

## 의성지역 백악기 암석에 대한 고자기 연구

김인수\* · 이현구\*\* · 윤혜수\*\* · 강희철\*

### Palaeomagnetism of Cretaceous Rocks in the Uisong Area, Kyongsang Basin, Korea

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

**ABSTRACT:** The Cretaceous Kyongsang Basin is known to be composed of several tectonic blocks (or subbasins) with each distinct stratigraphic succession. The study area represents a major part of one of these blocks, i. e. the Uisong block. The area is characterized by a suite of WNW-trending sinistral strike-slip faults as well as a number of ring faults.

A total of 292 independently oriented core samples were drilled from 23 sites, covering virtually all the formations of the Cretaceous Kyongsang Supergroup. Alternating field and thermal demagnetization experiments were conducted to reveal the primary magnetization. Due to the homoclinal nature of the strata in the area, it was not possible to make use of the conventional fold test. It is, however, believed that the primary remanent components have been obtained from the majority of the formations, considering the similarity of the palaeomagnetic pole positions with those of contemporary strata of other blocks and the existence of antiparallel reversed remanence.

It was found neither any significant difference in magnetic declination on each side of the strike-slip faults nor systematic change of magnetic declination with distance from the fault-line. This does not support such a block rotation hypothesis associated with the strike-slip faulting in the area as alleged by some authors.

The samples from the outcrops on or near the fault-lines were severely overprinted by the recent magnetic fields regardless of age and lithology. Epithermal Au-Ag-Cu-Pb-Zn mineralizations are known along some fault lines in the area. It is interpreted that these two facts are closely related with fluid circulations along the fracture zones caused by fault activities.

In regard to the age of the strata as deduced from the magnetostratigraphic consideration, the Chomgok formation and the lower strata should be older than Barremian or 124 Ma. The age of volcanics of the Yuch'on Group sampled in this study should be younger than Campanian or 83 Ma.

## 서 언

백악기의 主 퇴적분지인 경상분지는 암상이나 층서적인 차이에 의거 통상 밀양지괴, 의성지괴, 영양지괴, 낙동곡분 등으로 나뉘어져 불리워진다 (Chang, 1975; 장기홍, 1977, 1982). 이들 각 지괴간의 퇴적특성의 차이나 시대차 그리고 그 원인에 대한 규명과 지층대비의 문제는 백악기 연구자들에게 있어서 오랜동안 중요한 연구과제이었으며 앞으로도 그러할 것이다.

원칙론적 견지에서 고자기학적 연구는 각 지괴간의 상대적 운동 여부와 지층의 시대결정, 그리고 이에 따른

지층의 대비를 이룩하는 중요한 정량적 수단이 될 수 있다. 이러한 과업은 어느 한 연구를 통하여 일거에 완성되기는 어려울지라도 각 지역별의 꾸준한 연구결과와 집적을 통하여 이루어질 수 있다.

본 연구에서는 경상분지의 북서부 낙동곡분과 의성지괴의 일부를 접하는 의성읍 동남부지역 (Fig. 1)을 대상으로 하였다. 연구지역은 1:50,000 지형도로 의성, 군위, 화북도폭에 해당되며 1:50,000 지질도로서는 군위 (장기홍 등, 1981), 구산동 (장기홍 등, 1977), 대울 (김봉균 등, 1981), 신령도폭 (원종관 등, 1980)의 지역이다. 이 지역에 대한 잠정적인 고자기학적 연구결과는 도성재 등 (1990)과 박관호 등 (1991)에 의하여 발표된 바 있으며, 보다 동부인 안동지역에 대해서는 Lee et al. (1987)과 이기동 (1990)에 보다 상세히 보고되어 있다.

상기한 경상분지내 각 지괴에 대한 地構造學的, 磁氣

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

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

層序學的 데이터의 확보라는 장기적 목표 이외에 본 연구가 의성지역을 선택한 특별한 이유는 이 지역을 가로질러 달리는 서북서방향의 走向移動斷層들과 環狀斷層들의 존재이다 (Fig. 1). 야외증거나 지질도상의 암상분포에 의거하여 전자의 단층들은 左向移動性 (sinistral) 주향이동단층인 것으로 알려져 있다 (장기홍, 1978; 앞서 인용된 연구지역의 도폭설명서들). 세계 여러곳의 주향이동성 단층지역에서의 고자기학적 연구들에 의하면 단층운동에 결부되어 주변 지괴들이 회전운동을 하였던 사례들이 많이 나타난다 (예를들어 Kissel and Laj, 1989). 따라서 본 연구는 이와같은 단층운동의 방향과 크기 그리고 가능한 그 시대를 알아보기 위한 시도로서 계획되었다. 본 연구가 진행되는 동안 박찬호 등 (1991)은 그들의 잠정적인 연구결과를 발표하였다. 그들에 따르면 의성지역은 상기의 서북서 주향이동단층들에 의하여 세 지괴로 나뉘어져 각각의 상대적 회전운동을 하였다 한다.

연구지역에는 上記의 주향이동단층들 이외에 화산합몰 구조에 결부된 環狀斷層들이 함께 나타나고 있다 (Fig. 1). 이 단층들은 금, 은, 동, 연, 아연과 같은 광화대의 형성에서 일익을 차지했던 것으로 추정된다. 그 대표적인 예는 연구지역 중북부 환상단층선상의 五土山 오토광산과 토현광산이다. 결국 정확한 광화작용 시기의 규명에 있어서 큰 성과를 거두지 못했지만, 본 연구는 이 광화대 지역에서의 자기층서 및 광화시기에 관한 고자기학적 정보의 획득을 또 다른 하나의 목표로하여 시도되었다.

## 지질개요

거시적 견지에서 의성지괴내 백악기 지층들은 타 경상분지내 지역들에서와 마찬가지로 (장기홍, 1982) 신동층군, 하양층군, 유천화산암층군, 불국사관입암류의 순으로 구성되어 있다.

최하부인 신동층군은 진주지역에서부터 북북동으로 낙동곡분을 형성하며 의성지괴의 북단까지 연장된다. 따라서 본 연구지역에서의 신동층군은 다른 지역에서와 마찬가지로 낙동 (연화동) 층, 하산동층, 진주 (동명) 층으로 분류되고 있다. 이들 중 중간층위의 하산동층은 적색층이 빈번히 협재되는 층으로 정의되어 있어 암색이 세 지층을 구분하는 기준으로 통용되고 있다.

보다 상위인 하양층군의 구성지층들은 밀양이나 영양지괴로부터 연장이나 추적이 가능한 것들이 거의 없는 독자적 義城型 層序를 이루고 있다 (장기홍, 1982; 최현일 등, 1982). 따라서 연구지역에서의 하양층군은 하부로부터 일직층, 후평동층, 점곡층, 사곡층, 춘산층, 신양동층 등의

별도의 지층명으로 구분되어 통용된다 (Fig. 1). 이러한 구분 역시 암색에 근거한 것인데 후평동층과 사곡층은 적색층이며 춘산층은 함 적색층이다. 때로는 후평동층을 구미동층과 구계동층 (장기홍, 1978, 1982) 혹은 層員 (김봉균 등, 1981)으로 구분하기도 하나 본 연구에서는 이러한 세분을 고려하지 않았다. 한편, 퇴적동시성 화산활동도 인지되는데 점곡층과 춘산층에는 응회암 박층이나 녹회색 응회질 사암이 협재되며 (최현일 등, 1982) 춘산층에는 흔히 화산회와 수성퇴적암의 중간적 성격을 띠는 부분이 많은 것으로 알려지고 있다 (장기홍 등, 1981).

지괴나 지역별 하양층군의 층서대비에 대해서는, 아직 확정적 증거가 확립된 것은 아니나, 암상이나 층의 순서를 고려하여 일직층은 밀양지괴의 하부 칠곡층에, 후평동층은 중부 칠곡층에 대비되는 것으로 알려져 있다. 또한 점곡층의 하부는 밀양지괴의 상부 칠곡층과 영양지괴의 가송동층에 해당하며, 사곡층의 상부는 밀양지괴의 함안층과 영양지괴의 도계동층 하부에, 춘산층은 밀양지괴의 진동층에 대비되는 것으로 취급되고 있다 (장기홍, 1982).

이상의 하양층군의 상위에는 안산암과 산성화산암들로 구성된 유천층군이 경사부정합 (장기홍 등, 1981) 혹은 침식부정합 (장기홍 등, 1977)으로 덮이고 다시 이 모두들을 화강암질암인 불국사관입암류가 관입하였다. 도폭설명서 (장기홍 등, 1977, 1981)를 따르면 유천층군의 분출 중에도 부정합의 기간이 있었다고 한다.

지체구조적인 측면에서의 의성지괴의 특징은 비교적 많은 수의 단층에 있다. 지괴의 북변은 역단층인 안동단층에 의하여 경계되고 있으며 분지내부는 서북서방향의 數組의 단층들에 의하여 절단되어 있다 (Fig. 1). 이들 서북서 주향의 평행단층들은 지질도상에서 지층들을 左向 (sinistral)으로 끊고 (offset) 있다. 북으로부터 이들은 각각 (Fig. 1 참조) 금천단층 (구산동, 군위도폭), 가음단층 (구산동, 군위도폭) (수기령단층: 신령도폭), 우보단층 (군위도폭), 신령단층 (장기홍, 1978; 신령도폭) (백학동단층: 대울도폭) 등으로 명명되고 있다. 이들은 의성지괴와 밀양지괴를 구분하는 팔공산선과 평행하며 (김봉균 등, 1981), 가음단층의 경우 기계도폭의 기계단층에 이르도록 동남동으로 연장된다 (최현일 등, 1982). 장기홍 등 (1977, 1981)은 이 단층들이 점곡층과 사곡층의 퇴적기간동안 성장단층형의 정단층으로 작용하다가 불국사관입암군의 관입이전 좌향 주향이동단층으로 전환되었으며 신생대초에 주요이동을 일으킨 것으로 보았다. 신령도폭을 조사한 원종관 등 (1980)도 주향이동단층의 운동이 화강암체의 관입이전에 시작되어 이후에까지 계속되었다고 하였다.

