

## 해남지역의 백악기 암석에 대한 고지자기 연구

임무택<sup>1\*</sup> · 이윤수<sup>1</sup> · 강희철<sup>2</sup> · 김주용<sup>1</sup> · 박인화<sup>1</sup>

<sup>1</sup>한국지질자원연구원, <sup>2</sup>부산대학교 지질학과

## Paleomagnetic Study on Cretaceous Rocks in Haenam Area

Mutaek Lim<sup>1\*</sup>, Youn Soo Lee<sup>1</sup>, Hee-Cheol Kang<sup>2</sup>, Ju-Yong Kim<sup>1</sup> and In-Hwa Park<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Daejeon, 305-350, Korea

<sup>2</sup>Department of Geology, Pusan National University, Pusan, 609-735, Korea

A mean characteristic remanent magnetization was obtained for the first time in Korea from volcanic and pyroclastic sedimentary rocks distributed in Haenam Area, located in southwestern part of the Korean Peninsula. The age of the prevailing rocks in this area belongs mostly to Late Cretaceous, with a few exceptions of Early Cretaceous, mainly based on K/Ar whole rock age dating. Characteristic remanent magnetizations of these have both normal and reverse polarities with antipodal directions, which were interpreted to be the primary remanent magnetizations obtained by the ambient Earth's magnetic field at the time of formation of the concerned rocks. The source magnetic minerals of the remanent magnetization has been identified as magnetite. The mean direction of characteristic remanent magnetization obtained from the Late Cretaceous rocks in this study is  $Dm/Im=21.4^\circ/57.1^\circ$  ( $\alpha_{95}=13.4^\circ$ ,  $k=350.0$ ). The paleomagnetic pole position calculated from this result for the Late Cretaceous, is  $72.5^\circ N/199.9^\circ E$  ( $dp/dm=14.2^\circ/19.5^\circ$ ), which matches well with those of 80 Ma ( $76.2^\circ N/198.9^\circ E$ ) and 90 Ma ( $76.7^\circ N/200.1^\circ E$ ) of the Eurasian Continent's APWP (Apparent Polar Wander Path). This result strongly indicates that the studied area, belonging to the Eurasian Continent, have suffered very little geotectonic movement after the Late Cretaceous. The deflection of declination of remanence from Early Cretaceous rocks in the study area may indicate that the micro-block was counterclockwisely rotated with vertical axis between the late of Early Cretaceous and the early of Late Cretaceous.

**Key words** : paleomagnetism, Haenam, Cretaceous, characteristic remanent magnetization, volcanic rock

해남지역에 분포하는 화산암과 화산쇄설성 퇴적암으로부터 고지자기 연구를 실시하고, 국내에서는 처음으로 특성잔류자화를 구하였다. 이들 화산암류는 K-Ar 전암분석에 의해, 일부 전기백악기를 제외하면, 주로 후기백악기의 연대를 나타내고 있다. 이들 암석의 특성잔류자화 방향을 나타내는 자성광물은 자철석으로 판명되었다. 연구지역의 후기백악기 암석들로부터 구한 평균자화방향은  $Dm/Im=21.4^\circ/57.1^\circ$  ( $\alpha_{95}=13.4^\circ$ ,  $k=350.0$ )으로서, 이로부터 구한 고지자기극의 위치는  $72.5^\circ N/199.9^\circ E$  ( $dp/dm=14.2^\circ/19.5^\circ$ ) 이다. 이 결과는 80~90 Ma의 유라시아 대륙으로부터 구한 고지자기극의 위치와 통계적으로 일치하며, 연구지역을 포함한 한반도가 후기백악기 이래로 안정되어 왔음을 시사한다. 연구지역의 전기백악기의 암석들로부터 구한 평균자화방향은 동시기의 경상분지의 방향과 편의를 나타내며, 이것은 해남지역을 포함하는 소지괴가 전기백악기 말과 후기백악기 초 사이에 반시계방향의 수평회전운동을 경험했을 가능성을 제시하여 준다.

**주요어** : 고지자기, 해남, 백악기, 특성잔류자화, 화산암

### 1. 서 론

동북아시아의 형성사에 있어서 호남전단대의 지질학적인 중요성에 대한 인식이 지구조 연구자들로부터 제

안되고 있다(Yanai *et al.*, 1985; Cluzel *et al.*, 1991; Lee *et al.*, 1992, 1997; Yin and Nie, 1993). 호남전단대는 삼첩기로부터 주라기에 걸쳐 경기육괴와 영남육괴가 합쳐지는 과정에서 생성된 이래, 몇 차례의 광역적인 혹은 지역적인 재활성 운동을 받은 것으로 사료되며, 본 구조선을 따라 분포하고 있는 백악기의

\*Corresponding author: limmt@rock25t.kigam.re.kr

분지들도 그러한 맥락에서 이해될 수 있다. 해남 지역에 분포하는 백악기 분지에 대한 본 고지자기학적 연구는 본 구조선의 지체 구조 및 진화와 관련하여 중요한 단서를 줄 기본 자료 중의 하나가 될 것이다.

한반도에 분포하는 백악기층에 대한 고지자기 연구는 지난 10 여년 간에 걸쳐 비교적 활발히 이루어져 왔으나, 주로 경상분지에 편중되어 수행되었다(Otofujii and Matsuda, 1983; Lee *et al.*, 1987; 김인수 등, 1993; 도성재 등, 1994; 이운수, 민경덕, 1995; 김태성 등, 1998; 전영수 등, 1998). 이러한 이유는 한반도의 경상분지에서 백악기의 지층서가 가장 잘 확립되어 있으며, 지층의 구조가 단순하고, 그 연속성도 양호하기 때문이다. Otofujii and Matsuda(1983)과 Lee *et al.* (1987)은 한반도의 경상분지로부터 구하여진 백악기의 고지자기극이 중국대륙에서 구하여진 동시기의 그것과 통계적으로 일치함을 보인다는 점에 착안하고, 한반도는 백악기 이래로 중국 대륙에 속하고 있었다고 제기하였으나, 동아시아의 고지자기극들이 편각 성분의 심한 편의를 보인다는 점이 지적되었다(Lee and Min, 1997). 이러한 의문은 이운수, 민경덕(1995)과 Lee and Min (1997)이 지적한 대로, 한반도 및 중국 대륙으로부터 얻어진 특성잔류자화가 1차자화인가를 규명하는 면밀

한 실험들(Lee *et al.*, 1996)이 공히 이루어져서, 1차 잔류자화로부터 구한 고지자기극들에 대한 비교가 될 때 풀릴 수 있을 것이다.

비록 경상분지로부터 구한 한반도의 고지자기극이 중국대륙의 것과 편각 성분의 편의를 보인다는 논란에도 불구하고(Lee and Min, 1997), 국내의 고지자기학자들이 경상분지로부터 구한 고지자기극들은 통계적으로 대단히 좋은 일치를 보이고 있어서, 주로 옥천대를 따라서 분포하는 백악기의 소분지들의 고지자기극과의 비교가 절실히 요구되고 있다. 본 논문에서는 호남전단대의 지구조적 연구를 위한 1차 연구로서, 해남 부근에 분포하는 백악기의 암석에 대한 고지자기학적 연구의 결과를 보고한다.

## 2. 지질 개요 및 고지자기 시료 채취

옥천대의 남단에서 남중국 방향으로 발달하는 영동-광주 함몰대는 북동부에서 약 30 km, 남서부에서 약 50 km의 폭을 가지며 남서부로 갈수록 넓어지고(김옥준 등, 1980), 연구지역은 함몰대의 서남단에 위치한다(Fig. 1). 이 함몰대는 북서 및 남동 경계에서 선캄브리아기 변성암류를 기반암으로 하고 백악기 말 화산암

