

진주 및 고령 지역에 분포하는 신라역암층의 잔류자화에 대한 고지자기 연구

김태성* · 민경덕* · 이윤수* · 이영훈* · 이동영**

Paleomagnetic Study on the Remanent Magnetization of the Silla Conglomerate Formation in Jinju and Goryeong Areas

Tae Sung Kim*, Kyung Duck Min*, Youn Soo Lee*, Young Hoon Lee* and Dong Young Lee**

ABSTRACT: 105 oriented samples (19 matrix samples, 86 cobble samples) were collected from the Silla Conglomerate Formation in Jinju and Goryeong areas to clarify the regional remagnetization of Cretaceous Kyongsang supergroup. Both the alternating field and thermal demagnetizations were conducted for the collected samples. The characteristic remanent magnetizations of these samples divided into three types in the Silla Conglomerate Formation: The ingredient magnetic minerals are magnetite, hematite, or both magnetite and hematite in a specimen. The characteristic remanent directions of cobble samples did not clustered to any direction. And the characteristic remanent directions of interbedded sandstones in the Silla Conglomerate Formation is $D/I=20.6^\circ/54.5^\circ$ ($\alpha_{95}=11.1^\circ$, $k=48.8$) after tilting correction, agree with previous paleomagnetic studies on the Hayang group. These results implied that conglomerate test was passed indicating no regional remagnetization in the studied area after deposition of the Silla Conglomerate Formation.

서 언

백악기 경상누층군에 대한 고지자기 연구는 과거 여러 연구자들에 의해 수행되어왔다 (ex. Otofujii *et al.*, 1983; Lee *et al.*, 1987; 김인수, 1988; 김인수 등, 1993a, 1993b; 도성재, 김광호, 1994; 도성재 등, 1994, 1996; 이윤수, 민경덕, 1995, Lee *et al.*, 1997). 연세대와 경도대의 한일공동연구에서 실시되고 있는 자기층서 및 자성광물 연구에 의하면, 진주층과 칠곡층의 특성잔류자화의 극성은 현재의 지자기 극성과 같은 백악기 정자기기 (Cretaceous Long Normal Superchron: 약 1억2천4백만년전 부터 8천4백만년전)의 한 부분에 해당된다는 것이 제안되고 있다. 이들 특성잔류자화들은 자철석과 적철석이 담당하고 있는 것으로 보고되고 있는데 그것들의 잔류자화들이 과연 일차자화인가를 증명하기 위한 역암실험 (conglomerate test)이 절실히 요청되어 왔다.

역암층이 재자화를 받지 않았다면 역들의 자화 방향이 제각기 배열하지만, 만일 재자화를 받았다면 이들의 방향이 특정 방향으로 재배열 되어 있을 것이다. 본 연구에서는 이러한 관점에서 고령 및 진주 지역에 분포하고 있는 신라역암층에 대한 역암실험을 실시하였고 이와 병행하여 역암의 종류와 역암의 특성잔류자화의 종류 및 성인을 규명함으로써 경상누층군을 대상으로한 자기층서 연구의 기반을 마련하고자 한다.

역암실험은 단순히 역암층 뿐만이 아니라 주변 층서와 관련하여 광역적인 범위의 자기층서에 대한 재자화 가능성을 규명할 수 있다.

지질 개요

본 연구 지역은 행정구역상 경상북도 고령군 삼대동, 오곡동, 우곡면과 경상남도 진주시 상일리, 소문리 일대로서 위, 경도 상으로는 각각 북위 $35^\circ 38' 00'' \sim 35^\circ 45' 00''$, 동경 $128^\circ 20' 00'' \sim 128^\circ 25' 00''$, 북위 $35^\circ 10' 00'' \sim 35^\circ 16' 00''$, 동경 $128^\circ 10' 00'' \sim 128^\circ 15' 00''$ 사이에 위치한다. 본 연구지역에는 백악기 퇴적암 및 화성암이 분포하고 있다.

* Department of Earth System Science, Yonsei University, Seoul 120-749, Korea

** Korea Institute of Geology, Mining and Minerals, Taejeon 305-350, Korea

Table 1. Stratigraphic correlation between the blocks in the Kyongsang Basin (Chang, 1975).

Yongyang Block	Uisung (Topyong) Block	Milyang Block
Yuchon Volcanic Group		
Shinyangdong Fm.		Konchonri Fm.
Kisadong Fm.	Chunsan Fm.	Chaeyaksan Volc. Fm.
		Songnaedong Fm.
Togyedong Fm.		Panyawol
Osippong Volc. Fm.	Sagok Fm.	Haman Fm.
	Chongryangsan	Hakpong Volc. Fm.
Kasongdong Fm.		
Tonghwach'i Fm.	Kugyedong Fm.	Ch'ilgok Fm.
	Kumidong Fm.	
	Paekehadong Fm.	
Ullyonsan Fm.	Hehik Fm.	
		Chinju Fm.
		Hasandong Fm.
		Naktong Fm.
		Hayang Group
		Shindong Group

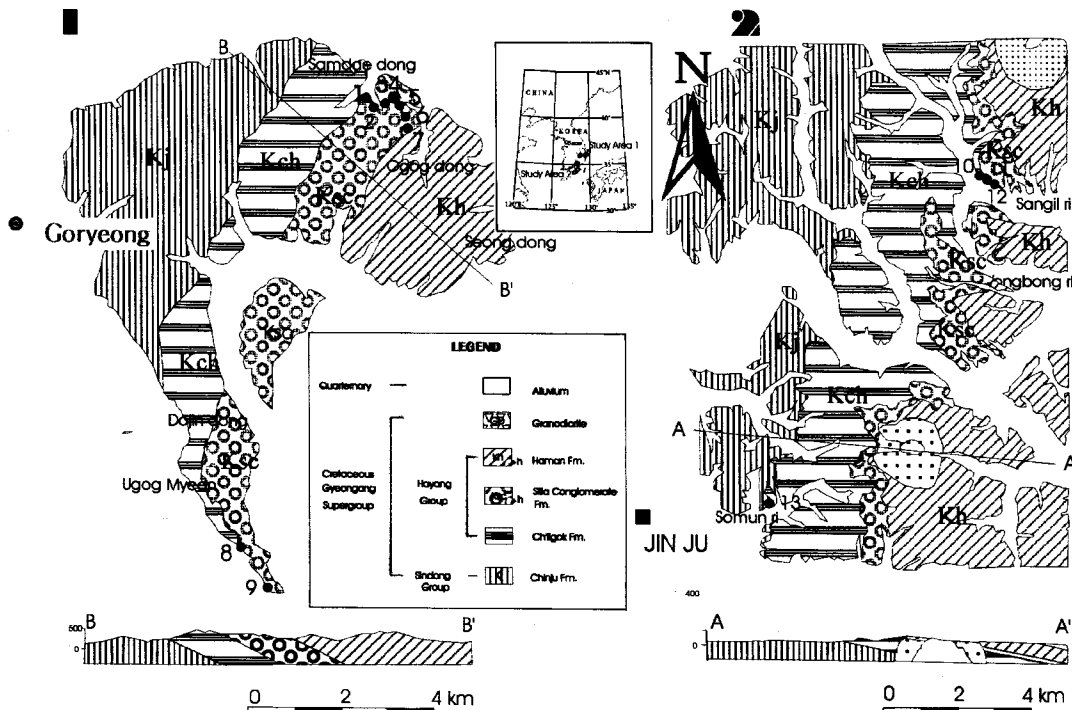


Fig. 1. Geologic map and sampling site map of the study area. (a) Goryeong area (After Kim *et al.*, 1970). (b) Jinju area (After Cho *et al.*, 1969). ●: Sampling site., 1: SS02, 2: SS03, 3: SS04, 4: SS05, 5: SS06, 6: SS07, 7: SS08, 8: BS01, 9: BS09, 10: US03, 11: US02, 12: US01, 13: JJ01.

Tateiwa (1929)에 의한 경상분지내 왜관, 대구, 영천, 경주의 1:50,000 도폭 지질조사가 실시된 이래로 본 백악

기 지층들의 대부분 지역에 대하여 비교적 상세한 조사 연구가 행하여져 왔으며, 이에따라 본 분지내의 퇴적암은

경상누층군으로 명명되었고 (장기홍, 1975; Lee, 1987) 하부로부터 신동층군, 하양층군, 그리고 유천층군으로 세분된다.

경상분지는 크게 영양, 의성, 그리고 밀양의 3개의 소분지로 나눌 수 있으며 (Table 1), 그 중 본 연구지역은 밀양소분지에 속한다. 경북 고령 지역에서 측정된 퇴적암층의 주향 및 경사는 $N18\sim30^{\circ}E$, $12\sim20^{\circ}SE$ 이고, 경남 진주 지역에서의 주향 및 경사는 $N12\sim35^{\circ}E$, $8\sim15^{\circ}SE$ 로써 다소 완만한 경사를 보인다 (Fig. 1).

지질 각론

신동층군

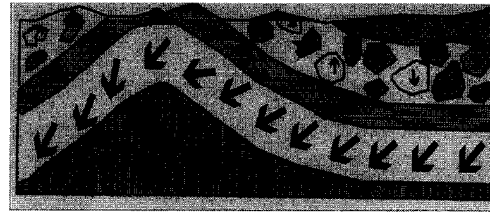
본 층군 (하부로부터 낙동층, 하산동층, 진주층)의 최상부층인 진주층은 주로 녹색사암, 회색사암, 암회색 내지 흑색 셰일로 구성되며, 층 전체내에서 부분적으로 석회질 결핵체가 관찰되기도 한다. 본 층은 적색층을 포함하지 않는다는 점에서 하부층인 하산동층 및 상부층인 칠곡층과 구별된다.

