

남한 제3기 분지지역에 대한 고자기 연구*: 2. 포항분지 중부의 현무암질암

손 문** · 김인수**

Palaeomagnetism of Tertiary Basins in Southern Korea*: 2. Basaltic Rocks in the Central Part of Pohang Basin

Moon Son** and In-Soo Kim**

ABSTRACT : In order to determine the emplacement time and stratigraphic position of basaltic rocks in the central part of Pohang basin, palaeomagnetic investigations were conducted on 111 samples collected from 6 sites. Formation mean built from site-mean ChRM directions is $d=340.7^\circ$, $i=52.2^\circ$ ($\alpha_{95}=6.0^\circ$, $k=91$) in the geographic coordinates. If "tilt" correction is applied regarding the plane perpendicular to the side walls of columnar joint as palaeohorizon, the formation mean becomes $d=328.7^\circ$, $i=43.8^\circ$ ($\alpha_{95}=17.1^\circ$, $k=13$). It is to be noticed that the formation mean is deflected significantly (about $20\sim 30^\circ$) counterclockwise from the Tertiary reference geomagnetic field of Eurasia, independent of "tilt" correction. This situation is very different from that of clockwise rotation of ChRM directions which has been ubiquitously observed in other Tertiary basins of south Korea, and indicates sinistral regional simple-shearing during the emplacement times of the basaltic rocks. Considering previous palaeomagnetic and AMS (anisotropy of magnetic susceptibility) data from other Tertiary regions of south Korea, the time of this sinistral shearing should be 15 Ma or directly thereafter, and this time point represents inversion from extensional to compressional tectonic regime. Magnetic foliation data obtained in this study indicate WNW-ESN compression during or directly after emplacement of the basaltic rocks, while it has known from regional tectonic study that the time of the WNW-ESN compression is about 15 Ma, when SW Honshu was rotated and the Korean strait was narrowed.

서 론

동해안을 따라 분포하는 남한의 제3기 지층들은 하위의 육성 陽北層群과 상위의 해성 延日層群으로 2대분되고 있다. 육성 양북층군은 주로 에오세 초기 내지 중기의 석영 안산암 및 석영안산암질 응회암, 그리고 마이오세 초기의 안산암-현무암질 화산쇄설물과 용암류에 의해서 지배되고 있으며 포항이남의 제3기 분지인 장기, 어일, 하서, 정자 그리고 울산분지 등지에 광범위하게 분포하고 있다.

최근의 방사능연령 측정결과들 (진명식 등, 1988; 이현구 등, 1992, 1995)에 의하면 이들 안산암-현무암질 화산암류들은 초기 마이오세로부터 중기 마이오세에 이르는 약 8~9백만년간에 걸치는 화산활동의 산물인 것으로 알려지고 있다.

이상 남쪽의 제3기 분지들에 반하여 포항분지는 총리 발달이 양호한 해성 연일층군이 주로 분포된 곳이다 (엄상호 등, 1964; Yun, 1986). 포항분지내에서 찾아 볼 수 있는 화산활동의 산물로서는 분지 중부인 흥해읍 일대의 석영안산암질 응회암과 포항시 서쪽 달전마을 일대의 몇 곳에 제한적으로 분포된 (Fig. 1) 현무암질암이 모두이다.

본 연구는 후자인 達田저수지 일원에 분포하는 현무암

* 이 논문은 1994년도 한국학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의하여 연구되었음 (과제번호 : 01-D-0154).

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

Table 1. Summary of study results

Site	Lithology	Treat. method	n/N	Before "tilt" correction				After "tilt" correction				Polarity
				d(°)	i(°)	α_{95} (°)	k	d(°)	i(°)	α_{95} (°)	k	
DR	Basalt	AF, TH	31/37	346.8	50.5	2.5	98.0	331.0	19.7	3.9	41.0	N+R
DRA	Lithic tuff	AF, TH	6/17	358.2	61.6	7.8	53.0	345.8	43.7	7.5	58.0	N+R
DRB	Basalt	AF, TH	14/17	335.7	52.8	2.0	360.0	323.4	44.0	4.2	78.0	N
DRC	Basalt	AF, TH	15/19	337.6	50.8	4.4	67.0	339.7	39.1	5.4	45.0	N
DRD	Basalt	AF, TH	6/12	328.3	53.1	5.5	106.0	279.3	63.9	5.5	110.0	N+R
DRE	Basalt	AF, TH	7/9	341.2	42.4	5.3	99.0					N
Total mean			6	340.7	52.2	6.0	91.0	328.7	43.8	17.1	13.0	

N; Number of sampled specimens, n; Number of specimens used in site-mean ChRM calculation, AF; AF cleaning, TH; Thermal cleaning, "Tilt" correcton was attempted by treating the plane perpendicular to the columnar joint surface as paleo-horizon. This increases, however, scatter of site and total means. We regard, therefore, the mean direction without "tilt" correction as mean ChRM direction.

중결시기를 결정하는 하나의 중요한 근거가 될 것으로 믿어진다.

연구대상 현무암류와 시료의 채취

연구대상 현무암류는 포항시 서쪽 경주군 연일읍 達田 저수지 부근 당수마을 일대와 광방리 북쪽 일원의 포항분지 중부에 소규모로 분포하고 있다 (Fig. 1). 분포지는 전체적으로 길쭉한 타원형을 이루고 있으며 각 노두들은 연일층군에 해당하는 중기 마이오세 퇴적층에 의하여 서로 격리되어 있다. 암편질 응회암 노두인 DRA지점과 소규모의 암맥상으로 나타나는 DRE지점을 제외한 다른 노두들은 주상절리가 잘 발달된 흑색 내지 흑회색 암상의 채석장 노두이었다 (정창희, 1986, p. 582 사진 참조). 주상절리에 수직인 면을 따라서는 유백색의 광물맥들이 발달되어 있다. XRD분석 결과 이 광물맥들은 주로 방해석으로 이루어져 있으며 아울러 소량의 아라고나이트가 포함되어 있는 것으로 밝혀졌다.

이들은 주로 알칼리 계열의 현무암이며 (이현구 등, 1995) 부분적으로는 (DRA지점 등) 아각상의 암편질 응회암을 이루고 있다. 현무암체의 기질은 미정질 내지 隱미정질로써 사장석, 휘석, 흑운모 및 불투명광물로 이루어져 있고 반정은 주로 휘석과 소량의 흑운모들이다 (이현구 등, 1992). 아각상 암편질 응회암의 암편들은 주로 직경 1~3 cm이며 분급이 불량하다. 부분적으로 용결구조가 발달하고 있으며 이들 용결구조는 대략 북북서방향으로 약 10°~20°경사져 있다. 현무암과 암편질 응회암의 지질학적 상호관계는 현재로서는 불명하다.

연구를 위한 시료들은 모두 6개의 지점으로부터 총 111개가 채취되었다 (Fig. 1, Table 1). 모든 시료는 다

이아몬드 비트를 장착한 휴대용 착암기를 이용하여 직경 2.4 cm, 길이 약 6 cm의 원통형으로 야외에서 직접 채취되었다. 모든 시료들은 지질조사용 나침반으로 현장에서 정향되었으며 그 적향 방향은 다시 태양 나침반 (sun compass)으로 검토되고 보정되었다. 경사보정을 위하여서는 현무암의 경우 주상절리에 수직인 면이 냉각 당시의 등온면 (isothermal surface), 즉古수평면인 것으로 잠정 추정하여 (Best, 1982) 이 면의 자세를 측정하였다. 응회암의 경우에는 미약하나마 층리면이 나타나므로 이들의 주향과 경사를 측정하였다.