이러한 좌향주향이동성의 단층들 이외에도 특징적인

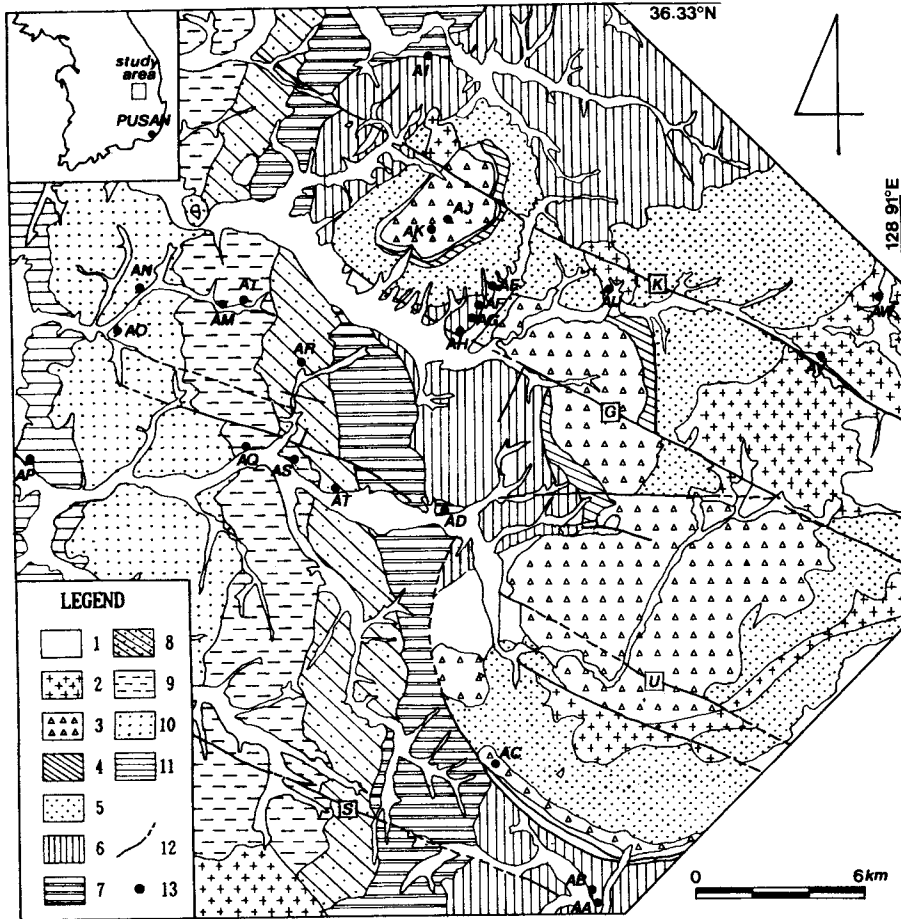


Fig. 1. Geologic and sample site map of the study area. 1; alluvium, 2; Bulguksa Intrusive Group, 3; Yuch'on Volcanic Group, 4; Shinyangdong Fm., 5; Chunsan Fm., 6; Sagok Fm., 7; Chomgok Fm., 8; Hup'yongdong Fm., 9; Ilchik Fm., 10; Jinju Fm., 11; Hasandong Fm., 12; faults (K; Kümch'on fault, G; Kaüm fault, U; Ubo fault, and S; Shillyong fault), and 13; palaeomagnetic sample sites.

모양의 環狀斷層들이 나타나고 있다. 대표적인 예로서는 금성산-비봉산을 중심으로 하는 반경 약 6 km의 금성산 환상단층과 신령도폭의 노고산환상단층 (신령환상단층: 김봉균 등, 1981)이 있다. 이들은 함몰성 정단층으로서 주향이동단층들보다도 앞선 시기의 것이다 (장기홍 등, 1979). 금성산 환상단층의 북부에서는 환상단층이나 NS성 단층선을 따라서 규장암맥 및 열수광화액이 充填되어 오토광산이나 토현광산과 같은 금, 은, 동, 연, 아연 광상이 형성되었다 (장기홍 등, 1981). 총체적으로 볼 때 본 연구지역의 광상들은 단층에 수반된 열극충진형의 광상들이다.

시료채취와 잔류자기 측정

연구를 위한 시료들의 채취지점들은 Fig. 1에 표시되어 있으며 소속지층의 암상이나 시료의 기호와 갯수 등의 정보는 Table 1에 요약되어 있다. 시료 채취지역의 지리적 중심좌표는 약 36.23°N, 128.75°E이며 시료채취시 이용한 지질도는 1:50,000 군위, 구산동, 대울, 신령도폭들과 1:25,000 우보도폭 (최위찬 등, 1990)이었다. 모든 시료들은 휴대용 가솔린 착암기를 사용하여 현장에서 직경 1인치의 core로 鑿孔되고 定向 (orientation)되었다. 시료의 정향과 지층의 주향경사 측정작업은 지질조사용 주향경사계로 수행되었다.

각 노두별의 독립정향 core의 갯수는 노두의 형편에 따라 6~13개에 이른다. 그러나 특별히 오토산 북쪽사면 계곡의 AI노두지역에서는 자기층서학적, 광상학적 정보를

Table 1. Sampled stratigraphic units and sites for the study.

Stratigraphic unit	Site name	No. of samples	Lithology	Geographic coord.	
				lat.(°N)	lon.(°N)
Bulguksa Intrusive Group	AU	10	granodiorite	36.24	128.79
	AV	12	granodiorite	36.20	128.87
	AW	6	granodiorite	36.24	128.90
Yuch'on Group	AJ	11	acidic tuff	36.26	128.73
	AK	13	acidic tuff	36.26	128.72
	AC	9	acidic tuff	36.09	128.80
	AH 7-12	6	andesitic dyke	36.23	128.75
Hayang Group					
Chnsan Fm.	AE	13	red shale	36.24	128.75
Sagok Fm.	AE	13	red shale	36.24	128.75
	AG	11	red shale	36.23	128.75
	AH 1-6	6	gray shale	36.23	128.74
	AA	11	red shale	36.05	128.79
	AB	11	red shale	36.05	128.80
	AI 36-56	22	red/black shale	36.32	128.73
Chomgok Fm	AI 1-35	36	black shale	36.32	128.74
	AD	14	black shale	36.32	128.73
Hup'yongdong Fm.	AR <sup>1)</sup>	12	red shale	36.22	128.68
	AT <sup>2)</sup>	10	red shale	36.18	128.69
Ilchik Fm.	AS	12	buff sandstone	36.19	128.67
	AL	7	red sandy shale	36.24	128.65
	AM	8	buff sandstone	36.24	128.65
	AQ	9	gray green sandstone	36.19	128.66
Shindong Group					
Jinju Fm.	AN	10	buff sandstone	36.25	128.62
	AO	7	buff sandstone	36.23	128.61
Hasandong Fm.	AP	13	arkose sandstone	36.19	128.57
Total	23 sites	292 samples			

Fm.; Formation, <sup>1)</sup>; Kugyedong Member, and <sup>2)</sup>; Kumidong Member

확보할 목적으로 착공간격을 1 m 이내로 유지하며 짐콕 층에서 사곡층으로 넘어가면서 토현광산 직전까지 도합 58개의 core를 뚫었다.

퇴적암의 노두에서는 지층면 식별에 대한 문제가 전혀 없었으나 유천층군 화산암과 불국사관입암군의 경우에는 암석定位 당시의 수평면을 인지하기가 곤란하였다. 유천층군 노두의 경우에는 흐름구조나 광물의 배열면 등이 관찰되기도 하였으나 그것이 확실히 암석생성시의 수평면을 지시하는지는 알 수가 없었다.

본 지역의 모든 노두들은 단사구조를 이루고 있다. 그러나 일직층 AS노두의 경우에는 완만한 향사구조로 습곡되어 있었다 (수 10 m의 波長).

본 연구의 한 목적이 단층작용에 따른 잔류자기의 偏向여부를 검토하는데 있는 만큼 이를 위하여 단층선 (가음단층)에 직각인 방향으로 접근하면서 AE, AF, AG, AH의

네 노두를 뚫었다 (Fig. 1).

AH노두의 경우에는 균위지질도폭 (장기홍 등, 1981)에 불국사관입암군 소속의 석영몬조나이트로 되어있으나, 실제 시료채취 현장의 상황은 유천층군에 속하는 것으로 보이는 안산암맥 (본 연구의 시료 AH 7-12)이 퇴적층을 관입하고 있었고 암맥일대의 퇴적층 (시료 AH 1-6)들은 광범위하게 혼펠스화 되어 있는 상태이었다. 총체적으로 볼 때 이 퇴적암은 "화산회와 수성퇴적암의 중간적 성격" (장기홍 등, 1981)을 띠고 있어 춘산층으로 취급하였다.

각 정향core들은 실험실에서 2.3~2.4 cm 길이의 시편 (specimen)으로 절단되었다. 시편들의 자연잔류자기 (NRM) 측정과 각 세척단계마다의 자기강도 측정은 철근 건물로부터 15 m 이상 떨어진 단독 목조건물에서 Molspin rock magnetometer를 이용하여서 수행되었다. 측정의 정밀도는 세척강도 증가에 따른 잔류자기의 방향변화에서의

체제성 여부로부터 짐작될 수 있었는데  $0.2 \text{ mAm}^{-1}$  또는 그 이하까지도 성취되는 것으로 나타났다.

## 자기세척실험

### 수행방법

우선 노두별로 3개 이상씩의 시편 (pilot specimen)들을 선택하여 최고세척강도 100 mT에 이르는 단계적 교류자기 세척실험을 실시하였다. 교류자기세척을 위하여 사용된 기기는 시편이 회전 (tumbling)되는 Molspin AC demagnetiser이었다. 세척단계는 자연잔류자기 (NRM)의 재측정으로부터 시작하여 최고 (peak) 교류자장을 5~10 mT씩 증가시켰다. 이렇게 함으로서 세척기자체의 능력한도인 최고100mT에 이르기까지 시편별로 총 10~15단계의 단계적 세척이 이루어졌다.

최고 교류자장 100 mT까지의 세척에도 불구하고 세척의 효과가 나타나지 않는 시편들에 대해서는 열자기세척법을 적용하였다. 여기에 이용된 기기는 Schonstedt TSD-1 thermal demagnetiser이었다. 열자기세척시  $500^{\circ}\text{C}$  이내의 세척강도까지는  $100^{\circ}\text{C}$  간격으로 세척단계를 높여갔으며 그 이상의 온도에서는 前단계까지에서의 자화방향과 강도변화의 양상을 검토하여  $50^{\circ}\text{C}$ , 혹은 경우에 따라서는  $20^{\circ}\text{C}$  간격으로 온도차를 줄였고  $600^{\circ}\text{C}$  이상의 고온구간에서는  $10^{\circ}\text{C}$  이내 내지  $2^{\circ}\sim 3^{\circ}\text{C}$ 의 간격까지 단계별 세척온도차를 더욱 줄였다. 이렇게 함으로서 최고 가열온도인  $690^{\circ}\text{C}$  까지 이르기까지 최고 14~16 단계까지의 시편별 세척이 이루어졌다.

각 열세척단계에서는 소정의 최고온도에 도달된 후 시편의 복판까지 온도의 평형이 이루어지도록 30~40분간 그 온도를 유지시켜 놓았다. 냉각시에는 40~50분 이상 충분히 환풍냉각시킴으로서 시편중심까지의 상온냉각을 도모하였다. 가열에 따른 자성광물의 광물학적 변화는 매 가열-냉각단계의 끝마다 Molspin Minisep 대자율 측정기를 사용하여 총대자율 (bulk magnetic susceptibility)을 측정하는 방식으로 파악하였다.

단계적 세척에 의한 잔류자기의 방향과 크기의 변화양상은 벡터다이아그램 (vector diagram, Zijdeveld diagram) (Zijdeveld, 1967)과 等積 입체투영도 (equal-area projection, Schmidt net)를 이용하여 고찰함으로서 단일 잔류자기 성분의 유리가 일어나는지를 검토하고 아울러 차기 세척단계의 강도를 결정하였다.

이상의 요령에 의거하여 매 노두당 최소한 3개 이상씩의 시편 (pilot specimen)들에 대하여 교류자기세척과 열자

기세척실험을 수행하고 공동이 되는 최적의 세척방법과 강도를 결정하였다. 나머지 시편들은 대부분 이 최적의 세척강도로써 일괄처리하였고 그 결과를 Fisher통계처리 (Fisher, 1953)함으로서 각 노두별의 평균 특성잔류자기 방향 (ChRM: characteristic remanent magnetization)을 계산해 내었다. 일괄처리하지 않은 특별한 경우에 대해서는 아래에서 따로 언급한다.

