

포항일원에 분포하는 제3기 암류에 대한 고지자기 연구*

민경덕** · 김원균** · 이대하*** · 이윤수****
김인수***** · 이영훈**

Paleomagnetic Study on the Tertiary Rocks in Pohang Area

Kyung Duck Min**, Won Kyun Kim**, Dae Ha Lee***, Youn Soo Lee****
In Su Kim***** and Young-Hoon Lee**

ABSTRACT: Paleomagnetic study of Tertiary rocks in Pohang area has been carried out to determine the characteristic direction of natural remanent magnetization, the position of paleomagnetic pole, the stratigraphic correlation, and the tectonic movement.

A total of 196 specimens was collected from 5 sites in the Pohang Basin, 19 sites in the Janggi Basin, and 10 sites in the Eoil Basin, respectively.

The mean declination and inclination of 4 sites (3 sites in the Yonil Group and 1 site in the Yonil Basalt) are -3.2° and 54.3° , and yield the paleomagnetic pole position 86.9°N and 7.7°E . These are the characteristic direction and pole position of Miocene Epoch by comparison with contemporary Eurasian and Chinese data.

The characteristic direction and pole position of remaining 30 sites are 47.6° and 57.5° , and 52.3°N and 201.5°E , respectively. These show clockwise rotation of 50.8° with respect to the Miocene ones resulted by a tectonic movement before the deposition of the Hakjeon Formation of the Yonil Group about 15~16 Ma in the study area.

The mechanism of the clockwise rotation is considered to be the dextral movement of the Yangsan Fault presumably caused by the opening of the East Sea. The Yonil Basalt is reclassified into pre- and post-deposition of the Yonil Group, i.e. the former is early Miocene and the latter late Miocene.

서 론

고지자기학은 암석이 생성당시에 지구 자기장에 의해 얻게 되는 잔류 자기의 방향과 고지자기극의 위치를 알아냄으로써 판구조론의 근간을 이루는 대륙이동설과 해양확장설에 대한 정량적인 증거를 제공하여 주며, 광역적 또는 국지적 지구조 연구에도 널리 이용되고 있다. 포항지역일대에는 일련의 제 3기 분지들이 발달되어 있으며, 이들을 구성하는 퇴적암류 및 화산암류에 대하여 Tateiwa (1924) 이래 김봉균 (1970), 업상호 외 (1965), 최위찬 외 (1988), 윤 선 (1988), 진명식 외 (1988)는 고생물 연구

및 방사능 동위원소 연대측정을 이용하여 각 분지간의 층서 및 구조적 연구가 실시되어 왔다.

이들 제 3기 분지들의 형성시기 및 상호간의 층서대비에 있어서는 서로 이견이 있으나, 이들을 포함한 제 3기 분지들이 동해에 연하여 분포하고 있다는 사실로 인하여, 분지생성 기구는 동해의 형성과 관련성이 있을것으로 일찌기부터 제시되어 왔다.

Kim et al. (1986), 김인수, 강희철 (1989) 등의 장기층군 및 범곡리층군의 화산암류에 대한 최근의 고지자기 연구에 의하면, 이들의 특성자화는 유라시아의 고지자기극으로부터 기대할 수 있는 편각에 비하여 시계방향으로 $40\sim 50^\circ$ 회전되어 있음이 인지되어 왔으며, 김인수, 강희철 (1989)은 어일분지의 지구조 운동의 시기를 16 Ma 이전으로 해석한 바 있다.

본 연구에서는 어일, 장기, 포항분지에 분포하는 에오세~마이오세의 화산암 및 퇴적암의 잔류자기를 측정하여 제 3기의 특성자화 방향 및 자극의 위치를 구하고, 층서 대비 및 광역적인 지구조 운동을 고찰하고자 한다.

* 본 연구는 한국과학재단 '91 특정기초연구비에 의해 이루어진 것임.

** 연세대학교 지질학과 (Dep't of Geology, Yonsei Univ., Seoul 120-749, Korea)

*** Dep't of Geology, Texas A&M Univ., TX 77840, U.S.A.

**** 연세대학교 자연과학연구소 (Inst of Natural Science, Yonsei Univ., Seoul 120-749, Korea)

***** 부산대학교 지질학과 (Dep't of Geology, Pusan National Univ., Pusan 609-735, Korea)

일반지질

지질개요

본 연구지역은 행정구역상으로 경상북도 영일군내의 지행면, 동해면, 대송면, 청하면과 경주군내의 양북면 및 포항시 일대로서, 위, 경도상으로는 북위 34°45'00"~36°15'00", 동경 129°15'00"~129°35'00" 사이에 위치한다. 본 연구지역에는 백악기 퇴적암류 및 화산암류 위에 부정합으로 쌓인 제3기 퇴적암류와 화산암류가 분포된 장기, 어일 및 포항분지가 위치해 있다. 이들 분지 및 그 경계부에는 양산단층을 비롯한 단층군이 형성되어 있으며, 한중환(1987)은 상기 세 퇴적분지들의 생성을 이들 단층군의 비틀림(wrenching) 작용에 의하여 만들어진 pull apart basin이라고 해석한 바 있다. 분지내의 퇴적암류는 사암, 셰일, 응회질사암, 응회질역암 및 다양한 성분의 응회암이며, 화산암류는 현무암과 안산암이다.

분지내의 제3기 암류를 Tateiwa (1924)는 하부로부터 육성층인 장기층군과 범곡리층군 그리고 해성층인 연일층군으로 구분하였고, 장기분지와 어일분지의 기저역암인 장기역암과 감포역암을 서로 대비하고 이들의 퇴적시기를 올리고세로 보았다. 또한, 연일층군의 지질시대는 충서적 관계와 식물화석으로부터 중기 마이오세에서 초기 플라이오세에 해당되며, 연일 현무암의 분출시기는 제3기말에서 제4기초로 추정하였다. 그러나, 윤 선(1988)은 범곡리층군이 장기층군의 하위에 놓이며, 제3기 분지의 모든 현무암질 암석들을 함께 묶어서 어일 현무암질 안산암류로 명명하고, 제3기의 최상부인 연일층군 바로 아래에 두었다. 이와같이 제3기 분지의 층서에 대해서는 연구자들(Tateiwa 1924, 최위찬 외 1988, 윤 선 1988) 간에 이견들을 보이고 있으나, 제3기 암석들의 생성시기가 대체적으로 에오세로부터 마이오세에 이른다는 견해는 일치하고 있으며, 최근의 진명식 외(1988)에 의한 K/Ar 및 fission track에 의한 동위원소 연대측정 결과와도 일치한다.

제3기 분지의 기저를 이루는 화산암류는 주변의 퇴적암보다 풍화에 대한 저항력이 강해 험준한 지형을 이루고 있으며, Tateiwa (1924)는 이를 석영장석반암으로 기재하고, 그 생성시기를 후기 백악기로 보았다. 그러나, 진명식 외(1988)에 의한 K/Ar 및 fission track법에 의한 동위원소 연대측정 결과 소위 백악기의 반암류로 명명되던 암류는 대부분 응회암 및 응회암질암이고, 생성시기도 후기 팔레오세에서 후기 에오세로 나타나고 있어, 본 연구에서는 이들을 고제3기 화산암류로 분류하였다.

지질각론

본 연구지역의 지질도는 Fig. 1과 같으며, 장기분지 및 어일분지는 Tateiwa (1924)의 연일, 구룡포, 감포 지질도를, 포항분지는 윤혜수(1986)의 지질도를 이용하여 보완, 수정하였다. Table 1은 본 연구지역의 층서 계통표이다. 각 분지별로 살펴본 지질은 다음과 같다.

장기분지

장기역암 : 본 역암내에는 이암 및 사암이 호층을 이루면서 협재되고, NE의 주향과 NW의 경사를 보인다. 역암내에 함유된 역의 대부분은 제3기초의 화산암류이고 백악기 퇴적암류인 흑색 셰일 및 사암도 있는데, 그 크기는 8~15 cm로 다양하다. 역암의 기질은 담회색 내지 갈색의 장석질 조립질 사암으로 구성되어 있으나, 고화가 불완전하여 신선한 노두면은 드물게 나타난다. 이 밖에 암회색 셰일과 백색 응회암이 협재하며, 박층의 갈탄층이 협재하기도 한다.

눌대리 조면암질 응회암 : 주로 백색 내지 담회색을 띠며, 유동구조를 갖는 세립 유문암질 응회암으로 구성되어 있고, 사암, 셰일 및 역암이 얇게 협재된다. 거친 풍화면과 유동구조는 조면암과 유사하며, 응회암 내에는 규화목이 발견된다. Tateiwa (1924)는 본 층을 조면암질 응회암으로 명명하였다.