자기세척실험

고자기학적 연구의 일차목표인 특성잔류자기방향 (ChRM)을 알아내기 위해서 각 시편들에 교류자기세척과 열자기세척을 시행하였다. 교류자기세척은 영국 Molspin사의 교류세척기를 이용하였으며 열자기세척에는 미국 Schonstedt사의 TSD-1 열세척기를 사용하였다. 모든 잔류자기측정은 Molspin사의 spinner magnetometer로 행하여졌다. 실험의 진행은 김인수 (1984)에 준하여 실시하였으며 각 세척단계후에 벡터다이아그램 (Zijderveld, 1967), 세척강도에 따른 자화강도 변화 곡선 그리고 등적투영망에 도시하여 세척의 진척상황을 관찰하였다.

帶磁率 非等方性측정은 영국 Molspin사의 Minisep을 사용하여 실시하였다. 해석작업을 위하여서는 자기비등방 타원체의 주축, 즉 K_1, K_2, K_3 (단, $K_1 > K_2 > K_3$)의 방향을 구하여 등적투영망에 투영하였으며 K_1/K_2 와 K_2/K_3 를 계산하여 Flinn diagram에 도시함으로써 선구조와 면구조의 우세도를 판별하였다 (김인수, 1990).

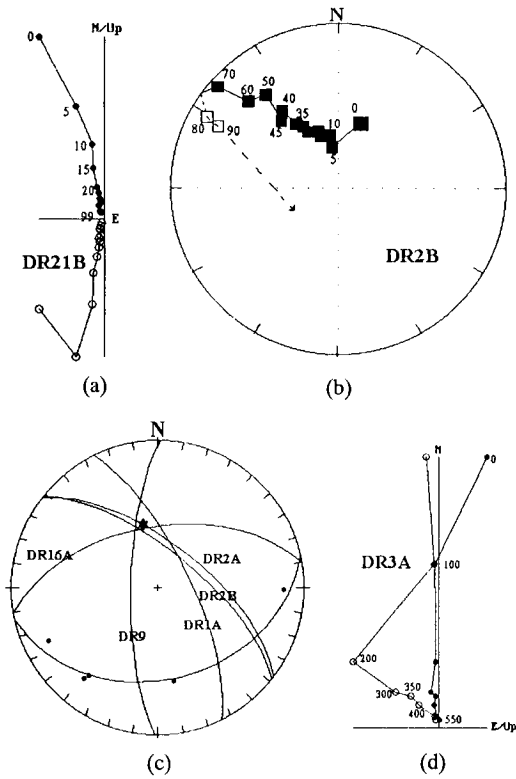


Fig. 2. Example of AF (a-c) and thermal (d) cleaning of basalt specimens from DR site. (a) A single characteristic stable endpoint (SEP) direction could be easily isolated at 15 mT. All the vector diagrams in this paper are depicted in the geographic (in-situ) coordinates with closed (open) symbols projected onto the horizontal (vertical) plane. (b) Some specimens showed remagnetization circles and reversed RM on AF cleaning. All the stereonet in this paper are equal-area lower hemisphere projection in the geographic coordinates. (c) Application of Halls' (1976, 1978) great-circle method. (d) Example of thermal cleaning of basalt specimen from DR site.

세척실험 결과

DR 지점

본 지점은 경주군 연일읍 광방리 입구 달전저수지 제방 북 동쪽 약 30m 지점에 위치하고 있다. 본 지점의 노두는 현무암으로써 주상절리가 잘 발달되어 있다. 주상절리에 수직인 면은 곳에따라 상당히 굴곡된 상태로 나타난다 (정창희, 1986, p.582 사진). 그러나 시편 채취지점 주변의 마이오세 퇴적층들의 층리는 거의 수평이다.

총 37개의 시편들 중 10개의 시편에 대해서 교류자기세척실험을 실시하였는데 그중 3개에서 성공적으로 안정중

점 (SEP)을 이루는 단일 특성잔류자기방향을 추출해 낼 수 있었다. 나머지 중 5개는 등적투영망상에서 재자화원 (remagnetization circle)을 그렸는 바, Halls (1976, 1978)의 대원분석법을 이용하여 특성잔류자기방향을 찾아내었다. Fig. 2a는 21B시편의 벡터다이아그램으로써 15 mT의 교류세척강도에서 안정중점방향을 찾아 원점을 향하고 있다. Fig. 2b는 2B시편의 실험결과인데 세척강도가 높아짐에 따라 잔류자기 방향이 대원을 그리며 이동하고 있으며 80 mT에서부터 역자화가 나타남을 보인다. 이는 본 시편의 일차자화가 역자화임을 지시하는 것이다.

이상의 교류세척실험에 사용된 10개를 제외한 나머지 27개의 시편들에 대해서는 열세척실험을 실시하였다. 열세척실험은 자화강도가 자연잔류자기 (NRM)의 5%이하로 감소되도록 약 580°C까지 10 내지 13단계에 걸쳐서 진행하였다. 실험결과 대부분의 경우 약 300°C까지 자화강도가 급격히 줄어들다가 300°C 내지 400°C 사이에서 원점을 향하는 안정중점방향에 도달하였다 (Fig. 2d).

이상의 세척실험결과들을 종합해보면 세가지의 결과값이 나타난다. 먼저, 교류자기세척실험을 통해 안정중점방향이 추출된 3개 시편의 특성잔류자기방향들을 구면통계처리 (Fisher, 1953)한 평균값은 경사보정전에 d (편각) = 346.8°, i (북각) = +53.7° (α_{95} = 7.0°, k = 132)이며 경사보정후 d = 321.5°, i = 36.9° (α_{95} = 32.6°, k = 6)이다. 둘째로, 교류자기세척실험을 통해 얻어진 재자화원을 이용한 대원분석법 (Fig. 2c)을 통해 구한 평균값은 경사보정전과 보정후에 각각 d = 167.5°, i = -54.0° 그리고 d = 155.4°, i = -24.2°이다. 마지막으로 열세척실험에 의한 27개 시편의 평균결과값은 경사보정전과 보정후에 각각 d = 346.8°, i = 50.0° (α_{95} = 2.7°, k = 94) 그리고 d = 331.7°, i = 18.0° (α_{95} = 2.5°, k = 113)이다. 이들 결과값들 중 경사보정전의 것들은 95%신뢰도내에서 모두 동일한 값으로 간주할 수 있으며 역전검사 (reversals test)도 통과한다. 그러나 경사보정후의 것들은 역전검사에 실패하였다. 아울러 경사보정후의 북각값들은 18°에서 37°의 넓은 범위를 보이며 동아시아의 신생대 지자기방향 (Irving, 1979)과 현저한 차이를 나타낸다. 이로 보아 경사보정을 위해 사용된 주상절리에 수직인 면 (등온면으로 간주되었던 면)은 본 현무암의 定置 당시의 수평면으로 대표될 수가 없는 것으로 생각된다. 따라서 본 현무암은 관입암으로 정치되었거나 또는 급한 지형면을 따라 분출하였음이 암시된다. 이러한 고찰에 의거, 본 연구에서는 역전검사를 통과하며 보다 높은 군집도를 보이는 소위 "경사보정전"의 특성잔류자기방향을 DR지점의 최종 결과값으로 하였다. 이들을 모두 모아서 구면통계처리한 평균값은 d = 346.8°, i = 50.5° (α_{95} =