하양층군

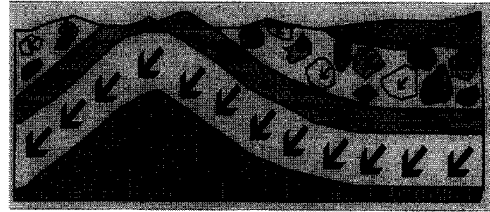
1,000~5,000 m의 두께로 퇴적된 하양층군 (하부로부터 칠곡층, 신라역암층, 함안층, 진동층)은 셰일, 사암 및 역암으로 구성되어 있으며, 부분적으로는 화산암층이 협재한다. 본 층군은 다량의 화산암편 및 화산암역들을 포함하여 하부층군인 신동층군과 구별된다 (장기홍, 1977).

칠곡층은 자색 셰일, 이암, 사암, 녹색색 내지 암회색 사암, 역질 사암, 응회암질 사암으로 구성되어 있으며, 특히 응회암질 사암이 본 층의 상부에 퇴적되어 있는 것이 관찰된다. 본 층에서는 적색층이 특징적으로 나타나며 이는 하위층인 진주층의 특징인 암회색내지 흑색 셰일과는 대조적이다.

신라역암층은 주로 역암으로 구성되어 있으며 역의 크기는 pebble~boulder까지 다양하고 자색 또는 회색의 역암, 역질 사암, 사암 및 이암 등으로 구성되어 있다. 특히 역암층을 구성하는 역의 종류는 편광현미경을 이용한 박편 관찰의 결과, 안산암, 화강암, 응회암질 사암, 석영질 사암, 적색 사암, 셰일 등으로 구성된다. 야외조사 결과, 신라역암층의 상하 경계부에서는 주로 pebble로 이루어져 있으며, 층의 중심부로 갈수록 boulder의 함유량이 많아지는 경향을 보인다.



(a)



(b)

Fig. 2. Conglomerate test. Arrows are directions of ChRM. (a) passage of conglomerate test. (b) failure of conglomerate test (Redrawn after Cox, Doell, 1960).

역암실험 (Conglomerate test)

역암실험에 대한 개요는 Fig. 2에 나타내었다. 역암층의 구성 역들은 고유의 잔류자화를 갖고 있던 주변 모암에서 떨어져 나와 퇴적됨에 따라 제각기 다른 잔류자화 방향을 갖고 퇴적된다. 만약 역들이 퇴적된 이후에 광역적인 재자화의 영향이 없었다면 역들의 특성잔류자화 방향은 Fig. 2a와 같이 불규칙적인 방향으로 향할 것이고 (이와 같은 경우를 역암실험을 통과하였다 (passage of conglomerate test)고 말할), 역층을 포함한 모암이 광역적인 재자화의 영향을 받지 않았다는 것을 의미한다. 역들이 퇴적된 이후에 광역적인 재자화의 영향이 있다면 Fig. 2b에서와 같이 역들의 특성 잔류자화 방향이 특정 방향을 향하게 될 것이며, 이와 같은 경우를 역암실험을 통과하지 못하였다 (failure of conglomerate test)라고 말한다. 또한 역암층의 역들이 재자화 받았다면 주변지층 또한 재자화 받았을 가능성이 있다. 그러므로 역실험은 역암층 뿐 만이 아니라 역암층의 주변 층서와 연관하여 광역적인 재자화의 여부를 규명하는데 기여할 수 있다.

고지자기 연구 방법

정향시료를 채취하기 위해서 휴대용 착암기로 착공후, orienting device를 이용하는 방법과 병행하여 tripod를 이용하여 고령의 9개 site 및 진주의 4개 site에서 기질 19개와 역 86개 총 105개의 정향시료를 채취하였다. 이와 같이 채취한 정향시료중 휴대용 착암기로 착공하여 얻은

시료에 대해서는 암석 절단기를 이용하여 곧바로 직경과 높이가 각각 2.4 cm인 원주형 표품시료 (specimen)를 제작하였다. tripod로 취한 정향시료의 경우는 실내에서 석고를 이용, 정향시료의 주향과 경사를 포함하는 평면이 실내 시추기의 비트에 수직이 되도록 고정시킨후 굴착하고, 굴착으로 취한 core형태의 시료를 암석 절단기를 이용하여 직경과 높이가 각각 2.4 cm인 원주형 표품시료를 제작하였다.

표품시료에 대하여 먼저 초기 대자율과 초기 잔류자기를 측정후 화성암류의 경우는 교류 소자실험을 실시하였는데 자화강도가 초기치의 10% 이하로 줄어들지 않는 시료들에 대해서는 다시 열 소자실험을 실시하고, 비화성암류의 경우는 곧바로 열 소자실험을 실시하였다. 교류 소자실험은 최초 5 mT로 부터 시작하여 5~10 mT의 간격으로 최고 90 mT까지 단계별로 실시하였고, 열 소자실험은 최초 100°C부터 시작하여 20~100°C의 간격으로 최대 680°C까지 단계적으로 실시하였다. 각 단계의 소자실험이 끝날 때마다 잔류자화 값을 spinner magnetometer를 이용하여 측정하였다. 본 실험에 사용된 기기는 자원연구소 및 고려대학교에서 보유하고 있는 Shonstedt 및 Molspin사의 spinner magnetometer와 교류 및 열 소자기 등을 이용하였다.

소자실험후 측정된 잔류자화 값에 대해서는 Stereo net과 Zijdeveld diagram 상에 plotting 한 후 PCA (Principal Component Analysis)법을 이용 (Kirschvink, 1980)하여 특성잔류자화 (ChRM)를 추출하였다.

또한 대표적인 시료의 박편 40개를 제작하여 이들을 구성하고 있는 광물의 조직적인 특징을 편광현미경, 반사현미경 및 전자현미경 (SEM)을 통하여 관찰하고, 소자거동과 비교하여 자성광물의 종류를 규명하였다.

연구 결과 및 해석

본 연구에서 신라역암층을 구성하는 역의 종류는 안산암, 응회암, 응회암질 사암, 석영질 사암, 화강암 등으로 나타났다. 역들의 초기 대자율값에 대한 초기 자화강도 값의 변화 양상은 사암역이나 화강암역이 비교적 작은 초기 대자율치와 초기 자화강도 값을 가지고 있는 반면 화산암역의 경우는 대부분 비교적 좁은 초기 대자율의 범위 내에서 다양한 초기 자화강도 값을 나타냈다 (Fig. 3). 화산암 역들의 초기 자화강도 값이 이와 같이 다양하게 나타나는 것은 시료내에 포함되어있는 자성 광물의 크기나 종류의 다양성에 기인한 것으로 해석된다. 본 연구에서는 소자 결과로부터 얻어진 자화거동에 기인하여

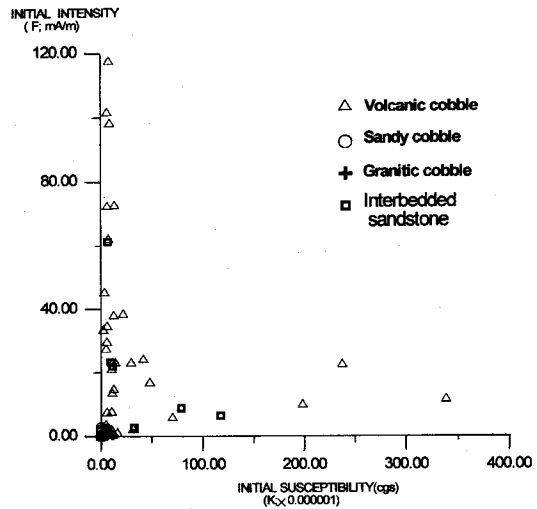


Fig. 3. Initial intensity versus initial susceptibility of various cobbles and interbedded sandstones in the Silla Conglomerate Formation.

시료들의 자화를 3 type으로 나누었으며 이를 아래에 서술하였다.

자철석을 포함하고 있는 시료 (m-type)

열 소자에 따른 잔류자화의 강도 변화양상의 첫번째 경우는 Fig. 4와 같이 초기 잔류자화강도의 대부분이 약

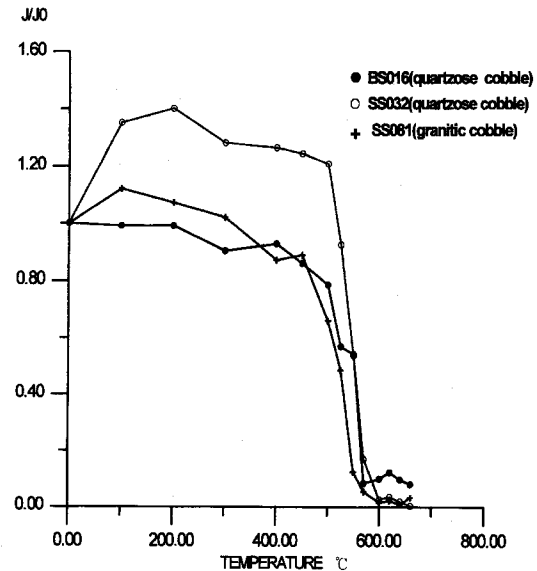


Fig. 4. Variation of remanent magnetization against heating temperature of some typical specimens. The ingredient magnetic minerals are magnetites.

