

# 경상분지 남단 고성지역의 백악기 유천층군에 대한 고자기 연구

강희철\* · 김인수

부산대학교 지질학과, 609-735 부산광역시 금정구 장전동 산 30

## Palaeomagnetism of the Cretaceous Yuchon Group in Kosong Area, Southern Kyongsang Basin

Hee-Cheol Kang\* · In-Soo Kim

Department of Geology, Pusan National University, Pusan 609-735, Korea

**Abstract:** A total of 165 independently oriented core samples were collected from 19 Cretaceous Yuchon Group sites in Kosong area, the southernmost part of the Miryang subbasin of the Kyongsang Basin in southern Korea. Stepwise AF and thermal cleaning revealed antipodal ChRM from 95 samples from 14 sites. Mean ChRM direction is  $d=26.0^\circ$ ,  $i=49.4^\circ$  ( $\alpha_{95}=8.2^\circ$ ,  $k=24.5$ ,  $n=14$ ) before bedding correction and  $d=28.1^\circ$ ,  $i=54.2^\circ$  ( $\alpha_{95}=4.8^\circ$ ,  $k=70.6$ ,  $n=14$ ) after bedding correction. A 2.88-fold increase of the precession parameter  $k$  by bedding correction indicates pre-folding age of the ChRM with 99% confidence level. Palaeomagnetic pole position calculated from the mean ChRM is  $67.0^\circ$  N,  $210.6^\circ$  E ( $dp=4.7^\circ$ ,  $dm=6.7^\circ$ ), which is significantly different neither from the poles of other part of the Kyongsang Basin nor those of Eurasia including SCB and NCB. This suggests stable relative position of the study area with regard to other parts of the Kyongsang Basin as well as to Eurasia continent since Cretaceous.

Three polarity reversals in the Kosong Formation in addition to the coexistence of normal and reversed polarities in the overlying Andesites and Welded Tuff suggest, in reference to the worldwide geomagnetic polarity time scale, an Albian to Maastrichtian (polarity chron 32r-31r) age of the Yuchon Group of the study area. An alleged hypothesis of stratigraphical correspondence between the Kosong Formation in the study area and the Tadaepo Formation in Pusan area is, however, not tenable: Not only because the latter shows a short reverse polarity only in its lowest part of the sequence but also because the Andesites overlying it is wholly normally magnetized, in contrast to the frequent reversals in the case of both the Kosong Formation and Andesites above it.

Key words: Palaeomagnetism, Cretaceous, Yuchon Group, Kosong Area, Tadaepo Formation

**요약:** 경상분지내 밀양소분지의 남단인 경남 고성지역에 분포하는 백악기 유천층군의 19개 장소로부터 총 165개의 독립정향시료를 채취하여 단계적 교류 자기세척과 열 자기세척 실험을 실시하였다. 그 결과 14개 장소 95개의 시료로부터 정자화와 역자화가 서로 반평행을 이루는 특성잔류자기(ChRM)를 구하였다. 이들의 평균방향은 지층경사 보정전에는  $d=26.0^\circ$ ,  $i=49.4^\circ$  ( $\alpha_{95}=8.2^\circ$ ,  $k=24.5$ ,  $n=14$ )이며 지층경사 보정후에는  $d=28.1^\circ$ ,  $i=54.2^\circ$  ( $\alpha_{95}=4.8^\circ$ ,  $k=70.6$ ,  $n=14$ )이었다. 지층경사 보정을 통하여 균집지수  $k$ 값이 2.88배 증가하는 사실은 이 특성잔류자기가 99%의 신뢰도로서 지층의 습곡이나 경동 이전에 획득된 잔류자기임을 지시하는 것이다. 이 평균 잔류자기 방향으로부터 계산된 고자기학적 자북의 위치(palaeomagnetic pole)는  $67.0^\circ$  N,  $210.6^\circ$  E ( $dp=4.7^\circ$ ,  $dm=6.7^\circ$ )인 바, 이는 경상분지내 다른 지역이나 남, 북중국 및 유라시아의 백악기 고자기학적 자북의 위치와 거의 일치한다. 따라서 본 연구지역을 포함하는 한반도가 백악기 이후 유라시아 대륙의 한 부분으로서 현재의 상대적 위치를 크게 벗어나지 않았음을 알 수 있다.

한편, 고성층에서 최소 3번의 극성변화가 나타나며 그 상위의 안산암류와 용결응회암에서도 정자화와 역자화가 함께 나타나는 사실을 범세계적 자기층서표와 비교하여 볼 때, 연구대상 유천층군의 연령은 하양층군과 유천층군의 경계인 후기 Albian에서부터 polarity chron 32r 내지 31r anomaly가 나타나는 초기 Maastrichtian에 이르는 것으로 판단된다.

연구대상 고성층과 그 상위의 안산암에서 여러차례의 역자화가 관찰되는 반면에, 부산지역의 다대포층에서는 하부의 2개 층준에서만 짧은 역자화가 관찰되고 그 상위의 안산암에서는 정자화만 나타난다. 따라서 고성층과 다대포층이 시간층서적으로 상호 대비될 가능성은 거의 없는 것이다.

주요어: 고자기 연구, 백악기, 유천층군, 고성지역, 다대포층

\* E-mail: kanghc@hyowon.pusan.ac.kr

## 서 언

백악기의 경상분지는 지역적으로 낙동곡분, 영양소분지, 의성(도평)소분지, 밀양소분지 등으로 나뉘어지고 있으며, 이곳에는 백악기의 육성 퇴적층인 경상누층군과 이를 덮는 안산암질 화산암류 그리고 이들을 관입하는 불국사 화강암류가 분포되어 있다. 이들 중 경상누층군의 두께는 약 9,000m로 알려지고 있으며 하위로부터 신동층군, 하양층군, 유천층군으로 세분되어 있다(Chang, 1975; 장기홍, 1977). 그 동안 화산암류나 화강암류에 대한 지질시대는 방사능 연대측정과 화산층서학적 연구 등을 통해 상당히 알려져 있으나, 퇴적암류의 경우에는 시대를 지시할 화석이 거의 포함되어 있지 않고 측방으로 상당한 상변화를 보이고 있어, 지층의 시대결정이나 각개 소분지내 혹은 소분지들 상호간의 층서대비가 확실하지 않다(장기홍, 1982).

이 연구는 경상분지 남동부에 넓게 위치한 밀양지괴 남단의 고성지역에 분포하는 유천층군 퇴적암과 화산암류에 대한 잔류자기 연구이다. 특히 필자의 한사람은 오래 전에 부산지역의 다대포층에 대한 잔류자기 연구를 실시하여 2개의 역자화층군을 발견한 바 있는데(김인수, 1988), 장태우 외(1983a)는 이 다대포층이 이번 연구지역의 고성층(유천층군)에 대비될 것이라는 견해를 제시한 바 있다. 따라서 이번 연구는 이러한 가설을 검토하는 의의도 가진다. 또한 경상분지의 여러 지층에 대한 지구자장의 역전기록을 이용한 자기층서학적 고찰이 지층의 시대결정이나 층서대비의 유용한 수단이 될 것으로 믿고 경상분지 여러 분지와 여러 지역에 대한 자료를 획득하는 데에도 연구목적이 있다.