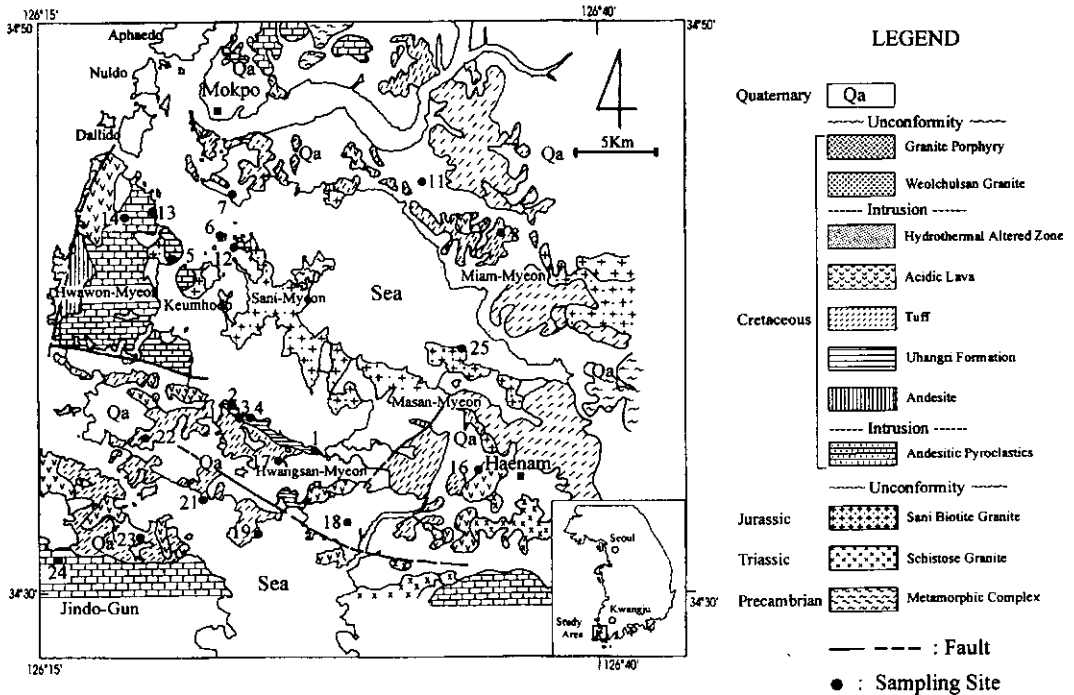


Fig. 1. Geologic map of study area (after Jang & Koh(1995) and sampling sites.

**Table 1.** Sampled stratigraphic units and lithology and age for the study in Haenam area (age is from Kim, I. J. and Nagao, K. (1992)).

| Site No. | Formation             | Lithology                              | No. of treated samples (picked samples) | Location (nat'l grid) (W-E/S-N) | Age (Ma)            |
|----------|-----------------------|--|---|---------------------------------|---------------------|
| 1        | Uhangri formation     | welded tuff                            | 9 (9)                                   | 150.75/121.92                   |                     |
| 2        | "                     | green tuff                             | 11 (13)                                 | 143.75/123.67                   |                     |
| 3        | "                     | lithic tuff                            | 5 (5)                                   | 143.90/123.42                   |                     |
| 4        | "                     | marl shale (4A-4C) & sandstone (4E-4H) | 7 (9)                                   | 144.37/123.52                   |                     |
| 5        | Hwaweon formation     | andesitic tuff                         | 3 (6)                                   | 140.10/133.92                   |                     |
| 6        | "                     | lithic tuff & andesitic tuff           | 7 (9)                                   | 143.00/135.10                   | 70.9±1.5 (Kim #26)  |
| 7        | dyke                  | andesitic dyke                         | 3 (6)                                   | 143.75/137.32                   |                     |
| 8        | Haenam formation      | acidic tuff                            | 5 (5)                                   | 161.05/135.87                   |                     |
| 11       | "                     | crystalline tuff                       | 6 (6)                                   | 155.45/137.57                   |                     |
| 12       | Hwaweon formation     | andesitic tuff                         | 5 (5)                                   | 143.62/134.55                   |                     |
| 13       | "                     | basalt                                 | 5 (7)                                   | 138.55/136.25                   | 101.9±2.7 (Kim #6)  |
| 14       | "                     | porous basalt                          | 4 (6)                                   | 136.22/135.70                   | 103.4±2.5 (Kim #5)  |
| 16       | Weolchulsan granite   | granite porphyry                       | 5 (5)                                   | 159.95/120.77                   | 71.8±3.6 (Kim #35)  |
| 17       | Haenam formation      | acidic tuff                            | 5 (5)                                   | 147.57/119.60                   |                     |
| 18       | "                     | acidic tuff                            | 1 (5)                                   | 150.82/116.00                   | 72.6±1.7 (Kim #22)  |
| 21       | "                     | acidic tuff                            | 3 (5)                                   | 141.52/118.15                   | 74.2±1.7 (Kim #20)  |
| 22       | "                     | acidic tuff                            | 4 (6)                                   | 137.22/122.37                   | 81.8±1.8 (Kim #16)  |
| 23       | "                     | acidic tuff                            | 5 (5)                                   | 137.85/115.35                   | 74.2±1.5 (Kim #23)  |
| 24       | Hwaweon formation     | granite                                | 4 (4)                                   | 133.00/114.17                   | 76.3±1.2 (Kim #19)  |
| 25       | Sani biotitic granite | granite                                | 4 (4)                                   | 158.50/127.90                   | 144.8±1.9 (Kim #29) |
| total    |                       |  | 85 (125)                                |                                 |                     |

및 이와 관련된 쇄설성 퇴적암으로 구성되어 있으며, 이들은 불국사 화강암류에 대비되는 월출산화강암 및 화강반암류에 의해 관입되어 있다. 본 역에서 이러한 퇴적암은 해남군 황산면 우항리와 관춘리의 해안가를 따라 서북서-북서의 주향을 가지고 경사는 남남서-남서향으로 약 15~25° 정도로서 비교적 완만한 경사를 나타내고 있다.

본 고지자기학적 연구를 위하여 이들 암석류들에 대하여, 전부 20 개 장소(site)에서 각 장소당 4~13 개씩, 총 125 개의 코아 및 암석 정향시료를 채취하였으나, 이들 중 연구지역의 지구조적 해석을 위하여 퇴적층리가 잘 관찰될 수 있는 곳은 2 개 장소에 불과하였다(Table 1). 시료채취지점은 일련번호로 Fig. 1의 지질도 위에 표시하였으며, Table 1에 채취 위치, 지층명, 암상, 채취 시료수 및 본 지역의 화산암에 대하여 이미 보고되어 있는 K-Ar 연대(Kim and Nagao, 1992)를 나타내었다.

시료채취 방법으로는 휴대용 시료채취기 및 세발 나침반을 이용하였으며, 높이와 지름이 각각 23 mm 및

24 mm 되는 표준코아시료(standard core specimen, 이하 시료로 약칭함)를 제작하였다. 세발 나침반을 이용하여 채취한 암석 정향시료는, 시료를 제작하는 과정에서 암석 내에 발달한 균열(fracture) 등으로 인하여 40 개의 손실이 있었다(Table 1).

### 3. 고지자기측정 결과 및 해석

시료에 대한 잔류자화(remanent magnetization)의 측정에는 한국지질자원연구원에 설치되어 있는 2축 spinner 자력계(model SSM-2A)를 사용하였으며, 이 기기는 5겹의  $\mu$ -metal shield 안에 있는 측정 부위에서의 지구자기장에 의한 유도 자화의 생성이 극소화되도록 설계되어 있다.

먼저 전 시료에 대하여 초기 자연잔류자화를 측정한 후, 각 장소 별 자화방향을 검토하여 각 장소를 대표한다고 판단되는 지표시료(pilot specimen)를 택하여 2.5 mT 로부터 90 mT 까지 12 내지 16 단계에 이르는 교류 소자실험을 수행하였다. 또한, 단계별 교류

소자 후에도 잔류자화가 10~20% 이상 남아있는 고함자력 성분을 포함한 시료에 대해서는 단계별 열 소자 실험을 병행하여 실시하였다. 단계별 열 소자 실험을 실행할 때에는 가열 과정에서 발생될 수 있는 자성광물의 화학적인 변화를 감지하기 위하여, 매 단계마다 잔류자화를 측정된 뒤에 대자율 측정기(Bartington Co., model MS-2)로 대자율을 측정하였다.

단계별 소자실험으로 얻어진 자료들은 vector diagram(Zijderveld, 1967)을 통하여 연속적으로 3 단계 이상의 소자자료에 대하여 주성분 분석법(PCA (Principal Component Analysis) method: Kirschvink, 1980)을 적용하여 특성잔류자화(ChRM, Characteristic Remanent Magnetization)의 방향을 계산하였다. 또한, 암석 생성 이후에 획득된 2차 잔류자화 성분과 1차 잔류자화 성분이 겹쳐서 단일성분으로 나타나지 않을 때, 두 벡터 성분들의 소자 거동은 대원상을 따라서 움직이게 되며, 한 장소의 3개 이상의 시료들로부터 얻어진 대원들의 공통되는 벡터 성분은 바로 특성 잔류자화 성분을 의미하게 된다(Halls, 1976). 이러한 거동은 본 연구에서는 장소 2 에서 전형적으로 나타나며, McFadden and McElhinny(1988)의 방법을 사용하여

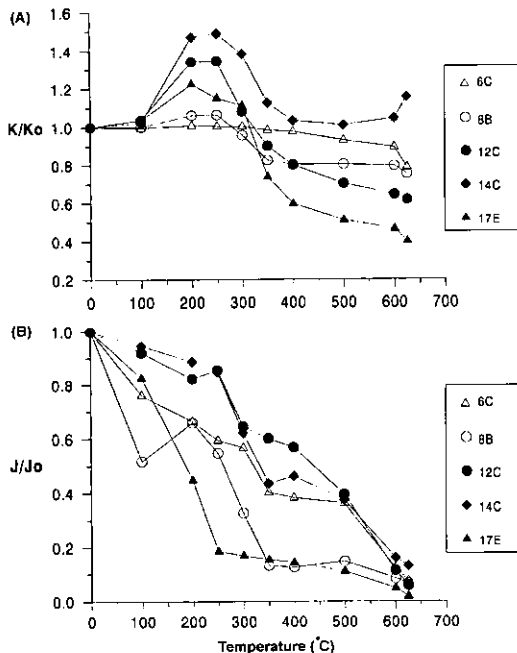
평균자화방향을 구하였다. 한편, 장소 4의 시료들을 포함한 많은 시료들의 경우 초기 자연잔류자화 강도가  $1 \times 10^{-4}$  A/m 이하로 낮아서 스피너 자력계로는 측정할 수 없었으며, 이러한 시료들은 교류 자기세척 및 측정 과정에서 제외하였다.