한편, 세척과정에서 단일 자화성분 (ChRM)의 분리가 일어나지 않았으나 단계별 자화방향이 입체투영도상에서 大圓 (great circle, remagnetization circle)모양을 이루며 변화되는 시편들에 대해서는 이 궤적에 가장 일치하는 (best fitting) 대원 (specimen great circle)을 설정하고, 여러 시편대원들의 교점을 구함으로서 그 노두의 평균 ChRM을 도출해 내었다 (Halls, 1976). 이 방법은 진주층의 AN, AO노두와 유천층군의 AJ 및 AK의 두 노두에서 적용되었다.

## 암상별 실험예

Table 1에 나타난 바와 같이 연구지역 지층들은 사암, 흑회색 셰일, 적색 셰일, 산성 응회암, 안산암 암맥 및 화강섬록암 등으로 대별되고 있다. 위에서 설명한 방법에 의거하여 모든 노두의 시험시편 (pilot specimens)들을 단계적인 교류자기세척 또는 추가의 열자기세척으로 처리하였는데 세척에 대한 반응은 암상에 따라서 구별되는 것으로 밝혀졌다. 따라서 세척실험의 결과들을 암상별로 묶어서 보고하기로 한다. 아래에 인용되는 예들은 세척실험에서 성공적인 사례를 보였던 노두들인데, 좋지않은 반응을 나타낸 노두들의 예는 별도로 토론의 항에서 취급한다. 이들은 암상의 특이성보다도 지구조적인 상황에 연관된 것으로서 단층선상 내지 이에 근접된 노두들이었다.

사암 (Fig. 2): 사암시편들의 경우에는 교류자기세척만으로도 단일성분이 쉽게 분리되었다. Fig. 2는 사암시편들에 대한 교류자기세척실험의 예이다. 장석질 (arkosic) 사암인 AP2 (하산동층)시편의 경우 10 mT까지의 교류세척에 의하여 약한 항자력의 VRM성분이 제거되고 그 이후에는 벡터다이아그램상에서 원점을 향하여 소멸되는 단일성분의 잔류자기 (ChRM)만이 남게되었다. 황색사암인 AS7 (일직층) 시편의 경우에도 마찬가지로 10 mT에서부터 단일 ChRM성분이 분리된다. 같은 황색사암의 AS4 (일직층) 시편에서는 다소 강한 20 mT의 교류자장이 가해진 이후부터 단일성분이 유리되었다. 역시 동일한 황색사암의 AM 4 (일직층) 시편에서는 30 mT 이상에서 단일성분이 나타난다. 이상 모든 시편들은  $1 \text{ mAm}^{-1}$  전후에 불과한 미약한

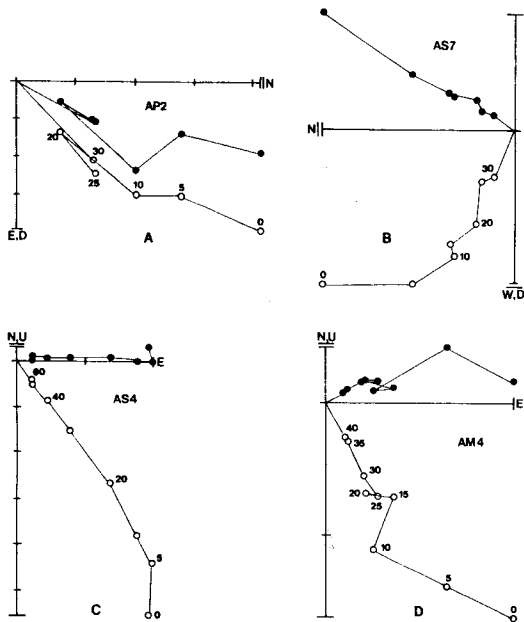


Fig. 2. Typical AF demagnetization diagrams (vector diagrams) of sandstone samples. A; Hasandong Formation. B, C, and D; Ilchik Formation. Solid(open) symbols onto the horizontal (vertical) plane. One scale;  $3 \times 10^{-6} \text{ mAm}^{-1}$  in A and  $3 \times 10^{-5} \text{ mAm}^{-1}$  in B-D. All the vector diagrams in this paper are drawn in in-situ coordinates.

自然殘留磁氣 (NRM)를 가지고 있었으나 세척반응은 양호하였다. 소개된 모든 시편들은 正磁化되어 있었다.

**흑색 및 회색 셰일 (Fig. 3):** 흑색셰일인 AD12 (점곡층) 시편에서는 30 mT 정도의 교류세척으로 단일성분의 분리가 성취되었다. 그러나 회색셰일인 AH6 (사곡층)시편과 흑색셰일인 AI14 (점곡층)시편들의 경우에는 보다 강한 교류자장이 요구되어서 각각 50 mT 및 60 mT 이상의 세척으로만이 단일 ChRM이 유리될 수 있었다. 이상 모든 시편들은  $10 \text{ mAm}^{-1}$  이상에 이르는 비교적 강한 자연잔류자기를 가지고 있었으며 正磁化되어 있었다.

같은 흑색셰일이지만 AI47 (사곡층)시편의 경우에는  $685^\circ\text{C}$  이상의 고온 열세척으로서만이 단일성분을 유리할 수가 있었다. 이 시편의 자연잔류자기 강도는  $8.1 \text{ mAm}^{-1}$  이었으며 지층면에 거의 수직으로 정자화되어 있었다. 그러나 세척강도가 증가됨에 따라 서서히 逆磁化로 전환되었다 (Fig. 3D).

**적색 셰일 (Fig. 4):** 연구지역의 적색 셰일층들은 서로 간에 거의 유사한 세척반응을 보였다. AR9 (후평동층), AF 10 (사곡층), AE10 (춘산층) 등의 시편들은  $30 \text{ mAm}^{-1}$  정도의 다소 강한 자연잔류자기를 가지고 있었는데  $500^\circ\text{C}$

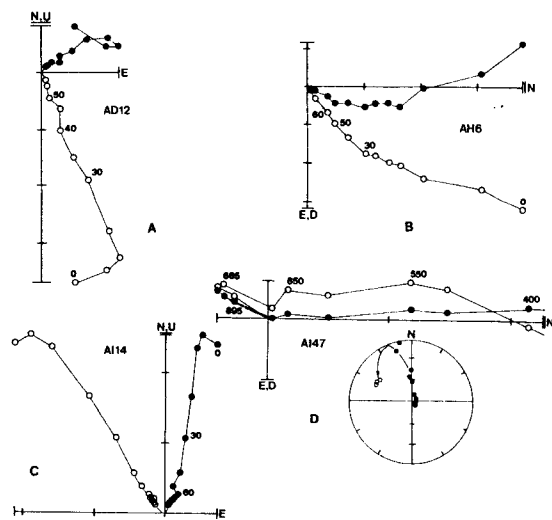


Fig. 3. Typical demagnetization diagrams of black shale samples. A; AF demagnetization of Chomgok Formation. B and C; AF demagnetization of Sagok Formation. D; Thermal demagnetization of Sagok Formation. Solid (open) symbols onto the horizontal (vertical) plane. All vector diagrams are drawn in in-situ coordinates. One scale;  $3 \times 10^{-4} \text{ mAm}^{-1}$  in A-D. The equal-area stereogram (Schmidt net) is drawn in stratigraphic coordinates and the solid (open) symbols represent downward (upward) inclination.

의 가열에 의하여 단일 ChRM성분이 유리되었고  $680^\circ\text{C}$ 의 가열에 의하여 잔류자기가 완전 소멸되었다. 이는 적철석이 이들 지층에서 주된 자성광물임을 뜻하는 것이다. 그러나 한가지 주목할 것은  $400^\circ\text{C}$ 와  $500^\circ\text{C}$  사이에서 현저한 자화강도의 감소가 나타나는 사실이다. 이는 적철석에 추가되어 자철석이 공존하고 있음을 의미한다. 그림에 나타난 바와 같이 이 세 시편의 NRM은 거의 ChRM이며 極性은 정자화이다.

AL5 (일직층) 시편에서는 현재자장에 의한 VRM으로 여겨지는 낮은 온도 (unblocking temperature)의 자화성분이  $550^\circ\text{C}$ 까지 잔존되었다 (Fig. 4D). 그 이상의 온도에서는 앞서의 다른 시편들에서 관찰되었던 북동방향의 단일성분 (ChRM)만이 확인된다. 이 AL5 시편의 자연잔류자기의 강도는 앞서의 세 시편보다 다소 낮은  $8.59 \text{ mAm}^{-1}$ 이었다. 이 역시 정자화된 시편이다.

**산성 응회암 (Fig. 5):** 채취된 세 노두 (AC, AJ, AK) 모두가 유천층군 화산암에 속한다 (Fig. 1).

華山 감령재 도로변에서 채취된 담색 산성응회암 AC 시편들은 모두가 완전히 역자화되어 있었다. 또한 이들은 거의 점성잔류자기 (VRM)를 가지지 않고 있지 않았다 (Fig. 5 A). 이 노두의 시편들은 교류자기세척에서도 안정된 잔

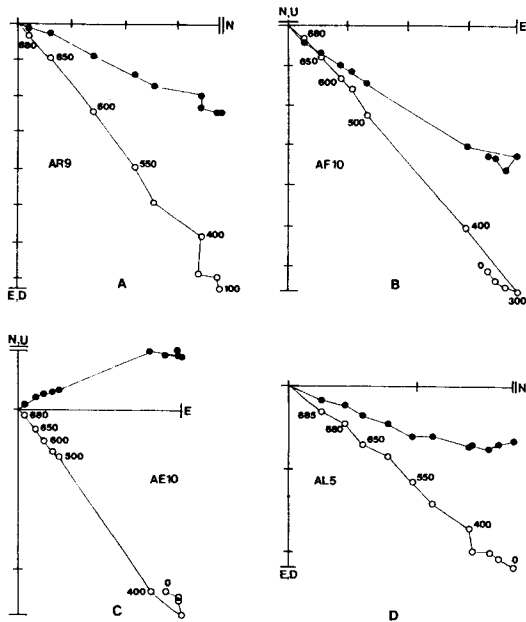


Fig. 4. Typical thermal demagnetization diagrams of red shale samples. A; Hup'yongdong Formation. B; Sagok Formation. C; Chunsan Formation. D; Ilchik Formation. All vector diagrams are drawn in in-situ coordinates. Solid (open) symbols onto the horizontal (vertical) plane. One scale;  $3 \times 10^{-3} \text{ mAm}^{-1}$  in C and  $3 \times 10^{-4} \text{ mAm}^{-1}$  in others.

류자기 방향 (안정중점)에 도달됨을 보여주었으나 열자기 세척에서 훨씬 명확한 벡터다이아그램이 나타났다. 열세척에 대한 반응의 특징은 300°C와 400°C 사이에서 잔류자기 강도가 급격히 감소되고 550°C로 열세척되면 NRM의 1/10 수준으로 감쇄된다는 것이다 (Fig. 5A). 따라서 자성 광물은 자철석이다. NRM의 세기가  $1 \text{ mAm}^{-1}$  단위에 불과한 것으로 보아 이 산성응회암내에 포함된 자철석의 양은 경미할 것이다.