## 지질개요

연구지역은 밀양지괴에 속하며 경상분지의 남단 중간부에 위치하고 있다(Fig. 1). 연구지역에는 하양층군 상부지층인 진동층과 유천층군의 고성층, 안산암질 래필리 응회암과 용결 응회암 그리고 불국사 화강암이 분포되어 있다(장태우 외, 1983b)(Fig. 1). 최하부의 진동층(하양층군)은 주로 암회색의 박리상(thin laminated-very thin bedded) 셰일과 사암으로 구성되며 층리면에는 건열과 연흔, 족흔화석 등이 관찰되는 천수저의 퇴적물이다. 이 진동층은 연구지역의 북동쪽에서는 보다

넓게 분포되어 있지만 본 지역에 와서는 막대한 양의 유천층군 화산암층들에 의해 피복됨으로써 남서방향으로의 연장분포가 단절되어 있다. 진동층 직상위의 고성층(유천층군)은 진동층과는 달리 층(bed)의 두께가 두꺼우며 저색 및 녹색의 응회질 셰일과 사암, 응회질력암 그리고 응회암 등의 다량의 화산기원 물질들로 이루어져 있음이 특징이다. 이 층의 상부에는 담녹색 래필리(lapilli)가 함유된 4매의 응회암층이 협재되어 있다.

하양층군과 유천층군의 관계는 일반적으로 부정합인 것으로 주장되어 오고 있지만(Chang, 1975; 장기홍, 1977; 장기홍 외, 1984), 본 지역에 나타나는 하양층군 상부의 진동층과 그 위 유천층군 하부의 고성층간의 변화는 점이적이어서 오히려 정합적으로 보는 것이 타당 하겠다. 아마도 이 두 층군간의 관계는 거시적으로는 부정합적 일지라도 본 지역에서처럼 국지적 내지 부분적으로는 정합적인 경우가 있는 것으로 여겨진다. 도폭 조사자들(장태우 외, 1983b)은 고성층이 다량의 화산암 물질을 함유하고 있다는 점과 진동층과는 퇴적양상이 상이하다는 사실을 들어 고성층을 유천층군으로 간주

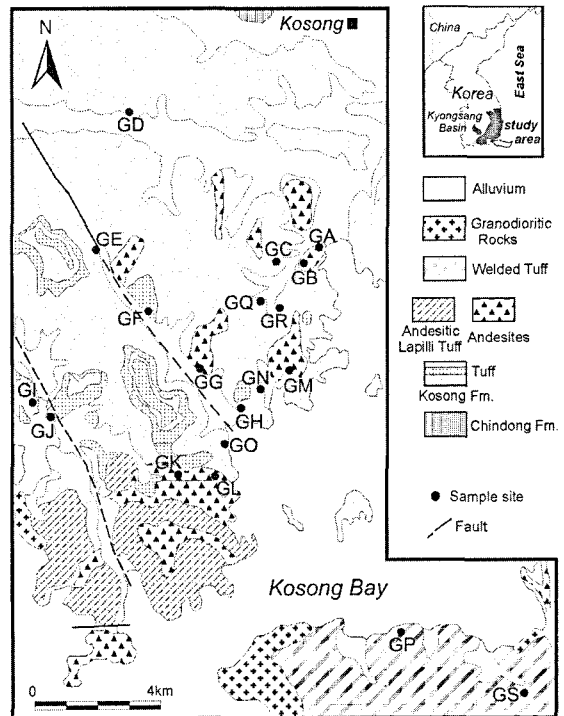


Fig. 1. Geologic and Sample site map of the Studied Cretaceous Yuchon Group in Kosong area.

하였고 마산도폭(김종환·김정택, 1963)의 청병산층이나 부산·가덕도폭(장태우 외, 1983a)의 다대포층에 대비되는 것으로 보았다.

고성층의 상부에는 강력한 안산암질 화산활동을 보여주는 안산암질 래피리웅회암과 용결웅회암이 덮혀 있다(Fig. 1). 이밖에 고성층 상부에 협재된 응회암에는 안산암류가 소규모로 수반되는데 그 후의 화산활동 절정기에도 방대한 양의 화산쇄설물의 분출 사이사이에 간헐적으로 유출된 것으로 보아 안산암의 분출과 관입의 시간적 범위와 활동횟수가 길고 여러 차례였음을 알 수 있다. 화산활동의 휴지기에 이르러서는 연구지역보다 동쪽에 장평리층이 퇴적되었는데 이 지층은 주로 암회색 내지 담회색의 응회질 사암과 암회색 세일로 이루어져 있다. 연구지역에는 장평리층의 노두가 나타나지 않으며, 대신 장평리층의 퇴적 이후에 화산활동

이 산성으로 이화됨을 보여주는 유문석영안산암질암과 불국사화강암류가 소규모 분포된다.

### 시료채취와 야외조사

시료는 주로 고성만을 둘러싸고 있는 연안지역과 고성-사천간 33번국도 그리고 고성-삼천포간 1010번 지방도로변에서 채취되었다(Fig. 1). 시료채취지역 중심의 지리상 좌표는 34.95°N, 128.29°E이며 이 지역에서의 지구자기장의 편각은 -6.0°, 북각은 59.2°, 총 자기장 세기는 46,600 nT이다(민경덕·이선희, 1979).

모든 시료들은 다이아몬드비트를 장착한 휴대용 착암기를 사용하여 직경 1인치의 코어시료로 노두현장에서 채공하고 각 시료들의 자세는 현장에서 정향(定向, orientation)되었다. 이 정향과 지층의 경사보정

**Table 1.** Summary of samples and sample sites of the Cretaceous Yuchon Group in Kosong area.

Stratigraphic unit	Site name	No. of samples	Geographic position Lat.(°N), Long.(°E)		Lithology	Attitude of strata**
<b>Yuchon Group</b>						
Welded Tuff	GP	6	34.905	128.335	welded tuff	85/41
	GS	9	34.895	128.355	welded tuff	161/40
Andesites	GA*	8	34.957	128.317	andesite	320/8, 312/12
	GB*	10	34.955	128.315	andesite	323/16, 65/48
	GG	8	34.941	128.296	andesite	-
	GK	7	34.927	128.295	andesite	-
	GL	8	34.928	128.299	andesite	-
	GM*	7	34.942	128.313	andesite	85/27, 97/34
<b>Kosong Formation</b>						
	GF	8	34.955	128.286	tuff	55/14
	GJ	9	34.935	128.270	tuff	230/12
	GO	8	34.932	128.301	tuffaceous shale	141/10
	GI	10	34.936	128.267	tuffaceous sand	95/6
	GH	11	34.937	128.301	tuffaceous shale & sand	46/19, 61/14 257/8, 222/10
	GN	8	34.937	128.308	tuffaceous shale & sand	41/10, 358/14
	GR	12	34.954	128.312	tuffaceous sand	85/21
	GQ	10	34.956	128.308	tuffaceous sand	230/12, 212/20
	GC	8	34.955	128.312	tuffaceous shale & sand	177/19, 160/22
	GE	7	34.957	128.279	tuffaceous sand	197/20
	GD	11	34.979	128.285	tuffaceous shale & sand	195/18, 184/24
Total	19	165	34.95°N, 128.29°E			

\*: extrusive mode of occurrence, \*\*: right-hand rule

(bedding correction)을 위한 자료들은 지질조사용 주향 경사계로 측정되었다. 퇴적층(고성층)의 경우에는 자기층서학적인 정보와 자화방향의 극성을 파악하기 위하여 풍화나 파쇄상태를 고려하며 가능한 한 최하부의 층준(Fig. 1의 GD)에서부터 최상위의 층준(Fig. 1의 GO)까지 넓은 수직범위를 망라하며, 그러나 좁은 간격으로 시료를 채취하고자 노력하였다. 또한 습곡검사(fold test)를 위하여 주향, 경사가 서로 다른 2개의 장소(GQ, GR)에서 시료를 채취하였다. 한편, GH장소는 퇴적이후 약한 화산작용의 영향으로 미약하게나마 향사구조를 이루고 있어 습곡검사에 적합하였다.