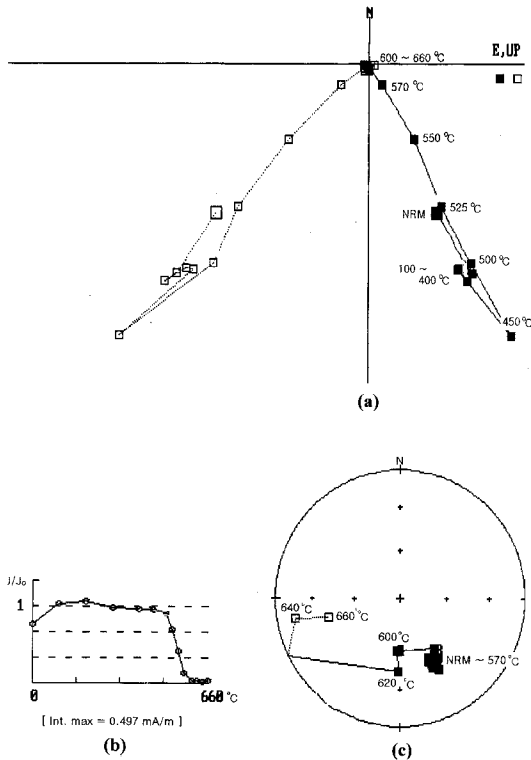


Fig. 5. Result of the thermal demagnetization for sample No. SS032 (sandy cobble). (a) Zijderveld diagram. Open (solid) circles denote vertical (horizontal) components. (b) normalized demagnetization curve. (c) equal-area diagram of remanent magnetization.

580°C에서 급격히 감소하는 시료들로서, 이는 시료를 구성하는 자성광물이 주로 자철석으로 되어 있음을 지시한다. Fig. 5는 이러한 양상을 보이는 시료의 대표적인 실험 결과이다. 이 시료 (SS032)의 경우 500~570°C 구간에서 경사보정 전의 방향이 $Dg/Ig=157.2^\circ/46.1^\circ$, 보정 후에는 $Ds/Is=150.2^\circ/39.4^\circ$ 을 나타내었다.

적철석을 포함하고 있는 시료 (h-type)

열소자에 따른 잔류자화의 강도 변화양상의 두번째 경우는 Fig. 6과 같이 잔류자화강도의 대부분이 약 680°C에서 급격히 감소하는 시료들로서, 이는 본 시료를 구성하는 자성광물이 주로 적철석을 지시한다. Fig. 7은 이러한 양상을 보이는 시료의 열 소자실험 후의 잔류자화 방향 및 크기의 변화를 나타낸 결과이다. 이 시료 (SS033)의 경우 620~680°C 구간에서 경사보정 전의 방향이 $Dg/Ig=7.7^\circ/-7.1^\circ$, 보정 후에는 $Ds/Is=6.6^\circ/-5.7^\circ$ 을 나타낸다.

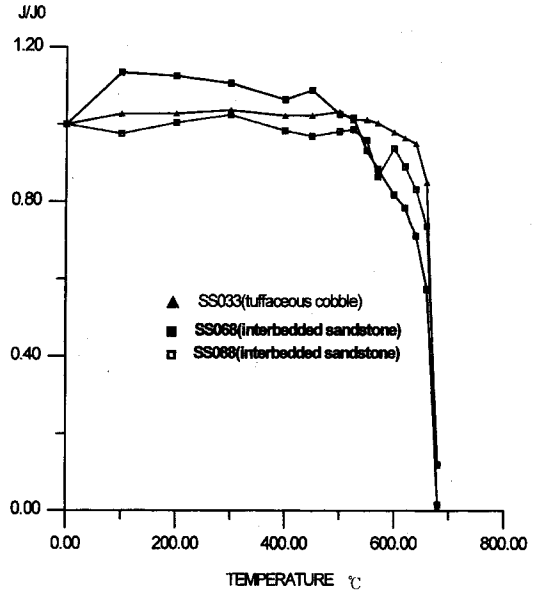


Fig. 6. Variation of remanent magnetization against heating temperature of some typical specimens. The ingredient magnetic minerals are hematite.

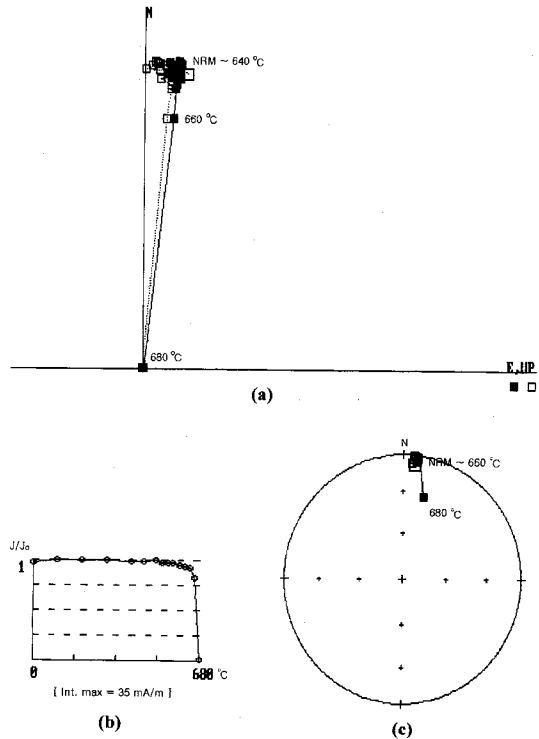


Fig. 7. Result of the thermal demagnetization for sample No. SS033 (tuffaceous cobble). (a) Zijderveld diagram. Open (solid) circles denote vertical (horizontal) components. (b) normalized demagnetization curve. (c) equal-area diagram of remanent magnetization.

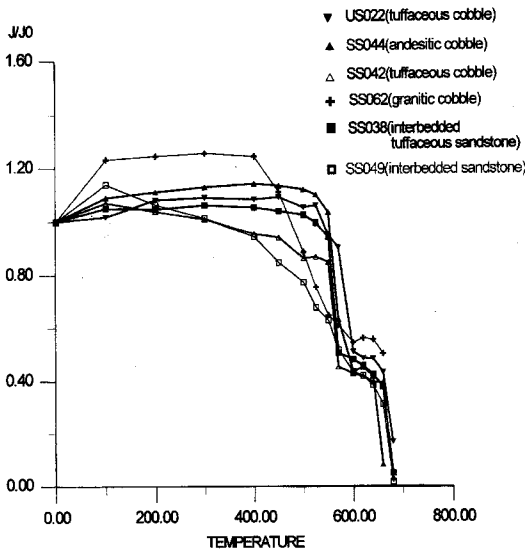


Fig. 8. Variation of remanent magnetization against heating temperature of some typical specimens. The ingredient magnetic minerals are magnetites and hematite.

자철석 및 적철석을 함께 포함하고 있는 시료 (mh-type)

열 소자에 따른 잔류자화의 강도 변화양상의 세번째 경우는 Fig. 8과 같이 약 580°C, 그리고 약 680°C에서 잔류자화의 강도가 급격한 감소를 보이는 시료들로 이러한 경우는 한 시료 내에 자철석과 적철석이 공존함을 지시한다. Fig. 9는 이러한 양상을 보이는 시료의 실험 결과이다. 이 시료 (SS044)의 경우 자철석 성분은 550~570°C 구간에서 경사보정 전의 방향이 $Dg/Ig=145.7^\circ/10.7^\circ$, 보정 후에는 $Ds/Is=144.9^\circ/3.1^\circ$ 을 나타내고, 적철석 성분은 620~660°C 구간에서 경사 보정 전의 방향이 $Dg/Ig=171.6^\circ/19.5^\circ$, 보정 후에는 $Ds/Is=168.7^\circ/15.3^\circ$ 을 나타낸다.

편광현미경 및 전자현미경을 이용한 박편 관찰

편광현미경을 이용한 박편 관찰시 소자거동을 통해 자철석을 함유하고 있는 것으로 확인된 시료의 불투명 광물 형태가 화성암 내에서는 cubic의 자형형태로 산출되고 퇴적암 내에서는 쉘설성의 형태를 갖는 것이 관찰되며, 이는 일차적으로 형성된 자철석으로 추정된다. 자철석과 적철석을 함께 함유하고 있는 것으로 확인된 시료의 경우 자형과 타형의 불투명 광물이 공존하고 있음이 관찰되며, 경우에 따라서는 연갈색에서 적색의 색상을 보이는 비정질 (red pigment)이 관찰되었다. 자형의 불투명 광물은

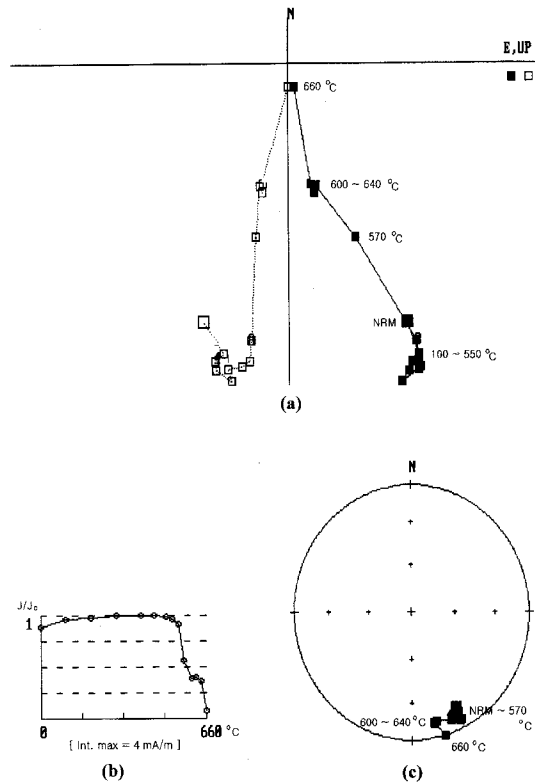


Fig. 9. Result of the thermal demagnetization for sample No. SS044 (andesitic cobble). (a) Zijderveld diagram. Open (solid) circles denote vertical (horizontal) components. (b) normalized demagnetization curve. (c) equal-area diagram of remanent magnetization.