각 장소 별로 획득된 특성잔류자화는 12개 장소(장소 1, 2, 5, 6, 8, 12, 13, 14, 17, 21, 22, 25)에 대하여 구해졌으며, 이들 중 지층의 층리가 인지되는 2개 장소(장소 1과 2)만에 대하여 지층경사 보정을 할 수 있었다. 시료가 채취된 다른 대부분의 장소들에 대해서는 각 노두의 정확한 층리면을 관찰할 수 없었기 때문에 지층경사보정을 수행하지 않았다.

Fig. 2는 열 소자실험 결과로서, 초기 대자율 및 잔류자화 강도값에 대한 비율의 변화를 각 단계별 열 소자 온도에 따라 도시한 것인데, 5 개의 전형적인 시료에 대하여 나타내었다. 시료 6C를 제외한 4 개의 시료에서 100~400°C 사이에서 나타나는 대자율 비의 증가는, 암석 내에 물성의 변화가 수반된 것을 의미하고 있다. 아마도, 암석 내에 포함된 황이나 황화물 성분이 철성분과 화합하여 자류철석과 같은 강자성 물질을 만드는 것으로 보이며, 열 소자기 내는 무자장 공간이기 때문에 이렇게 만들어진 자류철석은 특성잔류자화를 갖지 못한다. 그러므로, 위와 같은 대자율 비의 증가는 시료 내에 포함되어 있을 것으로 생각되는 자류철석의 상변화에 기인하는 것으로 사료되며, 이것은 magnetic carrier로서의 역할은 하지 않는 것으로 사료된다. 한편, 600°C 이상에서의 대자율의 감소는 자철석의 일부가 적철석으로 산화됨에 기인하는 것으로 보인다(Lee *et al.*, 1996).

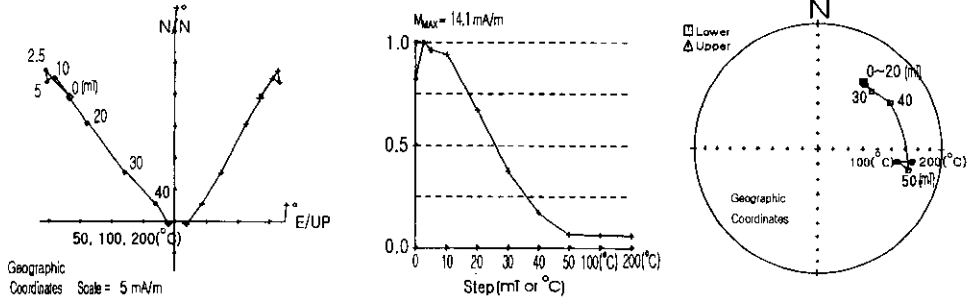
잔류자화 강도의 변화를 보면, 시료 14C의 예에서 전형적으로 보이는 것처럼 625°C 까지도 소거되지 않는 것으로 보아 적철석도 일부 포함하고 있는 것으로 보이며, 시편 17E 에서의 200°C 이하에서 잔류자화의 강도가 급격히 감소하는 것은 Curie 온도가 낮은 goethite 를 포함하고 있기 때문으로 사료된다.

**장소 1:** 유문암(rhyolite)으로서, 노두에서 유동구조의 방향이 뚜렷하며, 경사가 60°~90° 정도로 급하지만, 바로 인근의 우항리층의 경사가 20° 내외임을 고려하면, 본 유문암의 유동구조는 용암의 점성이 높기 때문에 쇄설성 퇴적암의 퇴적면과는 달리 반드시 수평이라고 볼 수 없으며, 오히려 그 당시의 지표경사(initial dip)에 흐름구조가 평행하게 놓여지는 경우가 많은 것으로 보고되고 있다(김인수 등, 1993). 따라서, 이 장소에 대한 지층경사보정을 위한 값으로는 근방의 퇴

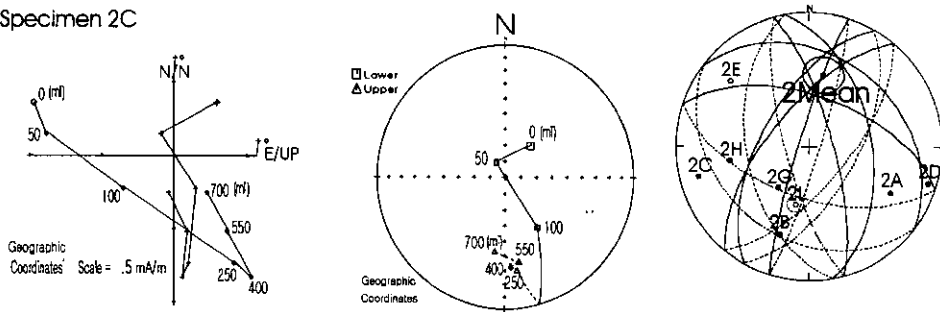


**Fig. 2.** Some examples of magnetic susceptibility (A) and remanence intensity (B) variation against demagnetization temperature. Different variation types suggest the existence of pyrrhotite and magnetite as main magnetic minerals.

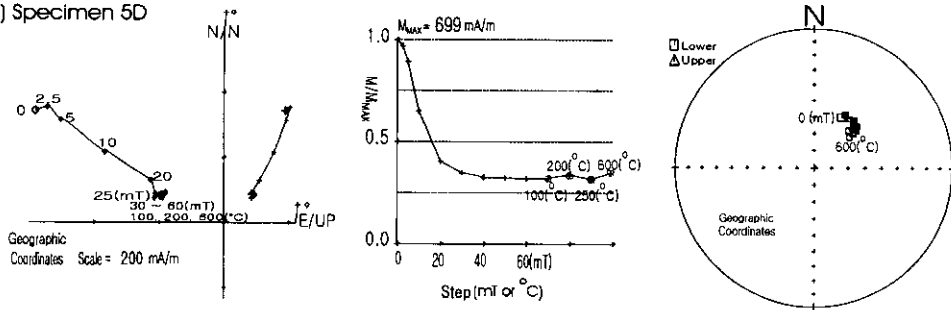
(A) Specimen 1B



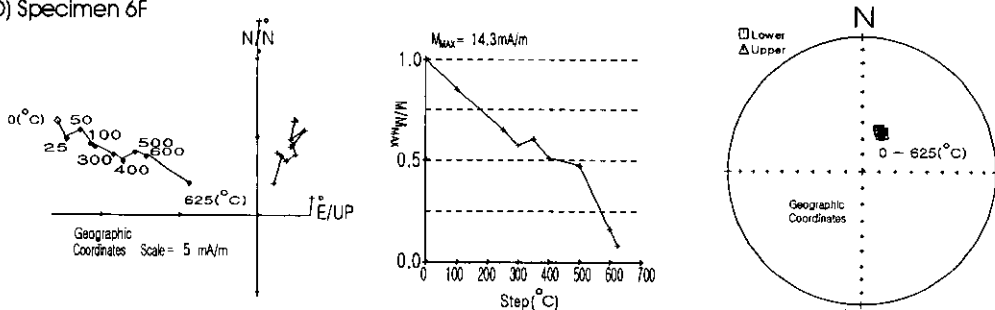
(B) Specimen 2C



(C) Specimen 5D

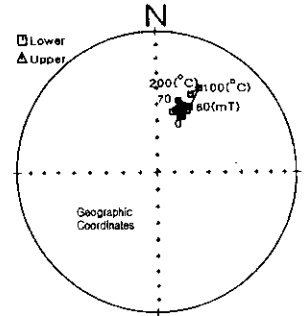
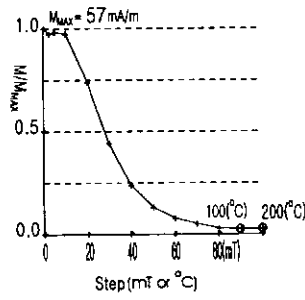
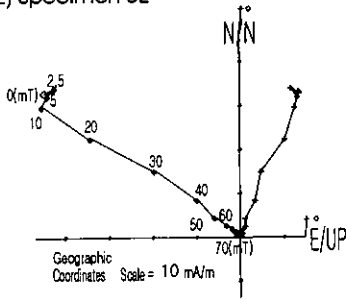