연구지역의 고성층은 대체로 남쪽으로 경사되어 있다. 그러나 GI장소 부근에서는 동쪽으로 경사되고, GQ와 GR장소 부근에서는 작은 배사구조가 나타나기도 한다. 연구지역에서 구조운동을 암시하는 단층들은 주로 NW방향인 바, 화산활동에 수반되어 남서편이 함락된 정단층으로 보인다.

Table 1과 Fig. 1에는 연구대상 지층과 암상, 그리고 시료채취 장소와 독립정향 시료의 갯수가 요약되어 있다. Table 1에서 고성층의 경우에는 시료기호를 층서순으로 기재하였고, 안산암류의 경우에는 관입과 분출을 구분하기 위하여 후자의 경우에 \*표시를 하였다.

### 자기세척 실험과 그 결과

본 연구에서 잔류자기 측정을 위하여 사용한 기자재는 스피너 자력계(Molspin rock magnetometer)이었으며, 잔류자기의 안정성을 검토하기 위해서는 교류 자기세척기(Molspin AC demagnetiser)와 열 자기세척기(Schonstedt TSD-1 thermal demagnetizer)를 이용하여 실내실험을 수행하였다. 단계적 열 자기세척의 경우 가열에 의한 자성광물의 광물학적 변화여부를 감지하기 위하여 매 세척단계마다 시편을 냉각시킨 후, Molspin Minisep 대자율 측정기를 사용하여 총 대자율(bulk magnetic susceptibility)을 측정하였다.

자기적 안정성을 검토하기 위해서는 우선 화산기원 물질이 함유된 퇴적층과 화산암질암의 각 노두 시편으로부터 3~4개의 시험시편들을 골라 교류 자기세척 실험을 실시하였다. 세척의 단계는 5mT로부터 시작하여 10mT씩 외부 교류자장을 증가시키면서 최고 100mT까지 모두 10~12단계에 이르렀다. 이렇게 단계적 세척을 진행하면서 잔류자기가 벡터 다이어그램(vector diagram: Zijdeveld, 1967)에서 원점을 향하여 소멸되는지 검토하였는데 그 결과 연구지역의 시료들은 크게 3가지의 자기적 반응으로 분류되었다. 첫번째는 30~40mT에서 2차 자화성분이 제거되고 단일 ChRM성분이 분리되는 것으로, 7개장소의 시료에서 이와같은 반응이

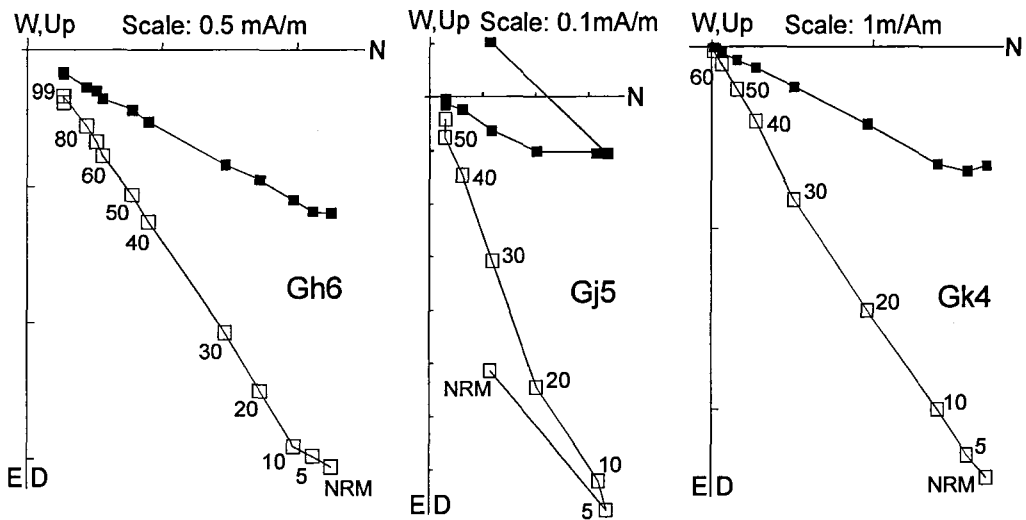


Fig. 2. Typical examples of stepwise AF demagnetization experiment which yield a single stable-end-point ChRM component. Vector diagrams in geographic coordinates with closed(open) symbols projected onto the horizontal(vertical) plane.

나타났다(Fig. 2). 두번째는 100mT까지의 세척에도 불구하고 단일 자화성분이 분리되지 않고 잔류자기가 NRM의 30~40% 정도밖에 감소하지 않는, 보다 강한 항자력의 2차성분을 가지는 것들인데 이들에는 열 자기세척 실험을 추가하였다. 세번째 부류는 최고 100 mT까지의 세척과정에서 등각투영도(equal-angle net) 상에서 대원(great circle)으로 달려가는 잔류자기 방향을 보이는 것들이었는데 이들에도 추가 열세척을 적용하여 단일 자화성분을 구해내고자 하였다. 이상의 교류 자기세척 실험으로 단일 자화성분이 분리되어 ChRM 방향이 결정된 결과는 Table 2와 같다.

교류 자기세척으로 단일 자화성분이 추출되지 못한 시편에 대해서는 계속적으로 단계적 열 자기세척 실험을 적용하였다. 가열단계는 500℃까지는 100℃간격으로, 그 이상에서는 자화방향과 세기의 변화를 검토하며 20°~50℃간격으로 줄였으며 600℃이상의 고온구간에서는 3°~10℃로 가열온도의 간격을 더욱 좁히며 자화 벡터의 변화양상을 관찰하였다. 이러한 방식으로 최고

가열온도인 705℃에 이르는 동안 약 14단계 이상의 열 세척실험이 이루어졌다.

열 자기세척 실험으로 나타난 잔류자기 방향의 변화 양상을 보면, 세척이 진행됨에 따라 우선 낮은 폐색온도(blocking temperature)를 가진 잔류자기 성분이 제거되고 강한 하나의 잔류자기 성분만 남게 되는 가장 단순한 경우가 있었다. 고성층 GQ장소의 시료가 대표적인데(Fig. 3) 이 부류의 시편들에서는 600°~650℃를 경계로 자화강도가 현저히 감소되고 미소하나마 자화 방향의 변화도 나타났다. 세척온도가 685℃에 이르면 자화방향은 그대로 유지되면서 자화강도가 원점으로 급격히 감소된다. 이로부터 단일 자화성분, 즉 높은 잔류자기벡터를 띠는 광물이 적절침을 알 수 있다. GQ 장소 9개의 시편으로 부터 구한 평균 잔류자기방향은 지층경사 보정후에  $d=36.0^\circ$ ,  $i=55.5^\circ$ ,  $\alpha_{95}=6.6^\circ$ ,  $k=61.8$ 인데 이는 앞서 교류 자기세척실험에서 구한 다른 시료장소의 고성층이나 안산암류의 평균 자화방향과 잘 일치하였다(Table 2).