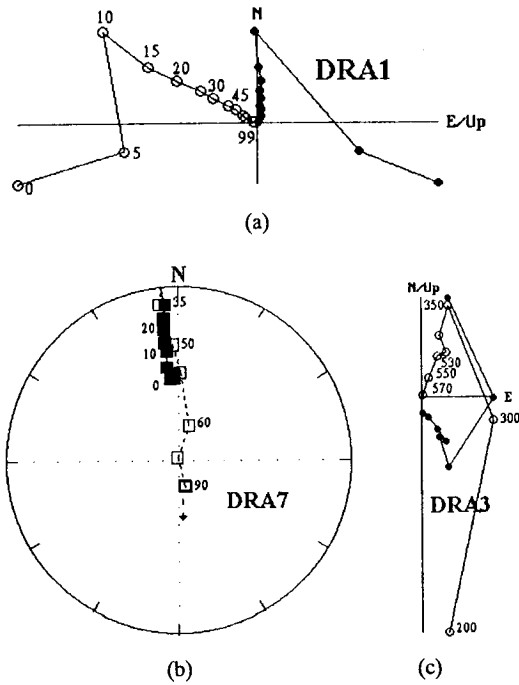


Fig. 3. Example of AF (a, b) and thermal (c) cleaning of lithic tuff specimens from DRA site. (a) A single characteristic stable endpoint direction could be easily isolated at 15mT, (b) some specimens showed remagnetization circles and reversed RM on AF cleaning, (c) example of thermal cleaning of lithic tuff specimen from DRA site.

2.5°, k=98)이다 (Table 1). 본 현무암이 관입암이라 할때, 주변 퇴적층의 층리가 거의 수평이라는 사실도 "경사보정"의 불필요함을 지지하는 것이 된다.

DRA 지점

본 지점은 연일읍 광방리 진입로와 칠전마을 진입로가 만나는 삼거리의 개천가 노두이며 (Fig. 1) 암편질 응회암으로 구성되어 있다.

총 17개의 시편 중 6개를 대상으로 교류자기세척실험을 실시하였다. 교류자기세척실험이 실시된 6개의 시편 중 2개는 모두 정자화로 약 20mT에서 안정종점방향에 도달하였다 (Fig. 3a). 다른 1개의 시편에서는 재자화원을 찾아낼 수 있었는데 이 재자화원은 세척강도가 높아짐에 따라 정자화에서 역자화로 변화하는 양상이다 (Fig. 3b).

다른 11개의 시편들을 대상으로 열세척실험을 실시하였다. 11개의 시편 중 4개는 안정종점방향에 도달되었으며 1개에서는 재자화원이 나타났다. 단일 특성잔류자기방

향이 유리된 상기 4개의 시편들 중 3개는 역자화, 나머지 1개는 정자화의 극성을 보여준다. Fig. 3c는 3번 시편의 열세척실험 결과로써 정자화의 자연잔류자기 상태에서 세척강도 350°C에 이르러 역자화가 되면서 안정종점방향에 도달함이 보여진다. 한편, 이 DRA시편들의 열세척에 따른 자화강도의 변화양상도 상술한 DR시편들의 경우에서와 거의 같다. 세척온도 약 300°C까지 자화강도가 급격히 줄어들다가 300°C 내지 340°C 근처에서 안정종점방향에 도달하게 되며 약 570°C의 가열온도에 이르면 자화강도는 초기 자연잔류자기 상태의 5%미만으로 줄어들었다. 이로 보아 주 자성광물은 티탄을 다소 높게 함유한 티탄 자철석계열의 것이거나 티탄마그헤마이트로 다소 변질되어 있는 것으로 추측된다.

성공적으로 특성잔류자기방향이 추출된 6개 시편의 세척결과들을 통계처리하면 경사보정전에 $d=358.2^\circ$, $i=61.6^\circ$ ($\alpha_{95}=7.8^\circ$, $k=53$)이며, 경사보정후에는 $d=345.8^\circ$, $i=43.7^\circ$ ($\alpha_{95}=7.5^\circ$, $k=58$)이 된다 (Table. 1). 이 특성잔류자기는 역전검사를 통과한다.

DRB 지점

본 지점은 연일읍 칠전마을 맞은편의 골재 채석장에 해당한다. 야외조사를 통해서 볼 때 본 노두의 암상은 현무암이며 상기 DR지점과 연결되는 암체이다. 역시 주상절리가 잘 발달되어 있으며 주상절리에 수직인 면을 따라 판상의 방해석 광맥들이 발달하고 있다.

총 17개의 시편 중 4개에 대해서는 교류자기세척실험을, 나머지 13개에 대해서는 열자기세척실험을 실시하였다. 이들의 세척습성은 DR지점의 경우와 거의 동일하였다. 총 17개의 시편중 14개는 정자화의 극성을 보이며 안정종점방향에 도달하였으며, 2개의 시편 (교류세척과 열세척의 각각 1개씩)에서는 역자화로 향하는 재자화원을 보였다. 안정종점방향에 도달하는 전자의 14개 시편들의 특성잔류자기방향을 통계처리하면 경사보정전에 $d=335.7^\circ$, $i=52.8^\circ$ ($\alpha_{95}=2.0^\circ$, $k=360$), 경사보정후에 $d=323.4^\circ$, $i=44.0^\circ$ ($\alpha_{95}=4.2^\circ$, $k=78$)이 된다 (Table 1). 이 결과치는 음의 습곡검사 (negative fold test)를 이루는 값으로, 역시 경사보정을 위해 측정된 주상절리의 수직한 면은 본 현무암이 정지될 당시의 수평면을 대표할 수 없는 것으로 나타난다. 따라서 본 지점에서도 경사보정전의 값을 최종 결과치로 사용하였다.

DRC 지점

본 지점은 연일읍 당수마을 북쪽의 현무암 채석장에 해

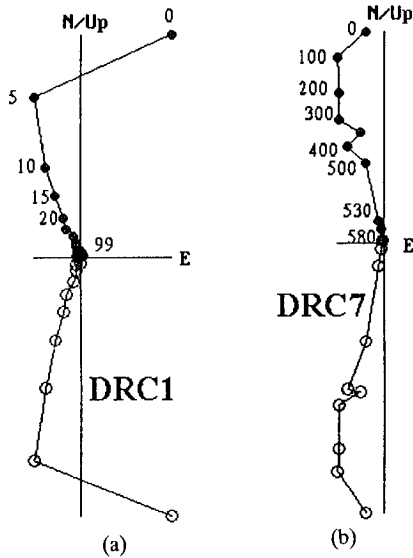


Fig. 4. Example of AF (a) and thermal (b) cleaning of basalt specimens from DRC site. A single characteristic stable endpoint direction could be easily isolated at about 15 mT (a) and about 300°C (b), respectively.

당한다 (Fig. 1). 이 노두 또한 양호한 주상질리를 보이며 절리면에 수직인 면을 따라서 판상 방해석 광맥들이 발달되어 있다. 본 현무암의 폭은 최소 10 m로써 주변의 마이오세 퇴적층내에 조화롭게 (concordant) 협재되어 나타나는데 그 産狀이 분출岩床 (extrusive sheet)인지 관입岩床 (sill, intrusive sheet)인지 야외에서 정확하게 식별하는 것은 곤란하다.