(D) Specimen 6F

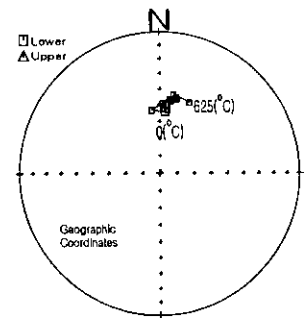
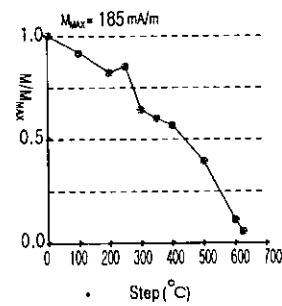
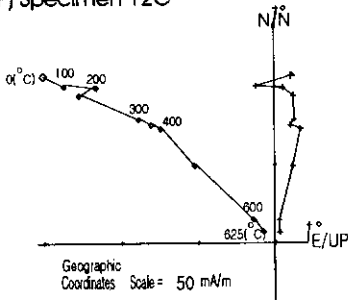


**Fig. 3.** Step-wise AF (thermal) demagnetization results for specimens of typical sites. Specimen number consists of site number and specimen name (i.e., Specimen 1B denotes specimen name B of site 1). For (A) and (C)-(L), Zijderveld diagram (+ and square signs are horizontal and vertical components respectively) in the left, remanent magnetization diagram in the middle, and equal area diagram in the right. For (B), Zijderveld diagram in the left, equal area diagram in the middle and right. All directions in Zijderveld and equal area diagrams is in geographic coordinate. See text for further explanation.

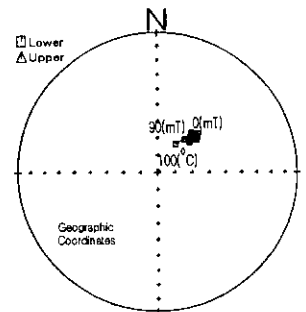
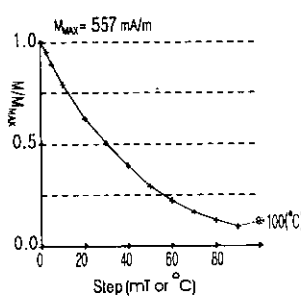
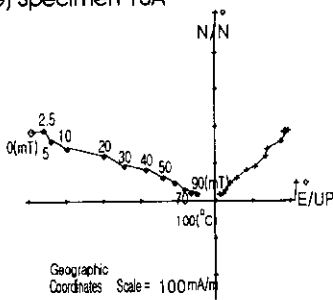
(E) Specimen 8E



(F) Specimen 12C



(G) Specimen 13A



(H) Specimen 14D

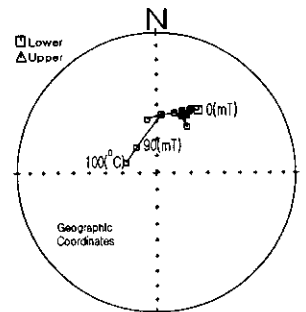
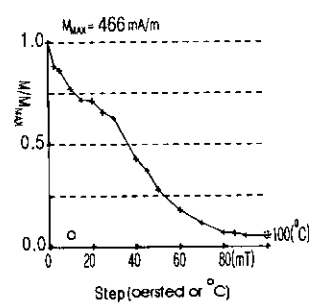
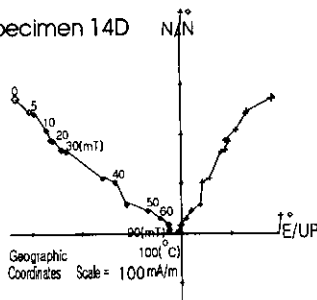
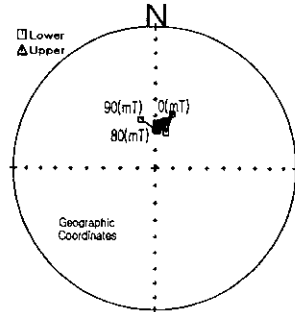
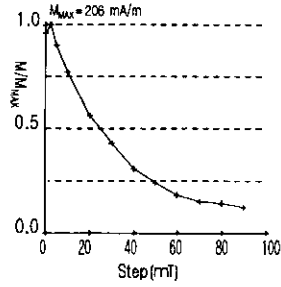
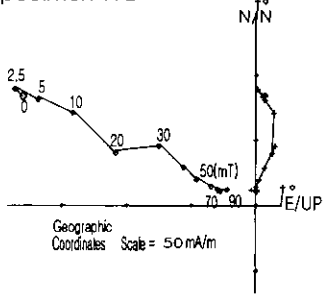


Fig. 3. Continued.

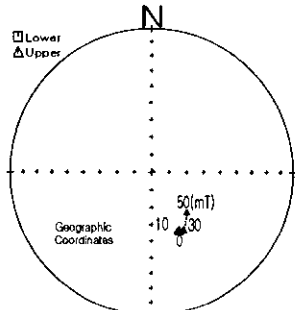
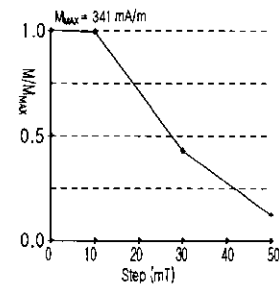
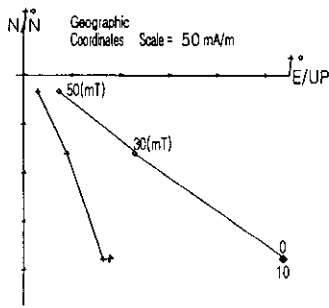
적암(우항리층)의 주향/경사로 기재된 <117/25>(장 호 완, 고 상모, 1995)를 적용하였다. Fig. 3A는 시편 1B 에 대한 전형적인 교류 소자실험 결과로서, 10 mT 이

상에서 단일벡터성분이 검출된다. 여기서 50 mT 보다 높은 항자기력을 갖는 성분은 분출 이후의 고온산화나 열수변질 등의 작용으로 생길 수 있는 2차 잔류

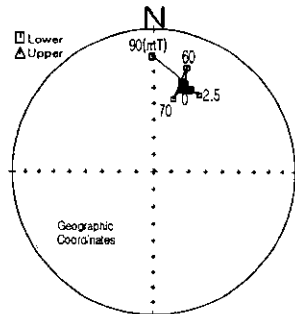
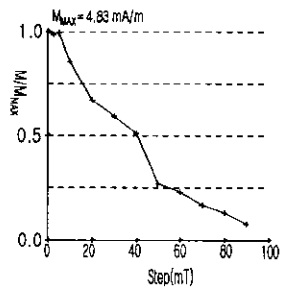
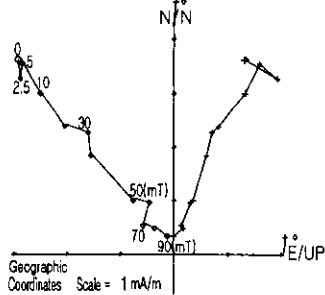
(I) Specimen 17D



(J) Specimen 21A



(K) Specimen 22D



(L) Specimen 25B

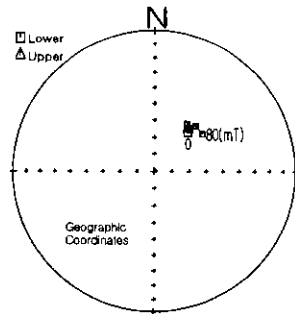
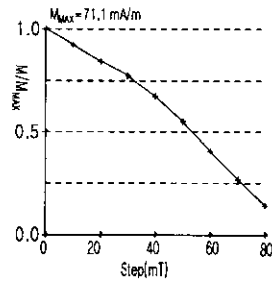
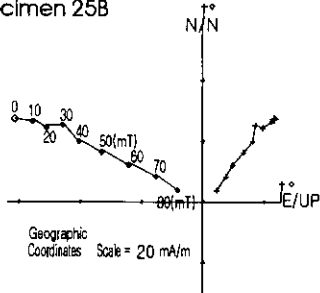


Fig. 3. Continued.