**Table 2.** Palaeomagnetic results from the Cretaceous Yuchon Group in Kosong area.

Site	Step	N	Before bedding-correctior				After bedding-correctior				Polarity
			d(°)	i(°)	$\alpha_{95}$ (°)	k	d(°)	i(°)	$\alpha_{95}$ (°)	k	
<b>Yuchon Group</b>											
<b>Welded Tuff</b>											
GP+GS	TH+GC	4	214.2	-44.4	15.2	20.5	205.5	-56.0	7.2	86.9	R
<b>Andesites</b>											
GA*	TH+GC	5	208.6	-51.3	9.4	35.8	211.8	-42.3	8.7	41.3	R
GB*	TH+GC	4	193.7	-4.5	10.1	84.2	208.5	-39.0	12.0	59.5	R
GG	30mT	8	43.7	45.5	3.3	280.3	43.7	45.5	3.3	280.3	N
GK	40mT	7	27.7	55.9	4.5	184.2	27.7	55.9	4.5	184.2	N
GL	60mT	8	27.5	52.8	16.5	12.3	24.8	60.6	16.5	12.3	N
GM*	TH+GC	3	179.6	-40.3	4.2	87.8	188.0	-66.4	2.3	370.0	R
<b>Kosong Formation</b>											
GF	30mT	8	21.6	57.8	2.6	456.2	44.8	63.1	2.6	453.9	N
GJ	40mT	9	24.9	60.9	4.3	145.1	9.4	54.2	4.6	145.8	N
GN	TH+GC	4	184.8	-56.3	10.0	85.2	203.3	-52.6	3.2	432.0	R
GO	TH+GC	5	216.2	-50.5	9.5	65.0	211.6	-59.6	9.5	65.0	R
GI	25mT, TH	10	22.1	48.8	8.6	32.8	23.1	52.4	8.4	33.7	N+R
GH	40mT	11	36.4	53.9	7.9	34.2	29.3	52.4	4.2	119.7	N
GR	scattered										
GQ	680°C	9	50.5	53.1	7.6	46.7	36.0	55.5	6.6	61.8	N
GC	scattered										
GE	scattered										
GD	scattered										
Mean: 14 sites			26.0	49.4	8.2	24.5	28.1	54.2	4.8	70.6	
Palaeomagnetic Pole:			Lat.=67.0°N, Long.=210.6°E, dm=6.7°, dp=4.7°								
Palaeolatitude:			34.7°N								

\*: extrusive mode of occurrence, GC: great-circle method applied

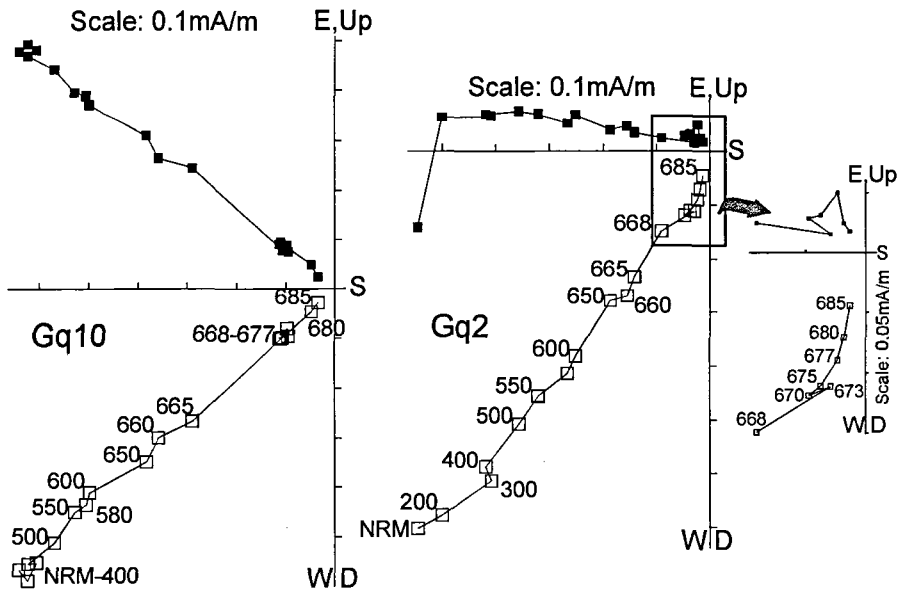


Fig. 3. Typical examples of stepwise thermal demagnetization experiment which yield a single stable-end-point ChRM component. Vector diagrams in geographic coordinates with closed(open) symbols projected onto the horizontal(vertical) plane.

열 자기세척 실험에서 나타난 또 다른 잔류자기 방향의 변화양상은 두개 혹은 그 이상의 잔류자기성분들이 끝까지 분리되지 않은 채로 남아 총체적 잔류자기방향이 등각투영도상에서 대원으로 이동되는 것이다. Fig. 4의 고성층 GN과 GO장소의 시료가 그 예인 바, GN1은 600°C까지 남-북방향의 현재자장 성분이 제거되다가 그 이상의 온도에서 최고 세척단계인 700°C까지에 이르는 동안 단일 성분대신 두개 혹은 그 이상의 성분이 동시에 세척되고 있음을 보이고 있다. 등각투영도에 나타난 잔류자기의 방향은 세척온도의 증가에 따라 점차 자화에서 역자화로 원호를 그리며 앞서의 교류 및 열 자기세척으로 구한 평균 자화방향에 반평행(antipodal) 되는 곳으로 달려가고 있다. 이렇게 역자화 방향으로 달려가는 것은 시편들에 역자화 성분이 포함되어 있기 때문인데 이는 자발역전(self-reversal)에 의하기보다는 지구자기장의 역전(field reversal, 자장역전)에 의한 것으로 판단된다(김인수, 1988 참조).

이렇게 명확한 단일자화성분 분리가 일어나지 않고 세척강도의 증가에 따라 잔류자기벡터의 변화가 대원을 나타낼 경우, 이러한 시편들을 함께 모아 이들 대원들의 교점을 구하면 지층경사 보정전의 교점은 2차 잔류자기 방향이며 지층경사 보정후의 교점은 1차 잔류자

기 방향이라는 사실(Halls, 1976; Kirschvink, 1980)을 이용하여 잔류자기의 개별성분을 구하였다. 그러나 이들 대원들의 교점은 사실상 정확히 한 점에서 만나지 않기 때문에 각 교점들의 방향을 Fisher통계처리(Fisher, 1953)하여 평균자화방향을 계산하였다. Fig. 5는 이러한 방법으로 1차 잔류자기 방향을 구한 예인데 앞서 교류 및 열 자기세척으로 단일성분의 ChRM을 보였던 고성층과 안산암류의 자화방향에 반평행인 역자화방향을 나타내고 지층경사 보정으로 k값이 향상되었다(Table 2).