자철석이나 적철석으로, 타형의 불투명 광물은 이차적인 충진에 의해 형성된 적철석으로 추정된다.

신라역암층을 구성하는 역 및 기질의 대표적인 암석시료를 선정하고 연마편을 제작하여 전자현미경 (SEM) 상에서의 관찰을 실시하였다. 경남 진주의 US01 site에서 채취한 US015 시료는 안산암 역 (andesitic cobble)으로 전자현미경을 이용한 관찰결과 10~50 μm의 크기를 갖는 자형의 자철석과 함께 1~100 μm의 크기를 갖는 적철석을 확인할 수 있었다 (Fig. 10). 자철석의 경우 작은 ilmenite lamellae를 수반하며 적철석의 경우 휘석결정으로 보이는 가상 (pseudomorph)을 치환하고 이차적으로 형성되었음이 확인되었다. 경북 고령의 SS08 site에서 채취한 SS82 시료는 화강암 역 (granitic cobble)으로 3~5 μm의 자형의 자철석과 (Fig. 11a) 2~5 μm의 타형의 적철석이 확인되었다 (Fig. 11b). 자형의 자철석은 마그마가 냉각되며 초기에 정출된 것으로, 또 rose상의 적철석은 화강암이 생성된 후 이차적으로 형성된 것으로 사료된다.

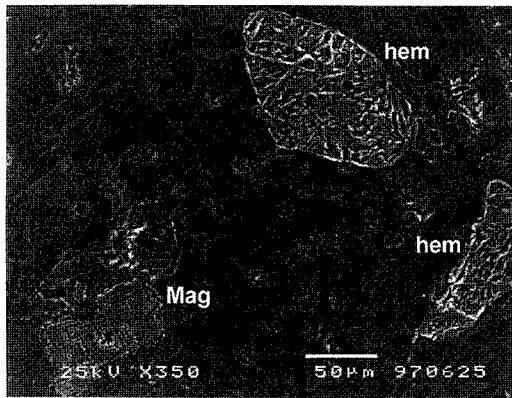


Fig. 10. Thin-section photo-micrograph under reflected light (sample US015, andesitic cobble). Typical magnetite showing ilmenite lamellae is on the left corner and hematite oxydized from a pseudomorphic grain (originally pyroxene?) is on the upper right side of the seen.

각 site 별 역암실험의 결과

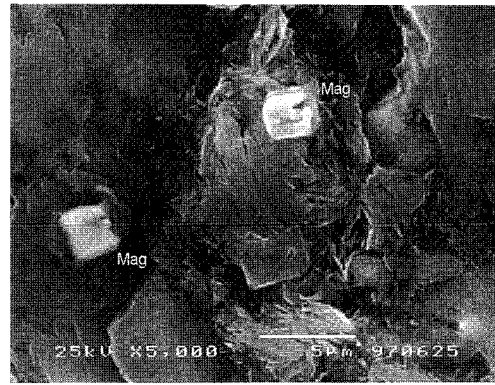
특성 잔류자화의 분리는 Kirschvink (1980)의 PCA (Principal Component Analysis) 방법에 의하여 실시하였고, 그 결과로 자철석 성분과 적철석 성분에 의한 잔류자화 방향을 추출하였다 (Table 2). 이렇게 구한 잔류자화의 방향은 각 site별로 Schmidt net상에 도시하였다 (Fig. 12a~e). Fig. 12a~c와 Fig. 12d~e는 각각 경남 진주와 경북 고령에서의 대표적인 site로부터 구한 잔류자화 방향을 나타낸 것이다.

Fig. 12a는 US03 site에서 취한 역들의 잔류자화 방향을 Schmidt net상에 도시한 것으로 전체적으로 분산된 결과를 보이고 있으나, 한 시료내에서 자철석과 적철석 성분 모두 존재하는 시료 1과 시료 6의 경우 자철석과 적철석 성분의 잔류자화 방향이 비교적 비슷한 것을 알 수 있다.

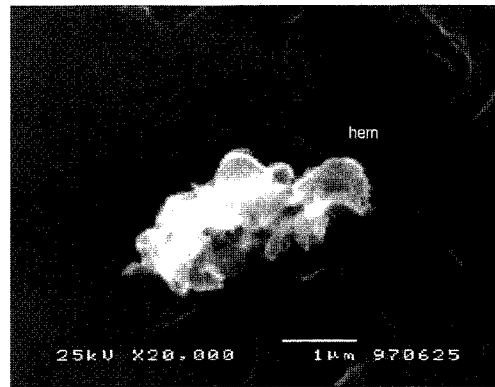
Fig. 12b는 JJ01 site에서 취한 역들의 잔류자화 방향을 Schmidt net상에 도시한 것으로 전체적으로 분산된 결과를 보이나 자철석과 적철석 성분 모두 존재하는 시료 1의 경우 자철석과 적철석 성분의 잔류자화 방향이 비슷한 방향을 나타내고 있다.

Fig. 12c는 US01 site의 역암층내에 협재하는 사암의 잔류자화에 대한 결과 (Table 3)로 기존의 연구 결과와 함께 도시할 때 α_{95} 신뢰 타원이 겹치는 것을 확인할 수 있다. US01 site에서의 경사보정 전의 평균 자화방향은 $Dg/ Ig = 12.4^\circ/51.1^\circ$ ($\alpha_{95} = 11.1^\circ$, $k = 48.8$)이었고, 보정 후에는 $Ds/ Is = 21.4^\circ/56.5^\circ$ ($\alpha_{95} = 11.1^\circ$, $k = 48.8$)이었다.

Fig. 12d는 고령의 BS09 site 역들의 잔류자화에 대한 결과로써 전체적으로 분산된 결과를 보인다.



(a)



(b)

Fig. 11. Thin-section photo-micrograph under reflected light (sample SS082, granitic cobble) (a) euhedral magnetite. (b) anhedral hematite.

Fig. 12e는 고령 SS02 site에서 취한 역들의 잔류자화에 대한 결과로써 전체적으로 분산된 결과를 보이고 있으나 자철석과 적철석 성분이 모두 존재하는 시료 1번과 시료 2번의 경우 자철석 성분과 적철석 성분이 서로 비슷한 방향을 나타내고 있는 것을 알 수 있다.

이상의 결과를 종합할 때 진주지역에서의 신라역암층에 협재하는 사암에 대한 잔류자화 방향은 기존의 경상누층군에 대한 연구결과와 잘 일치함에 반하여, 역들의 잔류자화 방향은 기존의 경상누층군의 잔류자화 방향과 일치하지 않고 또한 특정 방향으로 군집되지 않은 분산된 방향을 보임으로써 역암실험이 통과하였음을 확인할 수 있다.

토 의

경상누층군에 있어서의 재자화 논란

Otofuji *et al.* (1983)은 경상분지의 5개 장소로부터 낮은

Table 2. Paleomagnetic data from the Silla Conglomerate Formation in Goryeong and Chinju areas.

