, 현장 노두상태에서의 특성잔류자기 방향들이 현재의 지구자기장 방향과 다르다. 둘째, 지층경사 보정을 실시할 때 모든 지층에서 잔류자기방향의 군집도가 한결같이 증가된다. 셋째, 낙동층군, 하산동층, 함안층 등 대부분 지층들이 역자화검사 (reversal test)를 통과하고 있다. 넷째, 시대에 따른 磁北移動經路 (APWP)가 하위지층에서 상위지층으로 가면서 현재자북을 향하는 체계적인 변화를 보이며 Irving (1977)의 북Eurasia APWP와 유사한 모양을 하고 있다.

磁氣層序學的 견지에서 볼 때, 연구지층들 모두가 정자화와 역자화 두 성분을 함께 보유하고 있으므로 퇴적 시기는 124 Ma보다 빠른 Neocomian 혹은 그 이전이 될 것이다.

적색 세일층에서는 공통적으로 정자화가 압도되고 있는데 이는 퇴적이후의 자철석→적철석의 산화과정에서 정자화가 추가되었을 가능성을 시사한다. 그렇다면 적철석에 의한 적색의 암색은 후차적인 것이 되므로 암색을 따르는 종래의 지층분류는 적절하지 못하다.

진교-사천지역은 같은 경상분지인 대구 및 안동지역이나 중국대륙과 함께 중기 유라기-전기 백악기의 기간동안 현재와 같은 위도대에 머물어 있었다.

山東半島 以西의 중국대륙을 기준으로 하여서 진교-사천지역은 각거리로 약 12° ($11.9^{\circ}\pm 10.00^{\circ}$)의 상대적 변위운동 (displacement)을 하였을 가능성이 나타난다. 그러나 오차의 범위를 감안, 대구 및 안동지역에 대한 진교-

사천지역의 상대적 변위의 가능성 ($6.4^\circ \pm 11.2^\circ$)은 무시될 정도이다.

산동반도 以西의 중국대륙과 진교-사천지역 간의 잔류 자기 편각차이는 진교-사천지역이 이 중국대륙에 비하여 약 $14.5^\circ (\pm 10.5^\circ)$ 시계방향으로 회전 (rotation)된 것으로 나타난다. 그러나 이와같은 지괴회전운동을 확정적으로 단언하기에는 오차의 범위가 크다. 이 문제는 한반도를 포함하는 Tan-Lu fault 以東에서의 백악기 지구조운동의 특성을 규명하는 중요한 단서가 되는 것이므로 보다 정밀한 후속연구가 요망된다.

사 사

본 연구는 한국과학재단의 1990년도 목적기초연구 (연구책임자 : 이현구) 지원에 의하여 이루어졌으며, 일부는 동재단 후원 전략광물자원연구센터의 지원을 받았다. 필자들은 한국과학재단에 심심한 감사를 드리는 바이다.