금광동 셰일 : 담회색 내지 담갈색의 셰일과 응회암으로 구성되어 있고, NE의 주향과 NW의 경사를 보이며, 식물화석과 규화목 및 담수어류의 화석이 산출되기도 한다.

함탄층 : 담회색 사암, 이암, 백색 내지 회백색 응회암, 박층의 역암이 호층을 이루며, 다수의 갈탄층이 협재한다.

현무암질 응회암 : Tateiwa (1924)는 본 층을 상부 및 하부 현무암질 응회암으로 구분하여 명명하였으나, 두 층 모두 소규모로 분포하며, 대부분이 안산암질 응회암으로 구성되어 있다. 암회색 사암 및 셰일과 암회색 현무암질 응회암이 얇게 협재되어 있고, 박층의 갈탄층을 협재한다.

금오리 안산암질 응회암 : 백색 내지 회백색, 황갈색을 띠는 조면암질 응회암이고, 현미경하에서는 유리질이 우세한 석기에 건운모화된 장석과 석영이 반정으로 존재하며, 안산암질의 암편이 발견되기도 한다.

연일 현무암 : 암회색 내지 흑색의 조립질 현무암으로 주상절리가 곳곳에 발달하고 있으며, 곳에 따라 안산암이 나타나기도 한다. 분출시기는 Tateiwa (1924)에 의하면 제3기말에서 제4기초이나, K/Ar법에 의한 동위원소 연대측정 결과에 의하면 눌대리지역의 것은 18~20 Ma이고

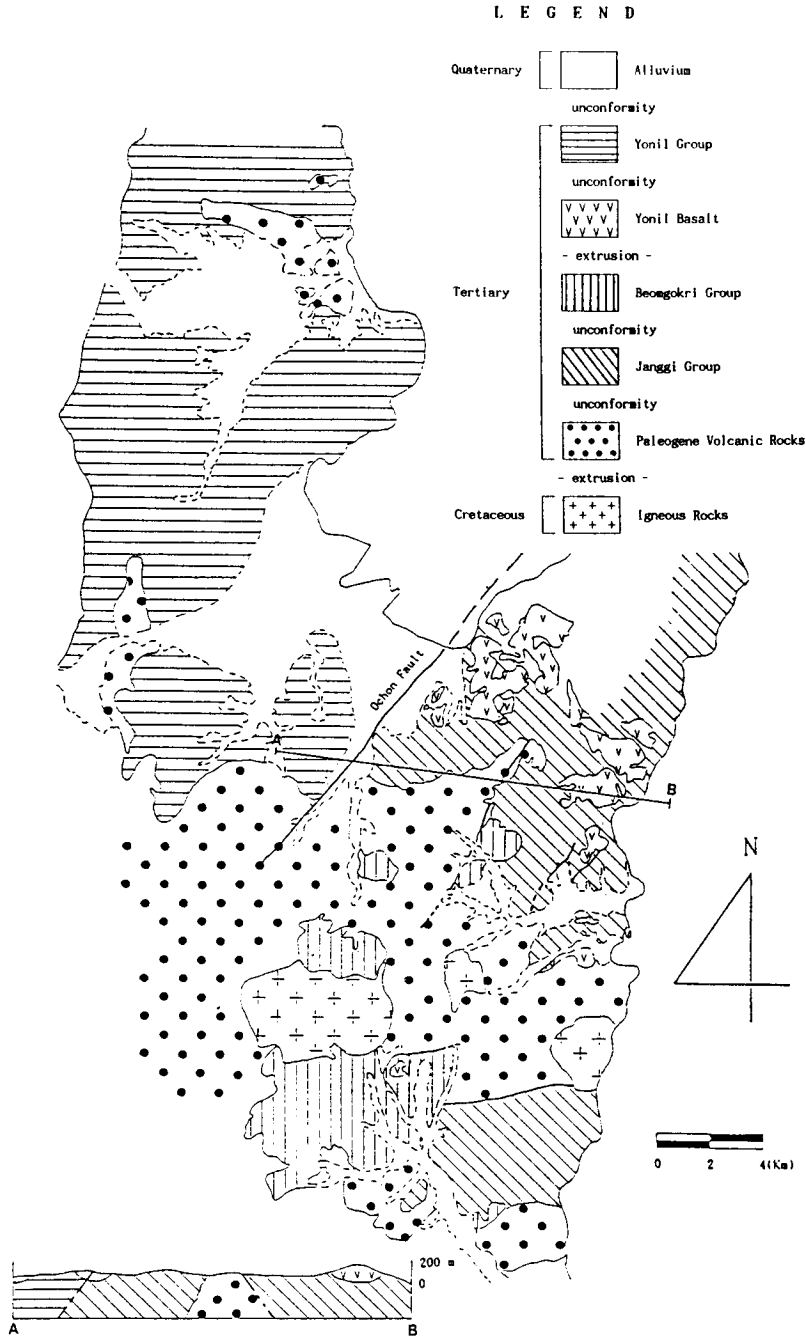


Fig. 1. Geologic map of the study area (Tataiwa, 1924; Yun, 1986).

(Lee, 1988), 용동리 지역의 것은 10.2 ± 0.3 Ma이며 (진명식 외, 1988), 본 연구에 의한 수성리 지역의 것은 19.6 ± 1.3 Ma이다 (Table 3).

어일분지

감포 역암 : 하부에서는 수~수십cm 크기의 백악기 퇴적암인 사암, 셰일과 유문암 등의 역이 산출되고, 상부로

Table 1. Stratigraphy of the study area (modified from Tateiwa, 1924; Um et al., 1965; Yun, 1986).

Epoch	Group	Yoil Basin	Janggi Basin	Pohang Basin	
Miocene	Yonil Group	Cheonbuk Conglomerate		Duho Fm. Hageon Fm. Cheonbuk Congl.	
		Yonil Basalt and Two-pyroxene Andesite			
	Beomgokri Group		Beomgokri Andesite and Tuff	Changam Andesite and Tuff	
			Jinjeondong Andesite and Tuff		
			Manghaesan Andesite and Tuff		
			Bangsani Perlite	Changam Perlite	
			Galpyeongdong Breccia		
		Yongdongri Tuff			
		Andongri Conglomerate			
		Wacupri Andesitic Tuff			
		Upper Basaltic Tuff Gumori Andesitic Tuff			
	Yoil Formation and	Upper coal-bearing Formation			
	Yoil Basalt	Lower Basaltic Tuff Lower coal-bearing Formation			
	Janggi Group	Gumgwangdong Shale Shinjeongdong Andesite	Guryongpo Andesite		
		Hyodongri Volcanic Rocks			
		Nuldaeri Trachyte Nuldaeri Trachytic Tuff Janggi Conglomerate			
		Gampo Conglomerate			
Paleocene ~ Eocene		Paleogene Volcanic Rocks			
Late Cretaceous		Yucheon Group and Bulguksa Granite			

Table 2. Correlation of stratigraphy of the Yonil Group in the Pohang Basin.

Tateiwa (1924)		Um et al. (1964)	Kim (1965)	Yoon (1975)			Yun (1986)	
Ennichi Group	Ennichi Shale	Yonam Fm.	Omockdong Fm.	Euichang Group	Yonghan Fm.		Duho Fm.	
		Duho Fm.	Pohang Fm.		Duho Fm.			
		Idong Fm.	Eedong Fm.		Idong Fm.		Hageon Fm.	
		Heunghae Fm.	Daegog Fm.		Heunghae Fm.			
		Hakrim Fm.	Songhagdong Fm.		Hageon Fm.			
	Senpoku Conglo.				Cheongogsa	Daijeon Alt. Member		
		Chunbuk congl. Fm.	Seoam Congl. Fm.			Doeumsan Alt. Mem.	Bomunri Alt. Mem.	Chunbuk Congl. Fm.
					Danguri Congl.			

Table 3. Stratigraphic unit, sampling site, lithology, number of specimens, and age dating (this study, Kruger enterprise Inc.) results.

Stratigraphic unit	Sampling site	Lithology	No. of specimen	K-Ar Age(Ma)	
Yonil Group	Duho Formation	K-253	mudstone	5	
		K-269	〃	5	
	Hakjeon Formation	K-285	〃	5	
Yonil Basalt		KK-26	basalt	6	19.6 ± 1.3
		KK-46	〃	6	
		KK-47	〃	5	
		KK-48	〃	6	
		K- 5	〃	7	
		K- 7	〃	7	
		K-11	〃	6	
		K-12	〃	7	
		K-258	〃	5	
		K-274	〃	5	
		K-242	〃	7	
		K-245	〃	5	
		K-246	〃	7	
		K-247	〃	6	
	Beomgokri Group	Jinjondong Andesite	K-234	andesite	
		K-235	〃	5	
Manghaesan Andesite		K-244	〃	7	
Yongdongri Tuff		KK-3	tuff	4	
Wacupri Andesitic Tuff		K-240	〃	8	
Janggi Group	Eoil Formation	KK-243	tuff	8	
	Eoil Basalt	K-1	basalt	5	19.57 ± 0.34
		KK-53	〃	3	
		K-262	〃	5	
	Guryongpo Andesite	KK-44	〃	6	
		K-261	〃	5	
		K-275	〃	4	
		K-257	tuff	4	
	Nuldaeri Tuff	K-14	〃	7	
	Gampo Conglo.	KK-20	tuff	7	
Paleogene Volcanic Rocks		K- 264	tuff	7	
		K- 279	〃	3	
Total	34		196		

갈수록 응회암 및 응회질 사암이 우세하게 나타난다. 응회암은 회백색이고 흑운모의 결정을 많이 함유하며, 응회질 사암에서는 사층리가 관찰된다.