채취된 총 19개의 시편들 중 3개는 교류자기세척실험을 16개는 열자기세척실험을 실시하였다. 열세척온도 약 350°C 내외에서 4개의 시편이 폭발을 일으켰는데 이를 제외한 나머지 시편들은 모두 안정된 정자화의 단일 특성잔류자기방향을 보여주었다. 본 지점 시편들의 교류자기세척 특징은 약 15 mT 내외의 낮은 세척강도에서 안정중점방향에 도달하는데에 있다 (Fig. 4a). 이는 본 연구지역 현무암의 교류자기세척실험에서의 일반적 특징이기도 하다. 한편, 열자기세척실험의 특징은 앞서 기술한 세지점 시료들의 세척양상과 다소 차이를 가진다. 즉, 세척온도 300°C까지 급격히 자화강도가 감소하던 앞선 지점들과는 달리 약 500°C까지도 1/3이상의 자화강도가 유지되었다. 그러나 약 570°C에 이르러는 자화강도가 자연잔류자기의 5%미만으로 소멸되는 특징은 거의 같다 (Fig. 4b). 이로 보아 이곳의 현무암에서도 티탄자철석계열 광물이 주 자성광물인 것으로 생각되나 티탄함량이 상대적으로 적거나 변질정도가 낮은 것으로 추정된다.

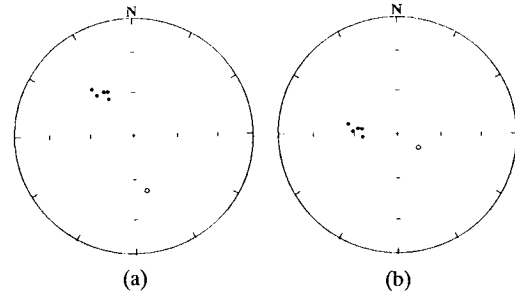


Fig. 5. ChRM directions from DRD basalt site. (a) Before "tilt" correction, (b) after "tilt" correction. The reason of quotation marks for the word "tilt" is explained in the caption of Fig. 9 and Table 1.

본 지점에서 추출된 15개의 특성잔류자기방향들의 평균값은 경사보정전에 $d=337.6^\circ$, $i=50.8^\circ$ ($\alpha_{95}=4.4^\circ$, $k=67$), 경사보정후에 $d=339.7^\circ$, $i=39.1^\circ$ ($\alpha_{95}=5.4^\circ$, $k=45$)이다 (Table 1). 이들 결과 또한 경사보정전의 평균값이 군집도가 높아 경사보정전의 값을 최종결과치로 하기로 한다.

DRD 지점

본 지점은 달전저수지 맞은편 골짜기 약 750 m지점의 역시 주상질리가 잘 발달된 현무암 노두이다. 야외관찰에 의하면 본 지점의 현무암은 다른 지점들에 비해 파쇄가 현저하고 부분적으로 단층점토들이 충전된 양상을 보여 주었다.

총 12개의 시편 중 2개는 교류자기세척을 10개는 열자기세척을 실시하였다. 이들 중 6개는 400°C 내외의 열세척에서 폭발을 일으켰다. 이들을 제외한 나머지 6개에서는 안정중점방향을 찾을 수 있었다. 교류자기세척실험에서는 다른 지점들의 경우와 같이 대부분 20 mT 전후의 낮은 세척강도에서 안정중점방향을 찾을 수 있었다. 열세척실험 결과는 DR, DRB시료들의 경우에서와 같이 대부분 350°C 이전에서 급격히 자화강도가 떨어지는 양상을 보여주었으나 일부 시료들에서는 400°C 이상에 이르러서야 자화강도가 감소되기도 하였다. 약 570°C에 도달되면 자화강도는 역시 거의 소멸되었다.

6개의 특성잔류자기방향 중 5개는 정자화를 1개는 역자화의 극성을 보여주고 있으며 이 정자화와 역자화는 서로 반평행 (antiparallel)하게 나타난다 (Fig. 5a). 이들 방향을 평균하면 경사보정전에 $d=328.3^\circ$, $i=53.1^\circ$ ($\alpha_{95}=5.5^\circ$, $k=106$), 경사보정후에 $d=279.3^\circ$, $i=63.9^\circ$ ($\alpha_{95}=5.5^\circ$, $k=110$)이다 (Table 1). 경사보정후의 군집도가 약간 높기는 하나 그 방향은 동아시아의 신생대 지자기방향

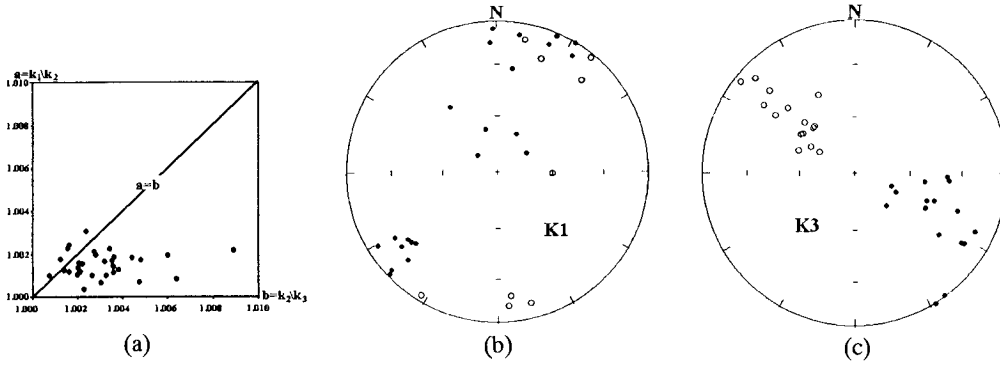


Fig. 6. Anisotropy of magnetic susceptibility (AMS) data from DE basalt site. (a) Flinn diagram indicates that foliation is dominant magnetic structure in this site. a: lination, b: foliation, (b) K_1 directions in equal-area lower hemisphere projection, (c) K_3 directions in equal-area lower hemisphere projection.

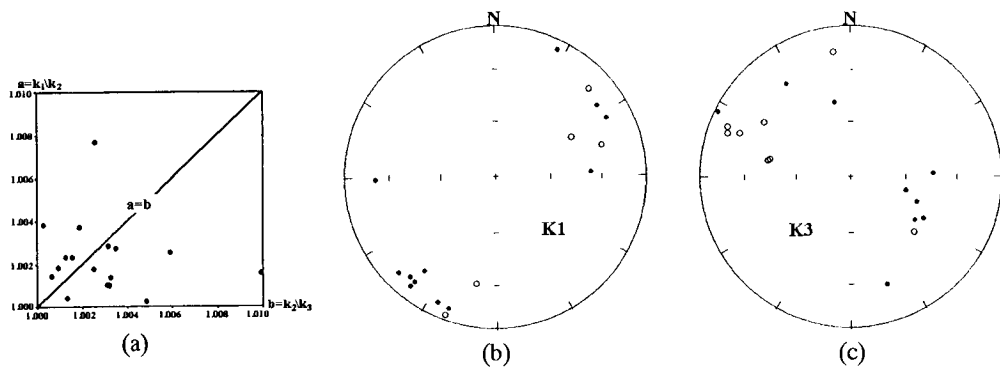


Fig. 7. Anisotropy of magnetic susceptibility (AMS) data from DRB basalt site. (a) Flinn diagram indicates coexistence of lination and foliation structures in this site, (b) K_1 directions in equal-area lower hemisphere projection, (c) K_3 directions in equal-area lower hemisphere projection.