참고문헌

- 고인석, 이영길 (1972) 진주·남해 지역 낙동층군에 대한 퇴적암석학적 연구. 지질학회지, 8권, p. 93-122.
- 김남장, 강필중 (1965) 한국지질도 (1:50,000), 진교도폭 및 설명서. 국립지질조사소.
- 김인수 (1988) 부산지역 백악기 대대포층에 대한 고자기학적 연구: 그의 층서적 지구조적 의의. 지질학회지, 24권, p. 211-233.
- 민경덕, 김옥준, 윤석규, 이대성, 주승환 (1982) 한국남부의 백악기말 이후의 화성활동과 광화작용에 대한 판구조론의 적용성 연구 (I). 광산지질, 15권, p. 123-154.
- 박창고, Scharon, R., Kienzle, J. (1967) 8-5와 5-15 항공자력 이상대에서의 백악기 암석의 이상잔류자기. 물리탐사보고, 1권, 국립지질조사소, p. 85-106.
- 서승조 (1985) 경상분지 중앙부 하부백악계의 지질과 고생물 (윤조화석). 경북대학교 이학박사학위논문, 177p.
- 양승영 (1976) 경상층군산 화석에 관하여-특히 수종의 연체동물 화석을 중심으로. 지질학회지, 12권, p. 23-30.
- 엄상호, 백광호, 이호영, 봉필윤 (1978) 경상계 퇴적환경연구 (1). 조사연구보고, 4호, 자원개발연구소, p. 9-34.
- 엄상호, 최현일, 손진담, 오재호, 광영훈, 신성천, 유현수 (1983) 경상분지의 경상누층군에 대한 지질 및 지화학적 연구. 연구특보, 36호, 한국동력자원연구소, 124 p.
- 이기동 (1990) 경상분지 백악계지층의 고자기학적 연구. 1989년도 전국대학 기초과학연구소 지구과학 (지질)분야 학술심포지움 발표논문집, 4집, 서울대학교 자연과학종합연구소, p. 43-57.
- 장기홍 (1977) 경상분지 상부중생계의 층서퇴적 및 지구조. 지질학회지, 13권, p. 76-90.
- 장기홍 (1980) 경상속의 지질시대. 지질학회지, 16권, p. 80.
- 장기홍 (1982) 상부중생대층 (백악계-경상누층군). 한국의 지질과 광물자원, 연세대학교 지질학과 동문회, p. 113-131.
- 정대교, 정창희 (1983) 경남, 문산지역 하부 하양층군의 퇴적 환경에 대한 연구. 지질학회지, 19권, p. 271-272.
- 최유구, 유병화 (1969) 한국지질도 (1:50,000), 사천도폭 및 설명서. 국립지질조사소.
- Chang, K. H. (1975) Cretaceous stratigraphy of southeast Korea. J. Geol. Soc. Korea, v. 11, p. 1-23.
- Choi, D. K. (1985) Spores and pollen from the Gyeongsang Supergroup, southeastern Korea and their chronologic and paleoecologic implications. J. Paleont. Soc. Korea, v. 1, p. 33-50.
- Choi, H. I. (1986a) Sedimentation and evolution of the Cretaceous Gyeongsang Basin, southeastern Korea. J. Geol. Soc. London, v. 143, p. 29-40.
- Choi, H. I. (1986b) Fluvial plain/lacustrine facies transition in the Cretaceous Sindong Group, south coast of Korea. Sediment. Geology, v. 48, p. 259-320.
- Choi, H. I. (1986c) Sandstone petrology of the Sindong Group, southwestern part of the Gyeongsang Basin. J. Geol. Soc. Korea, v. 22, p. 212-223.
- Choi, S. J. (1989) Fossil Charophytes from the Nagdong Formation in Seonsangun, Gyeongsangbukdo, Korea. J. Paleont. Soc. Korea, v. 5, p. 28-38.
- Enkin, R. J., Yang, Z., Chen, Y. and Courtillot, V. (1992) Paleomagnetic constraints on the geodynamic history of the major blocks of China. J. Geophys. Res., v. 97, p. 13953-13989.
- Fisher, R. A. (1953) Dispersion on a sphere. Proc. R. Soc. London, v. A217, p. 295-305.
- Fontaine, H. and Poumot, C. (1980) The Cretaceous of south Korea: New data from paleontology and geochemistry. Prov. agenda item Tech. Adv. Group 17, 17th Sess. CCOP, Bangkok.
- Halls, H. C. (1976) A least-square method to find a remanence direction from converging remagnetization circles. Geophys. J. R. astr. Soc., v. 45, p. 297-304.
- Harland, W. B., Armstrong, R. L., Cox, A., Craig, L. E., Smith, A. G. and Smith, D. G. (1990) A geologic time scale 1989. Cambridge Univ. Press, 263 p.
- Irving, E. (1977) Drift of major continental blocks since the Devonian. Nature, v. 270, p. 304-309.
- Ito, H. and Tokieda, K. (1980) An interpretation of paleomagnetic results from Cretaceous granites in south Korea. J. Geomag. Geoelectr., v. 32, p. 275-284.
- Kienzle, J. and Scharon, L. (1966) Paleomagnetic comparison of Cretaceous rocks from south Korea and Late Paleozoic and Mesozoic rocks of Japan. J. Geomag. Geoelectr., v. 18, p. 413-416.
- 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.
- Kirschvink, J. L. (1980) The least-squares line and plane and the analysis of palaeomagnetic data. Geophys. J. R. astr. Soc., v. 62, p. 699-718.
- Kobayashi, T. and Suzuki, K. (1936) Nonmarine shells of the Nakdong-Wakino Series. Japan. J. Geol. Geogr., v. 13, p. 243-258.
- Lee, G., Besse, J. and Courtillot, V. (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. R. astr. Soc.*, v. 8, p. 338-340.
- Myeong, J. O. (1980) Study of conchostracan fossil from the Jinju Formation of Nagdong Subgroup of Geongsang Group, Jinju area, Korea. M. S. Thesis. Seoul Nat. Univ., 40p.
- Otofujii, Y., Oh, J. Y., Hirajima, T., Min, K. D., and Sasajima, S. (1983) Paleomagnetism and age determination of Cretaceous rocks from Gyeongsang basin, Korean peninsula. In: *The Tectonic and Geologic Evolution of Southeast Asian Seas and Islands, Part 2*, *Geophys. Monogr. Ser.*, v. 27, Amer. Geophys. Union, 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.
- Tateiwa, I. (1929) *Geologic Atlas of Korea*, No. 10, Kyōngju, Yōngchōn, Taegu, Waegwan Sheets. *Geol. Surv. Chosen* (Korea).
- Yabe, H. (1905) Mesozoic plants from Korea. *J. Sci. Coll. Imp. Univ. Tokyo*, v. 20-8, p. 1-76.
- Yang, S. Y. (1975) On the new non-marine pelecypod genus from the Upper Mesozoic Gyeongsang Group of Korea. *Trans. Proc. Paleont. Soc. Japan*, N. S. No. 100, p. 177-187.
- Yang, S. Y. (1978) On the discovery of *Nippononaia ryosekiana* from the Gyeongsang Group, Korea. *J. Geol. Soc. Korea*, v. 14, p. 33-43.
- Yang, S. Y. (1979) Some new bivalve species from the Lower Gyeongsang Group, Korea. *Trans. Proc. Paleont. Soc. Japan*, N.S. No. 116, p. 223-234.
- Zijderveld, J. D. A. (1967) A. C. demagnetization of rocks: Analysis of results. In: *Collinson, D. W., Creer, K. M. and Runcorn, S. K. (Eds.), Methods in Palaeomagnetism*. Elsevier, p. 254-286.

1993년 8월 12일 원고접수