금성산 수정사입구의 계곡에서 채취된 AJ와 AK 시편들은 한결같이 전형적인 大圓형의 세척반응을 보여주었다. Fig. 5B는 이러한 습성을 보이는 AK1 시편에 대한 교류자기세척의 예이다. 원래 약 38°의 +북각을 가진 정자화의 잔류자기가 세척강도의 증가에 따라 서서히 수평에 가까워지다가 40 mT 이상부터는 -북각의 상태로 바뀌고 있다. 벡터다이아그램은 곡선을 이루고 있고 입체투영도 (Schmidt net)상에서의 잔류자기 방향의 변화폭적은 대원을 이루고 있다 (Fig. 5B). Fig. 5C의 입체투영도에 다른 시편의 예들도 몇개 추가하였다. AK시편들의 NRM강도는  $10 \sim 60 \text{ mAm}^{-1}$ 의 범위였고 AJ 시편은 보다 한 단위 높은  $100 \sim 180 \text{ mAm}^{-1}$ 의 수준이었다.

**안산암 암맥 (Fig. 6) :** 이 안산암시편들은  $100 \text{ mAm}^{-1}$  내외의 비교적 강한 NRM강도를 보였다. Fig. 6A는 AH9 시편에 대한 교류자기 세척실험의 예이다. 10 mT까지 실험실적 VRM으로 생각되는 위약한 2차 잔류자기가 제거되자 역자화의 ChRM이 드러나기 시작하고 있다. 70 mT 이상에 이르러서는 2차성분 모두가 제거되었다. 숨겨진 역자화가 세척으로 완전히 드러나는 멋들어진 예이다. 같은 안산암 암맥 AH12시편 (Fig. 6B)은 NRM의 상태에서부터 역자화이다. 역시 70 mT의 세척강도로서 단일 ChRM성분이 드러나고 있다.

**화강섬록암 (Fig. 6) :** 본 지역내에서 가장 후기산물인 불국사 심성암류를 이룬다. NRM강도  $100 \sim 300 \text{ mAm}^{-1}$  내외로서 강한 잔류자기의 암석이다. 채취된 두 노두 (AU, AW)의 모든 시편들이 정자화되어 있는데 유독 AU4시편 하나는 다른 시편들의 NRM과 반평행 (antiparallel, antipodal)인 역자화 방향을 가리키고 있었다.

NRM이 역자화인 AU4시편은 잔류자기의 2차적 중첩을 거의 받지 않았다 (Fig. 6C). 반면에 같은 화강섬록암인 AW1시편에서는 현재자장의 영향이 나타난다 (Fig. 6D). 이 2차적인 현자장 VRM은 10 mT 정도의 약한 교류세척으로도 쉽사리 제거되고 있다.

### 지층별 평균 특성잔류자기

지층별의 평균 특성잔류자기 방향을 계산하기 위하여 우선 앞절의 자기세척실험의 결과에 입각하여 노두별로 최적의 세척방법과 강도를 결정한 후 이에 의거하여 모든 시편들을 일괄처리하였다. 다음에는 이들 일괄처리의 결과들을 가지고 Fisher의 球面통계학에 의거 (Fisher, 1953) 노두별의 평균과 그의 오차를 계산하였다 (Table 2).

지층평균 (Table 3)을 구하는데 있어서 斷層線上이나 단층선에 근접된 노두들은 한결같이 2차적인 재자화의 양상을 보이므로 (Fig. 9) 제외하였다. 또한 동일지층의 다른 노두들에 비하여 너무 불합리하게 낮은 고위도를 보이는 노두들 역시 지층평균의 계산에서 제외하였다. 낮은 북각의 잔류자기는 세척시 역자화성분과와 정자화성분의 완전 분리가 성취되지 않은 데에 그 원인이 있을 것이다. 모든 결과는 Table 2와 3 그리고 Fig. 8에 실려 있으며 지층별의 간단한 설명은 다음과 같다.

**하산동층 :** 앞선 교류자기 세척실험의 결과에 의거 (Fig. 2A) 모든 시편들을 20 mT로 일괄처리하였다. 대부분의 시편들이 북동상환에 정자화로 군집되었으나 몇개의 시편들은 동일상환에서 -북각을 보였다. 이는 지금껏 미약한 잔류자기강도 ( $< 0.2 \text{ mAm}^{-1}$ )에 따른 측정오차에 기

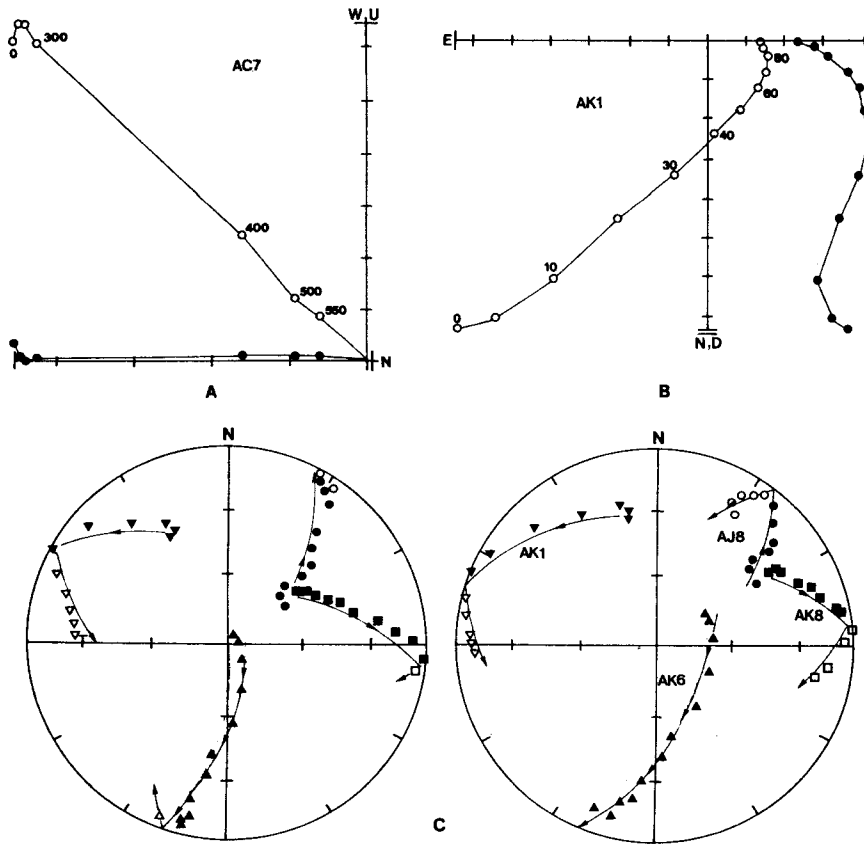


Fig. 5. Typical demagnetization examples of acidic tuff samples from the Yuch'on Volcanic Group. Thermal demagnetization was more effective for the samples from AC site, while AF demagnetization was more effective for the samples from AJ and AK sites. In the latter cases a single remanent component can not be isolated, and the trace of remanent vectors during stepwise AF demagnetization describes a great circle. All the vector diagrams are drawn in in-situ coordinates. Solid (open) symbols are onto the horizontal (vertical) plane. One scale;  $3 \times 10^{-5} \text{ mAm}^{-1}$  in A and  $3 \times 10^{-4} \text{ mAm}^{-1}$  in B. The lower left (lower right) equal-area stereogram is drawn in in-situ (stratigraphic) coordinates. The solid (open) symbols represent downward (upward) inclination.

인된 것으로 취급되므로 지층의 평균계산에서 제외하였다.

**진주층** : 채취된 총 17개의 시편중 12개를 단계적으로 교류세척하였는 바 AN노두의 것들은 거의 모두가 대원 모양의 세척습성을 보이는 반면 (Fig. 7) AO노두 시편들은 AO4 하나를 제외하고는 모두가 불안정한 것으로 판명되었다. Fig. 7에 도시된 대원들의 교점 평균을 구하여 진주층의 평균 ChRM으로 하였는데 계산시 남서상향에서 비합리적으로 얇은 북각을 갖는 세 대원의 교점은 임의적으로 무시하였다. 계산으로 나타난 교점의 평균은 지층 경사 보정 후의 상태로  $d=190.6^\circ$ ,  $i=-59.6^\circ$ ,  $\alpha_{95}=3.6^\circ$ ,  $k=124$ ,  $n=14$ 이다. 참고로 각 대원 (specimen great circle)의 極 (pole)에 가장 잘 일치하는 새로운 대원 (site great circle)을 설정하고 그 대원의 극을 구하면  $d=189.7^\circ$ ,

$i=-52.9^\circ$ 가 얻어진다.

**일직층** : 앞서에 설명된 세척실험결과에 의거하여 황색 사암인 AS노두의 시편들은 모두 20 mT로, 적색 사질세 일인 AL노두의 시편들은 모두 550°C로 일괄 세척하여 각 노두의 평균 ChRM방향을 구하였다. 단계적 세척실험시에 잔류자기방향의 변화가 불안정하게 나타났던 개별시편들은 노두평균의 계산에서 제외되었다. AS노두의 잔류자기는 95%의 신뢰도로서 습곡검사 (McElhinny, 1964)를 통과하였다. 일직층의 총평균은 AS와 AL 두 노두의 시편들을 하나의 집단으로하여서 계산한 것이다. AQ와 AM 두 노두는 모든 시편들이 세척시 불안정한 자기습성을 보였으므로 지층평균의 계산에 포함시키지 않았다.

**후평동층** : 적색세일인 AT, AR 두 노두의 시험시편들은



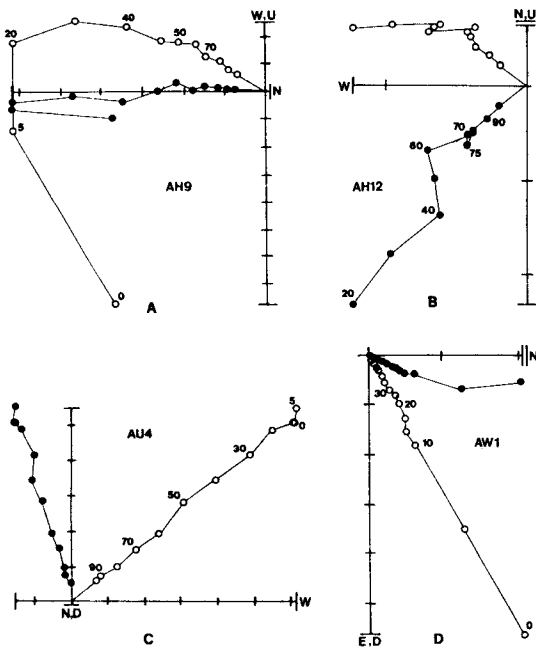


Fig. 6. Typical AF demagnetization diagrams of igneous rocks. A and B; Andesitic dyke samples from the Yuch' ōn Volcanic Group. C and D; Granodiorite samples from the Bulguksa Intrusive Group. Note that the specimen AU4 in C is reversely magnetized and that the trace of the remanent vectors does not exactly pass the origin of the demagnetization diagram. All vector diagrams are drawn in in-situ coordinates. Solid (open) symbols onto the horizontal (vertical) plane. One scale;  $3 \times 10^{-4} \text{ mAm}^{-1}$  in A and B,  $3 \times 10^{-3} \text{ mAm}^{-1}$  in C and D.

모두가 Fig. 4에 제시된 AR9시편과 동일한 열자기세척 반응을 보였다. 따라서 모든 시편들을 550°C로 일괄 세척하였다. 구미동층원인 AT노두와 구계동층원인 AR노두의 평균방향들에서 상호의 차이가 인지되는데 이것이 급속한 磁極의 이동을 의미하는지는 분명치 않다. Table 3의 지층평균에는 이들 두 노두를 별도로 한 것과 한뿔으로 한 것의 두가지지를 실었다.