교류 자기세척과 열 자기세척의 노력에도 불구하고 끝까지 단일성분이 추출되지 않은 노두(GD, GE, GC, GR)의 경우에는 주성분 분석법(principal component analysis: Kirschvink, 1980)을 통하여 ChRM을 구하였다. 그러나 방향이 시편별로 분산된 관계로 전체를 이용한 평균방향의 계산이 무의미하였다. 그럼에도 불구하고 일부 시편들은 앞서에서 대원을 보였던 시편들과 마찬가지로 타 노두의 평균방향을 향하여 대원을 그리며 달려가는 양상을 보였다. 따라서 이들 역시 앞서의 노두에서와 거의 동일한 방향의 ChRM을 보유하고 있음을 알 수 있었다.

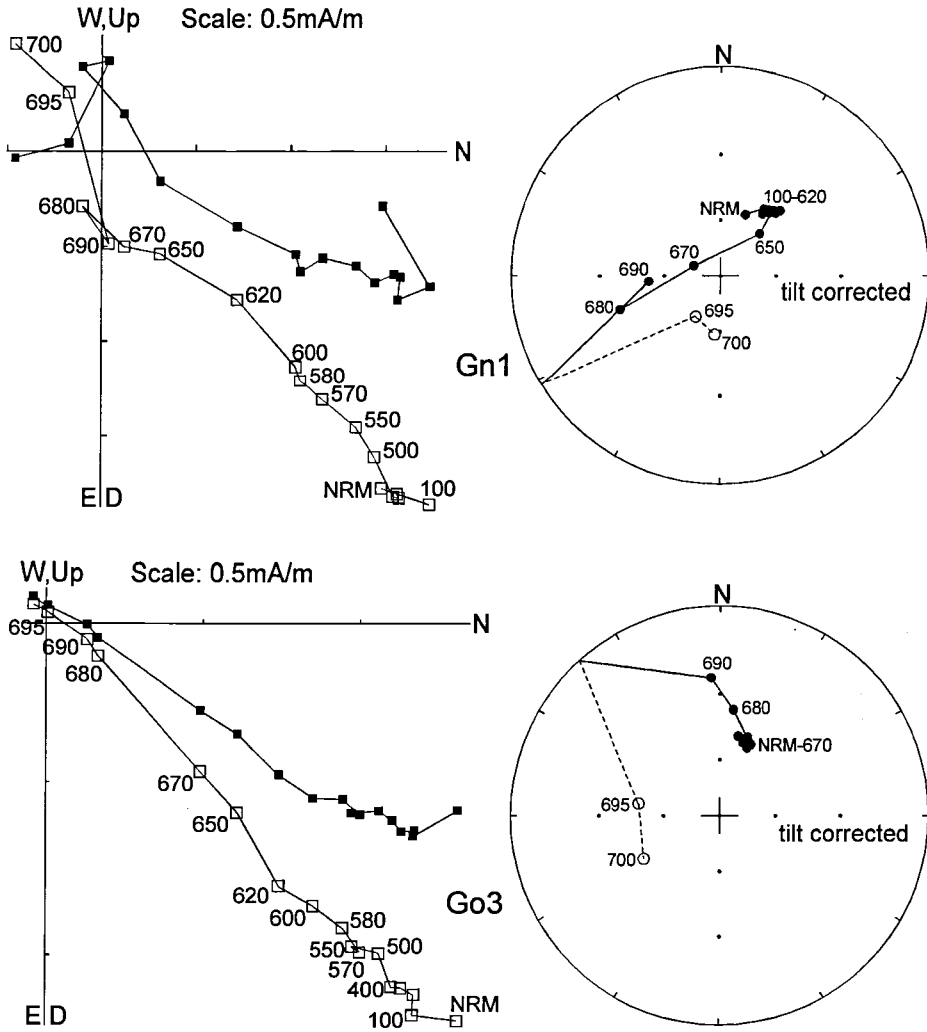


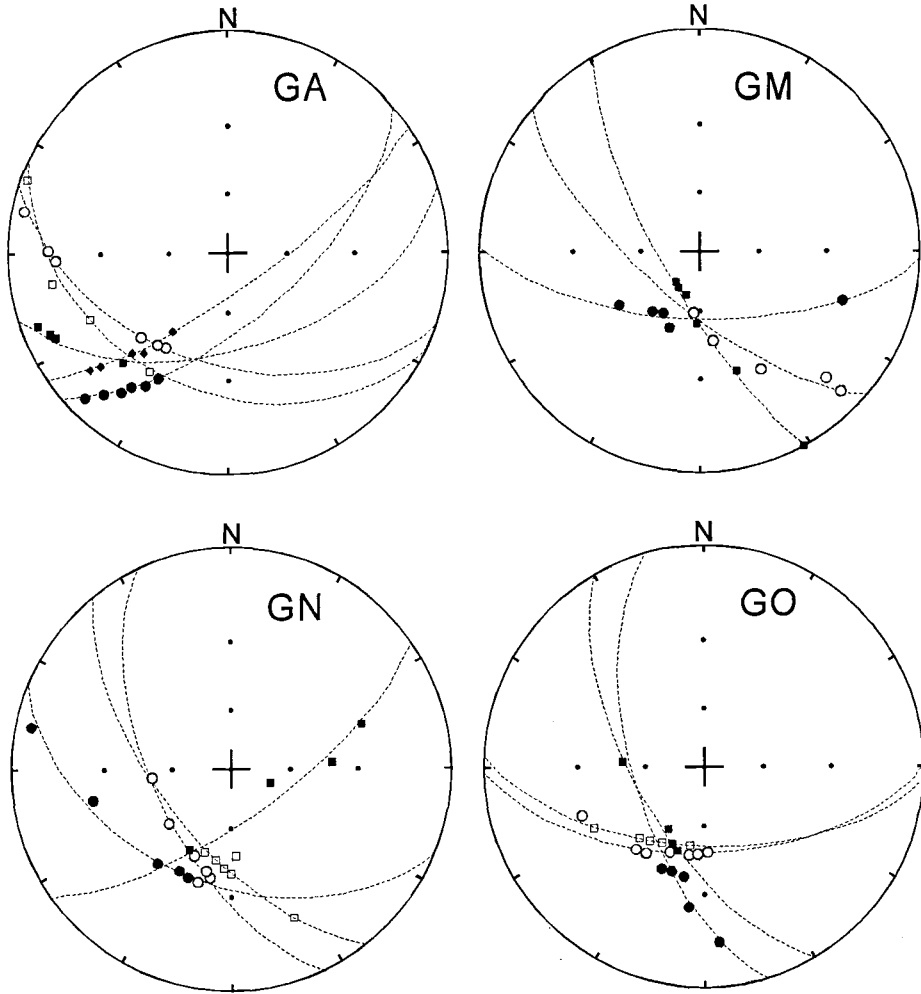
Fig. 4. Some samples did not yield a single ChRM component, but showed a great-circle trajectory of RM vector suggesting coexistence of normal and reversed remanent components. Left: Vector diagrams with the same conventions as in the previous figures. Right: Lower-hemispherical equal-angle projection in stratigraphic coordinates. Closed(open) symbols represent positive(negative) inclination.