(Irving, 1979)이나 본 연구지역내 다른 현무암지점들의 평균치와 판이하게 다르게 되어 (Fig. 5b) 경사보정전의 값을 최종결과치로 사용한다.

유사하다. 구면통계처리한 결과치는 경사보정 없이 $d=341.2^\circ$, $i=42.4^\circ$ ($\alpha_{95}=5.3^\circ$, $k=99$)이다.

DRE 지점

본 지점은 달전마을 북쪽 약 500 m 지점으로써, 마이오세 퇴적층을 관입하고 있는 약 6 m 폭의 현무암질 암맥 (dyke)이다. 주상절리도 발달되어 있지 않고 퇴적층과의 정확한 접촉부분도 관찰할 수 없는 등 경사보정을 위한 자료가 전혀 없어 경사보정은 실시하지 않았다. 주변 퇴적층의 층리는 거의 수평이었다.

총 9개의 시편 중 2개에 대해서는 교류세척을, 7개에 대해서는 열세척을 실시하였다. 열자기세척도중 폭발한 2개 시편을 제외한 7개에서 특성잔류자기방향을 찾을 수 있었다. 세척특징은 DRD 지점 시료들의 세척특징과 거의

대자율 비등방성 연구

대자율 비등방성 (AMS: anisotropy of magnetic susceptibility) 연구의 성공 가능성은 연구대상암석의 주 자성광물이 형태비등방성이 강한 티탄자철석계열일 때 높아진다. 앞서에서 언급했던 바와 같이 본 연구의 대상 암석들은 대부분 티탄자철석계열을 포함하고 있어 대자율 비등방성 연구에 효과적일 것으로 기대되었다.

자기적 선구조와 엽리구조 중 어느것이 우세한지를 알아내기 위해서는 우선 대자율 비등방타원체의 주축 K_1 , K_2 , K_3 (여기서 $K_1 > K_2 > K_3$)를 구해내고 K_1/K_2 및 K_2/K_3 각각의 값을 Flinn diagram의 세로축과 가로축에 도시하는 방법을 사용하였다 (김인수, 1990). 이로부터 각 시

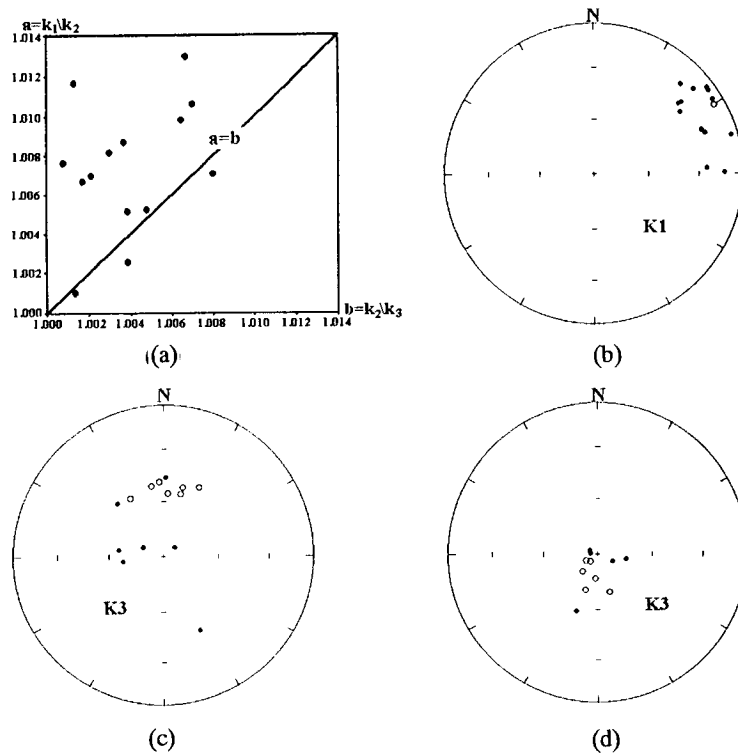


Fig. 8. Anisotropy of magnetic susceptibility (AMS) data from DRC and DRD basalt sites. (a) Flinn diagram indicates more dominance of lineation structure in the DRC site. (b) K_1 directions of the DRC site in equal-area lower hemisphere projection. (c) K_3 directions of the DRC site in equal-area lower hemisphere projection. (d) DRD basalt site shows load-foliation structure.

료채취지점에서 우세한 대자를 비등방성 구조가 선구조라고 판명되면 (Flinn diagram에서 대각선 (즉, $a=b$ 선) 보다 위쪽에 우세하게 점시되는 경우 (즉, $a > b$ 의 경우)) K_1 방향을 현무암의 흐름방향으로 해석하였다. 만약 우세 비등방 구조가 엽리구조라고 판명되면 (Flinn diagram에서 대각선 (즉, $a=b$ 선)보다 아래쪽에 우세하게 점시되는 경우 (즉, $b > a$ 의 경우)) K_3 방향에 수직한 면을 압축력에 의한 엽리면으로 해석하였다.

대자율 비등방성 연구가 수행된 6곳의 시료채취 지점 중 3개지점 (DR, DRB, DRC)에서 대자율 비등방 방향들이 잘 균집되는 결과가 나타났다 (Fig. 6, 7, 8). Fig. 6은 DR지점으로부터의 결과로써 대부분의 시편들에서 엽리구조가 우세하게 나타나고 있다 (Fig. 6a). 총 31개의 시편들 중 5개가 자기적 선구조영역에 도시되나 엽리구조와 선구조의 경계선 ($a=b$ 선)에 매우 인접되어 나타나고 있으며 나머지 26개는 모두 엽리구조의 영역에 도시되어 있다. 등적투영망상에서 K_3 방향들은 (Fig. 6c) 모두 2사분면과 4사분면에 밀집되어 나타난다. 한편, K_1 의 방향을 살

펴보면 (Fig. 6b) 6개의 시편들에서는 상하방향으로 나타나고 이들을 제외한 다른 모두에서는 북각이 수평에 가깝고 방향각은 NS 내지 $N60^\circ E$ 사이에 밀집되어 있다. 이 두 자료는 현무암 마그마가 수직상승하는 동안 북서-남동 방향의 압축력으로 죄어지며 (constriction) 북동-남서로 유동되었음을 시사하는 것이다.

Fig. 7은 DRB지점으로부터의 결과인 바, 자기적 엽리구조와 선구조가 함께 공존하여 있다. 17개의 시편 중 7개는 선구조영역에 10개는 엽리구조 영역에 도시되고 있다 (Fig. 7a). 먼저 K_1 방향을 살펴 보면 (Fig. 7b) 모든 시편들이 1사분면과 3사분면에 투영되어 있으며 수평에 가까운 북각을 보이고 있다. 이 선구조 방향은 DR지점에서의 것과 일치하는 것으로 본 지점 현무암의 유동방향도 북동-남서방향이었음을 지시한다. 한편, K_3 방향을 살펴 보면 (Fig. 7c) 모두 2, 4사분면에 투영되어 있으며 북각 또한 대부분 40° 내외로써 DR지점의 결과 (Fig. 6c)와 거의 일치한다.