**점곡층**: Fig. 3에 소개된 AD12시편에서와 같은 세척실험 결과에 의거하여 모든 AD시편들을 30 mT로 처리하였다. AD4시편은 남동상한의 역자화 NRM을 가지고 있었는데 열세척에 따라 다른 시편들과 반평행이 되는 남서상한의 역자화로 방향이 변화되었다. AI1-35노두는 금성산 環狀斷層상의 노두로서 다른 斷層線상의 노두들과 함께 뒤에 따로 취급한다.

**사곡층**: 회색세일인 AH1-6시편들은 Fig. 3의 AH6시편에서와 같은 교류자기세척실험의 예에 의거 70 mT로 일괄처리 되었으며, 적색세일인 AG와 AF시편들은 Fig. 4의

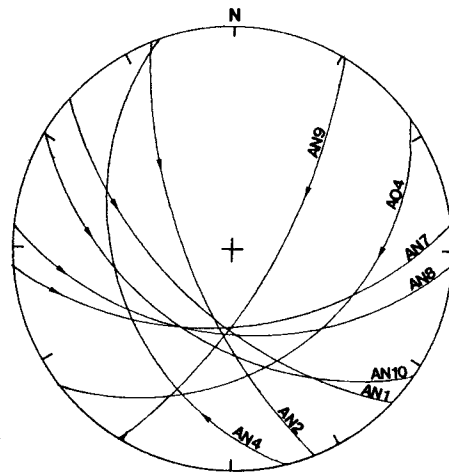


Fig. 7. Best-fitting specimen remagnetization circles of the Jinju Formation in the upper hemispherical equal-area projection. They are intersecting each other in the upper southwest quadrant, representing existence of a reversed remanent component.

AF10에 대한 열세척 시험결과에 의거 500°C로 일괄처리 되었다. AH1-6시편들은 안산암맥의 관입에 의하여 hornfels화되는 동시에 냉각과정에서 재자화되었을 것이다. 사곡층의 다른 노두 AA와 AB는 신령단층(백학동단층)선에 근접된 것이며 AI36-56노두는 금성산 환상단층상에 위치한 노두이다. 이들은 뒤에 따로 다룬다.

**춘산층**: 적색세일인 AE노두의 모든 시편들은 500°C로 일괄처리 되었다 (Fig. 4의 AE10 참조). AE2와 AE12 두 시편들의 잔류자기 방향은 다른 무리들로부터 거리를 두고 있어 평균방향의 계산에서 제외하였다. 이들의 위치는 북동의 정자화에서 남서의 역자화를 연결하는 대원 근방인데 이는 감추어진 역자화성분의 존재를 의미하는 것이다.

**유천층군**: 안산암맥인 AH7-12시편들은 Fig. 6A와 6B의 실험결과에 의거하여 70 mT로 일괄처리하였다. 갑령재 AC노두의 산성응회암 시편들은 Fig. 5에 나타난 실험결과에 의거 모두 500°C로 일괄처리 하였다. AC시편들 모두는 역자화되어 있었다.

수정사계곡에서 채취된 산성응회암 시편들 (AJ, AK)은 앞서의 암상별 실험에서 설명했던 바와 같이 (Fig. 5C) 대원형의 잔류자기 방향변화를 보였다. 따라서 일괄처리 대신 모든 개별 시편들을 단계적으로 교류세척하고 그들이 그려내는 대원들의 교점들 노두의 평균 ChRM으로 하였다. Table 2에 실린 것은 이 값이다. 암석 位置당시의 수평면을 알 수가 없으므로 현장상태의 잔류자기방향을 이용하여 磁北의 위치를 계산하였다. 한편, 대원들의 교

Table 2. Site mean ChRM directions of the studied strata.

Group & Formation	Site	Treat. level	n	Before bedding correction			After bedding correction			Palaeomagnetic north pole			Palaeo-lat(°N)	Polarity					
				d(°)	i(°)	$\alpha_{95}$ (°)	k	d(°)	i(°)	$\alpha_{95}$ (°)	k	lat(°N)			lon(°E)	dp(°)			
Bulguksa Intr. Group	AW	30mT	6	18.6	55.2	6.7	101.1			75.0	215.5	6.8	9.5	35.7	N				
	AU	40mT	10	343.4	42.2	7.0	49.2			71.5	3.7	5.3	8.6	24.4	N+R				
Yuch'on Group	AJ	great	6*	241.5	-41.2	10.1	20.5			36.1	214.2	7.5	12.3	23.6	N+R				
	AK	circle	5*	189.5	-54.2	12.3	18.4			82.1	227.0	12.1	17.3	34.7	N+R				
	AC	500°C	7	192.1	-54.7	8.7	49.0			80.1	220.2	8.7	12.3	35.4	R				
	AH7-12	70mT	5	206.9	-47.0	24.7	10.5			66.0	230.5	20.6	31.9	28.2	N+R				
Hayang Group	AE	500°C	11	72.4	61.1	4.5	102.9			4.4	47.3	4.4	107.1	63.0	226.8	3.7	5.7	28.5	N
	AF	500°C	10	88.2	66.8	8.1	36.1			8.2	58.0	8.2	36.1	69.1	204.2	8.8	12.0	38.6	N
	AG	500°C	7	80.2	69.3	11.9	26.9			7.9	58.6	7.9	60.1	64.1	201.9	8.7	11.7	39.3	N
	AH1-6	70 mT	6	48.4	74.6	18.7	13.9			18.6	50.4	18.6	3.9	78.0	240.2	16.8	25.0	31.1	N
	AD	30 mT	9	39.3	63.3	10.8	23.7			10.4	55.3	10.4	25.3	56.7	206.8	10.6	14.8	35.8	N+R
	AR <sup>1)</sup>	550°C	7	36.7	58.4	7.9	59.8			5.1	53.2	5.1	138.7	54.9	209.8	4.9	7.1	33.7	N
	AT <sup>2)</sup>	550°C	8	25.7	64.6	4.8	132.0			4.8	62.1	4.8	134.1	65.7	192.1	5.8	7.5	43.4	N
	Ilchik Fm.	20 mT	9	44.3	65.9	15.3	12.3			9.7	61.8	9.7	29.0	57.5	193.5	11.7	15.1	43.0	N
		550°C	7	30.2	58.8	6.1	100.1			5.9	48.1	5.9	104.6	61.0	223.1	5.1	7.8	29.1	N
Shindong Group	AN+AO	gr.cir.	14*	169.9	-59.8	5.5	54.0			3.6	-59.7	3.6	124.0	80.6	188.2	4.1	5.4	40.5	N+R
	AP	20 mT	9	40.0	51.7	11.8	20.1			13.1	42.9	13.1	16.5	47.3	219.8	10.0	16.2	24.9	N

<sup>1)</sup> Kugyedong Member, <sup>2)</sup> Kumidong Member, n; number of specimens, and \*; number of intersection points of AF remagnetization circles (great circles).

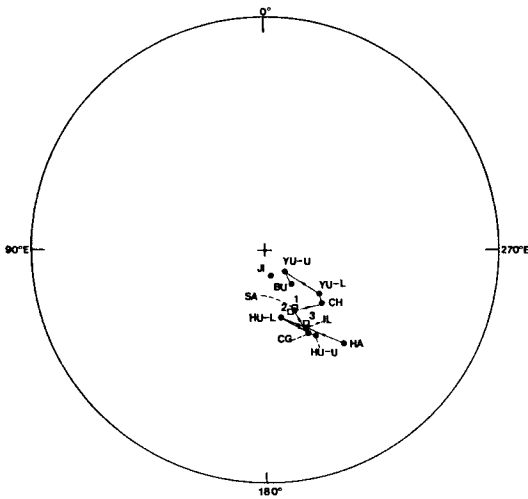


Fig. 8. Palaeomagnetic pole positions calculated from the formation means of this study (Table 3), plotted on the northern hemisphere (equal-area projection). HA; Hasandong Fm., JL; Jinju Fm., IL; Ilchik Fm., HU-L; Lower Hup'yongdong Fm. (Kumidong Member), HU-U; Upper Hup'yongdong Fm. (Kugyedong Member), CG; Chomgok Fm., SA; Sagok Fm., CH; Chunsan Fm., YU-L; Lower Yuch'on Gr., YU-U; Upper Yuch'on Gr., and BU; Bulguksa Intrusive Gr. The numbered pole positions are from other (Miryang) Block. 1; Taegu-Andong area (Lee et al., 1987), 2; Taegu area (Kim and Jeong, 1986), and 3; Jinju area (Kim et al., in press).

점을 바로 구하는 대신 각 대원들의 極 (pole)에 가장 일치되는 새로운 대원을 구하고 이의 극을 구하면 AJ노두의 경우  $d=233.5^\circ$ ,  $i=-39.5^\circ$ 가 얻어지고 AK노두의 경우  $d=204.5^\circ$ ,  $i=-40.2^\circ$ 의 값이 산출된다.

일반적으로 이 노두들에서와 같은 대원형의 잔류자기 변화는 시편내에 정자화와 역자화가 공존하기 때문이며, AJ노두에서와 같은 낮은 복각값은 이 두 성분이 완전히 분리되지 않은 데에 기인한다. 따라서 AJ와 AK노두는 지층의 평균계산시에 포함시키지 않았다.

AC노두와 AH7-12노두의 평균방향에서는 구별되는 차이가 있다. 이는 두 노두 사이의 시간적 차이를 뜻하는 것으로 해석되므로 통합의 평균방향을 계산하지 않고 별도로 놓았다. AH7-12노두의 평균ChRM방향은 그 하위의 춘산층방향과 유사하고 AC노두의 방향은 그 상위의 불국사 관입암군의 방향에 유사하다. 이는 두 노두사이의 상당한 시간적 간극을 의미할 것이다.

**불국사관입암류** : Fig. 6의 실험결과에 의거하여 AW시편 모두를 30 mT로, AU시편 모두를 40 mT로 일괄처리 하였다. 그 결과 AW노두의 평균 ChRM방향은 현재자장에 상당히 근접되게 나타났으며 AU노두의 경우에는 반시계

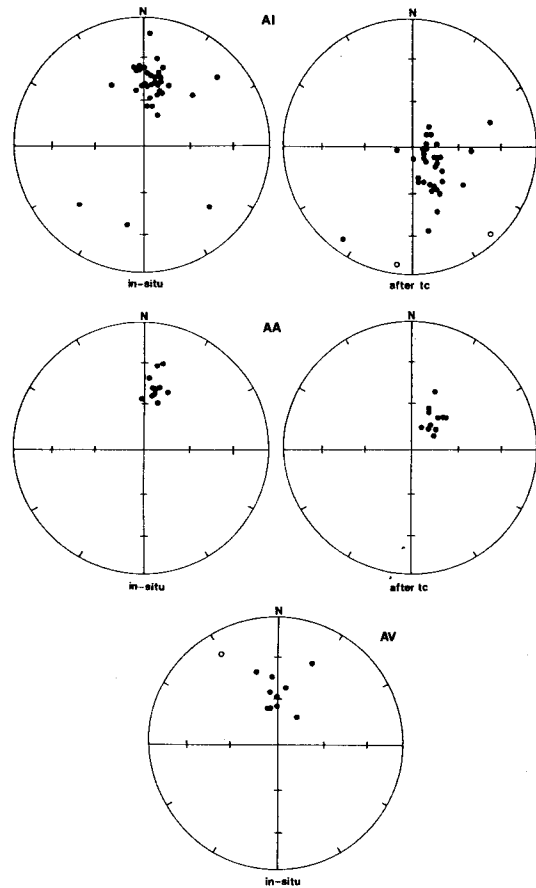


Fig. 9. NRM directions of the specimens from the fault line sites. The left (right) equal-area stereogram is drawn in in-situ (stratigraphic) coordinates. AV site has no tilt data. The solid (open) symbols represent downward (upward) inclination. For the sake of clarity, only a partial group of the specimens are plotted. Despite the variety of lithology and age (AI; black shale Chomgok Fm., AA; red shale Sagok Fm., and AV; the younger granodioritic Bulguksa Intrusive Group), all the in-situ remanent directions are practically identical and are parallel with that of the present geomagnetic field. Note the case of the negative fold test by comparing the in-situ and stratigraphic directions of all sites together.