효동리 화산암류 : 효동리 화산암류는 안산암과 응회암으로 구성되어 있다. 안산암은 담회색 내지 담갈색을 띠며, 장석 반정이 관찰된다. 응회암은 안산암 사이에 협재되어 나타나고 경계부가 대체로 불규칙하다.

어일층 및 어일 현무암 : 어일층은 주로 사암과 이암이 협재되는 역암으로 구성된다. 어일 현무암은 어일층의 층리에 평행하게 분포하고 주상절리가 발달하기도 하며, 사장석 반정이 크게 나타나고, 소량의 휘석과 감람석이 관

찰된다. 어일 현무암의 상부에는 현무암질 응회암이 분포하며, 현무암질 암편이나 응회암질 암편을 함유한다. 어일 현무암의 분출시기를 지시해 주는 동위원소 연대측정 결과, 대진리 일대의 것은 19.5 ± 1.4 Ma (Lee, 1988)이고, 본 연구의 K-Ar 전암분석 결과에 의한 안동리 부근의 것은 19.57 ± 0.34 Ma이다 (Table 3).

와읍리 안산암질 응회암 : 본층은 어일층 상위에 부정합으로 놓이며 (Tateiwa, 1924), 곳에 따라 단층접촉을 보이는 곳도 있다. 연녹색 내지 암회색을 띠고, pyroclastic flow에 의한 유동구조가 관찰된다.

안동리 역암 : 응회암, 셰일 및 화강암의 역으로 구성

되며, 분급은 좋지 못하다. 기질은 몬모릴로나이트를 많이 포함한 응회질 사암이다.

용동리 응회암 : 안동리 역암과 정합관계이며, 하부에는 고화가 안된 사암과 쪼개짐면이 잘 발달된 세일로, 상부는 결정질 응회암, 응회질 사암과 세일로 구성된다.

포항분지

포항분지는 한반도에 발달되어 있는 제 3기 퇴적분지 중 가장 큰 분지이다. Tateiwa (1924)는 연일층군을 천북 역암과 연일 세일로 구분하였고, 그 후 엄상호 외 (1965)는 이를 6개의 층으로 세분하였으며, Yoon (1975)은 사암 역암층을 역암으로만 구성된 단구리 역암층과 역질 사암과 사암 및 이암이 우세한 서암 역암층의 중상부와 송학동층의 중상부까지 천곡사층으로 구분하였다. 그러나 Yun (1986)은 이들 6개층을 구조, 암상 및 미고생물학적 연구 결과에 의해 3개층으로 분류하였다. Table 2는 연일층군의 암층서 분류 대비표이며, 본 연구에서는 Yun (1986)의 분류를 따랐다.

천북 역암 : 천북 역암은 고제 3기 화산암류를 기반암으로 하여 그위에 부정합으로 쌓여 있다. 이 역암층은 사암과 이암이 협재되며, 역의 크기는 수mm에서 수m에 이르는 것까지 다양하고, 역의 종류는 화산암과 화강암 및 퇴적암 등으로 구성되어 있다. 미화석은 드물게 산출되나, 상부층에서는 역암층에 굴화석이 연장성을 보이면서 존재하며, 두꺼운 사암에는 천해환경을 지시해주는 연체동물의 화석이 다량 포함되어 있다 (Yoon, 1975).

회전층 : 암회색 및 회색의 사암과 이암으로 구성되어 있으며, pebble를 함유한 사암이 협재되기도 한다. 주로 사암으로 구성된 patch가 channel이나 판상의 형태로 나타나기도 한다. 본 층은 이영길 외 (1991)의 규조류 및 변현숙, 윤혜수 (1992)의 편모류의 연구 결과에 의하면, 약 15 Ma 경에 퇴적이 시작된 것으로 보인다.

두호층 : 포항시 주변에 잘 노출되어 있으며, 갈회색을 띠는 두껍고 균질한 이암으로 구성되나, 사암이 얇게 끼기도 한다. 유기물의 함량 변화에 의해 풍화면에서는 색이 변한다.

고지자기 연구

시료 채취

본 연구 대상지역인 포항, 장기 및 어일분지의 퇴적암류와 화산암류중 가능한한 신선하고 암석 생성 당시의 본 암체로부터 이탈되지 않은 것을 선택하여 hand sample

및 portable rock drill의 방법으로 시료를 채취하였다. 시료 채취시 실내에서 암석시료의 채취위치에서의 방향을 알 수 있도록 tripod compass의 주향이 수평을 유지하도록 하여 세점을 표시한 후, 주향과 경사를 측정하였으며, 연구 대상암체가 생성된 이후 지각변동에 의해 경사를 갖게 되었을 경우에는 경사보정 (tilt correction)을 실시하기 위하여 지층의 주향과 경사도 함께 측정하였다.

본 연구에서는 포항분지 5개소, 장기분지 19개소, 어일분지 10개소의 총 34개소로부터 196개의 표품시료를 제작하였으며 (Fig. 2), 이를 층서 및 암상별로 도표화하면 Table 3과 같다.

소자실험 및 잔류자화 측정

암석이 가지고 있는 자연 잔류자화에는 암석 생성당시에 얻은 1차 자연 잔류자화와 암석 생성이후의 여러가지 물리, 화학적 작용에 의하여 얻은 2차 자연 잔류자화가 있으며, 측정된 잔류자화의 방향은 이들의 벡터합으로 나타난다. 암석이 생성될 당시의 지자기장의 방향을 알아내기 위해서는 1차 자연 잔류자화 성분만이 필요하므로 2차 자화 성분을 제거해야한다. 이러한 2차 자화성분을 제거하기 위하여 열 소자실험과 교류 소자실험을 실시하였다.

교류 소자실험은 시료를 3축에 대하여 회전시키면서 임의의 세기의 교류자장을 작용시키고 그 세기를 서서히 0으로 선형 감소시킨다. 교류자장의 세기를 0, 50, 100, 150 Oe... 등으로 단계적으로 증가시켜 가면서 잔류자기의 방향이 일정하게 나타날 때의 교류자장의 세기를 교류 소자준위로 정한다.

열 소자실험은 외부 자장이 0인 상태에서 시료를 상온, 50°C, 100°C, ... 등으로 단계적으로 가열과 냉각을 되풀이 하면서 잔류자화의 방향이 일정하게 나타날 때의 온도를 열 소자준위로 정한다.

본 연구의 소자실험 및 자연 잔류자화의 측정은 일본 경도대학교와 미국 Texas A & M 대학교에서 실시하였으며, 잔류자화 측정은 화산암은 spinner magnetometer를, 퇴적암은 squid magnetometer를 사용하였다. 본 연구에서는 한 개의 암석시료에서 2~3개의 대표시료 (pilot specimen)를 선택하거나, 또는 전체 시료에 대해서 소자실험을 실시한 후 principal component analysis에 의해 소자 결과를 분석하였다.