Fig. 8은 DRC지점으로부터의 결과로써 자기적 선구조

가 우세함을 보인다 (Fig. 8a). K_1 결과를 보면 (Fig. 8b) 모두가 낮은 북각으로 1사분면, 즉 N50°E 내지 EW 사이에 밀집되어 투영되어 있다. 이로 보아 본 현무암은 定置時에 서남서-동북동 방향으로 유동되었던 것으로 생각된다. 이는 앞서 두 지점으로부터의 결과들과 약간의 차이를 보이기는 하지만 거의 일치되는 방향이다. 한편 K_3 의 등적투영망을 보면 (Fig. 8c) 북북동방향에 50°가량의 깊은 북각으로 밀집되어 있는 것처럼 보이나 자세히 살펴보면 산만하게 분산된 상황이다.

이상의 기술에서 제외된 암편질 응회암 (DRA)과 소규모의 암맥상 현무암 (DRE)은 군집된 방향의 선구조나 엽리구조를 보여주지 않아 토의에서 제외하였다. 현무암 중 1개 지점 (DRD)은 상부하중에 의한 엽리구조를 보였다 (Fig. 8d).

토 의

잔류자기 방향

먼저 자기세척실험의 결과에 대해서 토의해보기로 한다. 본 지역의 현무암류는 알칼리 현무암 (이현구 등, 1995)과 암편질 응회암으로 구성되어 있다. 교류자기세척 실험에서 이들 모두는 낮은 세척강도 (약 20 mT)에서 안정중점방향에 도달하였으며 약 30 mT 정도의 외부자장에 의하여 초기 자연잔류자기 (NRM)의 90%이상을 잃어버리는 경향을 보여주었다. 또한 열세척실험에서 약 570°에 도달하면 자화강도가 초기 자연잔류자기의 5%이하로 소멸되었다. 그러나 자화강도가 급격히 감소되는 온

도구간에서는 시편 채취지점에 따라 차이가 나타났다. 이러한 결과들로부터 미루어, 본 현무암류의 주 자성광물은 티탄자철석계열인데 노두에 따라 티탄함량이나 저온변질 정도에 차이가 있음을 추측케 한다. 이러한 세척습성의 차이는 정치연령의 사소한 차이나 환경의 차이를 반영하는 것인지도 모른다.

연구지역 현무암류의 전체적 평균값은 경사보정전에 $d=340.7^\circ$, $i=52.2^\circ$ ($\alpha_{95}=6.0^\circ$, $k=91$), 경사보정후에 $d=328.7^\circ$, $i=43.8^\circ$ ($\alpha_{95}=17.1^\circ$, $k=13$)이다 (Fig. 9, Table 1). 이는 경사보정전에 비해서 경사보정후에 군집도가 감소되어, 액면상으로는 음의 습곡검사 결과임을 지시한다. 각개 지점별의 특성잔류자기 방향들도 경사보정이후에 전반적으로 분산되었다. 이는 본 연구에서 경사보정의 자료로 사용하였던 주상절리에 수직인 면이 현무암류 定置 당시의 수평면을 의미하지 못함을 말해주는 한편, 현무암류의 정치작용이 관입이었거나 경사 지표면을 따른 분출이었을 가능성을 지시한다. 따라서 본 연구에서는 경사보정 적용 이전의 특성잔류자기 방향들을 최종결과치로 하였다. 이 방향들은 현재의 지구자장 방향과도 판이하게 다르며 역자화 검사를 통과하고 있어 재자화를 생각해야 할 이유나 증거가 없는 한편, 지금까지 우리나라의 제3기 지층에서 재자화의 사례가 알려진 바도 없기 때문에 본 지역 현무암류의 일차자화 방향으로 보는 것이 타당할 것이다.

한편, 이 최종 평균방향은 제3기 마이오세 분지들에 산재된 다른 안산암-현무암질 화산암류의 고자기학적 연구 결과들 (Kim *et al.*, 1986; 김인수, 강희철, 1989; Han, 1989; 민경덕, 1992; 김광호, 도성재, 1994; 김광호 등, 1994)과는 다른 방향이다. 선행 여러 연구들에서의 특성잔류자기 편각값들은 신생대의 표준 지자기방향 (Irving, 1979)에 비하여 최고 약 50°까지 시계방향으로 편향된 양상을 보이지만 본 연구의 결과는 이에 반대되는 반시계방향을 향하여 약 20° 편향되어 있는 상황이다. 이는 본 달전현무암에 대한 김인수, 강희철 (1989)의 선행 연구결과와 잘 일치되는 것이다. 위에서 언급한 기존 연구결과에 상위한 이 잔류자기의 방향을 영년변화에 의한 것으로 보는 견해도 있을지 모르겠으나 각 시료채취장소에서 최대한 넓은 노두범위를 망라하며 시료채취를 행하였으며, 또한 하나의 노두에서도 정자화와 역자화가 동시에 나타난다는 사실로 볼 때 영년변화가 잡힌 것이 아님이 확실하다. 한편, 연구대상 현무암이 정치 (emplacement) 동시기 내지 완전고화 이전에 반시계방향의 회전력을 받았다면 주변 퇴적층의 잔류자기가 회전되지 않은 채 현무암의 잔류자기만 회전될 수가 있다. 이러한 점들을 감안한다면 본 연구지역에서는 현무암의 정치와 거의 동시기 혹은 그

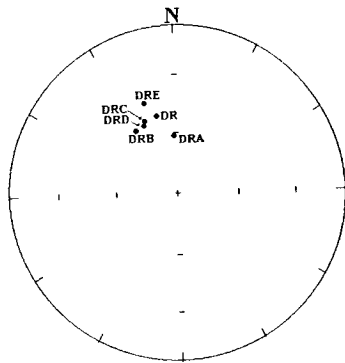


Fig. 9. Site-mean ChRM directions of the study area. Note the counterclockwise deflection of ChRM direction of about 20°. Bedding-tilt correction is not applied, because convincing tilt data are lacking and the surrounding sedimentary strata maintain their horizontal attitudes.

직후에 반시계방향의 전단운동 (sinistral shear)이 있었을 가능성을 추론할 수 있다. 이와같은 반시계방향의 회전운동은 주변 단층계의 좌향 전단력과 밀접한 관련 (예를 들어 Beck, 1976, 1980; Jones *et al.*, 1982; 등 다수)을 가졌을 것으로 생각된다. 이 운동의 시기는 뒤에 논의하는 바와 같이 마이오세 중기인 15 Ma경이나 그 직후로 보는 것이 타당할 것이다.

대자울 비등방성

대자울 비등방성에 대한 연구결과를 보면, 우선 좁은 지역의 동일암석을 대상으로 연구를 수행하였으나 각 시료채취점별의 대자울 비등방성 양상이 다양함이 특징으로 나타난다. 본 연구지역의 대자울 비등방성 연구결과는 자기적 선구조가 우세한 지점 (DRC), 엽리구조가 우세한 지점 (DR), 그리고 엽리구조와 선구조가 공존하는 지점 (DRB)의 세가지로 나뉘어진다. 시편채취지점의 범위와 밀도가 국한적이어서 확인에는 한계가 있었으나 연구지역의 현무암은 지구조적 환경이 급변하는 상황, 즉 장력이 우세한 환경 (흐름구조가 우세)과 압축력이 우세한 환경 (엽리구조가 우세)이 급하게 바뀌어지는 상황에서 정치되었을 가능성이 시사되고 있다.