방향으로 약  $20^\circ$  회전된 것으로 나타났다 (Table 2). 암석 定置 당시의 수평면을 알 수가 없으므로 현장상태의 잔류 자기방향을 이용하여 磁北의 위치를 계산하였다.

한가지 주목할 점은 AU시편의 잔류자기들이 벡터다이아그램의 원점을 벗어나면서 소멸된다는 사실이다 (Fig. 6 C). 이는 결국 상기 40 mT의 교류자기세척이 ChRM을 분리해 내는 적절한 방법이 되지 못함을 뜻한다. 따라서 추가로 모든 AU시편들을 열세척하였는데 오직 Fig. 10에

Table 3. Formation mean ChRM directions of the studied strata.

Group & Formation	Site	Treat. level	n	Before bedding correction				After bedding correction				Palaeomagnetic north pole			Palaeo-lat(°N)		
				d(°)	i(°)	$\alpha_{95}$ (°)	k	d(°)	i(°)	$\alpha_{95}$ (°)	k	lon(°E)	dip(°)	dm(°)			
Bulgksa Group	AW	30 mT	6	18.6	55.2	6.7	101.1						75.0	215.5	6.8	9.5	35.7
Yuch'on Group	AC	500°C	7	192.1	-54.7	8.7	49.0						80.1	220.2	8.7	12.3	35.4
	AH7-12	70 mT	5	206.9	-47.0	24.7	10.5						66.0	230.5	20.6	31.9	28.2
Hayang Group																	
Chunsan Fm.	AE	500°C	11	72.4	61.1	4.5	102.9	30.7	47.3	4.4	107.1		63.0	226.8	3.7	5.7	28.5
Sagok Fm.	AF+AG	500°C	17	85.1	67.8	6.3	33.2	28.9	58.3	5.4	44.8		67.0	204.1	5.9	8.0	39.0
Ch'omgok Fm.	AD	30 mT	9	39.3	63.3	10.8	23.7	41.5	55.3	10.4	25.3		56.7	206.8	10.6	14.8	35.8
Hup'yongdong Fm.	AR <sup>1)</sup>	550°C	7	36.7	58.4	7.9	59.8	43.1	53.2	5.1	138.7		54.9	209.8	4.9	7.1	33.7
	AT <sup>2)</sup>	550°C	8	25.7	64.6	4.8	132.0	30.4	62.1	4.8	134.1		65.7	192.1	5.8	7.5	43.4
Ichik Fm.	AR+AT	550°C	15	31.4	61.8	4.5	73.5	37.1	58.1	4.2	84.2		60.7	202.3	4.6	6.2	38.8
	AS+AL	20 mT, 550°C	16	37.1	62.9	8.5	19.7	37.4	55.8	6.5	32.8		60.1	207.1	6.7	9.4	36.4
Shindong Group																	
Jinju Fm.	AN+AO	gr.cir.	14*	169.9	-59.8	5.5	54.0	190.7	-59.7	3.6	124.0		80.6	188.2	4.1	5.4	40.5
Hasandong Fm.	AP	20 mT	9	40.0	51.7	11.8	20.1	48.4	42.9	13.1	16.5		47.3	219.8	10.0	16.2	24.9

<sup>1)</sup>; Kugyedong Member, <sup>2)</sup>; Kumidong Member, and gr.cir.; by calculating mean of great circle intersection points (AF data).

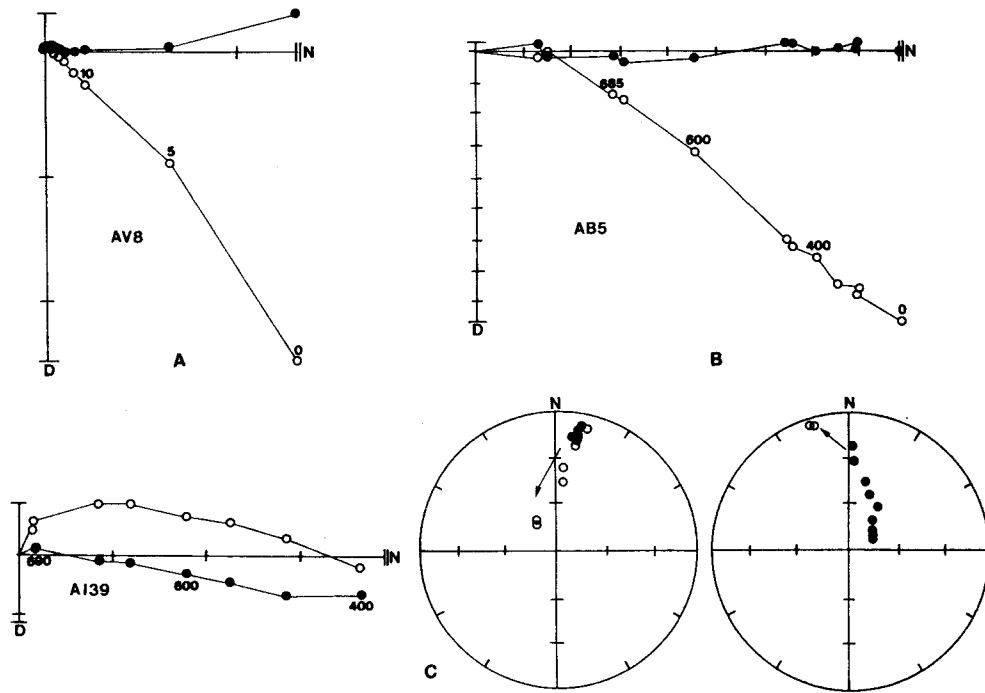


Fig. 10. Demagnetization of fault line specimens revealed only the recent field component. A; AF demagnetization of a granodiorite specimen from AV site. B and C; Thermal demagnetization of red shale specimen from AB and AI site, respectively. Note that the remanent magnetization of AV site is totally replaced by the recent field remanence, while AB and AI sites preserve some of the original reverse magnetization. All vector diagrams are drawn in in-situ coordinates. One scale;  $3 \times 10^{-3} \text{ mAm}^{-1}$  in A and  $3 \times 10^{-4} \text{ mAm}^{-1}$  in B and C. The left (right) equal-area stereogram in C is drawn in in-situ (stratigraphic) coordinates. The solid (open) symbols represent downward (upward) inclination.

제시된 세 시편에서만 안정된 단일자화성분을 구할 수 있었다. 이러한 이유로 Table 3에 AU노두의 평균방향을 신지 못하였다. AU노두에 관련된 보충논의는 아래의 지괴운동에 관한 토론의 항에서 하기로 한다.

AV노두는 단층선상의 노두로서 단층작용에 관련하여 재자화된 노두이다.

## 토 론

### 단층과 재자화 작용

앞항의 각 지층별 평균 특성잔류자기의 계산에서 AA, AB, AI, AV 4개의 노두들은 제외되었다. 이 네 노두들은 암질과 연령에서 상호간 구별이 되는데도 불구하고 (Table 1) 모두가 현재자장 방향의 잔류자기에 의하여 압도되고 있다는 공통점을 지닌다. 또한 이 노두들은 모두가 공통적으로 斷層線上 또는 단층에 바로 근접되게 위치하고 있다 (Fig. 1). 결국 이 노두들은 단층과쇄대를 따라 유동

하는 저온 열수용액이나 지하수에 의하여 재자화된 것으로 해석된다.

Fig. 9의 각 왼쪽그림들은 이 노두들의 현장상태 (in-situ, before tilt correction)에서의 NRM방향을 도시한 것인데 거의 현재자장의 방향에 일치되어 있다 (점들의 과도중첩을 피하기 위하여 AI에서는 AI1-35까지의 시편만을 도시하였다. 생략된 AI36-56의 시편들도 유사한 분포를 보인다. 또한 AA노두와 유사한 NRM분포를 보이는 AB노두도 역시 도시를 생략하였다). 현장상태에서 북향이던 이 NRM은 지층경사 보정을 실시하면 남동 (AI노두)과 북동 (AA노두)상한으로 흩어진다 (Fig. 9의 각 오른쪽그림). 따라서 이들의 잔류자기는 지층의 傾動 (tilt) 이후에 획득된 2차 잔류자기이다 (negative fold test). 화강섬록암 (Fig. 8C)의 경우에는 定置 후에 경동이 있었는지 불명하다.

Fig. 10은 이 노두의 시편들에 대한 세척실험의 결과이다. Fig. 10A는 불국사 관입암군의 화강섬록암을 교류자기세척한 예이며 Fig. 10B는 사곡층 적색세일에 대한 열자기세척실험의 예이다. 두 경우 공히 잔류자기를 압도하