### 고찰

#### 고자기학적 자북의 위치

이상과 같은 자기세척실험의 결과를 Table 2와 Fig. 6, 8에 종합하였다. Fig. 6 좌측의 등면적투영도는 지층경사 보정전의 특성잔류자기(ChRM) 방향을, 우측은 지층경사 보정후의 방향을 나타낸다. 이 그림은 연구지역 암석들이 정자화와 역자화를 함께 가지고 있으며 이들은 서로 반평행함을 보여준다. 후자는 세척결과가 양호

함을 대변하는 증거이다. 역자화된 자화벡터를 반전시킨 후 정자화와 함께 평균 자화방향을 구하면 지층경사 보정전에는  $d=26.0^\circ$ ,  $i=49.4^\circ$  ( $\alpha_{95}=8.2^\circ$ ,  $k=24.5$ ,  $n=14$  sites)이며 지층경사 보정후에는  $d=28.1^\circ$ ,  $i=54.2^\circ$  ( $\alpha_{95}=4.8^\circ$ ,  $k=70.6$ ,  $n=14$  sites)이다. 이 평균 자화 방향에 단계별 습곡검사를 실시하면 90~100%의 지층경사보정 상태에서 방향군집지수 값이 최대를 이룬다 (Fig. 7). 이때의 k값은 지층경사 보정전값의 2.88배에 달하여 통계학적으로 99%의 신뢰도로 습곡검사



**Fig. 5.** Intersection method of great-circle trajectories to get a mean ChRM direction. Lower-hemispherical equal-angle projections in geographic coordinates. Closed(open) symbols represent positive(negative) inclination. Note that the mean direction is antipolar to the stable-end-point directions in Figs. 2 and 3. Also note an increase of clustering through bedding-tilt corrections(Table 2 for numerical data).

(McElhinny, 1964)를 통과하는 것이다. 아울러 각 지층들의 지층경사 보정전의 자화방향이 현재 자기장의 방향과 상이한 점, 역자화검사를 통과하는 점 등을 볼 때, 상기의 평균 자화방향은 지층경사 이전인 퇴적 동시기 또는 그에 가까운 시기에 획득된 1차 잔류자기인 것으로 결론지을 수 있다. 이 평균 자화방향으로부터 산출한 고자기학적 자북의 위치(palaeomagnetic pole)는  $67.0^{\circ} \text{N}$ ,  $210.6^{\circ} \text{E}$ ,  $dp=4.7^{\circ}$ ,  $dm=6.7^{\circ}$  이다(Fig. 8).

Fig. 8에는 경상분지 여러 지역에서 선행 연구된 백악기의 평균 고자기학적 자북의 위치, 그리고 북중국지

괴와 남중국지괴, 유라시아대륙의 후기 백악기 고자기학적 자북의 위치를 본 연구결과와 함께 표시하였다. 그림에 나타난 바와 같이 본 연구지역 자북의 위치는 경상분지 다른 지역에서 얻어진 자북의 위치와 구별되지 않는다. 이는 연구지역이 경상분지의 다른 지역과 함께 지구조적으로 안정되어 있음을 뜻한다. 또 한가지 그림을 통해 드러나는 현상은 모든 자북의 위치들이 현 북극의 위치와 함께 본 연구지역을 중심으로 동일 각거리에 놓여 있다는 사실이다. 이는 본 연구지역을 포함하는 모든 지역들이 후기 백악기이후로부터 현재까지



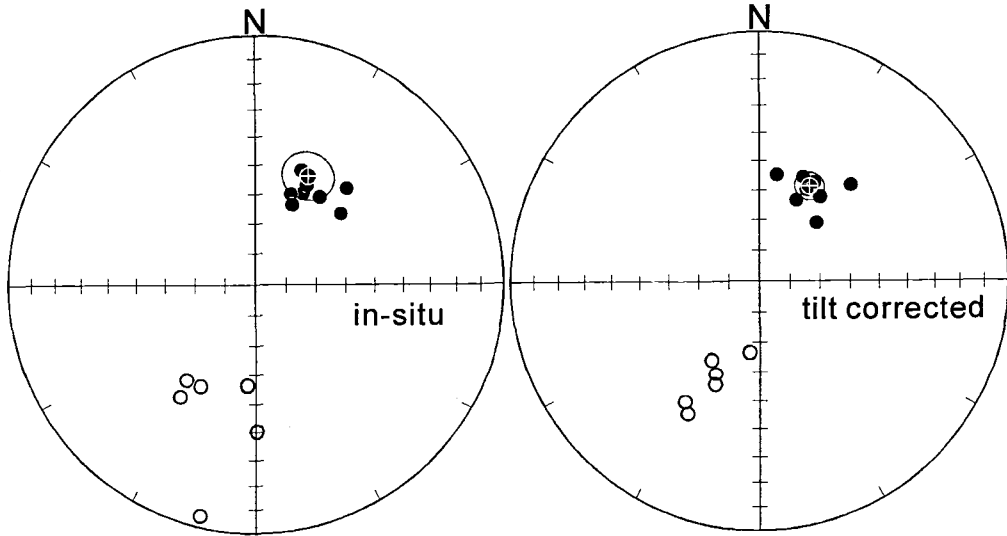


Fig. 6. Summary of the site-mean ChRM directions as listed in Table 2. Lower-hemispherical equal-area projections in geographic coordinates on the left side and in stratigraphic coordinates on the right side. Closed(open) symbols represent normal(reversed) magnetization.

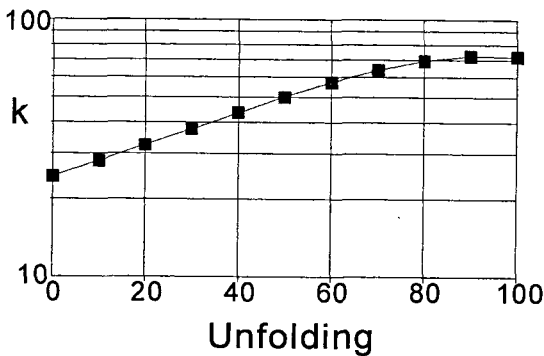


Fig. 7. Incremental fold test showing maximum value of Fisher's precision parameter(k) at 100% unfolding.

상대적인 위도 변위를 일으키지 않고 현재와 같은 위도대를 유지하여 왔음을 의미한다.

한편, 연구지역-경상분지 자북의 위치와 북중국-유라시아 그리고 남중국의 자북들의 위치는 서로 구분되어 보인다. 이는 본 연구지역(고성지역)과 중국대륙 그리고 유라시아간에 상대적인 지괴회전운동의 가능성을 시사하는 것으로 볼 수도 있다. 그러나 상대적 회전운동의 크기를 정량적, 통계학적으로 계산해 보면(Coe et al., 1985), 북중국, 남중국 그리고 유라시아에 대한 본

연구지역의 상대적 회전운동량은 각각 시계방향으로  $9.2^\circ \pm 7.0^\circ$ ,  $3.4^\circ \pm 10.2^\circ$ , 그리고  $9.9^\circ \pm 5.72^\circ$ 에 불과하다. 이 회전량은 그 크기 자체가 너무 작고 회전량에 비해 오차범위 또한 크다. 따라서 이들 지역간의 상대적 회전운동을 실질적으로 인정하기에는 현재로서는 무리가 있는 것으로 판단된다.