No.	Specimen No.	Site No.	Magnetite component			Hematite component			Lithology	Rock color
			(Dg Ig)	(Ds Is)	Range (°C)	(Dg Ig)	(Ds Is)	Range (°C)		
1	US011		7.0/56.2	16.4/60.0	300-450	44.1/-27.4	40.5/-27.0	620-680	tuffaceous cobble	red
	"		11.5/39.8	16.8/43.4	500-600	-	-	-	"	"
2	US012		-	-	-	147.8/9.6	147.6/2.8	620-680	tuffaceous cobble	red
3	US013		-	-	-	334.1/2.1	334.4/8.7	600-680	tuffaceous cobble	red
4	US014		-	-	-	-	-	-	tuffaceous cobble	puple
5	US015		101.7/8.4	102.1/2.5	525-570	318.5/-39.7	318.2/-32.7	600-680	andesitic cobble	red
6	US016		-	-	-	311.1/-36.9	311.4/-29.9	600-680	andesitic cobble	red
7	US017	US01	23.1/60.4	35.5/62.3	450-600	-	-	-	interbedded tuffaceous sandstone	red
8	US018		-	-	-	90.2/-31.6	86.8/-36.4	570-620	interbedded tuffaceous sandstone	red
9	US019		18.6/57.0	29.2/59.5	525-600	18.0/35.2	22.8/38.1	620-680	interbedded tuffaceous sandstone	red
10	US01A		357.9/50.0	4.5/54.9	450-570	6.1/51.5	13.8/55.1	620-680	interbedded tuffaceous sandstone	red
11	US01B		194.0/77.2	174.3/72.5	500-550	132.4/44.4	132.7/37.4	570-620	interbedded tuffaceous sandstone	red
12	US021	US02	-	-	-	346.4/7.9	347.2/13.8	620-680	andesitic cobble	red
13	US022		35.5/-70.1	18.1/-67.9	525-570	88.0/-67.2	72.9/-71.3	620-680	tuffaceous cobble	green
14	US023		28.7/54.9	38.7/56.3	NRM-300	-	-	-	tuffaceous cobble	green
15	US024		-	-	-	220.7/-24.6	223.9/-24.9	640-680	tuffaceous cobble	green
	"		-	-	-	221.8/-16.2	223.9/-16.4	640-680	"	"
16	US025		236.4/63.5	222.2/64.0	NRM-300	-	-	-	tuffaceous cobble	red
17	US026		209.2/1.0	209.2/-0.9	500-600	212.5/-14.0	214.3/-15.4	620-680	andesitic cobble	red
18	US031		41.7/77.6	71.5/76.1	M300-900	71.2/45.6	77.1/42.2	600-680	andesitic cobble	blown
19	US032		193.4/13.1	192.1/9.4	NRM-300	-	-	-	tuffaceous cobble	red
20	US033	US03	300.6/-49.1	302.2/-42.3	M200-800	-	-	-	tuffaceous cobble	green
21	US034		358.0/5.3	358.7/10.3	450-570	-	-	-	tuffaceous cobble	green
22	US035		-	-	-	103.3/-37.9	100.0/-43.7	640-680	andesitic cobble	red
23	US036		300.1/6.3	299.8/13.0	550-600	317.5/-21.6	317.4/-14.6	620-680	andesitic cobble	red
24	US037		-	-	-	354.3/16.8	355.9/22.1	525-680	andesitic cobble	red
25	JJ041	JJ01	268.3/48.9	265.6/59.8	500-600	259.6/48.9	254.4/59.3	620-680	tuffaceous cobble	puple
26	JJ042		-	-	-	64.4/-6.6	63.2/-15.8	570-680	andesitic cobble	puple
27	JJ043		-	-	-	290.4/-29.8	289.3/-19.1	550-680	tuffaceous cobble	gray
28	BS011		334.1-58.4	345.7/66.5	500-570	-	-	-	quartzose cobble	gray
29	BS012		278.5/32.2	275.2/41.2	500-550	-	-	-	quartzose cobble	gray
30	BS013		-	-	-	249.0/69.6	220.9/73.5	NRM-660	quartzose cobble	gray
31	BS014	BS01	183.6/67.0	167.3/60.9	450-550	-	-	-	quartzose cobble	gray
	"		200.2/71.5	176.0/67.2	450-550	-	-	-	"	"
32	BS015		-	-	-	285.5/35.1	282.8/44.6	NRM-660	quartzose cobble	gray
33	BS016		124.2/58.9	124.0/48.9	500-570	-	-	-	quartzose cobble	gray
34	BS017		290.9/53.6	286.9/63.3	NRM-450	-	-	-	tuffaceous cobble	red
	"		278.7/24.2	276.4/33.3	400-525	-	-	-	"	"
35	SS021	SS02	90.5/5.03	90.3/-11.4	525-600	106.5/13.8	106.4/-3.2	600-680	andesitic cobble	puple
	"		109.9/-0.2	110.1/-17.1	M900-525	-	-	-	"	"
36	SS022		194.5/-7.8	196.8/-7.6	525-570	200.2/0.3	199.9/1.8	620-680	tuffaceous cobble	puple
37	SS023		-	-	-	178.4/50.6	161.7/43.4	NRM-660	quartzose cobble	pale red
38	SS024		-	-	-	127.2/8.0	127.2/-7.8	600-680	andesitic cobble	puple
39	SS025		-	-	-	186.4/62.3	159.8/55.7	NRM-680	tuffaceous cobble	gray
40	SS026		-	-	-	28.0/60.0	51.5/52.6	620-680	andesitic cobble	red
41	SS027	SS02	309.5/44.9	320.6/59.7	500-550	-	-	-	granitic cobble	gray
42	SS028		-	-	-	326.8/2.4	328.6/15.0	620-680	interbedded sandstone	puple
43	SS029		-	-	-	256.9/49.1	242.0/63.1	620-680	interbedded sandstone	puple

Table 2. Continued.

No.	Specimen No.	Site No.	Magnetite component			Hematite component			Lithology	Rock color
			(Dg Ig)	(Ds Is)	Range (°C)	(Dg Ig)	(Ds Is)	Range (°C)		
44	SS032		157.2/46.1	150.2/39.4	500-570	-	-	-	quartzone cobble	gray
45	SS033		-	-	-	7.7/-7.1	6.6/-5.7	620-680	tuffaceous cobble	gray
46	SS034		-	-	-	161.9/38.6	156.1/32.7	620-680	tuffaceous cobble	red
47	SS035	SS03	-	-	-	212.8/47.5	201.7/49.6	NRM-660	quartzone cobble	pale red
48	SS036		275.3/70.4	265.8/80.1	550-600	278.5/61.0	275.4/70.9	620-680	tuffaceous cobble	red
49	SS037		-	-	-	151.6/42.0	146.1/34.8	NRM-660	sandstone	gray
50	SS038		265.0/-2.8	264.9/6.6	525-570	271.0/-2.5	270.9/7.2	600-680	interbedded	red
									tuffaceous sandstone	
51	SS039	SS03	146.4/57.9	138.0/49.9	550-600	179.2/69.7	157.5/65.1	620-680	interbedded	brown
									tuffaceous sandstone	
52	SS041		-	-	-	179.7/48.9	169.5/45.4	NRM-680	sandy cobble	pale red
53	SS042		132.1/0.9	132.4/-8.0	525-600	223.8/47.3	213.1/51.3	620-680	tuffaceous cobble	red
54	SS043		-	-	-	35.4/0.7	35.2/-2.6	640-680	tuffaceous cobble	gray
55	SS044		145.7/10.7	144.9/3.1	550-600	171.6/19.5	168.7/15.3	620-660	andesitic cobble	red
56	SS045	SS04	-	-	-	87.2/61.3	91.3/51.6	NRM-680	granitic cobble	puple
57	SS046		-	-	-	133.4/63.1	126.5/54.0	NRM-660	quartzose cobble	gray
58	SS047		239.0/72.2	206.2/77.1	300-500	-	-	-	granitic cobble	gray
59	SS048		345.5/46.2	355.7/50.3	525-600	67.5/24.3	69.7/16.3	640-680	interbedded	brown
									sandstone	
60	SS049		39.8/54.8	51.0/49.7	550-600	73.3/40.2	76.9/31.5	620-680	interbedded	brown
									sandstone	
61	SS051		-	-	-	108.1/38.7	108.5/22.7	NRM-660	granitic cobble	gray
62	SS052	SS05	-	-	-	10.7/12.2	10.7/12.2	NRM-680	granitic cobble	pale red
63	SS053		167.6/46.3	156.6/36.1	500-550	137.3/54.6	130.5/39.8	600-680	sandy cobble	puple
64	SS054		-	-	-	110.5/62.0	110.6/46.0	NRM-660	granitic cobble	gray
65	SS055		-	-	-	112.6/44.4	112.3/28.4	NRM-660	quartzose cobble	gray
66	SS056	SS05	-	-	-	106.4/77.6	108.9/61.7	NRM-660	granitic cobble	gray
67	SS057		-	-	-	152.9/29.9	148.4/17.5	NRM-660	quartzose cobble	gray
68	SS061		173.6/51.7	157.3/44.7	300-450	-	-	-	granitic cobble	gray
	"		168.3/50.5	153.6/42.4	500-550	-	-	-	"	"
69	SS062		172.1/60.1	151.1/52.1	400-570	173.2/61.4	151.0/53.5	600-680	granitic cobble	brown
70	SS063		166.8/65.9	143.1/56.2	525-570	198.2/66.8	163.3/63.8	600-680	granitic cobble	brown
71	SS064	SS06	-	-	-	264.3/61.8	245.9/76.4	NRM-680	granitic cobble	pale red
72	SS065		97.2/33.5	97.7/17.6	500-550	114.2/48.8	111.4/33.1	570-660	sandy cobble	pale red
73	SS066		-	-	-	38.4/17.7	41.9/9.9	640-680	granitic cobble	red
74	SS067		240.3/68.4	194.0/76.1	450-570	72.9/38.7	77.2/24.3	600-680	sandy cobble	gray
75	SS068		-	-	-	145.7/61.9	131.4/49.1	600-680	sandy cobble	brown
76	SS069		-	-	-	228.8/40.0	215.3/48.3	NRM-680	sandy cobble	brown
77	SS071		-	-	-	299.3/70.9	231.3/86.9	NRM-660	quartzose cobble	gray
78	SS072		-	-	-	328.2/61.5	351.9/77.6	NRM-660	sandy cobble	gray
79	SS073		-	-	-	289.1/58.7	266.2/74.0	640-680	quartzose cobble	gray
80	SS074		-	-	-	56.9/54.1	76.6/46.2	NRM-680	quartzose cobble	gray
81	SS075	SS07	-	-	-	320/61.9	334.4/79.3	NRM-660	quartzose cobble	gray
82	SS076		-	-	-	45.3/64.0	76.3/46.2	NRM-660	quartzose cobble	gray
83	SS078		-	-	-	291.7/-4.3	291.3/12.7	NRM-680	interbedded	brown
									sandstone	
84	SS079		-	-	-	114.2/6.5	114/-10.7	NRM-680	interbedded	brown
									sandstone	
85	SS081		244.9/60.4	216.7/65.2	525-600	-	-	-	granitic cobble	gray
86	SS082		-	-	-	318.3/75.2	43.6/86.1	620-680	granitic cobble	puple
87	SS083	SS08	-	-	-	349.0/69.8	35.7/75.6	NRM-660	quartzose cobble	gray
88	SS084		-	-	-	15.2/-26.4	9.0/-21.0	NRM-660	quartzose cobble	gray
89	SS085		-	-	-	260.5/30.7	252.6/41.1	620-680	granitic cobble	puple
90	SS086		252.7/55.5	230.3/62.9	300-500	-	-	-	granitic cobble	gray
91	SS087		-	-	-	184.2/76.4	152.3/65.4	NRM-680	quartzose cobble	pale red

Table 2. Continued.