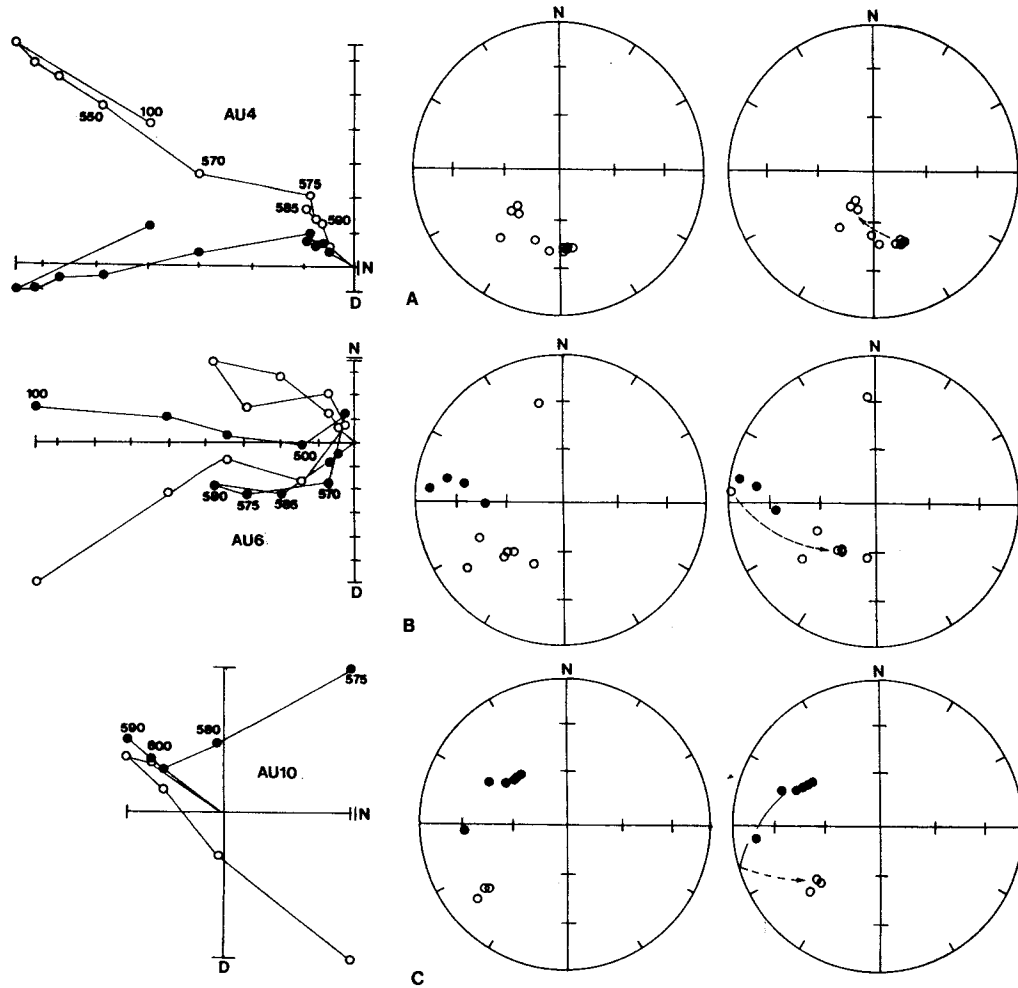


Fig. 11. Thermal demagnetization of apparently rotated AU site. All vector diagrams are drawn in in-situ coordinates. One scale in all vector diagrams is  $3 \times 10^{-4} \text{ mAm}^{-1}$ . The left (right) equal-area stereogram is drawn in in-situ (stratigraphic) coordinates. The solid (open) symbols represent downward (upward) inclination. The stable-end-point directions in the southwest quadrant are just the same (or antiparallel) directions as observed commonly in the unrotated sites. This fact denies any rotational motion of the AU site.

는 성분은 오로지 현재자장 방향의 것 뿐이다. 마지막 단계에서 다른 성분의 징후가 나타나는 경우도 있으나 즉시 소멸되어 버린다 (Fig. 10B, C).

한편 점곡층의 몇 AI시편들에는 재자화에도 불구하고 본래 자화성분의 흔적이 남아있다. Fig. 9 AI에 나타나고 있는 남향 (남서와 남동)의 NRM은 시편에 역자화성분이 공존하고 있음을 의미한다. Fig. 10C에 제시된 바 자기세척에 따라 잔류자기 방향이 남서의 역자화로 이동되는 사실은 이를 확인케 한다. 그러나 자기세척으로 이 원래의 자화성분을 유리시켜 내지는 못하였다.

의성지역에서의 퇴적암석학적 연구에 의하면 경상계

퇴적암들은 높은 다짐도 (compaction)와 고결도 (cementation) (손진담, 1990) 그리고 매우 낮은 공극율과 투수도를 갖는다고 한다 (장기홍, 1978; 정태진 등, 1992). 따라서 보통의 상황에서는 유체작용에 의한 재자화가 일어나기가 어렵고 단층작용에 의한 파쇄대를 따라서만 이것이 가능했던 것이다. 경우에 따라서는 이 단층선에 연관된 광화 작용도 있었는데 지세정 등 (1991)은 200-350°C 정도의 금-은광 형성온도를 제시하였으며, 이현구 등 (1991, 1993) 역시 유사한 동-연-이연광의 유체포유물 균일화온도와 유비철석 지질온도계에 의한 325~405°C의 온도, 그리고 유황안정동위원소에 따른 400~500°C의 온도를 제시하였

다. 이 정도의 온도는 고자기학적인 견지에서 비교적 낮은 온도인 바 이들 광화작용에 동반되어 부분적으로 1차 잔류자기가 보존되면서 2차 잔류자기가 중첩되는 재자화작용이 일어났던 것으로 보인다. 100 m를 넘는 축선에서 58개의 core가 채취된 오토산 북쪽사면 AI지역의 예로서 알 수 있는 것은 보통의 단층지역보다도 광화대지역에서는 보다 넓은 범위에 걸쳐 재자화가 일어났다는 것이다. 도폭조사로 알려진 단층운동의 시기와 재자화 잔류자기방향 등의 정보를 종합할 때 재자화시기, 즉 광화작용의 시기는 지층의 傾動이후인 백악기 최말이나 제 3 기인 것으로 추정된다.

단층과 지괴의 회전운동

앞서 서언에서 언급한 바와같이 본 의성지역은 數組의 주향이동단층으로 특징되어 있고 세계의 여러 走向移動斷層지역에서는 地塊의 수평 회전운동이 흔하게 알려져 있으므로 본 역에서의 지괴의 회전운동여부는 중요한 관심사이다. 결론부터 말해서 본 연구로 나타난 해답은 기대되는 회전운동이 없었다는 것이다. Table 2와 3에 나타난 의성지역 지층들의 자북위치는 오차의 한계내에서 Kim and Jeong (1986)과 Otofujii et al. (1986)의 대구지역 하양층군에서의 자북위치 67°N 202°E, Lee et al. (1987)의 대구-안동지역 하양층군에서의 자북위치 67.6°N 205.1°E, 그리고 필자들에 의하여 연구된 (광산지질 투고중) 진주이남 진교-사천지역에서의 경상계 퇴적암의 평균 자북위치 61.3°N 208.3°E를 모두와 잘 일치한다 (Fig. 8, Fig. 12). 따라서 의성지역에서의 지괴의 회전운동은 전혀 없었거나 무시될 정도로 불과하다고 말할 수 있다. 특히 현장노두 (in-situ) 상태에서 계산된 의성지역 유천층군과 불국사관입암군의 자북위치가 한반도나 중국에서 일반적으로 알려진 백악기말의 자북위치와 같다는 것은 이 화성암노두들이 定置이후 傾動되지 않았음을 의미한다.

한편, 가음단층선에 대하여 직각선상에 배열된 (Fig. 1) AE, AF, AG, AH의 네 노두에서의 특성잔류자기방향을 보면 (Table 2) 단층선에 접근함에 따르는 자화방향 (편각)의 체계적인 변화도 나타나지 않는다. 따라서 단층작용에 수반된 주변지괴에서의 잔류자기 회전도 일어나지 않았음을 알 수 있다.

여기서 한 가지 특별히 살펴보고 넘어가야 할 사항은 금천단층과 가음단층사이에 위치한 AU노두에서의 특성잔류자기이다. 이 노두는, 완전히 못한 세척실험으로 인하여 지괴의 회전운동이라는 잘못된 해석이 생겨날 수도 있음을 예시해준다. Table 2에 실려있는 바에 의하면 이

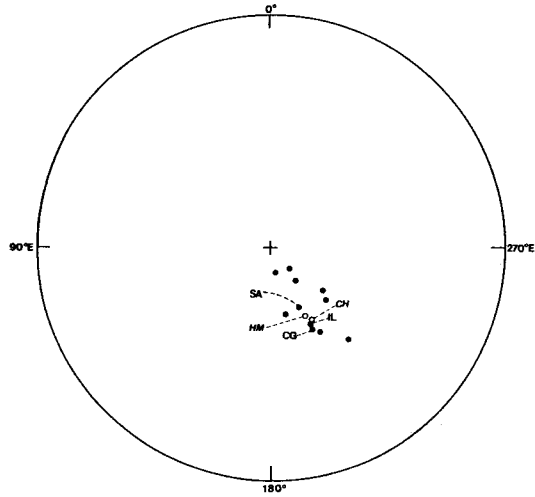


Fig. 12. Stratigraphic correlation of sedimentary strata in the study area (Uisong Block) with those in the Jinju area (Miryang Block). Plot convention is the same as in Fig. 8. Solid symbols with normal letters represent Uisong poles (IL; Ilchik Fm., CG; Ch mgok Fm., and SA; Sagok Fm.) and open symbols with italics represent Jinju poles (*C<sub>H</sub>*; Chilgok Fm. and *H<sub>M</sub>*; Haman Fm.).

노두의 평균편각은 약 343°E로서, 금천단층과 가음단층사이의 지역이 약 20° 반시계방향으로 회전된 것으로 보이게 한다. 그러나 이 편각값 (擬似 ChRM)은 40 mT의 교류세척 (Fig. 6C)에 의한 것이며 이러한 교류세척은 올바른 특성잔류자기를 구해내는데 충분치 못함을 앞에서 설명하였다. 이 AU노두에서의 올바른 특성잔류자기의 분리 오직 고온의 열세척으로만 가능하였다. Fig. 11은 이 AU시편들을 600°C 까지 11단계로 열세척한 결과이다. 모든 시편들에서의 공통적 특성은 585°C 이상의 고온에서 비로소 단일 역자화성분 (진정한 ChRM)이 분리된다는 것이다. 등적입체투영에 잘 나타나 있는 흥미로운 사실은 세척의 진전에 따라 각 시편들의 잔류자기방향이 남서상한으로 모여들면서 공통의 안정중점을 이룬다는 것이다. 나아가서 이 안정중점은 회전되지 않은 다른 노두들에서와 동일한 북동-남서 편각의 방향이다. 따라서 이 불국사관입암군의 AU노두도 회전되지 않았음이 명백하다 (노두하부에 나타나는 퇴적층리를 경사보정의 메타타로 이용하였다. 사실 이 층리가 화강섬록암인 이 AU노두의古수평면을 지시하는지는 명확하지 않으나 그림에 나타나 있는 바와 같이 본항의 논의는 이 지층경사의 보정여부에 무관하다). 만약 이 불국사관입암군 AU노두가 반시계방향으로 회전되었다면 보다 古期인 인근 하양층군 노두들 또한 같은 방향으로 회전되어 있어야 할 것이다. 그러나

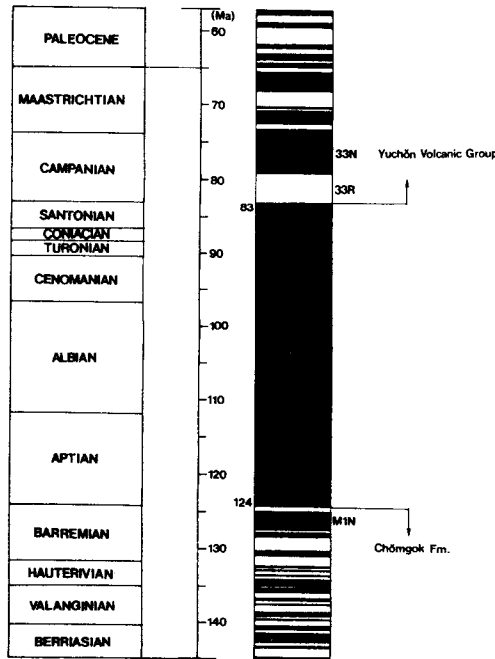


Fig. 13. Magnetostratigraphic correlation with the worldwide standard geomagnetic polarity time scale of Harland et al.(1990). Black; normal polarity and white; reverse polarity.

Table 2나 3에서 확인되는 바와 같이 후자의 증거는 나타나지 않는다.

끝으로 부연하건데, 정자화와 역자화 성분을 한꺼번에 지닌 노두의 경우 세척과정에서 이 두 성분이 완전히 분리되지 않으면 중간방향의 잔류자기 합벡터가 단일 자화 성분으로 오해되는 수가 생긴다 (擬似 ChRM). 앞서의 세척실험 예들에서 보았던 바와 같이 본 지역 대부분의 노두들은 정자화와 역자화 성분을 동시에 지니고 있으므로 세척실험에서 각별한 주의를 기울여야 한다. 특히 AU노두는 이와 같은 사례를 설명하는 좋은 예이다.