자화이거나 소자실험 과정에서 획득한 잔류자화인 것으로 사료되며 이에 대해서는 면밀한 자성광물화학적 연구가 요구된다. 이 경우 평균자화방향은 원점을 통과하지 않도록 하여 구하였다.

7개 시편으로부터 구한 경사보정 전의 평균편각 및 복각은  $Dg=26.8^\circ$ ,  $Ig=33.3^\circ$  ( $\alpha_{95}=7.3^\circ$ ,  $k=51.2$ )이고, 이에 대하여 실제로 유문암의 유동구조에 대해 지층경사 보정을 수행한 결과, 다른 어떤 장소의 방향과도

비슷하지 않은 방향( $D_s=35.7^\circ$ ,  $I_s=-15.0^\circ$ )이 얻어지며 이 유동구조가 초기경사(initial dip)를 따라 형성되었음을 시사한다. 다시 인근의 우항리층의 주향/경사에 대해 경사보정을 실시하면 평균편각 및 복각은  $D_s=26.6^\circ$ ,  $I_s=58.3^\circ$  ( $\alpha_{95}=7.3^\circ$ ,  $k=51.2$ )으로, 기대되는 후기 백악기의 방향과 다르지 않다.

**장소 2:** Fig. 3B에 보이는 예(시료 2C)는 교류 소자 실험 결과를 vector diagram 및 등 각투영도 상에 나타낸 것으로서, 초기 세척단계에서 점성잔류자화가 제거된 후, 단일자화성분이 관측되지 않고(Fig. 3B, left), 소자 거동이 대원 궤적을 따라 나타나지도 않는 것으로 보아 세 성분 이상이 동시에 단계적으로 소자되는 양상임을 시사한다(Fig. 3B, middle). 7개 시료들로부터 구한 대원들(Fig. 3B, right)과 1개 시료(시편 2L)로부터 직접 얻어진 잔류자화 방향을 대원법 (McFadden and McElhenny, 1988)에 의해 구한 평균 잔류자화 방향은 지층경사 보정 전에는  $D_g=11.4^\circ$ ,  $I_g=44.0^\circ$ 이고, 경사 보정 후에는  $D_s=16.5^\circ$ ,  $I_s=55.6^\circ$  ( $\alpha_{95}=20.6^\circ$ ,  $k=8.2$ )로 나타났다.

**장소 5:** 안산암질 응회암으로서, Fig. 3C(시편 5D)에 보이는 것처럼, 30 mT 이하에서 초기잔류자화의 60%까지 소자되면서 안정된 방향을 보이는 저항자력 성분과 60 mT까지 소거되지 않고 뒤야는 열소자에 있어서도 600°C 까지 소거되지 않는 고향자력(또한 고향온) 성분으로 구성되어 있으며, 그들의 잔류자화 방향은 서로 유사하다. 본 암석은 주로 사장석의 석기와 유색 광물 및 불투명광물들로 이루어져 있으며, 불투명광물은 자형의 자철석과 유색광물의 가상 내의 주변과 벽 개면 등을 따라 형성되어 있는 타형의 적철석으로 인지되고 있어, 저항자력성분과 고향자력성분이 각각 자철석과 적철석 성분인 것으로 해석된다. 이윤수, 민경덕(1995), 김태성 등(1998) 및 Lee and Min(1997)은 경상분지에 대한 고지자기 연구를 통하여 자철석과 적철석의 복합잔류자화가 암석 형성 당시 혹은 거의 동시기에 다른 자화 획득 기구를 통하여 획득되었을 것이라 하였으며 본 연구지역에서도 그 해석은 적용될 것으로 판단된다. 본 연구에서 3개 시료로부터 구한 평균 잔류자화 방향은  $D_g=20.8^\circ$ ,  $I_g=54.5^\circ$  ( $\alpha_{95}=12.8^\circ$ ,  $k=94.0$ )이다.

**장소 6:** 세립에서 중립의 화산암편을 포함하는 안산암질 응회암으로서, Kim and Nagao(1992)에 의한 연대측정 결과  $70.9 \pm 1.5$  Ma(K-Ar, whole rock)로 보고되었다. 시료 6F에 대한 vector diagram(Fig. 3D, left)에서 나타나듯이, 불안정한 성분은 각 단계마다 특

성자화 벡터를 중심으로 비교적 분산되나 일정한 방향을 나타내는 소자 거동을 보이고, 625°C 까지 초기잔류자화의 95%가 감소하며(Fig. 3D, middle), 전체적으로 수직에 가까운 복각을 나타내며, 이 경우 주성분법(Kirschvink, 1980)을 적용하여 특성자화 성분을 추출하였다(Fig. 3D, right). 4개 시료로부터 구한 특성잔류자화의 평균은  $D_g=14.6^\circ$ ,  $I_g=64.3^\circ$  ( $\alpha_{95}=8.6^\circ$ ,  $k=115.7$ )로서, 시료간(between specimen)의 특성잔류자화의 분포가 집중되어 나타난다.

**장소 8:** 본 장소는 해남층에 속하는 rhyodacitic 응회암 노두로서, 본 연구지역의 동북쪽에 위치한다(Fig. 1). 본 노두의 시료들에 대한 소자실험에 있어서, 이차적인 점성잔류자화의 크기 정도에 따라 시료마다 특성잔류자화의 단일 성분이 인지되는 소자준위가 다르게 나타나며, 이는 아마도 주변의 관입암들에 의한 열변질작용의 정도에 기인하였을 가능성도 있다. IRM에 대한 잔류자력(<중앙항자력)은, 다자구(MD: multi-domain)의 경우가 단자구(SD: single domain)나 가단자구(PSD: pseudo-single domain)의 경우의 약 반 정도이며(Lowrie, 1990), IRM과 TRM의 소자거동에 대해서는, MD인 경우 NRM의 중앙항자력(median destructive field)이 IRM의 그것보다 작은 경향이 있고, SD나 PSD인 경우는 NRM의 그것이 더 큰 경향이 있다. 시료 8E에 대한 단계별 교류소자 결과에서 보여주듯이 중앙항자력(median destructive field)이 약 30 mT 정도로 비교적 항자력이 높은 자성광물을 포함하며(Fig. 3E, middle), 이는 단자구나 가단자구의 자철석에 기인되는 것으로 사료된다. 3개 시료로부터 구한 특성잔류자화의 평균은  $D_g=11.9^\circ$ ,  $I_g=57.1^\circ$  ( $\alpha_{95}=50.3^\circ$ ,  $k=7.1$ )로 나타났다.

**장소 12:** 이 장소는 세립에서 중립 암편을 포함하는 안산암질 응회암으로서, 장소 6의 노두와 인접한 동일 암상으로 분류된다(Fig. 1). Fig. 3F는 세립질 안산암 암편을 포함하는 시료 12C에 대한 전형적인 소자거동의 예로서, 장소 6에서 전형적으로 나타나는 시료 6F의 거동(Fig. 3D)과 유사하다. 다만, 이 시료에서는 400°C 이전까지의 저온자화성분과 400~600°C 미만까지 나타나는 중온성분(자철석으로 사료됨)으로 나누어질 수 있으며, 600°C 이상에서 남아있는 10% 미만의 고온잔류자화는 적철석의 성분으로 인지될 수 있지만, 전체 잔류자화로서의 기여는 미약하다. 본 장소의 4개 시료로부터 구한 자철석의 특성잔류자화에 대한 평균방향은  $D_g=29.6^\circ$ ,  $I_g=52.3^\circ$  ( $\alpha_{95}=26.2^\circ$ ,  $k=13.3$ )이다.

**장소 13:** 본 현부암은 K-Ar(whole rock) 연대측정



결과  $101.9 \pm 2.7$  Ma(Kim and Nagao, 1992)로서, 일반적으로 알려진 경상누층군의 유천층군이나 본 역의 여타 화산암류의 생성연대보다 초기의 화산활동의 산물이다. Fig. 3G는 본 현무암 시료 13A에 대한 교류 소자 결과로서, 20 mT 이하에서 나타나는 저항자력성분이 제거된 후에(Fig. 3G, left) 잔류자화강도는 다소 지수함수형으로 감소하여, 90 mT까지 초기잔류자화의 90% 이상이 소자되며(Fig. 3G, middle), vector diagram 상에서의 잔류자화방향도 단일성분을 나타내며 원점을 향하고 있다. 본 장소의 4 개 시료로부터 구한 특성잔류자화의 평균방향은  $Dg=12.2^\circ$ ,  $Ig=55.7^\circ$  ( $\alpha_{95}=15.2^\circ$ ,  $k=37.6$ )이다.