Fig. 3은 구룡포 안산암 시료인 K-261A2a에 대하여 0~700 Oe까지 9단계로 교류소자를 실시한 결과를 도시한 것이다. (a)는 각 교류소자 단계별 수평 및 수직 성분을 Zijderveld diagram에 도시한 것이고, (b)는 초기 자화강도

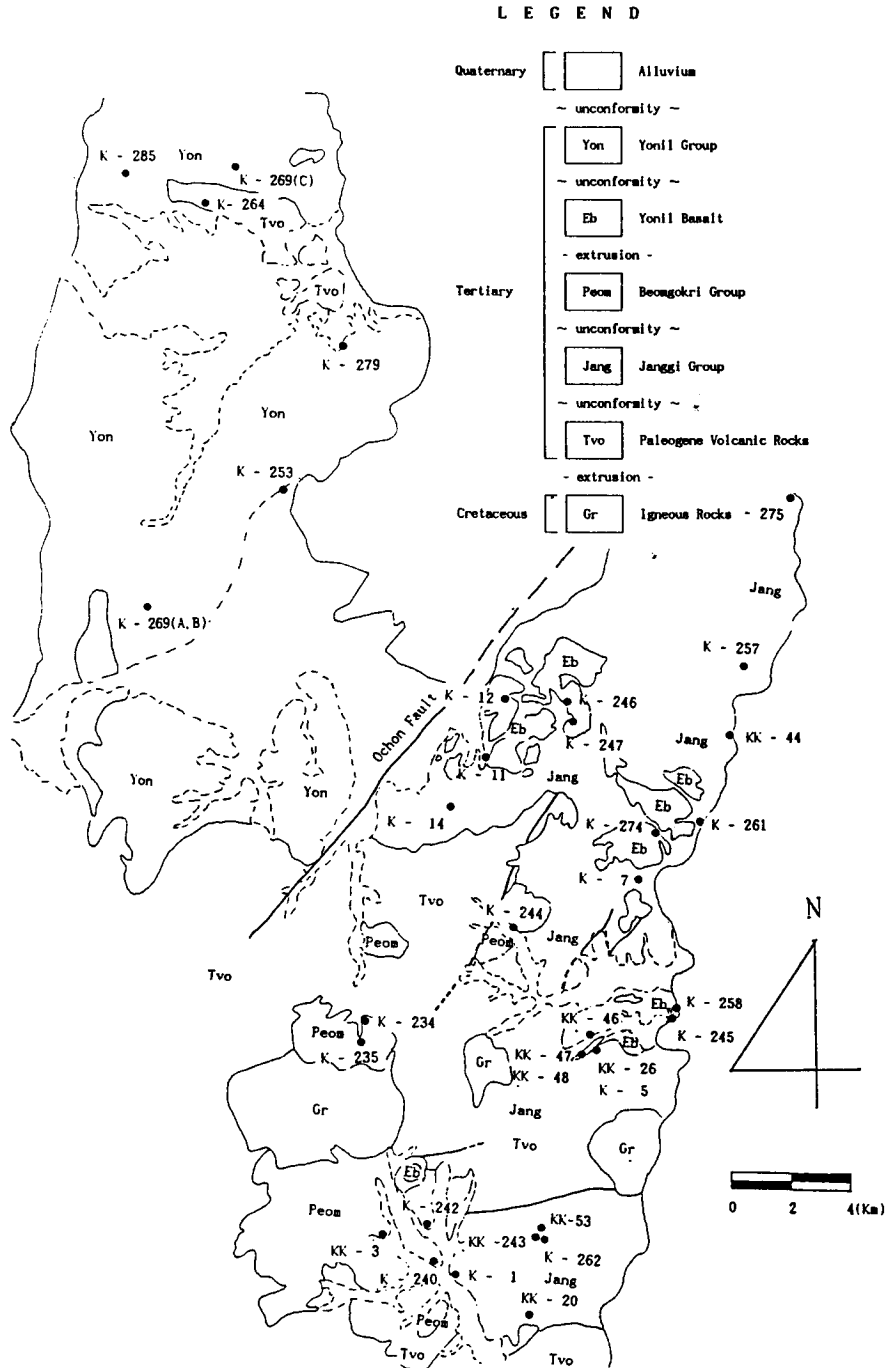


Fig. 2. Sampling locality map.

(J_0) 대한 각 단계별 교류소자후의 자화강도 (J)의 비를 나타낸 것이다. (c)는 편각및 복각의 단계별 교류소자에 따르는 방향 변화를 equal area net에 도시한 것이다. 100

Oe 이하에서 관측되는 soft 성분은 현재의 axial dipole field에 가까운 방향을 보이나, 250 Oe 이상에서 관측되는 hard 성분은 상향의 복각값을 보인다. 이는 본 hard 성

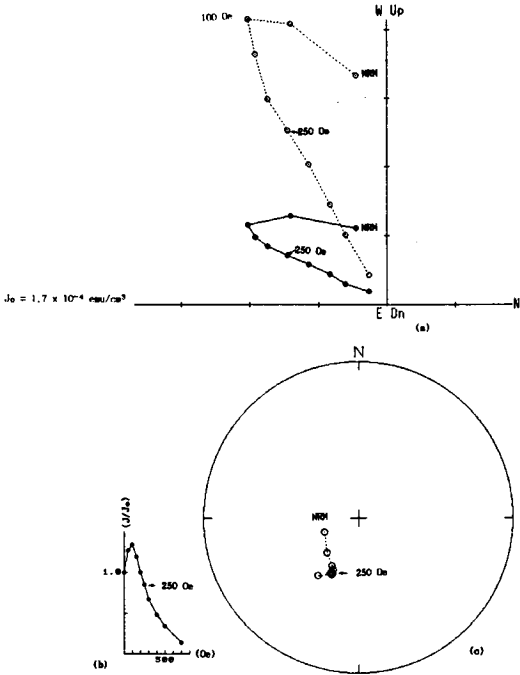


Fig. 3. Result of the alternating field demagnetization for sample No., K-261A2a. Guryongpo Andesite. Open (solid) circles denote vertical (horizontal) components in Zijderveld diagram (a) and upper (lower) hemisphere in equal area diagram (c), respectively. Demagnetization level=0 50 100 200 250 300 400 500 700 Oe.

분이 본암의 생성시에 획득한 TRM 임을 시사하며, 따라서 본 연구에서는 이러한 hard 성분을 본암의 특성자화 성분으로 간주하였다.

Fig. 4는 응회암 시료인 K-264Ba에 대한 단계별 교류소자의 결과를 Fig. 3과 같은 방법으로 도시하였으며, 400 Oe 이상에서 soft한 자화성분이 제거되고 자기적으로 안정한 hard 성분만이 남게 된다 (Fig. 4a).

Fig. 5는 어일현무암 시료인 K-262Aa에 대한 교류소자 실험 결과로서 Zijderveld diagram (Fig. 5a) 및 equal area net (Fig. 5c)에 나타난 바와 같이 100 Oe 이상에서 단일성분을 보여준다.

Fig. 6은 Eocene 응회암 시료인 K-279B2a에 대한 열소자실험 결과로서 Zijderveld diagram (Fig. 6a)에 나타난 바와 같이 250°C 이상에서 고온성분만이 나타난다. 이 고온성분은 demagnetization diagram (Fig. 6b)에 도시한 바와 같이 500°C 이상에서 자화강도가 급격히 감소하며, blocking 온도가 570°C 에 가까운 것으로 보아, 이는 고온성분을 담당하는 자성광물이 비교적 자철석에 가까운 함티탄자철석일 것으로 사료된다.

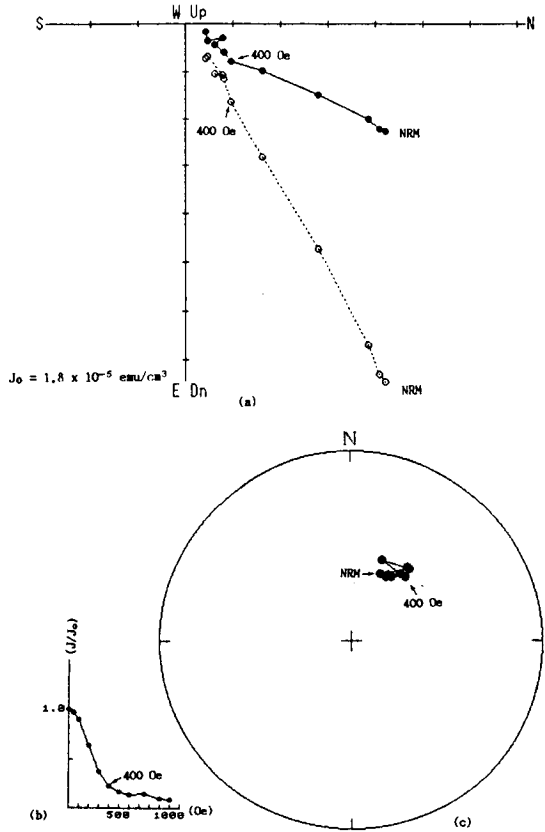


Fig. 4. Result of the alternating field demagnetization for sample No. K-264a. Tertiary Volcanic Rocks. (a); Zijderveld diagram, (b); normalized demagnetization curve, and (c); equal-area diagram of remanent magnetization. For explanation of symbols, see Fig. 3. Demagnetization level=0 50 100 200 300 400 500 600 750 900 1000 Oe.

Fig. 7은 두호층의 이암 시료인 K-253A1b에 대한 열소자실험 결과를 나타낸 것으로서, Zijderveld diagram (Fig. 8a)에 나타난 바와 같이 250°C 이상에서 저온성분이 제거되고 고온성분만이 나타난다.