자기층서학적 지층대비

지층을 대비하는 磁氣層序學의 수단으로서 잔류자기의 極性비교와 磁極의 位置비교가 있다. Fig. 12는 본 연구에서 나타난 의성지괴와, 별도로 발표될 밀양지괴 (진교-사천지역 : 광산지질 투고중)의 경상누층군 磁北의 위치들을 비교한 것이다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 의성지괴의 일직층과 점곡층은 밀양지괴의 칠곡층에, 의성지괴의 사곡층은 밀양지괴의 함안층에 잘 대비된다. 이는 앞서의 지질개요항에서 설명한 일반적인 대비지식

(장기홍, 1982)과 잘 일치한다. 여기서 필자가 말하고자 하는 것은 이러한 일치의 의의가 지층대비에 관한 기존 지식 (장기홍, 1982)의 확인에 있다기 보다는 의성지역이 다른지역 (진주지역)에 대하여 상대적 회전운동을 한 일이 없었음을 증명한다는 데에 있다는 것이다. 만약 두 지역 간에 상대적 회전운동이 일어났다면 동일시대의 것이라도 磁極들은 일치 될 수 없을 것이다.

자기층서학적 지층연령

본 연구지역내에서 화석이 발견되고 기재된 예는 많지 않다. 따라서 각 지층의 연령에 대한 지식은 추정적 폭이 크다. 김봉균 등 (1981)은 대울도폭지역에서 발견된 신충을 포함하는 非해성 연체동물 (*Trigonioides-Plicatounio* fauna) 이 Barremian까지의 하부백악계의 연령을 지시한다고 하였으며 이창진 등 (1993)은 우보면의 진주층 (일직층 AQ노두의 서편 약 3 km)에서 *estherids* 화석을 발견하고 그 연령의 상한이 Aptian일 것으로 생각하였다. 전희영 등 (1990)에 의한 화석연령들도 대부분 그 폭이 크다.

이러한 상황에서, 본 연구에서 밝혀진 각 지층의 磁氣 極性에 대한 정보 (Table 2)는 지질시대 결정에서 유용한 조력수단이 될 수 있다. 우선 최하위의 하산동층으로부터 점곡층까지는 정자화와 역자화가 섞이며 나타나고 있는 반면 그 상위인 사곡층부터 (춘산층까지)는 정자화만 나타나고 있음이 주목된다. 본 연구에서는 점곡층의 하위인 일직층과 후평동층에서 정자화만이 나타났으나 Lee et al. (1987)이 연구한 안동지역에서는 역자화가 함께 관찰된 바 있다. 따라서 점곡층 이하의 지층들은 白堊期 正磁極期 (Cretaceous Normal Polarity Superchron: 124~83 Ma) (Harland et al., 1990)의 시작, 즉 124 Ma (Aptian/Barremian경계: 124.5 Ma, Harland et al., 1990)이전의 지층임을 알 수 있다 (Fig. 13). 이러한 견지에서 본다면 *estherids* 화석이 발견된 上記 진주층 연령의 상한은 이창진 등 (1993)의 Aptian에서 Barremian이전으로 좁혀진다. 또한 전희영 등 (1990)은 일직층과 후평동층의 연령을 Aptian으로, 춘산층의 연령을 Albian초엽으로 보았는 바, 磁氣 層序學의 견지에서 볼 때 前者 두 지층의 연령은 너무 젊다.

한편 유천층군에 들어서면서부터는 (Table 2) 다시 정자화와 역자화가 빈번히 섞이고 있다. 이는 본 연구에서 채취된 유천층군 화산암들의 연령이 83 Ma (Campanian의 시작시점: Harland et al., 1990)보다도 젊다는 것을 의미한다. 보다 자세한 내용은 별도로 발표될 것이나 (이현구 등 : 광산지질 인쇄중) 금성산지구 광화대에서 K-Ar 연령



측정을 실시한 결과들은 이 83 Ma이내의 연령을 지지한다. 즉, 금성산 수정사암구 AK노두의 직하위의 현무암층은  $71.4 \pm 2.3$  Ma, 상위의 유문암층은  $66.8 \pm 1.5$  Ma의 연령을 나타내었으며 AI노두계곡 오토광산의 견운모는  $70.5 \pm 1.5$  Ma, 산너머의 토현광산 견운모는  $66 \pm 1.5$  Ma의 연령이었다. 이는 백악기 최말기인 Maastrichtian (74 Ma부터 시작)에 해당하는 나이이다. 보다 고기인 Campanian에 해당하는 83 Ma와 74 M 사이의 시간간격은 출산층 상부의 신양동층이 깨꾸거나 하양층군과 유천층군사이 혹은 유천층군기간 내에서의 부정합으로 설명이 된다. 끝으로, 본 연구지역에서 가장 젊은 암석은 AI와 AJ노두 사이의 불국사관입암군내에 나타나는 중성암맥인 바 그의 K-Ar 연령은 중기 Eocene인  $45.8 \pm 1.0$  Ma 내지  $51.6 \pm 1.2$  Ma인 것으로 밝혀졌다.

### 결 론

본 연구로 나타난 의성지역 경상누층군 제지층들의 자북위치들은 전체적으로 대구-안동지역이나 진교-사천지역의 동시대 지층들의 자북위치들과 일치되고 있다. 따라서 연구지역은 신동층군의 퇴적 이후 다른 지역에 비하여 별다른 위도변화운동이나 상대적 지괴회전운동을 일으키지 않았다.

또한 의성지괴 유천층군과 불국사관입암군의 자북위치가 지층경사보정을 실시하지 않은 상태에서 타 지괴 자북위치와 유사하게 나타나는 것은 이 화성암들이 定置 후에 傾動되지 않았음을 의미한다.

서북서의 주향을 가지며 연구지역을 가로지르는 금천단층, 가음단층, 우보단층, 신령단층 등의 좌향 주향이동단층들은 지역내의 상대적인 소지괴 회전운동을 야기시키지 않았다. 단층양편의 노두에서 잔류자기 편각의 차이가 관찰되지 않으며, 단층에 접근함에 따른 잔류자기 편각의 체계적인 변화도 나타나지 않는다.

그러나 주향이동단층이나 環狀단층선에 연결된 노두들에서는 지층의 연령이나 암상을 막론하고 공히 현재자장 방향의 잔류자기성분이 심하게 중첩되어 있음이 관찰된다. 지층경사보정을 실시하면 이 잔류자기 방향들은 분산된다. 따라서 이 단층선의 노두들은 백악기 최말 내지 제 3 기에 단층과쇄대를 따라 이동되는 유체에 의하여 재자화되었다. 단층선 지역의 금-은-동-연-아연 광상들도 이러한 작용에 연관하여 생성되었을 것이다.

磁氣층서학적인 방법에 의한 유천층군 화산암의 연령은 Campanian 즉 83 Ma보다도 젊으며, 점곡층과 그 이하의 퇴적층들은 Barremian 즉 124 Ma보다 오랜 연령을 갖는

다.

### 사 사

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

### 참고문헌

김봉균, 정창희, 김수진, 양승영 (1981) 한국지질도 (1:50,000) 대울도폭 및 설명서. 자원개발연구소, p. 29.  
 도성재, 박찬호, 지세정, 최선규 (1990) 경상북도 의성일대에 분포하는 백악기 지층의 자기층서. 지질학회지, 26권, p. 594-595.  
 박찬호, 도성재, 민경덕 (1991) 의성지역에 분포하는 백악기 지층에 대한 고자기 연구. 지질학회지, 27권, p. 549.  
 원종관, 윤 신, 소철섭 (1980) 한국지질도 (1:50,000) 신령도 폭 및 설명서. 자원개발연구소, p. 21.  
 손진담 (1990) 의성소분지 경상누층군 (진주층과 일직층)의 퇴적상과 속성작용. 1989년도 전국대학 기초과학연구소 지구과학 (지질)분야 학술심포지움 발표논문집, 4집, 서울대학교 자연과학종합연구소, p. 11-26.  
 이기동 (1990) 경상분지 백악계지층의 고자기학적 연구. 1989년도 전국대학 기초과학연구소 지구과학 (지질)분야 학술 심포지움 발표논문집, 4집, 서울대학교 자연과학종합연구소, p. 43-57.  
 이창진, 최성자, 이명석 (1993) 경북 의성 부근의 백악기 지층에서 산출된 화석 Estherids에 대한 고생물학적 연구. 한국지구과학회지, 14권, p. 1-9.  
 이현구, 김상중, 윤혜수, 송영수, 오민수, 최위찬, 정승환 (1991) 경북 의성군 오토산 부근의 동-연-아연 광화작용에 관한 연구. 지질학회지, 27권, p. 527-528.  
 이현구, 김상중, 윤혜수 (1993) 경북 의성분지내의 동-연-아연 광상의 광화작용과 시기. 대한광산지질학회 제 26 차 학술 발표회 요약집, p. 19-20.  
 장기홍 (1977) 경상분지 상부중생계의 층서퇴적 및 지구조. 지질학회지, 13권, p. 76-90.  
 장기홍 (1978) 경상분지의 상부 중생계의 층서, 퇴적 및 지구조 (II). 지질학회지, 14권, p. 120-135.  
 장기홍 (1982) 상부중생대층 (백악계-경상누층군). 한국의 지질과 광물자원, 연세대학교 지질학과 동문회, p. 113-131.  
 장기홍, 고인석, 이재영, 김상욱 (1977) 한국지질도 (1:50,000) 구산동도폭 및 설명서. 자원개발연구소, p. 25.  
 장기홍, 이윤중, 박병권 (1981) 한국지질도 (1:50,000) 군위도폭 및 설명서. 자원개발연구소, p. 20.  
 전희영, 김동학, 엄상호, 봉필윤, 이호영, 최성자, 김복철, 권영인, 이동영, 박영수, 최영섭 (1990) 한반도 진화생물에 의한 퇴적분지연구 (II). 과학기술처, 288 p.  
 정태진, 광영훈, 손진담, 오재호, 허대기, 유병재, 손병국, 권석기, 이영주, 김학주 (1992) 육상 함유가능 분지해석 연구. KR-91-5B-2 석유자원 조사 및 평가연구 (I), 한국자원연구소, p. 147-200.  
 지세정, 최선규, 도성재, 고용권 (1991) 의성지역의 금-은 광화작용. 광산지질, 24권, p. 151-165.

- 최위찬, 황재하, 윤욱, 송교영, 김동학 (1990) 대한민국지질도 (1:25,000) 우보도폭 (NJ52-14-25-2). 한국동력자원연구소.
- 최현일, 손진담, 오재호, 최영진, 윤현수, 신성천, 양문열, 김상길, 조동행, 문창배, 민성식, 박영수 (1982) 의성지역 경상 누층군에 대한 연구. 연구특보-28호, 한국동력자원연구소, p. 1-50.
- Chang, K.H. (1975) Cretaceous stratigraphy of southeast Korea, *J. Geol. Soc. Korea*, v. 11, p. 1-23.
- Fisher, R.A. (1953) Dispersion on a sphere. *Proc. R. Soc. London*, v. A217, p. 295-305.
- 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.
- 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.
- Kissel, C. and Laj, C. (Eds.) (1989) *Paleomagnetic Rotations and Continental Deformation*. Kluwer, 516p.
- 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.
- Otofuji, 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.
- 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 6월 19일 원고접수