**장소 14:** 장소 13에서 서남서로 약 1.5 km 떨어진 곳에 위치하며, Kim and Nagao(1992)가 본 노두의 암석으로부터 구한 K-Ar 전암연대는  $103.4 \pm 2.5$  Ma로서 장소 13의 현무암과 동시기의 분출 현무암으로 사료된다. 또한, 시료 14D에 대하여 나타낸 전형적인 교류 소자 거동(Fig. 3H)에서 볼 수 있듯이, 30 mT 이하의 저항자력 성분이 제거된 후 90 mT까지 초기잔류자화의 5% 정도만 잔류하며, Fig. 3G의 시료 13A에서와 같이 특성잔류자화의 단일성분만이 감소된다. 이로부터 장소 13 및 14에서 구한 특성잔류자화성분의 자성광물은 크기와 성분이 유사한 자철석일 것으로 사료되며, 상당히 안정된 잔류자화방향을 나타낸다. 본 장소에서 채취한 4 개 시료로부터 구한 특성잔류자화의 평균방향은  $Dg=18.5^\circ$ ,  $Ig=37.8^\circ$  ( $\alpha_{95}=18.3^\circ$ ,  $k=26.3$ )이다.

**장소 17:** 본 암은 해남군 황산면 평덕리 일대에 발달된 산성 용회암으로서, Fig. 3I에 전형적인 교류 자기소자의 예(시료 17D)를 도시하였다. 이 시료에서도 30 mT 이하에서 저항자력성분이 제거된 후, 90 mT까지 안정된 잔류자화성분을 얻을 수 있었으며(Fig. 3I, left), 초기잔류자화의 약 90%가 감소되었다(Fig. 3I, middle). 이는 본 시료의 30~90 mT에서 나타나는 잔류자화가, 상기한 다른 장소들의 교류소자 결과해석에서와 같이, 자철석으로 구성되어 있음을 지시하며, 이 영역에서 구한 잔류자화성분을 특성잔류자화로 해석하였다. 이와 같은 방법으로 3개 시편으로부터 구한 특성잔류자화의 평균방향은  $Dg=26.4^\circ$ ,  $Ig=55.3^\circ$  ( $\alpha_{95}=14.3^\circ$ ,  $k=75.3$ )이다.

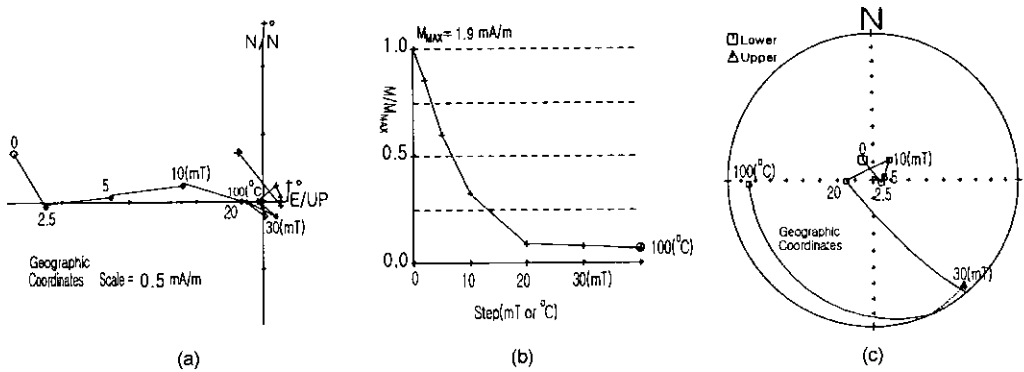
**장소 21:** pyroclastic 산성 용회암의 노두로서, K-Ar 연대측정 결과  $74.2 \pm 1.7$  Ma(Kim and Nagao, 1992)로 보고되었다. 이 장소는 전형적인 교류 자기소자의 예(Fig. 3J, 시료 21A)에서 보이는 것처럼, 거의 overprint

없이 단일자화성분만이 검출되었으며, 50 mT에서 대부분의 잔류자화가 감소되는 것으로 보아, 본 특성잔류자화는 자철석에 의해 획득된 것으로 사료된다. 이 장소로부터 구한 특성 잔류자화의 평균방향은  $Dg=158.6^\circ$ ,  $Ig=-51.6^\circ$ 로서, 본 연구지역 중 전체시료가 부의 북각값을 나타내는 유일한 장소이며, 95% 신뢰타원인 95가  $5.2^\circ$  ( $k=556.6$ )로 대단히 집중된다. 이처럼 자료의 수가 3 개밖에 되지 않음에도 불구하고, 매우 집중된 분포를 보이는 것은 본 노두 주변을 관입한 석영반암(후기 백악기)에 의한 재자화일 가능성도 있어 이에 대한 보다 면밀한 연구가 요구된다.

**장소 22:** 용결구조가 인지되는 용회암(K-Ar age  $81.8 \pm 1.7$  Ma; Kim and Nagao, 1992)으로서, 현미경 하에서 석영, 장석 결정 및 화산암편의 반정을 갖고, 비결정의 불투명광물이 흐름구조를 따라 분포하지만, 자성광물의 분포와는 무관하게 보인다(이윤수, 1984). 본 장소의 전형적인 교류 소자거동의 예(Fig. 3K, 시료 22D)에 보이듯이, 30 mT에서 저항자력성분이 제거된 후 단일 특성잔류자화성분(Kirschvink, 1980)만이 나타나고(Fig. 3K, left), 90 mT까지 대부분의 잔류자화가 소자된다(Fig. 3K, middle). 이와 같은 방법으로 이 장소의 4 개 시료로부터 구한 잔류자화 방향의 평균은  $Dg=6.9^\circ$ ,  $Ig=49.2^\circ$  ( $\alpha_{95}=13.7^\circ$ ,  $k=46.0$ )이다.

**장소 25:** 본 장소의 노두는 산이반도를 따라 노출된 흑운모화강암으로서, Kim and Nagao(1992)에 의해 연대가  $144.8 \pm 1.9$  Ma인 것으로 보고되었다. 이 화강암이 갖는 잔류자화는 80 mT까지의 단계별 교류소자(시료 25B)에서 효율적으로 감소되며, 안정된 단일자화 성분만을 보여 주고 있다(Fig. 3L). 이 장소의 3 개 시편으로부터 구한 잔류자화 방향의 평균은  $Dg=13.0^\circ$ ,  $Ig=51.9^\circ$  ( $\alpha_{95}=18.5^\circ$ ,  $k=45.4$ )이며, 이러한 JKB(Juras/Cretaceous Boundary, 주라기/백악기 경계) 시기의 고지자기방향은 한반도에서 드물게 구하여진 것으로서, 앞으로 백악기 이래의 호남전단대의 진화를 규명하기 위하여는 본 암체를 포함한 전단대를 따라 분포하는 소분지들의 암석들에 대한 더욱 많은 고지자기학적 연구가 요구된다.

**잔류자화 방향을 구할 수 없었던 예 :** 본 연구에서 실시한 교류 및 열 소자실험을 통하여, (1) 불규칙적인 소자거동을 보였던 4개 장소(장소 3, 7, 11 및 23)와 (2) 초기자연잔류자화의 강도가  $10^{-4}$  A/m 이하로 너무 작거나 세척 과정 중 어떤 이유로든 특성잔류자화를 추출할 수 없는 시편이 많아서 한 장소(site) 당 필요한 최소 시편인 3 개 미만이었던 4개 장소(장소 4,



**Fig. 4.** AF demagnetization results of site 3 (specimen 3B). (a) Zijderveld vector diagram (+ : declin.;  $\diamond$  : inclin.), (b) Remanent magnetization variation against demag. steps, (c) Direction variation along demag. steps on lower hemisphere equal angle net (bigger square is NRM).

16, 18 및 24)를 포함한 총 8개 장소에 대해서는 특성잔류자화방향을 구할 수 없었다. 불규칙적인 소자거동의 전형적인 예는 Fig. 4(시료 3B)에 도시하였다. 이 시료는 20 mT의 낮은 교류자장에 의해서 약 80%의 잔류자화가 감소되며(Fig. 4, middle), 그 이후로는 자화 강도 및 방향이 매우 심한 변화를 보인다. 이러한 현상은 이들 시료 중 일부에서 육안으로도 관찰되듯이 항자기력이 비교적 강하고 페리자성(ferrimagnetism)을 띠는 pyrrhotite( $Fe_7S_8$ - $Fe_{11}S_{12}$ )가 주 자성광물로서 세

척단계에 따라서 상이 변하기 때문으로 사료되지만, 보다 면밀한 자성광물학적 연구가 요구된다.