측정결과 및 해석

포항, 장기 및 어일분지에 분포하는 퇴적암류 및 화산암류에 대한 자연 잔류자기를 측정하고 경사보정을 실시한 후, 각 시료채취 장소에 대한 층서 단위와 위치, 시료의 수, 소자준위, 평균편각 및 복각, 그리고 이들에 대한 신뢰되는 Table 4와 같다. 각 암층군에 대한 지층의 경사보정 전과 후의 신뢰도 (α_{95} , k) 값에 있어서, 장기층군을 제외한 전 암층군에서 경사보정 후의 신뢰값이 경사보정 전보다 α_{95} 가 1.2~2.5배, k가 1.4~6.2배 향상된 값을 보이며, 이는

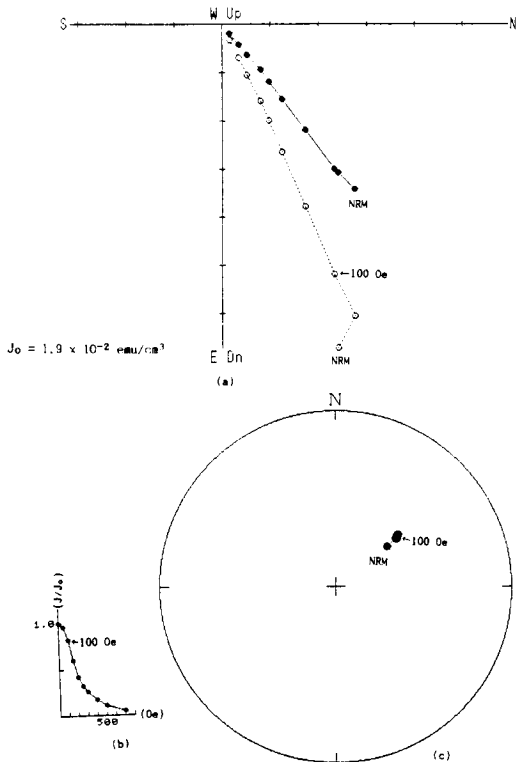


Fig. 5. Result of the alternating field demagnetization for sample No. K-262Aa, Eoil Basalt. For explanation of symbols see Fig. 3. Demagnetization level=0 50 100 150 200 250 4300 400 500 700 Oe.

이들의 자화가 암석의 생성당시에 획득된 특성자화임을 시사한다. 장기층군에 있어서는, α_{95} 가 0.9배, k가 0.8배로써 약간 낮은 값을 보이나, 이들의 경사보정 전의 자화방향은 연일층군의 자화방향이나 또는 현재 연구지역에 있어서의 지구 쌍극자장의 방향과는 상이하게 다르며, 경사보정 후의 자화방향은 범곡리층군이나 고제 3기 화산암류의 자화방향과 일치한다. 이는 장기층군으로부터 구한 잔류자화가 재자화 되었을 가능성보다는, 연년변화에 기인한 효과 혹은 시료 채취시나 지층경사 측정시에 야기되었을 오차일 가능성이 많다. 따라서, 본 연구에서는 이를 장기층군의 특성자화로 간주하였다.

자연 잔류자기의 평균 자화방향

본 연구지역에 분포하는 제3기 암류에 대해 층군별 평균 자화방향을 고찰하여 보면, 고제 3기 화산암류의 평균편각 $D_m = 66.7^\circ$ 평균복각 $I_m = 59.3^\circ$, $\alpha_{95} = 23.7^\circ$, $k = 17.44$ 이고, 장기층군의 정자화성분의 $D_m = 39.7^\circ$, $I_m = 57.4^\circ$, α_{95}

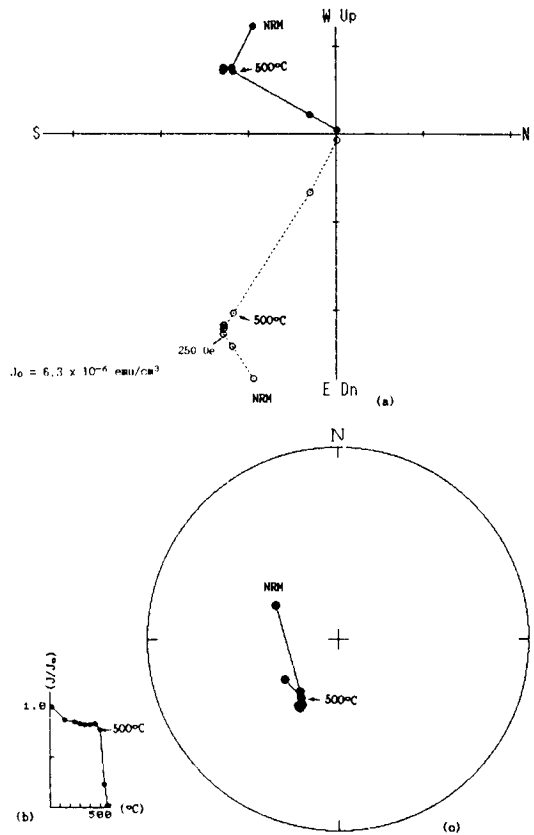


Fig. 6. Result of the thermal demagnetization for sample No. K-279B3a, Paleogene Volcanic Rocks. For explanation of symbols, see Fig. 3. Demagnetization level=25 150 250 300 350 400 450 500 540 570°C.

$= 9.1^\circ$, $k = 34.1$, 역자화성분의 $D_m = 219.4^\circ$, $I_m = -53.4^\circ$, $\alpha_{95} = 11.7^\circ$, $k = 47.2$ 이며, 범곡리층군의 정자화성분의 $D_m = 53.8^\circ$, $I_m = 57.0^\circ$, $\alpha_{95} = 9.9^\circ$, $k = 50.1$, 역자화성분의 $D_m = 224.6^\circ$, $I_m = -40.8^\circ$, $\alpha_{95} = 3.7^\circ$, $k = 180.8$ 이고, 연일층군은 $D_m = 356.9^\circ$, $I_m = 50^\circ$, $\alpha_{95} = 13.44^\circ$, $k = 36.15$ 이다. 연일현무암은 총 14개소 중 1개소 (장소번호 K-258)는 잔류자기의 방향이 나머지 13개소와 다르게 나타났는데, 전자 (이하 연일현무암A)의 자화방향은 $D = -4.0^\circ$, $I = 68.2^\circ$ 이며, 후자 (이하 연일현무암B)의 평균 자화방향은 정자화성분인 경우 $D_m = 54.1^\circ$, $I_m = 59.1^\circ$, $\alpha_{95} = 8.4^\circ$, $k = 30.7$ 이고, 역자화성분인 경우 $D_m = 212.6^\circ$, $I_m = -58.2^\circ$, $\alpha_{95} = 15.2^\circ$, $k = 21.2$ 이다. 각 층군별 평균 자화방향을 equal area net에 도시하면, Fig. 8과 같으며, 이들 전부를 함께 도시하면 Fig. 9와 같다.

Fig. 9에서 잔류자기의 평균 자화방향은 두개의 군으로 구분할 수 있으며, 이들 두 군을 나누어서 각 군별로 평균

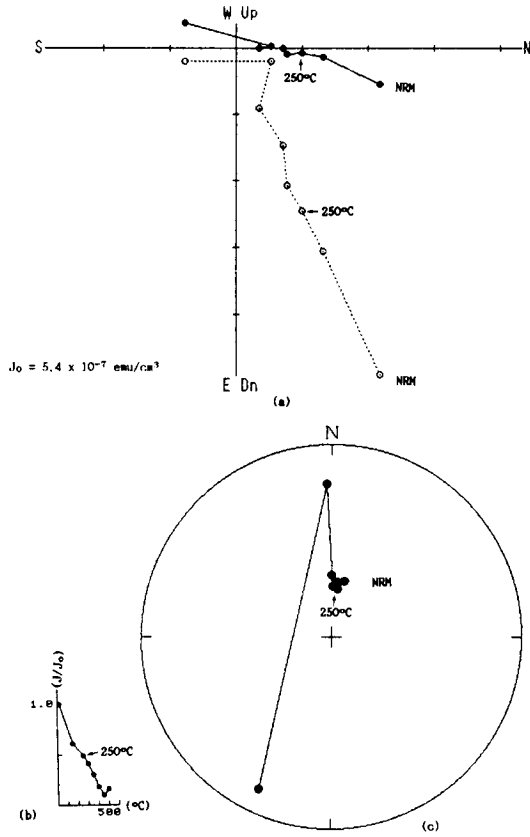


Fig. 7. Result of the thermal demagnetization for sample N01 K-253A1b. Duho Fm.. For explanation of symbols, see Fig. 3. Demagnetization level=25 150 250 300 350 400 450 500°C.