### 층서적 위치와 대비

장기홍(1982)에 의하면 백악기 유천층군의 지질시대 는 후기 Albian 내지 Cenomanian에 해당된다고 한다. 이 시기 동안에 지구자기장은 현재와 같은 정(正)의 상태를 오랜 동안(=Mesozoic Magnetic Quiet Zone: 120.5~83.5Ma) 유지하고 있었다(Gradstein et al., 1994). 따라서 이 시기의 암석들은 모두 정자화되어 있어야 할 것이다. 그러나 이번 연구에서 유천층군의 고 성층은 최소한 3번의 극성(polarity)변화를 보이는 것으로 나타났으며, 보다 상위의 안산암류와 용결응회암에 서도 정자화와 역자화가 함께 드러났다. 따라서 본 연구지역 유천층군 암석들의 층서적 위치는 하양층군과 유천층군의 경계인 후기 Albian에서부터 polarity chron 32r 내지 31r anomaly가 나타나는 초기 Maastrichtian에 대비되는 것으로 판단된다. 한편, 김광호 · 김두수

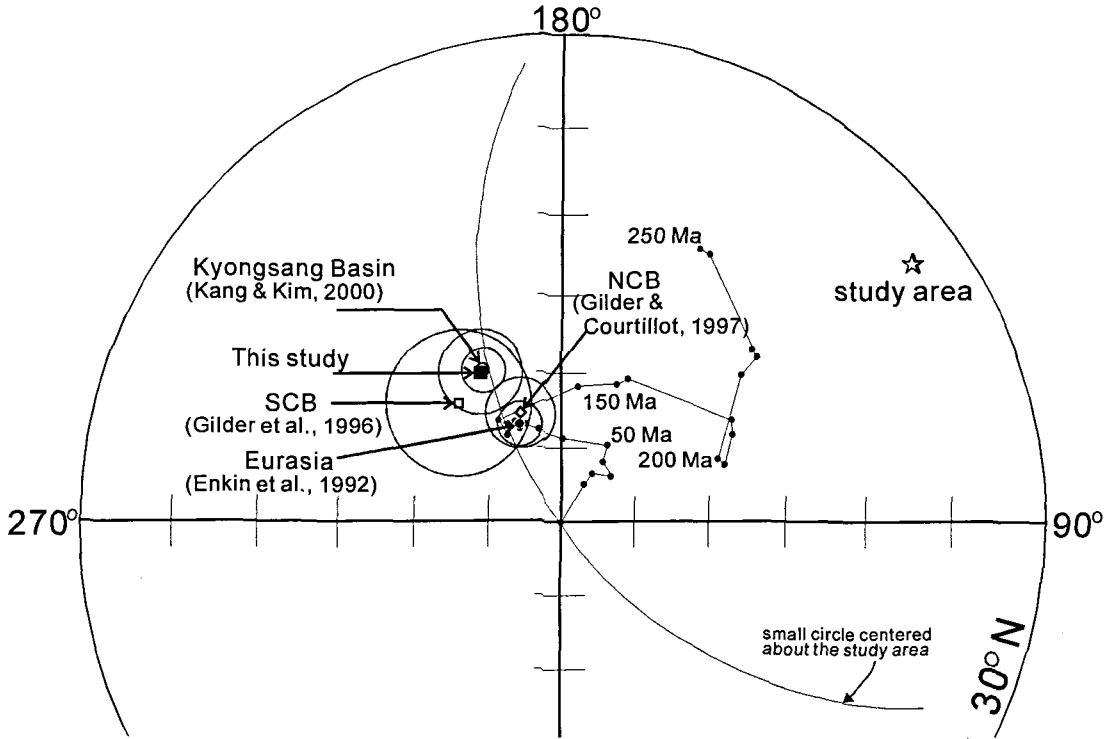


Fig. 8. Palaeomagnetic north-pole position of the study area in comparison with Late Cretaceous poles from other areas in the Kyongsang Basin, SCB and NCB. The reference APWP is after Halim *et al.* (1998) synthesized from Besse and Courtillot, (1991) and Enkin *et al.* (1992). The age interval is 10 Ma.

(1991)과 강희철 등(2000)은 밀양지괴 대구-경주일원의 유천층군 최하부 지층인 주사산층에 대한 자기층서 연구에서, 도성재 · 김광호(1994)은 의성지괴 의성일원 유천층군 암석에 대한 고자기 연구에서 이들 지층의 시기를 각각 32r-31과 33r-32 anomaly에 대비시켰다. 이는 이번의 연구결과와 일치되는 것이다. 차후 고성층 상부에 소규모로 협재된 안산암류 용암들에 대한 방사능 연대측정과 고성층 자체에 대한 보다 체계적인 자기층서학적 시료채취가 이루어진다면 지층연령이 더욱 명확히 정의될 수 있을 것이다.

한편, 장태우 등(1983a)은 암질의 유사성(적색층 및 화산기원물질 함유)에 입각하여 부산일원의 다대포층이 본 연구지역의 고성층에 대비될 것으로 생각하였다. 그러나 고성층은 경상퇴적분지 본체의 일부인 반면, 다대포층은 본체로부터 격리되어 분포하는 관계로 이 두 지층의 층서관계를 직접 대비하여 상기 가설을 검토해 보는 것이 불가능하다. 그러나 자기층서학적 견지에서

볼 때, 고성층에서는 여러 층군에서 역자화가 관찰되고 이를 관입 분출한 안산암류에도 역자화가 나타나는 반면 다대포층에서는 하부다대포층의 2개 시편에서만 역자화가 관찰(김인수, 1988)된 것으로 보아 두 지층이 시기적으로 상호 대비될 가능성은 작다고 생각된다. 즉, 고성층은 다대포층에 비해 보다 여러번의 지구자기장의 역전이 이루어진 시기에 퇴적된 것이다. 이를 뒷받침하듯, 다대포층을 관입·분출한 안산암류의 모든 시료들은 정자화를 나타낸 반면(김인수 · 강희철, 1991) 고성층 상위의 분출 안산암들은 모두 역자화 되어 있다(Table 2). 또한 고성층은 그 하위의 하양층군과 연속적 점이적으로 퇴적된 정합관계인 반면, 다대포층의 경우에는 하부에 안산암이 국부적인 부정합관계로 나타나는 것으로 알려지고 있어(이유대, 1975) 고성층과 다대포층이 시간층서적으로 상호 대비될 가능성은 매우 작다.

## 결론

1) 경남 고성지역 백악기 유천층군의 19개 시료장소(site)로부터 총 165개의 독립정향시료를 채취하여 단계적 교류 자기세척과 열 자기세척 실험을 실시하였다. 그 결과 14개 장소 95개의 시료로부터 서로 반평행(antiparallel, antipodal)을 이루는 정자화와 역자화의 특성잔류자기(ChRM)를 구하였다. 이들의 평균방향은 지층경사 보정전에는  $d=26.0^\circ$ ,  $i=49.4^\circ$ ,  $\alpha_{95}=8.2^\circ$ ,  $k=24.5$ ,  $n=14$ 이며 지층경사 보정후에는  $d=28.1^\circ$ ,  $i=54.2^\circ$ ,  $\alpha_{95}=4.8^\circ$ ,  $k=70.6$ ,  $n=14$ 이었다. 지층경사 보정으로  $k$ 값이 2.88배 증가하는 사실은 이 특성잔류자기가 99%의 신뢰도로 McElhinny의 습곡검사를 통과하는 습곡/경동 이전에 획득된 잔류자기임을 의미한다. 이 평균 잔류자기 방향으로부터 구한 고자기학적 자북의 위치(palaeomagnetic pole)는  $67.0^\circ\text{N}$ ,  $210.6^\circ\text{E}$ ,  $dp=4.7^\circ$ ,  $dm=6.7^\circ$ 이다.