No.	Specimen No.	Site No.	Magnetite component			Hematite component			Lithology	Rock color
			(Dg Ig)	(Ds Is)	Range (°C)	(Dg Ig)	(Ds Is)	Range (°C)		
92	SS088	SS08	-	-	-	53.9/-0.3	53.2/-5.6	640-680	interbedded sanstone	brown
93	SS089		-	-	-	294.9/32.1	292.9/46.9	640-680	interbedded sanstone	brown
94	BS091		-	-	-	2.9/10.2	5.9/17.0	640-680	granitic cobble	pale red
95	BS092		-	-	-	317.2/-3.5	317.4/10.0	NRM-660	quartzose cobble	gray
96	BS093		-	-	-	181.5/73.2	156.1/63.2	570-660	quartzose cobble	gray
97	BS094		-	-	-	54.6/26.0	60.1/20.2	640-680	andesitic cobble	red
98	BS095		116.9/-5.1	116.5/-19.0	M300-800	-	-	-	tuffaceous cobble	red
99	BS096	BS09	205/39.7	194.8/36.5	M300-900	-	-	-	andesitic cobble	puple
100	BS097		-	-	-	145.0/17.2	144.0/4.2	620-680	trachytic cobble	puple
101	BS098		142.5/59.9	137.1/46.5	500-570	158.5/16.9	156.9/5.4	640-680	interbedded sandstone	red
102	BS099		256.0/54.9	236.5/62.7	525-600	253.4/44.3	240.3/52.2	620-680	interbedded sandstone	red

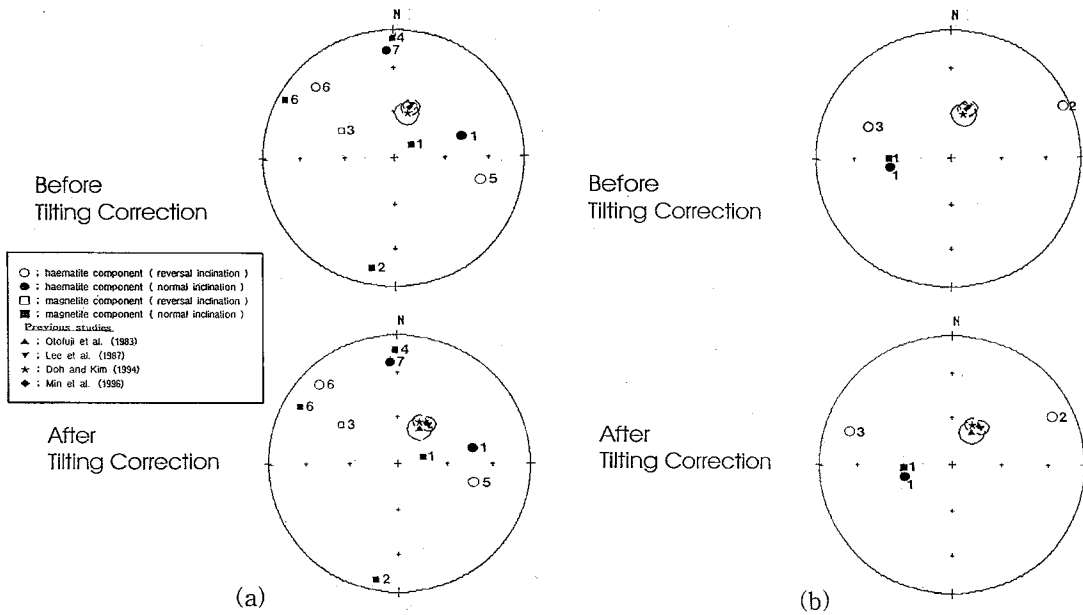


Fig. 12. Schmidt projection of cobbles' characteristic remanent direction. The numbers represent specimen numbers. Solid and open circles (squares), are projection on the lower and upper hemisphere of hematite (magnetite) respectively. (a) site US03. (b) site JJ01. (c) Site-mean directions of the interbedded sandstones at the sampling site US01. (d) site BS09. (e) site SS02.

소자준위의 실험을 통하여 $D=27^\circ, I=62^\circ$ ($\alpha_{95}=8^\circ$)의 결과를 얻었다. Lee *et al.* (1987)은 대구 및 안동 지역에서의 고지자기 연구를 통하여 더 높은 소자준위까지 실험을 실시한 후 경상누층군의 잔류자화를 기록하고 있는 자성 광물이 낮은 온도 성분인 A component와 높은 온도 성분인 B component로 이루어져 있고, 대구 지역에서의 낮은 온도 성분인 A component의 특성 잔류자화 방향 ($D/I=24^\circ/62^\circ, \alpha_{95}=8^\circ$)이 습곡실험을 통과하지 못함으로 인해 이를 재자화에 의한 방향으로 결론짓고, Otofui *et al.* (1983)의

결과는 재자화된 자화방향임을 주장하였다. 비록, Lee *et al.* (1987)이 자신들이 구한 평균값과 Otofui *et al.* (1983)의 평균값이 95%의 신뢰도내에서 통계적으로 구별되지 않는 것에 대해서는 설명하지 못하였음에도 불구하고, 만약 Lee *et al.* (1987)의 주장대로 Otofui *et al.* (1983)의 결과가 재자화에 의한 것이라면 경상분지 전반에 걸친 광역적인 재자화의 가능성을 검토하지 않으면 안된다. 그러나 본 연구에서 수행된 역암실험에 의하면 경상분지에 대한 광역적인 재자화의 영향은 그다지 심각하지 않음이 밝혀

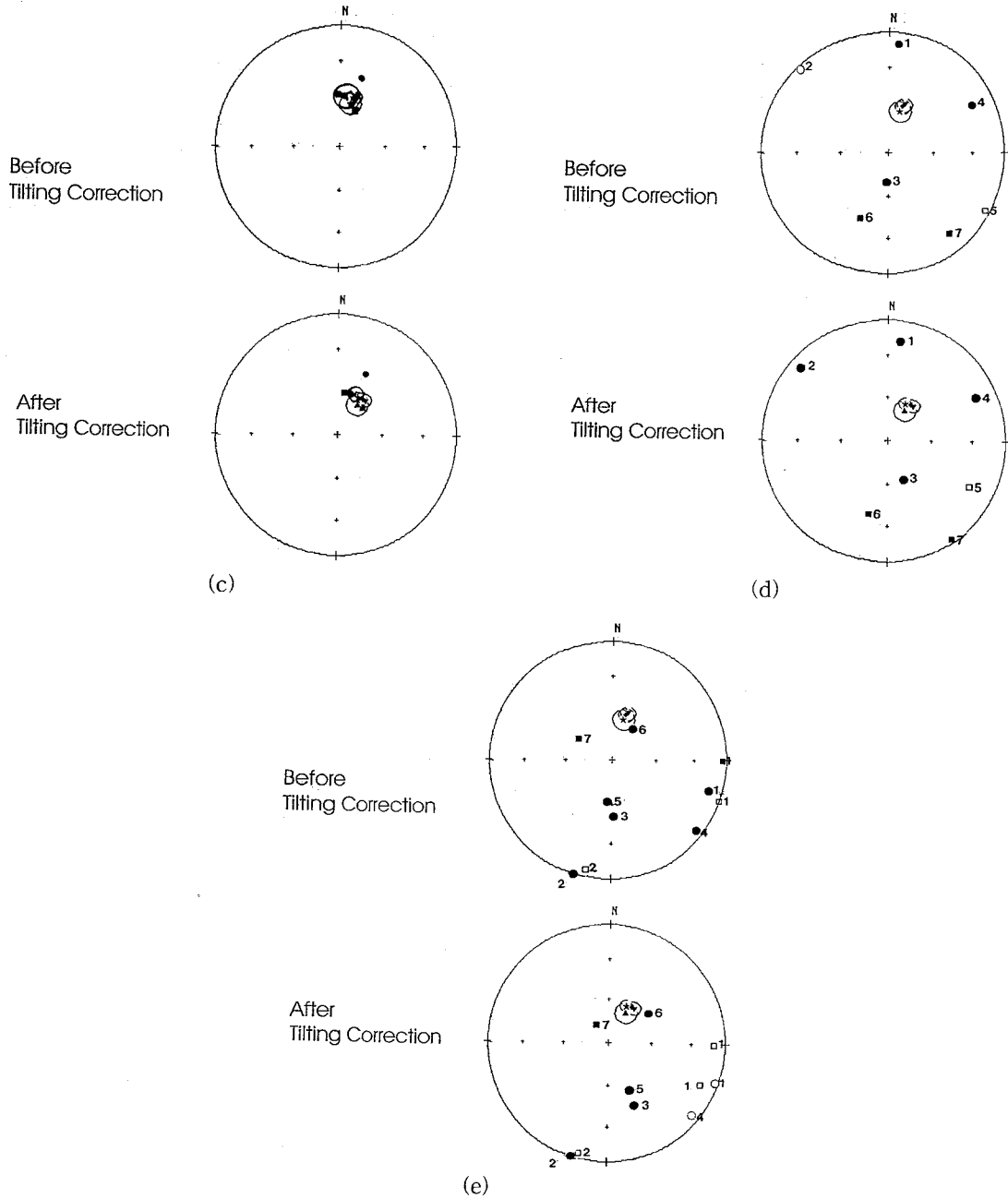


Fig. 12. Continued.

졌다. 다만 Otofujii *et al.* (1983)의 대구 지역에서 구한 잔류자화성분은 이 지역이 화성암류 및 관입암류가 밀집되어 있음을 고려할 때, 열에 의해 이차적으로 획득한 TVRM 혹은 TCRM이 포함되어 있을 가능성이 있다. 관입암류에 의한 주변층서의 재자화 (baked contact test)

에 관한 연구는 국내에서 실행된 바가 없었으나 최근에 전영수 외 (개인적 의견 교환)에 의해 실시되었고 역자극기에 관입한 화성암체에 의한 주변 층서의 재자화 현상이 경상누층군에서 보고되었다.

김인수 등 (1993b)은 의성지역에서 진주층과 점곡층

Table 3. Summary of the paleomagnetic data for this study and previous studies in the Kyongsang Basin.