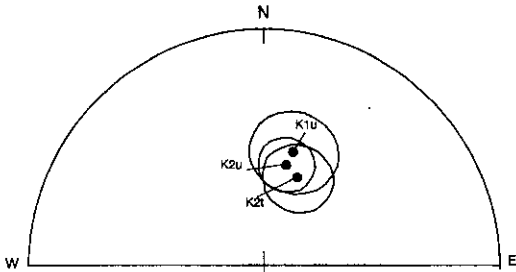
#### 4. 결과해석 및 토의

본 연구에서는 암석 시료의 채취 시, 열변질을 받은 흔적이 있는 곳은 피하여 행하였으며, 가능한 기존의 연대 측정이 이루어졌던 신선한 노두를 택하였다. 본 연구에서 지층보정이 가능했던 두지역에 대한 특성잔

**Table 2.** Site-mean ChRM directions of the investigated sites of Haenam area.

| group | site | $N_{ch}/N_t$ | before bedding correction |       |        |       | after bedding correction |       |        |       | polarity |
|-------|------|--------------|---------------------------|-------|--------|-------|--------------------------|-------|--------|-------|----------|
|       |      |              | d (°)                     | i (°) | 95 (°) | k     | d (°)                    | i (°) | 95 (°) | k     |          |
| K2t   | 1    | 7/9          | 26.8                      | 33.3  | 7.3    | 51.2  | 26.6                     | 58.3  | 7.3    | 51.2  | N        |
|       | 2    | 8/11         | 11.4                      | 44.0  | 20.6   | 8.2   | 16.5                     | 55.6  | 20.6   | 8.2   | N+R      |
|       | Mean |              | 19.7                      | 38.9  | 35.7   | 51.1  | 21.4                     | 57.1  | 13.4   | 350.0 |          |
| K2u   | 5    | 3/3          | 20.8                      | 54.5  | 12.8   | 94.0  |                          |       |        |       | N        |
|       | 6    | 4/7          | 14.6                      | 64.3  | 8.6    | 115.7 |                          |       |        |       | N        |
|       | 8    | 3/5          | 11.9                      | 57.1  | 50.3   | 7.1   |                          |       |        |       | N        |
|       | 12   | 4/5          | 29.6                      | 52.3  | 26.2   | 13.3  |                          |       |        |       | N        |
|       | 17   | 3/5          | 26.4                      | 55.3  | 14.3   | 75.3  |                          |       |        |       | N        |
|       | 21   | 3/3          | 158.6                     | -51.6 | 5.2    | 556.6 |                          |       |        |       | R        |
| Mean  | 4/4  | 6.9          | 49.2                      | 13.7  | 46.0   |       |                          |       |        | N     |          |
| K1u   | 13   | 4/5          | 12.2                      | 55.7  | 15.2   | 37.6  |                          |       |        |       | N        |
|       | 14   | 4/4          | 18.5                      | 37.8  | 18.3   | 26.3  |                          |       |        |       | N        |
|       | 25   | 3/4          | 13.0                      | 51.9  | 18.5   | 45.4  |                          |       |        |       | N        |
|       | Mean |              | 15.0                      | 48.5  | 14.9   | 69.7  |                          |       |        |       |          |

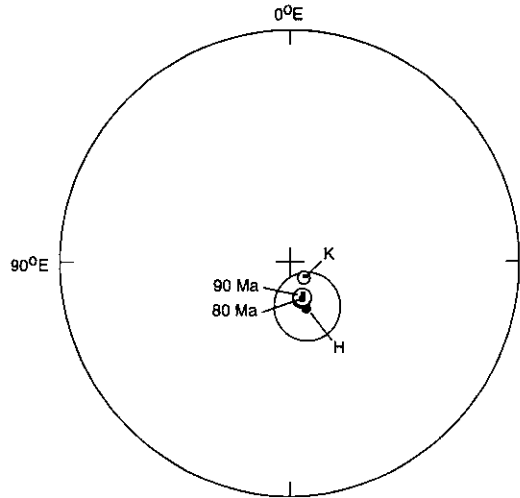
Note:  $N_{ch}$ =number of specimens to calculate direction of characteristic remanent magnetization  
 $N_t$  =total number of demagnetized specimens.  
 d =declination  
 i =inclination  
 $\alpha_{95}$  and k are measures of precision associated with the mean direction (Fisher, 1953)



**Fig. 5.** Site mean directions of the Cretaceous rocks in study area. The 95% confidence ovals contain each other, implying statistically indistinguishable. All projections are on the lower hemisphere. See text for further explanation.

류자화 성분은, Table 2에 나타나 있듯이, 지층 보정전에 비하여 지층보정 후의 k값이 약 7배 증가하여 1차 자화로 해석하였다. 이상의 고지자기 연구결과로부터 우리는 12 개 장소로부터 일차 특성잔류자화들을 구하였으며, 이들은 한반도남부의 (1) 경사보정된 후기백악기(97~65 Ma; Harland *et al.*, 1990)의 평균자화방향(K2t; 2개 장소, 장소 1과 2), (2) 경사보정되지 않은 후기백악기의 평균자화방향(K2u; 7개 장소, 장소 5, 6, 8, 12, 17, 21 및 22) 및 (3) 경사보정되지 않은 전기백악기의 자화방향(K1u; 3개 장소, 장소 13, 14 및 25)으로 구분될 수 있다(Table 2, Fig. 5).

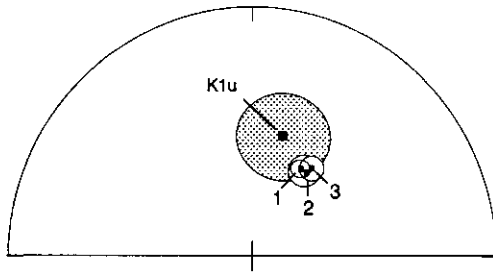
**한반도에 있어서 후기 백악기의 고지자기 극** : 본 연구에서는 오직 2개 장소에서만 지층경사보정이 실시되어, 그 평균자화(K2t)방향은  $Dm/Im=21.4^\circ/57.1^\circ$  ( $\alpha_{95}=13.4^\circ$ ,  $k=350.0$ )로서, K2u 방향( $Dm/Im=12.5^\circ/56.0^\circ$ ,  $\alpha_{95}=8.3^\circ$ ,  $k=53.6$ ) 및 K1u 방향( $Dm/Im=15.0^\circ/48.5^\circ$ ,  $\alpha_{95}=14.9^\circ$ ,  $k=69.7$ )과 95% 신뢰도에서 통계적으로 서로 구별되지 않는다(Fig. 5). 본 연구 지역은 완만한 경사각을 이루는 향사습곡지형이며, 야외에서 그 힌지각은 거의 수평을 이룬다. 즉, 본 지역의 지층경사 방향이 단사경사로 되어 있지 않고, 향사습곡의 형태로 양쪽으로 경사져 있다. 이러한 경우 만일 어느 쪽 윙에서 편중되어 시료측정이 이루어졌을 경우에 경사보정 후 그 평균 값은 한쪽으로 치우치게 되지만, 본 연구의 시료채취는 보정가능 했던 2지역을 제외하면, 축 중심부에서 5개 장소, 향사 북측에서 2개 장소, 향사 남측에서 3개 장소로써, 시료 채취가 비교적 골고루 취해졌기 때문에, 경사보정된 평균값을 중심으로 분산되었을 것으로 해석된다. 하지만, 이에 대한 보다 구체적인 논의는 95% 신뢰 타원의 범주가 너무 크기 때문에 추후의 보다 면밀한 연구가 요구된다. 본 연구에서 구한 후기백악기 자화방향으로부터 고지자기극을 계산하



**Fig. 6.** Comparison of the Late Cretaceous pole positions. Large cross denotes geographic north pole axis. H, this study; K, Kang *et al.* (1996); 90 Ma and 80 Ma, Besse and Courtillot (1991).

면  $72.5^\circ N/199.9^\circ E$  ( $dp/dm=14.2^\circ/19.5^\circ$ )로서, 강희철의 (1996)가 경상분지의 후기 백악기화성암으로부터 구한  $82.2^\circ N/233.4^\circ E$  ( $dp/dm=2.3^\circ/3.3^\circ$ ), Besse and Courtillot(1991)가 제시한 동시기의 유라시아의 80 Ma ( $76.2^\circ N/198.9^\circ E$ ,  $\alpha_{95}=3.4^\circ$ ) 및 90 Ma( $76.7^\circ N/200.1^\circ E$ ,  $\alpha_{95}=3.4^\circ$ )의 고지자기극의 위치와 매우 잘 일치한다(Fig. 6). 이는 본 지역이 후기 백악기 이래로 유라시아대륙에 속하면서 안정되어 왔음을 지시한다.