대자울 비등방성 연구로 나타난 선구조를 볼 때, K₁방향의 대부분이 수평에 가깝게 등적투영망상의 1사분면과 3사분면에 밀집되어 나타나고 있어 (Fig. 6b, 7b, 8b) 정치될 당시 북동-남서방향으로 현무암이 유동하였을 것이 추정된다. 한편, 자기적 엽리구조들은 대부분 북북동방향의 주향과 북서방향 40° 정도의 경사를 가지고 있어 (Fig. 6c) 정치당시 혹은 직후에 서북서-동남동 방향의 압축력이 작용하였음을 지시해 준다. 이 결과는 김인수 (1990)의 자료와 합치되며 역시 중기 Miocene인 약 15Ma 혹은 그 직후에 한반도 동남부에 서북서-동남동 방향으로 작용하였던 압축력 (Chough and Barg, 1987; 김인수, 1992)에 기인된 것으로 보인다. 그러나 본 연구에서 나타난 압축력의 방향은 약 40° 경사져 있어 김인수 (1990)의 거의 수평과는 다소 차이를 보인다. 이것이 서북서로 작용하였던 수평 압축력과 수직상향으로 작용하였던 마그마 분출의 상승력과의 합벡터를 의미하는 것인지 또는 이 지역에서의 국부적인 현상인지의 여부는 차후의 보다 자세한 연구로 밝혀지리라 생각한다.

달전현무암의 지질시대

다음은 소위 연일현무암류 (Tateiwa, 1924)로 알려져

왔던 달전현무암의 지질시대에 관해서 토의해 보고자 한다. 서론에서 언급한 바와 같이 오늘날 이 현무암류의 지질시대에 관한 논란은 초기 마이오세 (19 Ma, 진명식 등, 1988; 신성천, 1994)인가와 중기 마이오세 (14~16 Ma; 이현구 등, 1992, 1995)인가로 압축될 수 있다. 야외에서 관찰되는 본 현무암의 産狀은 최소 10 m의 폭으로 주위의 마이오세 퇴적층과 조화로운 (concordant) 관계로 협재된 상태라 이것이 분출岩床 (extrusive sheet)인지 또는 관입岩床 (sill)인지 식별하기가 곤란하다. 이를 구별하는 것은 포항분지의 층서설정과 화산활동의 횡수와 시기의 규명에 중요한 일이다. 만약 이 현무암이 전자인 분출상이라면 현무암 상하의 퇴적층은 서로 상당기간 시간차를 갖는 두개의 지층이 되며 현무암 자신은 상부 퇴적층보다도 오래된 것이 된다. 반면에 이 현무암이 관입암상이라면 상하의 퇴적층은 시간차가 기대되지 않는 동일 지층이며 현무암 자체는 퇴적층보다도 젊은 연령의 것이 되는 것이다. 여기서 우리는 현무암의 산상이 아니라, 역으로 연령을 추정함으로써 이 층서문제에 대한 답을 알아보고자 한다.

앞의 고자기학적 연구결과에서 나타난 바와 같이 본 연구지역의 특성잔류자기방향은 약 20°내외의 반시계방향의 편향을 보여준다. 더욱이 대자울 비등방성연구에서는 압축력이 서북서-동남동 방향으로 작용되었음이 나타나고 있다. 이는 본 현무암의 정치시점이 한반도 동남부의 제3기분지들이 우향 주향이동단층과 서가/점원단층들의 활동에 의하여 활발히 확장되던 시기가 아니라 그후에 서북서-동남동 방향으로 압축력이 가해지며 분지내에서 소규모의 습곡과 충상단층 그리고 부분적인 좌향 주향이동 단층활동 (황인걸, 1994; 등)이 일어난던 시기라는 것을 지시해준다. 이는 중기 마이오세 이후이다 (한종환 등, 1987; 김인수, 1990, 1992; Yoon and Chough, 1993; 손문, 김인수, 1994). 나아가서, 앞서 논의한 바와 같이 대자울 비등방성 연구결과는 연구지역 현무암 정치시기가 지구조적 환경의 급변시기였음을 암시하고 있다는 것을 고려한다면 그 시기는 15 Ma경이었던 것으로 봄이 타당하다. 이는 이현구 등 (1992, 1995)에 의한 달전현무암에 대한 K-Ar 연령 15 Ma와도 일치된다.

한편, 본 현무암의 産狀, 즉 관입 혹은 분출상을 식별하기 위하여 윤혜수 등은 현무암 상층부의 퇴적층내에 존재하는 미화석을 대상으로 현무암과의 거리에 따른 미화석 열변질정도를 연구한 바 있다 (개인적 의견교환; 윤혜수 등, 고생물학회지 투고중). 그 결과 화석채취의 위치가 현무암에 접근될 수록 화석의 열변질정도가 높아진다는 사실을 밝혀내었으며 이로부터 현무암이 퇴적층을 관입하

었다는 결론을 내렸다. 본 연구의 결과는 이 화석연구의 결론과도 일치하고 있다.

이상의 여러 상황들을 종합해 볼때, 본 현무암류는 지구조적 환경이 장력장으로부터 압축력장으로 변하는 소위 應力反轉현상 (tectonic inversion)이 일어나는 전이기에 정치된 것으로 결론지워진다. 이 응력전이기는 한반도의 동남부에서 제 3기분지의 확장이 종결되는 시기이며 중기 마이오세인 15 Ma경일 것이다.

결 론

본 연구를 통하여 얻어진 주된 결론들은 다음과 같다.

1. 연구지역 현무암류 특성잔류자기 (ChRM)의 전체적 평균값은 경사보정전에 $d=340.7^\circ$, $i=52.2^\circ$ ($\alpha_{95}=6.0^\circ$, $k=91$), 경사보정후에 $d=328.7^\circ$, $i=43.8^\circ$ ($\alpha_{95}=17.1^\circ$, $k=13$)이다. 경사보정전의 균집도가 경사보정후에 비해서 높고 보정전의 방향이 현 지구자장의 방향과 판이하게 다른 점, 역자화 검사를 만족시키는 점, 우리나라 제3기지층에서 아직 재자화의 사례가 알려진바 없는점, 경사보정자료로 이용한 면이 古수평면으로 보아야할 확신이 없는 점 등으로부터 이 "경사보정" 이전의 방향을 일차자화방향으로 보았다.
2. 이 일차잔류자기의 최종 평균방향은 다른 제3기 마이오세 분지들에서 나타나는 시계방향의 잔류자기 회전과는 반대가 되는 약 20°의 반시계방향의 회전을 지시한다. 이 시계반대방향의 회전은 주변 左向 주향이동단층계에서의 좌향 전단력 (sinistral simple shear)과 관련되었을 것으로 생각된다. 이 운동의 시기는 마이오세 중기인 15 Ma나 그 직후일 것이다.
3. 대자율 비등방성 연구로 나타난 자기적 선구조는 현무암의 定置시에 북동-남서방향의 유동운동이 있었음을 지시한다. 자기적 엮리구조는 정치와 동시 또는 그 직후에 서북서-동남동 방향의 압축력이 작용되었음을 지시해 준다.
4. 연구지역의 현무암은 지구조적 환경이 급변하는 상황, 즉 장력이 우세했던 환경에서 압축력이 지배하는 환경으로 전이되는 應力反轉 (tectonic inversion)기에 정치된 것으로 해석된다.
5. 한동안 소위 연일현무암류 (Tateiwa, 1924)로 알려져 왔던 달전현무암은 잔류자기 연구를 통한 특성잔류자기의 방향 (본 연구), 대자율 비등방성 연구로 나타난 지구조 환경의 급변 (본 연구), K-Ar 방사능연령측정의 결과 (이현구 등, 1992, 1995), 가열에 의한 미화석의 열변질정도 연구 (윤혜수 등, 고생물학회지 투고중) 등의 여러

증거들을 종합하여 볼때 중기 마이오세인 15 Ma경에 초기-중기 마이오세 (18~15 Ma) 연령의 주변 퇴적층을 관입한 것으로 결론지워진다.