2) 이 자북의 위치는 경상분지 다른 지역에서의 선행 연구 결과나 남, 북중국 및 유라시아의 후기 백악기 고자기학적 자북의 위치와 거의 같다. 따라서 본 연구지역을 포함하는 한반도가 백악기 이후 유라시아의 한 부분으로서 현재의 상대적 위치를 크게 벗어나지 않았으며, 위도변화운동이나 수평회전운동을 일으키지 않았음을 알 수 있다.

3) 연구대상 고성층에서는 최소한 3번의 극성(polarity)변화가 나타났으며, 그 상위의 안산암류와 용결응회암에서도 정자화와 역자화가 함께 나타나는 것으로 보아 이들의 연령은 하양층군과 유천층군의 경계인 후기 Albian에서부터 polarity chron 32r 내지 31r anomaly가 나타나는 초기 Maastrichtian에 대비되는 것으로 판단된다.

4) 고성층과 그 상위의 안산암에서는 여러차례의 역자화가 관찰되는 반면, 고성층에 대비될 것으로 추정해 온 부산지역의 다대포층에서는 하부 2개의 층군에서만 짧은 역자화가 나타나고 상위의 안산암은 정자화되어 있다. 따라서 고성층이 다대포층과 시간층서적으로 상호 대비될 가능성은 거의 없는 것이다.

## 참고문헌

강희철 · 김인수, 2000, 영남지역에 분포하는 전기 백악기 하

양층군에 대한 고자기 연구. 지질학회지, 36(1), 47-71  
 강희철 · 김인수 · 윤성효, 2000, 밀양소분지 북부 건천리 일원에 대한 고자기학적 연구. 지구물리, 3(1), 1-12.  
 김광호 · 김두수, 1991, 대구-경주 일대에 분포된 채약산층 건천리층 및 주사산층의 지자기층서. 지질학회지, 27(1), 40-51.  
 김인수, 1988, 부산지역 백악기 다대포층에 대한 고자기학적 연구: 그의 층서적, 지구조적 의의. 지질학회지, 24(3), 211-233.  
 김인수 · 강희철, 1991, 부산일원 백악기 유천층군 화산암류에 대한 고자기 연구. 광산지질, 24(2), 209.  
 김종환 · 김정택, 1963, 한국지질도 1:50,000 마산도폭 및 설명서. 한국동력자원연구소.  
 도성재 · 김광호, 1994, 의성지역에 분포하는 백악기지층에 대한 고자기 연구. 자원환경지질, 27(2), 263-279.  
 민경덕 · 이선희, 1979, 구면조화해석에 의한 한반도내의 지구 자기장의 분포에 관한 연구. 광산지질, 12(2), 95-104.  
 이유대, 1975, 부산 다대포층의 층서 및 퇴적. 부산대학교 논문집 자연과학편, 20, 91-104.  
 장기홍, 1977, 경상분지 상부중생계의 층서퇴적 및 지구조. 지질학회지, 13(2), 76-90.  
 장기홍, 1978, 경상분지의 층서, 퇴적 및 지구조(III). 지질학회지, 14(13), 120-135.  
 장기홍, 1982, 상부중생대층(백악계-경상누층군). 한국의 지질과 광물자원, 연세대학교 지질학과 동문회, 113-131.  
 장기홍 · 이유대 · 이영길 · 서승조 · 오규영 · 이창훈, 1984, 경상속 유천층군 기저의 부정합. 지질학회지, 20(1), 41-50.  
 장태우 · 강필중 · 박석환 · 황상구 · 이동우, 1983a, 한국지질도 1:50,000 부산 · 가덕도폭 및 설명서. 한국동력자원연구소.  
 장태우 · 황상구 · 이동우 · 오인섭 · 김학천 · 김의홍, 1983b, 한국지질도 1:50,000 충무도폭 및 설명서. 한국동력자원연구소.  
 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 200Ma. Journal of Geophysical Research, 96, 4029-4050.  
 Chang, K.H., 1975, Cretaceous stratigraphy of southeast Korea. Journal of the Geological Society of Korea, 11, 1-23.  
 Coe, R.S., Globeman, B.R., Plumley, P.W., and Thrupp, G.A., 1985, Paleomagnetic results from Alaska and their tectonic implications. In Howell, D. G. (ed.), Tectonostratigraphic terranes of the Circum-Pacific region. Circum-Pacific Council on Energy and Resources Earth Sciences Series No. 1, 85-108.

- Enkin, R.J., Yang, Z., Chen, Y., and Courtillot, V., 1992, Paleomagnetic constraints on the geodynamic history of the major blocks of China. *Journal of Geophysical Research*, 97, 13,953-13,989.
- Fisher, R.A., 1953, Dispersion on a sphere. *Proceedings of the Royal Society of London, Series A*, 217, 295-305.
- Gilder, S. and Courtillot, V., 1997, Timing of the North-South China collision from new middle to late Mesozoic paleomagnetic data from the North China Block. *Journal of Geophysical Research*, 102, 17,713-17,727.
- Gilder, S., Zhao, X., Coe, R., Meng, Z., Courtillot, V., and Besse, J., 1996, Paleomagnetism and tectonics of the northern Tarim Basin, northwestern China. *Journal of Geophysical Research*, 101, 22,015-22,031.
- Gradstein, F.M., Agterberg, F.P., Ogg, J.G., Hardenbol, J., Van Veen, P., Thierry, J., and Huang, Z., 1994, A Mesozoic time scale. *Journal of Geophysical Research*, 99, 24,051-24,074.
- Halim, N., Cogne, J.P., Chen, Y., Atasiei, R., Besse, J., Courtillot, V., Gilder, D., Marcoux, J., and Zhao, R.L., 1998, New Cretaceous and Early Tertiary paleomagnetic results from Xining-Lanzhou basin, Kunlun and Qiangtang blocks, China: Implications on the geodynamic evolution of Asia. *Journal of Geophysical Research*, 103, 21,025-21,045.
- Halls, H.C., 1976, A least-square method to find a remanence direction from converging remagnetization circles. *Geophysical Journal of the Royal astronomical Society*, 45, 297-304.
- Kirschvink, J.L., 1980, The least-squares line and plane and the analysis of palaeomagnetic data. *Geophysical Journal of the Royal astronomical Society*, 62, 699-718.
- McElhinny, M. W., 1964, Statistical significance of the fold test in palaeomagnetism. *Geophysical Journal of the Royal astronomical Society*, 8, 338-340.
- 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, 254-286.

---

2000년 9월 19일 원고 접수  
 2000년 11월 9일 수정원고 접수  
 2000년 12월 9일 원고 채택