Reference	N _{area}	Dg/Ig	α_{95g}	k _g	Ds/Is	α_{95s}	k _s	k _s /k _g
Otofuji ¹	5	-	-	-	26.6/62.3	8.3	85.0	-
Lee I & II ²	14	16.6/50.3	5.5	52.7	32.4/56.4	5.3	57.2	1.1
Doh ³	14	13.6/56.4	8.1	21.5	22.5/57.2	8.9	66.1	3.1
Min ⁴	8	15.2/52.3	5.6	99.9	29.5/56.8	1.8	909.3	9.1
This Study	1	12.4/51.1	11.1	48.8	21.4/56.5	11.1	48.8	1.0

Explanation; N_{area}: the number of areas, Dg (Ds) and Ig (Is): mean declination and inclination in geographic (stratigraphic) coordinates respectively, α_{95g} (α_{95s}) and k_g (k_s): cone of confidence and precision parameter in the geographic (stratigraphic) coordinates respectively. ¹ Otofuji *et al.* (1983), ² Lee *et al.* (1987), ³ Doh, Kim (1994), ⁴ Min *et al.* (1996).

Table 4. Summary of previous studies

Name of Formation	Polarity								Sum of results		R%
	1		2		3		4				
	N	R	N	R	N	R	N	R	N	R	
Haman	31/7	-	2/1	3/1	23/3	-	56/8	-	112/19	3/1	2.6/5
Silla Cong.	-	-	12/1	-	-	-	9/1	-	21/2	-	0/0
Chillgok	97/17	-	28/3	4/1	8/1	1/1	60/6	-	193/27	5/2	2.5/6.9
Chinju	43/12	-	16/3	-	-	8/2	31/5	-	90/20	8/2	8.2/9
Sum	171/36	-	58/8	7/2	31.4	9/3	156/20	-	416/68	16/5	3.7/6.8

Abbreviations : N; normal polarity, R; reversed polarity, (n/S); number of specimens/number of sites, 1; Kim, Jeong (1986), 2; Lee *et al.* (1981), 3; Kim *et al.* (1993), 4; Doh *et al.* (1994).

에서의 역자화를 보고하였다. 이들은 진주층의 특성 잔류자화를 대원법을 적용하여 정자화와 역자화를 모두 기록한다고 보고하였으며, 본 연구지역의 칠곡층에 대비되는 점곡층의 1개 시편에서 역자화 방향이 측정되었다고 보고하였다. 그러나 이들의 연구 결과는 도성재 등 (1994)에 의하여 열소자시 소자기 내부에 존재하는 낮은 자기장에서의 재자화의 영향일 가능성이 제기되었다.

이상의 Lee *et al.* (1987)과 김인수 등 (1993a)의 연구 결과와 Kim, Jeong (1986), 도성재 등 (1994)의 결과들에서 진주층, 칠곡층, 신라역암 층, 함안층의 sampling site 수에 대한 역자화 및 정자화를 나타내는 시료수를 Table 4에 나타내었다. Table 4에서와 같이 진주층, 칠곡층, 함안층에서의 역자극성을 나타내는 시료수 및 시료채취소의 수를 종합하여 백분율로 나타내었을 때 전체시료에 대해 역자극성을 나타내는 시료의 비율은 3.7%에 불과하고 전체 시료채취소에 대해 역자극성을 나타내는 시료채취소의 비율 또한 6.8%로 매우 적은 비율을 차지한다. Table 5는 하부 경상누층군의 형성시기로 보고되고 있는 전기 백악기 (145~97 Ma; Harland *et al.*, 1990)에 역자극성이 관측될 수 있는 145~124 Ma의 시기중 역자극성이 나타날 수 있는 비율을 구한것이다. 이전 연구자들에 의해 진주층, 칠곡층, 신라역암층, 함안층으로부터

구하여진 역자극성의 비율은 (Table 4) 각각 9.0%, 6.9%, 0.0%, 5.0%로서 145~124 Ma의 어느 시대 구간 (Table 5)과도 큰 분포차이를 보이기 때문에 이는 통계적인 측면에서 145~124 Ma의 시기에 획득된 잔류자화라고 보기엔 증거가 부족하다. 이에따라 본 연구에서는 진주층과 신라역암층이 백악기 정자극기 (KLNS; Cretaceous Long Normal Superchron) 동안에 형성된 것으로 해석하였으며, 이는 연세대와 경도대간의 한일공동연구의 일환으로 실시된 자기층서연구결과 (개인적 의견 교환)와도 부합한다. 본 연구에서의 진주 US01 site에서 신라역암층 내 협재하는 사암의 잔류자화 방향에 대한 결과는 경사 보정전의 평균자화 방향이 Dg/Ig=12.4°/51.1° (α_{95} =11.1°, k=48.8), 보정 후에는 Ds/Is=21.4°/56.5°으로 기존의 연구결

Table 5. Percentage of reversed polarity period from 150 Ma to 124 Ma.

Age	Percentage of reversed polarity period (%)
145 Ma~124 Ma	58.9
145 Ma~130 Ma	67.9
140 Ma~124 Ma	59.5
145 Ma~140 Ma	61.2
140 Ma~130 Ma	71.2
130 Ma~124 Ma	38.5

과와 함께 도시할 때 α_{95} 신뢰타원이 겹침으로써 기존의 연구결과와 일치한다.

적색층의 특성잔류자화들에 대한 고찰

경상분지에 있어 칠곡층은 두터운 적색사암 및 세일로 구성되며, 회색 및 흑회색을 띠는 진주층을 정합으로 피복한다. 본 연구에서의 현미경 관찰에 의하면, 이 적색층에서는 진주층과는 달리 많은 화산암편이 발견되었으며 이들중에는 높은 반사도를 갖는 적철석 specularite 외에도 red pigment 및 자철석 등의 자성광물들을 포함하고 있다. 한편, 본 고지자기연구 결과에 있어서, 동일한 역 시료 내에서 자철석 (m-type), 적철석 (h-type), 그리고 자철석과 적철석이 공존하는 (mh-type) 3가지 양상이 나타나며, 이는 김인수 (1988) 및 이윤수, 민경덕 (1995)에서 보고 된 칠곡층을 이루는 자성광물의 단계별 소자거동 결과와 매우 흡사하다. 이처럼, 역으로부터 얻은 일차적으로 형성된 자성광물의 잔류자화 방향과 이차적으로 형성된 적철석의 잔류자화 방향이 하나의 표품시료 내에서 비교적 비슷한 방향성을 가지고 있음은 두 성분이 획득한 잔류자화의 시기가 오랜 시간적 간격을 두고 있지 않음을 생각할 수 있으며, 또한 역들의 자철석 성분과 적철석 성분의 방향이 기질의 방향과 일치하지 않고 특정 방향으로 군집되지도 않음은 역들내에 존재하는 상기 두성분의 잔류자화가 신라역암이 퇴적되기 이전에 이미 획득된 것으로 해석된다. 이윤수, 민경덕 (1995)은 경상분지 내의 진주지역에 분포하는 칠곡층으로부터 구한 적철석과 자철석의 특성잔류자화가 95%의 신뢰도 내에서 공히 습곡 실험을 통과한다고 보고하고, 두 성분 모두 1차자화로 취급되어야 한다고 주장하였으며, 본 역암실험의 결과는 그들의 해석을 지지하여 준다.

하지만, 실제로 초기 백악기의 화산암으로 사료되는 모암에서 비교적 짧은 기간에 어떻게 적철석이 이차적으로 생성될 수 있었는가는 아직 미결의 문제로 남아있으며, 다량의 적철석을 함유한 두터운 적색층의 성인에 대한 규명과 맞물려, 아시아의 초기 백악기 환경을 규명하는데 해결해야 할 매우 중요한 과제이다. 이를 위하여는 보다 정밀한 암석자기학적 연구는 물론, 지화학적 및 광물학적인 기초학문과 연계된 종합 연구가 절실히 요구된다.

또한, 본 연구결과는 칠곡층과 신라역암층에 대한 퇴적물의 공급원과 관련하여 퇴적암에 대한 자기이방성 선구조 및 퇴적구조분석을 통한 고수류연구와 지화학적 및 판구조운동에 기인한 동아시아의 화성활동연구에 중요한

정보를 제공하여 줄 것으로 사료된다.

칠곡층과 신라역암층에서 발견된 화산암편 및 역의 기원

일본열도는 지구조적으로 유라시아 대륙판의 경계부에 위치하면서, 태평양판과 필리핀해판의 판구조 운동과 관련된 활발한 화성활동이 일어나는 곳이다. 최근의 지구조 및 고지자기 연구는 전기 마이오세 초기까지 일본 열도가 한반도와 인접하여 있었음을 지지하는 증거들이 찾아지고 있으며, 동해의 성인에 관한 3가지의 가설이 제시되고 있다 (Otofujii, Matsuda, 1983; Jolivet *et al.*, 1991; Lee *et al.*, 1998). 이들의 연구결과로부터 복원된 고지리도는 중생대에 걸쳐 형성되어 왔던 동아시아의 지구조 진화모델 (Lee *et al.*, 1997)과 종합하여 볼 때, 한반도 남부와 서남일본은 전기 백악기에 이자나기판에 의해 섭입되는 passive margin에 위치하였다고 사료된다. 서남 일본 열도의 백악기 화산암류에 대한 연구에 의하면 (Yamada, 1977, 1981) Sangun-Yamaguchi Belt내에서 Albian에 해당하는 약 110-115 Ma의 화산활동의 존재를 알려준다. Sangun-Yamaguchi Belt는 대개 유문암질, 테사이트질, 그리고 안산암질 관입암으로 구성되어있으며 이들은 용결 응회암상 (welded tuff sheets)와 응회암 각력 (tuff breccias)을 포함하고 있는 화산쇄설류 (pyroclastic flow)로 지표 상에 분출되어 있다.