자화방향을 구하여 도시하면 Fig. 10과 같다. 그림에서 (a)는 연일층군 및 연일현무암A (장소번호 K-258)로부터 구한 평균 자화방향은 $Dm = -3.2^\circ$, $Im = 54.3^\circ$, $\alpha_{95} = 13.44^\circ$, $k = 36.15$ 이다 (Table 4). (b)는 고제3기 화산암류, 장기층군, 범곡리층군, 및 연일현무암B의 자화방향이며, 이들로부터 구한 평균 자화방향은 정자화인 경우 $Dm = 50.5^\circ$, $Im = 58.4^\circ$, $\alpha_{95} = 5.1^\circ$, $k = 34.0$ 이고, 역자화인 경우 $Dm = 217.2^\circ$, $Im = -54.3^\circ$, $\alpha_{95} = 9.0^\circ$, $k = 30.6$ 이다. (b)의 정자화 성분과 역자화 성분을 정자화 성분으로 환산하여 구한 평균 자화방향은 $Dm = 47.6^\circ$ 와 $Im = 57.5^\circ$ 이므로, (a)와는 편각에서 50.8° 의 차이를 보인다.

고지자기극

본 연구지역의 퇴적암류와 화산암류에서 얻은 자화방향중 연일층군 및 연일현무암A의 평균 자화방향으로부터

구한 평균 고지자기극은 $86.9^\circ N$, $7.7^\circ E$ 이고, 고제 3기 화산암류, 장기층군, 범곡리층군 및 연일현무암B의 정자화 성분과 역자화 성분을 정자화 성분으로 환산하여 구한 평균 자화방향으로부터 구한 고지자기극의 위치는 $52.3^\circ N$, $201.5^\circ E$ 이며, 이들을 equal area net에 도시하면 Fig. 11과 같다.

Fig. 12는 본 연구에서 구한 고지자기극의 위치와 동아시아 및 북유라시아 여러 지역의 동시기 암류로부터 구한 극의 위치를 비교한 것이다. 연일층군 및 연일현무암A의 극의 위치는 Irving (1979)과 Besse and Courtillot (1991)에 의한 10~30 m.y. 사이의 유라시아 대륙의 극, Lin et al. (1985)에 의한 중국에서의 마이오세의 극의 위치와 하나의 균을 형성한다. 따라서, 한반도에서의 마이오세의 기준 고지자기극 (reference paleomagnetic pole)의 위치는 연일층군과 연일현무암A로부터 구한 $86.9^\circ N$, $7.7^\circ E$ 이며, 여타 화산암류, 고제3기 화산암류, 장기층군, 범곡리층군, 및 연일 현무암B의 극의 위치인 $52.3^\circ N$, $201.5^\circ E$ 는 연구 지역의 시계방향의 회전운동의 결과에 의한 것으로 해석된다. 이와 같은 사실은 Kim et al. (1986)과 김인수, 강희철 (1989)의 연구결과와도 일치한다.

지구조 운동

본 연구지역에서 마이오세의 기준자화 방향으로 해석되는 연일층군 및 연일현무암A의 평균 자화방향 (A군; 편각 -3.2° , 북각 54.8°)에 비해, 고제 3기 화산암류, 장기층군, 범곡리층군 및 연일현무암B의 평균 자화방향 (B군; 편각 47.6° , 북각 57.5°)은 북각에서는 거의 일치되나, 편각에서는 50.8° 만큼 회전된 방향을 나타낸다. 이는 본 분지에 있어서 A군과 B군이 형성된 시기 사이에 시계방향의 수평 회전운동이 있었다고 해석된다. 따라서 이러한 분지의 회전운동을 일으킨 시기는 A군의 최하부층인 학전층의 퇴적시기 이전과 B군의 형성시기 이후의 시기이다. 학전층이 퇴적하기 시작한 시기는 학자들간에 이견이 있으나, 이영길 외 (1991) 및 변현숙, 유혜수 (1992)에 의해 약 15 Ma로 나타나고, B군의 형성시기는 이들에 대한 동위원소 연대측정결과 (Table 3) 및 김인수, 강희철 (1989)에 의한 회전운동을 보이는 가장 최근의 노두의 동위원소 연대측정결과인 15.81 ± 4.0 Ma를 고려할 때, 본 분지의 수평회전운동이 일어났던 시기는 약 15~16 Ma인 것으로 사료된다.

이러한 수평회전운동의 생성은 동해의 확장운동과 관련한 양산단층의 우향단층운동 (Kim et al., 1986; 김인수, 강희철, 1989)에 기인하여 일어난 것으로 사료되며, 고지

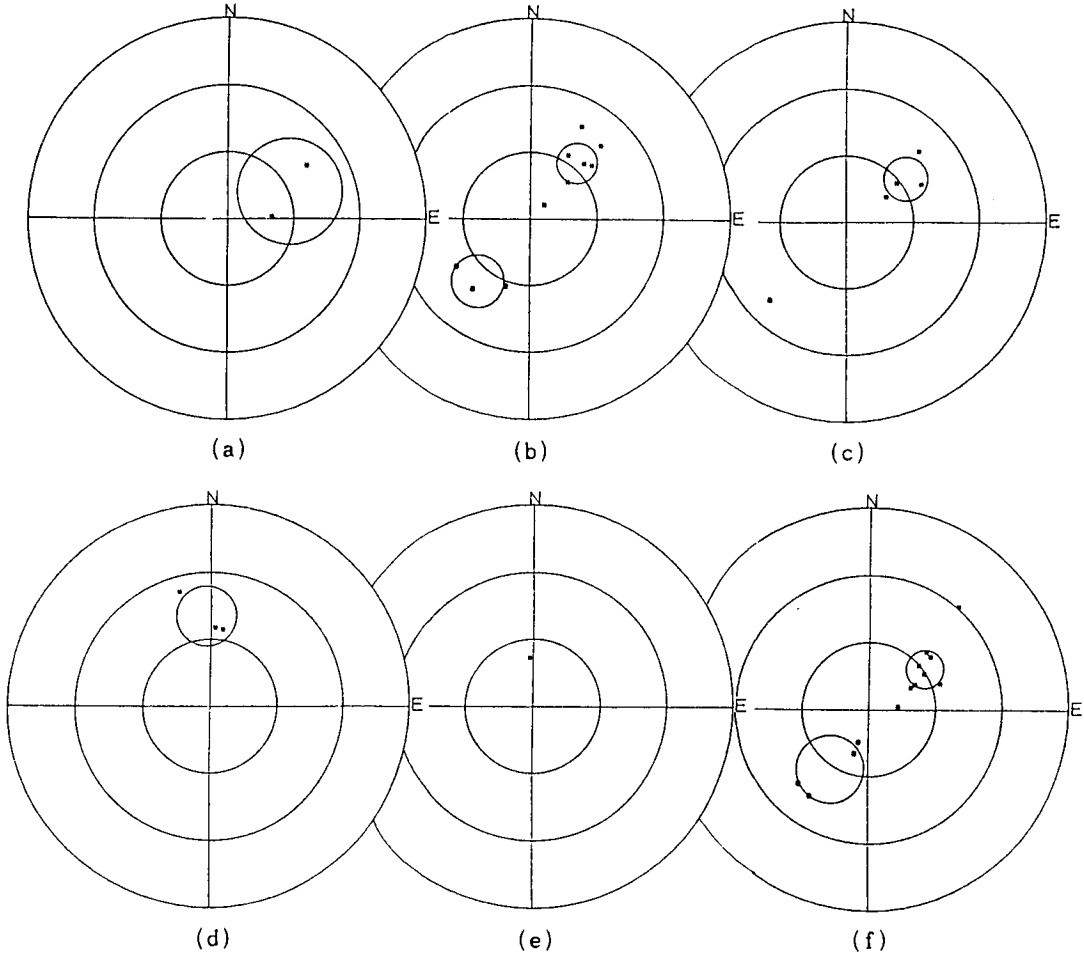


Fig. 8. (a); Site mean direction of the Paleogene volcanic rocks, (b); Janggi Group, (c); Beomgokri Group, (d); Yonil Group, (e); Yonil Basalt of site No. K-258, and (f); the rest of the Yonil Basalt. Open circles (asterisks) denote to plot on the upper (lower) hemisphere.

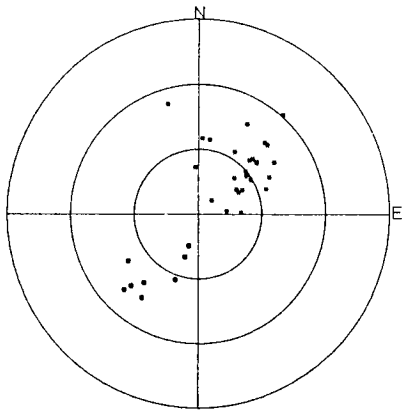


Fig. 9. Site mean direction of the Tertiary basin in the study area. For explanation of symbols, see Fig. 8.

자기 연구들로부터 밝혀진 수평회전운동을 일으킨 분지의 범위는 양산단층 동부와 울산단층 북부가 겹치는 범주내에서 이루어진 것임을 시사한다.