사 사

필자들은 아외 시료채취작업에서 많은 도움을 준 부산대학교 지질학과 지구조 (tectonics) 연구그룹의 박철숙과 장기영에게 깊은 감사를 표하고자 한다.

참고문헌

김광호, 도성재 (1994) 양남분지에 분포하는 제3기 지층의 고자기 연구. 지구과학회지, 15권, p. 36-45.
 김광호, 도성재, 임동성 (1994) 장기만도에 분포하는 제3기 지층의 고자기. 지구과학회지, 15권, p. 278-285.
 김인수 (1984) 고자기학의 방법 (I). 광산지질, 17권, p. 141-147.
 김인수 (1990) 포항이남 제3기 분지암석의 자기 비등방성과 지구조적 응력장. 광산지질, 23권, p. 59-71.
 김인수 (1992) 새로운 東海의 成因모델과 양산단층계의 주향 이동운동. 지질학회지, 28권, p. 84-109.
 김인수, 강희철 (1989) 어일분지 일대에 분포하는 제3기층에 대한 고자기학적 연구. 지질학회지, 25권, p. 273-293.
 민경덕 (1992) '한반도 신생대 및 중생대암류에 대한 고자기 연구' 중 '신생대 암류에 대한 고자기 연구'. '91 목적 기초연구과제 제 1차 보고서, 한국과학 재단.
 손문, 김인수 (1994) 울산군 강동면 제3기 정자분지의 지질 구조와 분지발달. 자원환경지질, 27권, p. 65-80.
 신성천 (1994) 양북층군 화산암과 곡강동 유문암의 연대측서 지점. 대한지질학회 제49차 학술발표요약집, p. 41.
 엄상호, 이동우, 박봉순 (1964) 1:50,000 한국지질도 포항도 폭 (Sheet-7022-II) 및 설명서. 국립지질조사소.
 이현구, 문희수, 민경덕, 김인수, 윤혜수, 板谷徹丸 (1992) 포항 및 장기분지에 대한 고자기, 층서 및 구조연구; 화산암류의 K-Ar 연대. 광산지질, 25권, p. 337-349.
 이현구, 윤혜수, 송석환, 나춘기 (1995) 한국 동남부 제3기 퇴적분지내의 엮기성 화성암류에 대한 지화학적 동위원소적 연구. 대한지질학회 제50차 학술발표회 요약집, p. 22-23.
 정창희 (1986) 지질학개론, 2訂版. 박영사, 642p.
 진명식, 김성재, 신성천 (1988) K-Ar 및 횡선트랙법에 의한 포항-감포 일대 화산암류의 암석연령 측정연구. 한국동력자원연구소 연구보고서 KR-87-27 동위원소지질연구, p. 51-88.
 한종환, 광영훈, 손진담, 손병국 (1987) 한국 동남부지역 제3기 퇴적분지의 지체구조발달 및 퇴적환경 연구 (II). 한국동력자원연구소 연구보고서 KR-86-2-(B)-4, 109p.
 황인걸 (1994) 포항분지의 선상지 삼각주계: 단층분포와 퇴적계의 발달양상. 한국석유지질학회 제1회 학술발표회 초록, p. 9.
 Allen, P.A. and Allen, J.A. (1990) Basin Analysis: Principles and Applications. Blackwell Sci. Publ., 451p.
 Artyushkov, E.V. (1981) Mechanisms of continental riftingogenesis. Tectonophys., v. 73, p. 9-14.
 Beck, M.E., Jr. (1976) Discordant paleomagnetic pole positions as evidence of regional shear in the western

- Cordillera of North America. *Amer. J. Sci.*, v. 276, p. 694-712.
- Beck, M.E., Jr. (1980) Paleomagnetic record of plate-margin tectonic process along the western edge of North America. *J. Geophys. Res.*, v. 85, p. 7115-7131.
- Best, M.G. (1982) *Igneous and Metamorphic Petrology*. W. H. Freeman and Co., 630p.
- Chough, S.K. and Barg, E. (1987) Tectonic history of Ulleung Basin margin, East Sea (Sea of Japan). *Geology*, v. 15, p. 45-48.
- Fisher, R.A. (1953) Dispersion on a sphere. *Proc. R. Soc., London*, v. A21 7, 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.
- Halls, H.C. (1978) The use of converging remagnetization circles in palaeomagnetism. *Phys. Earth Planet. Int.*, v. 16, p. 1-11.
- Han, J. (1989) Miocene paleomagnetic data from southern Korea: Implication on model for opening of the Japan Sea. M. S. thesis, Texas A & M Univ., 132p.
- Irving, E. (1979) Pole positions and continental drift since the Devonian. In: McElhinny, M. W. (ed.), *The Earth: Its Origin, Structure and Evolution*. Academic Press, p. 567-593.
- Jones, D.L., Cox, A., Coney, P. and Beck, M. (1982) The growth of western North America. *Sci. Amer.*, v. 247, p. 70-84.
- Kim, K.H., Won, J.K., Matsuda, J., Nagao, K. and Lee, M. W. (1986) Paleomagnetism and K-Ar age of volcanic rocks for Guryongpo area. *J. Korea Inst. Mining Geol.*, v. 19, p. 231-239.
- Kim, W.H. (1990) Significance of Early to Middle Miocene planktonic foraminiferal biostratigraphy of the E-core in the Pohang basin, Korea. *J. Paleont. Soc. Korea*, v. 6, p. 144-164.
- McKenzie, D. (1978) Some remark of the development of sedimentary basins. *Earth Planet. Sci. Lett.*, v. 40, p. 25-32.
- Tateiwa, I. (1924) *Geological Atlas of Chosen*, No. 2, En-nichi, Kuryuho and Choyo sheets. *Geol. Surv. Chosen* (in Japanese).
- Yi, S. (1992) Miocene calcareous nannoplankton from the Pohang basin, Korea. Ph.D. thesis, Chungnam National Univ., 1-19p.
- Yi, S. and Yun, H. (1992) Miocene calcareous nannoplankton from the Pohang basin, Korea. *Paleont. Soc. Korea Spec. Pub. No. 1*, p. 194.
- Yoon, S.H. and Chough, S.K. (1993) Evolution of Neogene sedimentary basin in the eastern continental margin of Korea. *Korean Jour. Petrol. Geol.*, v. 1, p. 15-27.
- Yun, H. (1986) Emended stratigraphy of the Miocene formations in the Pohang basin, Part I. *J. Paleont. Soc. Korea*, v. 2, p. 54-69.
- Zijderveld, J.D.A. (1967) AC 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.
- Zorin, Y.A. (1981) The Baikal rift: an example of the intrusion of asthenospheric material into the lithosphere as the cause of disruption on lithospheric plates, *Tectonophys.*, v. 73, p. 91-104.

1996년 3월 27일 원고접수