**전기 백악기 자화방향의 편각 편의** : Lee and Min (1998)은 한반도에서의 전기백악기와 후기백악기 사이에는 자화방향들이 계통적 차이를 보인다고 주장하고, 이는 중-한지괴가 유라시아(Eurasia)대륙과 합쳐지면서 (Lee *et al.*, 1997) 형성된 남북방향의 응력에 기인하여 한반도 일원에 커다란 변동을 수반하게 되었기 때문이라고 하였다. 해남지역에 있어서, 전기백악기의 자화방향(K1u)을 기존의 연구들(Lee *et al.*, 1987; 김인수 외, 1993; Lee *et al.*, 1997)로부터 구한 동시기의 방향들과 비교하였다(Fig. 7). Fig. 7에서 보이는 것처럼 경상분지로부터 구한 기존의 전기백악기의 자화방향들은 상호 밀집되어 있으나, 이들과 본 연구로부터 구한 K1u와는 편각에서 뚜렷이 구별된다. 이는 본 연구지역을 회전시킨 구조적 운동이 있었음을 시사하는 증거가 될 수 있다. 그러나, 이러한 차이는 K1u 방향이 경사보정을 하지 않은 값이기 때문에 반드시 구조 운동에 기인하지 않을 수 있다는 논쟁의 대상이 될 수도 있다. 그러나, 총리가 뚜렷한 장소로부터 구한 K2t



**Fig. 7.** Comparison of the Early Cretaceous site mean directions between study area (Haenam) and the Gyeongsang Basin. Symbols of square (with shaded 95% confidence oval) and triangles (with white ovals) represent K1u (Haenam area) and the previous studied directions (Gyeongsang Basin) respectively. All projections are on the lower hemisphere. See text for further explanation. K1u, this study; 1, Lee *et al.* (1997); 2, Lee *et al.* (1987); 3, Kim *et al.* (1993).

방향이 경사보정 전에  $Dm/Im=19.7^\circ/38.9^\circ(\alpha_{95}=35.7^\circ)$  이었던 것이 경사보정 후에는  $Dm/Im=21.4^\circ/57.1^\circ$  ( $\alpha_{95}=13.4^\circ$ )로 되는 것에서 볼 수 있는 것처럼, 본 해 남지역에서 나타나는 총리의 주향은 WNW-ENE로 K2t의 경사보정전 편각에( $Dm=19.7^\circ$ )에 거의 직각이기 때문에, 지층경사보정의 결과는 주로 북각값의 증감만을 나타내게 된다. 따라서, 본 연구에서는 K1u와 동시기의 자화방향들에서 나타나는 편각 편이는 수직축에 의한 암괴의 수평회전에 기인한다고 해석된다.

## 5. 결 론

해남지역의 화산 쇄설성 퇴적암 및 응회암으로 구성된 20개 장소에 대해서 정향시료 125개를 채취하고, 그 중 85 개의 시료에 대하여 잔류자화를 측정하였다. 본 지역의 12개 장소로부터 구한 특성잔류자화는 대부분 자철석에 기인하며 암석 생성시에 획득된 일차자화임을 시사한다. 그 중 지층경사보정이 가능한 2개 장소로부터 구한 후기백악기의 평균자화방향은  $Dm/Im=21.4^\circ/57.1^\circ(\alpha_{95}=13.4^\circ)$ 이고, 이로부터 구한 고지자기 극의 위치는  $72.5^\circ N/199.9^\circ E$ ( $dp/dm=14.2^\circ/19.5^\circ$ )로서 Besse and Courtillot(1991)가 제시한 동시기의 유라시아의 극의 위치와 매우 잘 일치한다. 이는 본 지역이 후기 백악기 이래로 유라시아대륙에 속하면서 안정되어 왔음을 지시한다. 한편, 연구지역의 전기백악기의 잔류자화방향은 동시기의 경상분지의 방향과 반시계방향의 편(약  $10^\circ$ )을 보이는 것으로 나타났으며, 전기 백악기 말 혹은 후기백악기 초에 해남지역을 포함하는 소지괴가 상대적으로 반시계방향으로 수평회전을 경험

하였던 것으로 판단된다.

## 참고문헌

- 강희철, 김인수, 손 문, 정현정 (1996) 양산단층지역에 분포하는 퇴적암 및 화성암류에 대한 고지자기 연구. *자원환경지질*, 29권, p. 753-765.
- 김옥준 등 (1980) 한반도의 지진지체구조 분석에 관한 연구. *과학기술처*, 159p.
- 김인수, 강희철, 이현구 (1993) 경상분지 남서부 진교, 사천 지역 전기 백악기 퇴적암에 대한 고지자기 연구. *광산지질*, 26권, p. 519-539.
- 김태성, 민경덕, 이윤수, 이영훈, 이동영 (1998) 진주 및 고령 지역에 분포하는 신라 역암의 잔류자화에 대한 고지자기 연구. *자원환경지질*, 31권, p. 325-338.
- 도성재, 황창수, 김광호 (1994) 밀양 소분지에 분포하는 경상누층군 퇴적암류에 대한 고지자기 연구. *지질학회지*, 30권, p. 211-228.
- 이윤수, 민경덕 (1995) 옥천대의 중생대 아래의 지구조적 운동에 관한 고지자기 연구. *자원환경지질*, 28권, p. 493-501.
- 장호완, 고상모 (1995) 전남 해남 지역의 백악기 화산암류의 암석학적 및 암석화학적 특성. *대한지질학회 제50차 정기총회 및 학술발표회 요약집*, p. 75.
- 전영수, 민경덕, 이윤수, 이영훈, 이동영 (1998) 경북 고령 지역에 분포하는 경상누층군의 관입암류에 의한 재자화 작용에 관한 고지자기 연구. *자원환경지질*, 31권, p. 311-324.
- Besse, J. and Courtillot, V. (1991) Revised and synthetic apparent polar wander paths of the African, Eurasian, North American and Indian Plates, and true polar wander since 200 Ma. *J. Geophys. Res.*, v. 96, p. 4029-4050.
- British Petroleum Co. (1989) *A Geologic Time Scale 1989*. Cambridge University Press.
- Cluzel, D. J., Lee, B.-J. and Cadet, J.-P. (1991) Indosinian dextral ductile fault system and synkinematic plutonism in the southwest of the Ogcheon belt (south Korea). *Tectonophysics*, v. 194, p. 131-151.
- Fisher, R.A. (1953) Dispersion on a sphere. *Proc. R. Soc. Lond.*, v. A217, p. 295-305.
- Halls, H.C. (1976) A least-squares 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.V., Carig, L.E., Smith, A. G. and Smith, D.G. (1989) *A geologic time scale*. Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- Kim, I.-J. and Nagao, K. (1992) K-Ar ages of the hydrothermal clay deposits and the surrounding igneous rocks in southwest Korea. *J. Petrol. Soc. Korea*, v. 1, p. 58-70.
- Kirschvink, J.I. (1980) The least-squares line and plane and the analysis of paleomagnetic data. *Geophys. J.R. astr. Soc.*, v. 62, p. 699-718.
- 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.
- Lee, Y.S., Nishimura, S. and Min, K.D. (1992) Apparent

- polar wander path for southern part of the Korean Peninsula. 29th International Geological Congress Meeting, Abstr. I-3-23, p. 109.
- Lee, Y.S., Nishimura, S. and Min, K.D. (1996) High unblocking temperature hematite magnetizations of Late Paleozoic red beds from the Okcheon zone, southern part of Korean Peninsula. *Geophys. J. Int.*, v. 125, p. 266-284.
- 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. and Min, K.D. (1997) Paleomagnetic constraint of the amalgamation of the Sino-Korean Block to Laurasia. In *Proceedings for the 4th Korea-China Joint Geology symposium on Crustal Evolution in northeast Asia*. (eds.) by Jang, B.-A. and Cheong, D., p. 157-166.
- Lowrie, W., 1990, Identification of ferromagnetic minerals in a rock by coercivity and unblocking temperature properties. *Geophys. Res. Lett.*, 17, 159-162.
- McFadden, P. L. and McElhenny, M.W. (1988) The combined analysis of remagnetization circles and direct directions in paleomagnetism. *Earth & Planet. Sci. Lett.*, v. 87, p. 161-172.
- Otofujii, Y. and Matsuda, T. (1983) Paleomagnetic evidence for the clockwise rotation of Southwest Japan. *Earth Planet. Sci. Lett.*, v. 62, p. 349-359.
- Yanai, S., Park, B.S. and Otoh, S. (1985) The Honam Shear Zone (South Korea): Deformation and tectonic implication in the Far East. *Sci. Pap. College Arts Sci. Univ. Tokyo*, v. 35 (2), p. 181-210.
- Yin, A. and Nie, S. (1993) An indentation model for the North and South China collision and the development and tectonic implication in the Tan-Lu and Honam Fault System, Eastern Asia. *Tectonics*, v. 12, p. 801-813.
- 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, Amsterdam, p. 254-286.

---

1999년 3월 23일 원고접수, 2001년 2월 9일 게재승인.