토 론

Tateiwa (1924)는 소위 연일 현무암의 분출시기를 연일층군 퇴적 이후로 추정했으나, 본 연구에 의하면 소위 연일현무암으로부터 구한 자화방향은 연일층군의 그것과 비교하여 볼 때, 시계방향으로 회전된 것 (연일현무암B)과 회전되지 않은 것 (연일현무암A)으로 분류된다. 한편, Kim et al. (1986), Lee (1988), 진명식 외 (1988) 및 본 연구에서 소위 연일현무암에 대하여 실시한 동위원소 연대측정 결

Table 4. Paleomagnetic result of this study.

Stratigraphic unit	Sample site	Sample locality		N	Demag. level		Site mean direction				α_{95}		k
		Lon.(E)	Lat.(N)		AFD(Oe)/THD(°C)	Dm	Im	Dm	Im	ABC/BBC	ABC/BBC		
Yomil Basalt A	K-258	129°30'10"	35°50'16"	5	150/-	24.7	54.8	-4.0	68.2	2.0	1009.2		
	K-253	129°20'16"	36°00'06"	5	100/200	5.1	52.5	8.6	55.3	5.9	114.5		
	K-269	129°15'25"	36°00'19"	5	100/-	-12.1	25.7	-15.7	37.0	14.6	18.4		
	K-285	129°15'24"	36°05'27"	5	-/400	-2.9	51.5	2.9	54.8	7.3	73.0		
	mean			4		1.6	47.0	-3.2	54.3	12.4/14.9	31.7/22.0		
Yomil Basalt B	KK-26	129°25'29"	35°50'12"	6	200/-	-	-	57.1	60.7	4.2	257.5		
	KK-46	129°25'28"	35°50'14"	6	200/-	-	-	44.9	54.0	3.5	370.2		
	KK-47	129°25'26"	35°50'12"	5	300/-	-	-	69.9	56.0	2.5	945.6		
	KK-48	129°25'26"	35°50'12"	6	300/-	-	-	48.4	60.3	2.8	586.0		
	K-5	129°25'29"	35°50'12"	7	400/-	-	-	49.3	53.9	5.4	123.9		
	K-7	129°30'02"	35°55'02"	7	300/-	-	-	223.4	-44.3	5.2	135.7		
	K-11	129°25'13"	35°55'18"	6	-/300	-	-	197.3	-74.7	9.4	51.4		
	K-12	129°25'17"	35°55'24"	7	300/-	-	-	197.9	-69.2	4.9	154.1		
	K-274	129°30'09"	35°55'08"	5	150/-	33.9	7.5	40.9	29.2	2.4	694.2		
	K-242	129°25'22"	35°48'45"	7	-	-	-	61.9	68.7	5.0	110.8		
	K-245	129°31'34"	35°52'47"	5	*	-	-	61.4	66.5	13.3	22.2		
	K-246	129°29'34"	35°58'55"	7	-	199.2	-20.0	214.5	-43.1	3.9	184.2		
K-247	129°29'36"	35°58'37"	6	-	-	-	83.4	76.8	6.0	110.0			
	mean			13		43.8	56.6	47.4	59.2	7.5/10.8	26.5/13.0		
Jinjondong Andesite	K-234	129°24'14"	35°52'52"	8	-	-	-	57.2	68.8	9.7	26.2		
	K-235	129°24'12"	35°52'29"	5	*	-	-	51.9	61.4	7.6	68.2		
Beomgokri Manghaesan Andesite	K-244	129°27'54"	35°54'29"	7	-	-	-	63.0	52.4	12.3	17.5		
	KK-3	129°20'28"	35°45'20"	4	100/-	-	-	45.5	44.5	14.2	42.6		
Yongdongri Tuff	KK-3	129°20'28"	35°45'20"	4	100/-	-	-	45.5	44.5	14.2	42.6		
	Waeupri Andesitic Tuff	129°25'52"	35°48'00"	8	*	-	-	224.6	-40.8	3.7	180.8		
	mean			5		-	-	53.8	57.0	9.9	50.1		

Table 4. Continued.

Stratigraphic unit	Sample site	Sample locality		N	Demag. level	Site mean direction			α_{95}	k	
		Lon.(E)	Lat.(N)			(BBC)	(ABC)	(ABC)			
Eoili Formation Eoili Basalt	KK-243	129°28'16"	35°48'39"	8	*	—	—	45.1	66.4	7.2	46.8
	K-1	129°25'07"	35°45'16"	5	400/—	—	—	44.1	55.5	8.3	85.7
	KK-53	129°25'20"	35°45'21"	3	300/—	—	—	236.6	-50.6	5.9	186.2
Janggi Group	K-262	129°25'20"	35°45'19"	5	100/—	53.5	55.7	48.8	53.5	2.5	625.0
	KK-44	129°30'20"	35°55'19"	6	300/—	—	—	28.7	42.6	11.7	34.0
	K-261	129°30'15"	35°55'09"	5	250/—	—	—	199.6	-57.7	3.1	397.5
	K-275	129°30'29"	36°00'17"	4	150/—	61.8	61.7	44.2	81.1	11.6	464.1
Nuldaeri Tuff	K-257	129°30'20"	35°55'27"	4	500/—	14.6	52.3	30.4	56.7	7.5	86.2
	K-14	129°25'09"	35°55'11"	7	200/—	—	—	43.5	44.6	9.7	39.6
Gampo Conglomerate	KK-20	129°25'19"	35°45'11"	7	500/300	—	—	28.5	-49.3	4.4	161.7
	mean			10		39.6	52.9	37.4	55.4	7.5/6.6	35.0/44.4
Paleogene Volcanic Rocks	K-264	129°20'06"	36°05'23"	7	400/—	30.4	56.1	56.4	47.0	3.7	206.9
	K-279	129°20'25"	36°05'06"	3	-/500	201.6	54.2	87.5	70.0	4.0	418.5
	mean			2		133.2	86.8	66.7	59.3	23.7/59.1	17.4/2.8

N; Number of specimens, Dm; Site mean declination, Im; Site mean inclination, k; Fisher's Precision Parameter, α_{95} ; 95% confidence angle about site mean direction, ABC (BBC); After (before) bedding correction, AFD(THD); alternating field (thermal) demagnetization, and *, Various demagnetization levels of AFD for all specimens

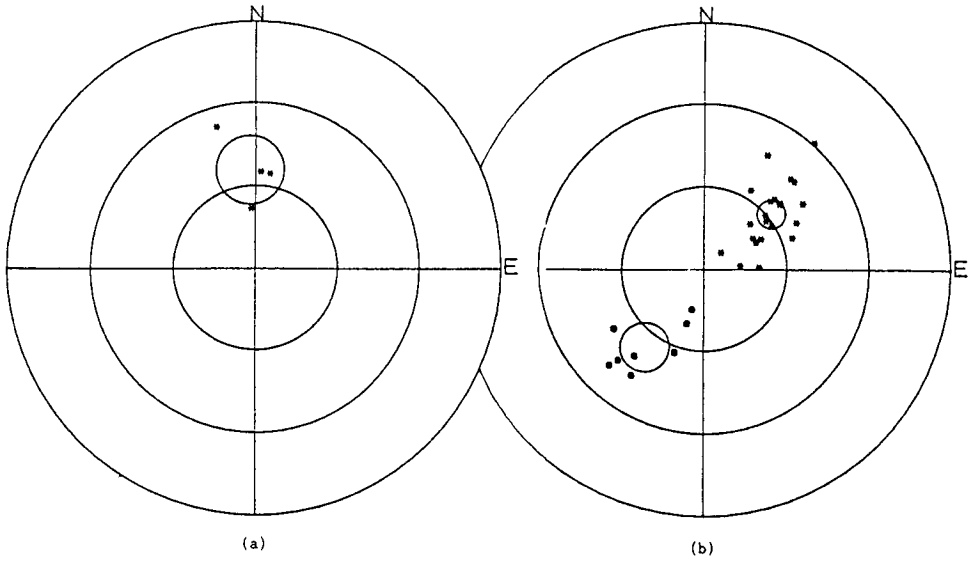


Fig. 10. Two clusters of site mean directions divided by a likeness of declination in Fig. 9. For explanation of symbols, see Fig. 8.