이러한 화산활동의 시기 및 암상적인 특성은 하양층군의 최하부층인 칠곡층과 신라역암층의 그것과 매우 유사하다. 연세대학과 경도대학 간의 한일공동연구의 중간 결과에 의하면 칠곡층은 KLNS (124-84 Ma) 내에 속하는 것으로 사료되며 이는 Sangun-Yamaguchi Belt 내에서 확인된 화산활동에 의한 쇄설성 화산쇄설류의 퇴적 시기와 유사하다. 암상적인 특성에 있어서 하양층군의 최하부층인 칠곡층의 상부는 응회질 사암으로 구성되어 있고 칠곡층의 상부층인 신라역암층 또한 응회질 사암 역이 많이 나타나고 있다. 또한 신라역암층에 포함되어 있는 역을 편광현미경을 이용한 박편상에서 관찰시 그 조직상의 특징이 화산쇄설류에서 나타나는 특징 및 테사이트질 관입암의 특징이 관찰되었다. 따라서 신라역암층이 퇴적시기에는 Sangun-Yamaguchi Belt와 연결되는 화산열 (volcanic chain)이 형성되어 있었을 가능성을 시사해 주며, 구체적인 대비를 위해서는 방사성 동위원소를 이용한 칠곡층 상부의 응회암 및 신라역암층 내 응회암 역에 대한 동위원소연대 측정이 앞으로의 연구에서 수행되어야 할 것이다.

결 론

1. 초기자화강도에 대한 열 소자 단계별 잔류자화강도 변화를 통하여 한 시료내에서 자철석만을 포함하고 있는 경우, 적철석만을 포함하는 경우, 그리고 자철석과 적철석 모두를 포함하고 있는 3가지의 양상이 나타났다. 이들 시료에 대한 박편 관찰 결과, 자철석은 일차적으로 형성되었고 적철석은 이차적으로 형성된 것으로 확인되었다. 한 시료 내에서 일차적으로 형성된 자철석 성분과 이차적으로 형성된 적철석 성분의 자화방향이 비교적 비슷한 방향성을 나타내는 결과는 두 성분이 획득한 잔류자화의 시기가 오랜 시간적 간격을 두고 있지 않음을 암시한다. 또한 역들내에서 이차적으로 형성된 적철석 성분의 자화방향이 기질의 자화방향과 일치하지 않고 특정방향으로도 군집되지 않음으로 역들 내 적철석의 잔류자화 획득시기는 퇴적 이전인 것으로 해석된다.

2. 역시료에 포함된 자철석과 적철석의 특성 잔류자화 방향은 분산된 결과를 보임으로써 역암실험을 통과하였고 이로써 신라역암층을 포함한 본 지역의 광역적인 재자화의 영향은 없는 것으로 확인되었다.

3. 신라역암층내에 협재하는 사암의 평균잔류자화 방향은 경사보정 후 $Ds/Is=21.4^\circ/56.5^\circ$ ($\alpha_{95}=11.1^\circ$, $k=48.8$) 로써 기존의 경상누층군에 대한 연구 결과와 일치한다.

4. 칠곡층 및 신라역암층은 시기상으로 백악기 정자극기 내에 퇴적된 층들로 사료되며 다량의 화산암편을 포함하는 것으로 미루어 유천층군 이전에 이미 격렬한 화산 활동이 있었음을 시사한다.

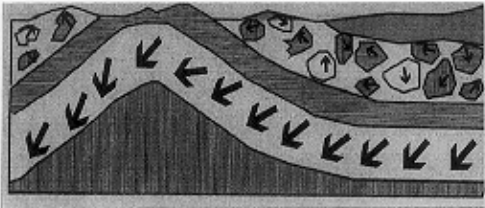
사 사

본 원고에 대한 세심한 조언과 심사를 하여주신 고려대 도성재교수와 부산대 김인수교수께 깊은 감사를 드리며, 본 연구를 지원해 주신 한국과학재단 (한일공동연구, 956-0400-001-2)의 관계자분들께 감사한다.

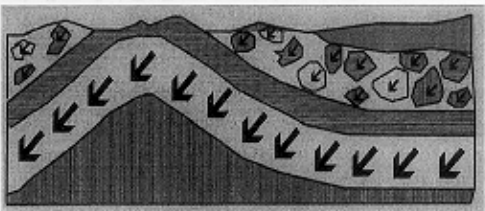
참고문헌

김인수 (1988) 부산지역 백악기 다대포층에 대한 고지자기학적인 연구. 지질학회지, 24권, p. 211-233.
 김인수, 강희철, 이현구 (1993a) 경상분지 남서부 진교-사천 지역 전기 백악기 퇴적암에 대한 고자기 연구. 광산지질, 26권, p. 519-539.
 김인수, 이현구, 윤혜수, 강희철 (1993b) 의성지역 백악기 암석에 대한 고자기 연구. 광산지질, 26권, p. 403-420.

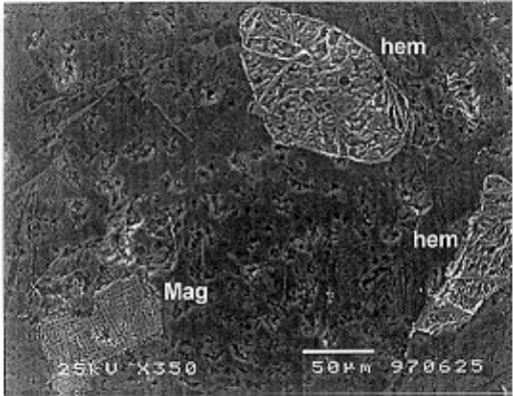
도성재, 김광호 (1994) 의성지역에 분포하는 백악기 지층에 대한 고지자기 연구. 자원환경지질, 27권, p. 263-279.
 도성재, 조윤영, 석동우 (1996) 영동분지에 분포하는 백악기 퇴적암류의 재자화. 자원환경지질 29권, p. 193-206.
 도성재, 황창수, 김광호 (1994) 밀양 소분지에 분포하는 경상누층군 퇴적암류에 대한 고지자기 연구. 지질학회지, 30권, p. 403-420.
 이윤수, 민경덕 (1995) 육천대의 중생대 아래의 지구조적 운동에 관한 고지자기 운동. 자원환경지질, 28권, p. 493-501.
 장기홍 (1975) 한반도 동남부의 백악기 층서. 지질학회지, 11권, p. 1-23.
 장기홍 (1977) 경상분지 상부 중생계의 층서 퇴적 및 지구조(II). 지질학회지, 14권, p. 120-135.
 Cox, A. and Doell, R.R. (1960) Review of paleomagnetism. Geol. Soc. Amer. Bull., v. 71, p. 645-768.
 Harland, W.B., Armstrong, R.L., Cox, A.V., Carig, L.E., Smith, A.G. and Smith, D.G. (1990) A geologic time scale. Cambridge univ. press, 263p.
 Jolivet, L., Huchon, P., Brun, J.P., Chamot-Rooke, N. and Thomas, J.C. (1991) Arc deformation and marginal basin opening: Japan Sea as a case study. J. Geophys. Res., v. 96, p. 4367-4384.
 Kim, K.H. and Jeong, B.I. (1986) A study on the paleomagnetism of South Korea since Permian. J. Korean Inst. Mining Geol., v. 19, p. 67-83.
 Kirschvink, J.L. (1980) The lesat-squares line and plane and the analysis of paleomagnetic data. Geophys. J. R. astr. Soc., v. 62, p. 699-718.
 Lee, D.-S. (1988) Geology of Korea. Kyohaksa, p. 175-194.
 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. JGR, v. 92, p. 3580-3596.
 Lee, Y.S., Nishimura, S. and Min, K.D. (1997), Paleomagnetotectonics of East Asia in the Proto-Tethys Ocean, Tectonophysics, v. 270, p. 157-166.
 Lee, Y.S., Ishikawa, N. and Kim, W.K. (1998) Paleomagnetism from Tertiary rocks in the Korean Peninsula: tectonic implications for the East Sea opening. tectonophysics, submitted.
 Otofujii, Y., O, 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 Sea and Islands. Part 2, Geophys. Monogr. Ser., v. 27, p. 388-396.
 Otofujii, Y. and Matsuda, T. (1983) Paleomagnetic evidence for the clockwise rotation of Southwest Japan. Earth Planet. Sci. Lett., v. 62, p. 349-359.
 Tateiwa, I. (1929) Geological Atlas of Korea, Kyongju, Yongch'on, Taegu, and Waegwan sheets. Geol. Surv. Korea, 12p.
 Yamada, N. (1977) Volcanic rocks of Late Mesozoic and Paleogene. Geol. Surv. Japan, v. 1, p. 336-341.
 Yamada, N. (1981) Cretaceous to Paleogene volcanic rocks. Geol. Surv. Japan, v. 6, p. 18-22.

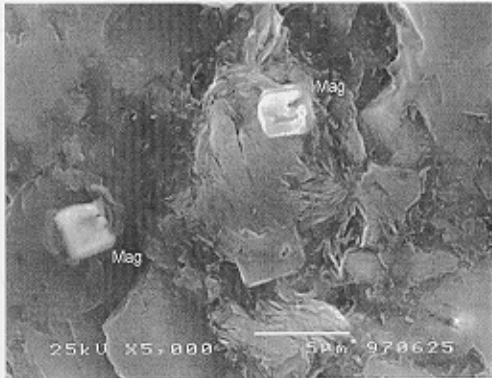


(a)



(b)





(a)



(b)