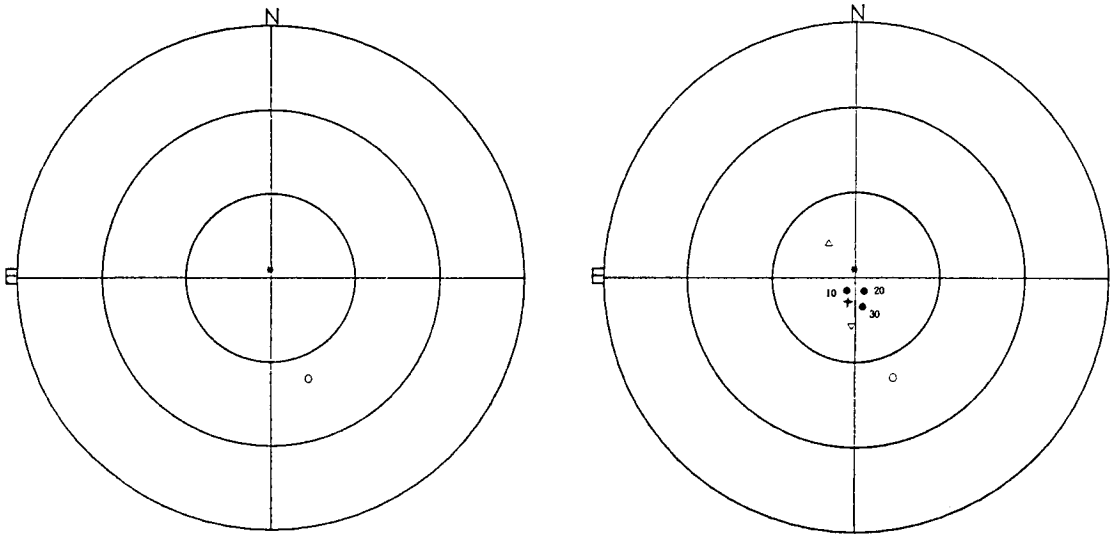


Fig. 11. Paleomagnetic pole obtained separately from two clusters in Fig. 10. All symbols are on the northern hemisphere, Asterisk; Paleomagnetic pole of unrotated rocks obtained from the Yonil Group and the Yonil Basalt A (site No. K-258). Open circle; Paleomagnetic pole of rotated rocks obtained from the Tertiary rocks except above asterisk one.

과도 그들의 분출시기가 연일층군 퇴적 이전 및 이후로 분류되는 것으로 보아, 전자인 연일현무암B는 장기층군의 어일 현무암의 분출시기와 대비될 수 있을 것으로 사료되고 후자, 즉 신창리 부근의 연일현무암A (장소번호 K-

Fig. 12. Comparison of paleomagnetic poles from this study with the other studies. All symbols are on the northern hemisphere. Open triangle; The Miocene paleomagnetic pole obtained from South China Block (Lin et al., 1985). Reverse open triangle; The Miocene paleomagnetic pole obtained from North China Block (Lin et al., 1985). Solid circle; The paleomagnetic poles of 10, 20 and 30 Ma obtained from northern Eurasia (Irving, 1979). Cross; The Eurasian paleomagnetic pole averaged 10 to 30 Ma (Besse and Courtillot, 1991). Asterisk; The Early Tertiary paleomagnetic pole obtained from the unrotated rocks (this study). Open circle; The Miocene paleomagnetic pole obtained from the rotated rocks (this study).

258)는 진명식 외 (1988)에 의한 동위원소 연대가 후기 마이오세인 10.2 ± 0.3 Ma로 나타나는 용동리 지역의 연일현무암에 대비될 수 있겠다. 따라서, 본 연구지역의 소위 연일현무암은 그 분출시기에 있어서 적어도 두 부류로 분류되어야 하며, 장기분지 및 어일분지에 분포하는 현무암질 암류에 대한 동위원소 연대측정 및 암석화학적 연구와 더불어 더 많은 고지자기 연구가 이루어져야 할 것이다.

본 연구지역에서 밝혀진 수평회전운동의 보다 정확한 시기에 대해서는 본 연구의 연일층군과 범곡리층군의 시료의 수가 적고, 본 연구지역인 장기 및 어일분지의 층서에 대해 학자들 간에 이견이 많음으로 인하여 더 많은 층서학적 연구와 고지자기학적 연구를 필요로 한다. 또한 이러한 회전운동을 일으킨 힘의 근원은 동해의 생성 및 확장에 기인하는 것으로 생각되며, 이를 일본의 고지자기 연구 결과 및 탄성과, 중력자료와 같은 여러 지구물리학적 탐사자료와 비교한다면 앞으로의 동해의 확장의 생성기구 및 시기를 밝히는 데 있어서 많은 도움이 될 것이다.

결 론

1. Tateiwa (1924)가 분출시기를 제3기말에서 제4기초 즉 연일층군 퇴적이후로 추정했던 소위 연일 현무암은 본 연구에서 채취한 14개소의 현무암 시료중 13개소의 자화방향이 회전된 것으로 나타나고 1개소에서는 회전되지 않은 것으로 나타남으로써 연일 현무암은 분출시기에 따라 연일층군 퇴적 이전의 것과 그 이후의 것으로 분류되어야 한다.
2. 포항분지 내의 연일층군 및 연인층군 퇴적이후에 분출한 연일현무암의 평균 자화방향은 편각이 $-3.2^\circ E$, 복각이 $54.3^\circ N$ 이며, 이로부터 계산된 고지자기 자북의 위치는 $86.9^\circ N, 7.7^\circ E$ 이다. 이는 한반도에서의 마이오세의 기준 고지자기극으로 사료된다.
3. 2항의 젊은 암층들을 제외한 제3기 암층들의 평균 자화방향은 정자화성분은 편각 50.5° , 복각 58.4° 이고, 역자화성분은 편각 217.2° , 복각 -54.3° 이며, 정자화성분과 역자화성분을 정자화성분으로 환산하여 구한 평균자화방향은 편각 47.6° , 복각 57.5° 이다. 이들의 평균 자화방향은 연일층군의 그것에 비하여 시계방향으로 50.8° 회전된 결과를 나타낸다.
4. 이러한 회전은 동해의 남북 확장에 의한 우향 주향

이동 단층인 양산단층에 기인하여 분지내에서 15~16 Ma에 일어난 수평 회전운동을 수반하는 지구조운동에 기인되는 것으로 해석된다.

참고문헌

김봉균 (1970) 한국의 신제3기 퇴적층에 관한 연구. 지질학회지, 6권, p. 77-96.
 김인수, 강희철 (1989) 어일분지 일대에 분포하는 제3기 층에 대한 고지자기학적 연구. 지질학회지, 25권, p. 273-293
 민경덕, 김옥준, 윤석규, 이대성, 주승환 (1982) 한국 남부의 백악기말 이후의 화성활동과 광화작용에 대한 판구조론의 적용성 연구 (I). 광산지질, 15권, p. 123-154.
 변현숙, 윤혜수 (1992) 포항분지 (중부지역)에서 산출된 마이오세 와편모충 포자. 고생물학회지, 8권, p. 164-235.
 엄상호, 이동우, 박봉순 (1965) 한국지질도 (1 : 50,000) 포함도록. 국립지질조사소.
 윤 선 (1988) 한반도 남부의 제3기 층서. 한국과학재단 연구보고서.
 최위찬, 황재하, 윤옥, 김동학 (1988) 어일지질도록 보고서. 한국동력자원 연구소.
 이영길, 류환수, 고영구 (1991) 포항일대 연일층군의 생층서와 고환경. 고생물학회지, 7권, p. 32-62.
 진명식, 김성재, 신성천 (1988) 동위원소지질연구. 한국동력자원연구소.
 한종환 (1987), 한국동남부지역 제3기 퇴적분지의 지체구조발달 및 퇴적환경연구. 동력자원연구소 연구보고서, KR-86-2-(B)-4.
 Besse, J. and Courtillot, V. (1991) Revised and synthetic apparent polar wander path of the African, Eurasian, North American, and Indian plate, and true polar wander since 200 Ma. J. Geophys. Res., v. 96, p. 4029-4050.
 Kim, K. H., Won, J. K., Matsuda, J., Nagao, K. and Lee, M. W. (1986) Paleomagnetism and K-Ar age of volcanic rocks from Guryongpo area. Jour., Korean Inst., Mining Geol., v. 19, p. 231-237.
 Lee, J. (1988) The Neogene volcanism of the Pohang Basin (SE-Korea), New geochronological constraints for the opening of the Japan Sea. Geodynamics, p. 1405-1411.
 Lin, J. L., Fuller M. and Zhang, W. Y. (1985) Preliminary Phanerozoic polar wander paths for the North and South China blocks. Nature, v. 313, p. 444-449.
 Tateiwa, I. (1924) Geological Atlas of Chosen. Geol. Surv. Gov. Gen. Chosen.
 Yoon, S. (1975) Geology and Paleontology of the Tertiary Pohang Basin. Pohang District, Korea. J. Geol. Soc. Korea, v. 11, p. 187-214.
 Yun, H. (1986) Emended stratigraphy of the Miocene Formation in the Pohang Basin Part I. J. Paleont. Soc. Korea, v. 2, p. 54-69.