

경북 고령지역에 분포하는 경상누층군의 관입암류에 의한 재자화작용에 관한 고지자기 연구

전영수* · 민경덕* · 이윤수* · 이영훈* · 이동영**

Paleomagnetic study of Remagnetization by a Dike in the Gyeongsang Supergroup

Young-Soo Jeon*, Kyung Duck Min*, Youn Soo Lee*, Young Hoon Lee* and Dong Young Lee**

ABSTRACT : Paleomagnetic study is carried out to investigate the possibility of remagnetization by dikes in the Cretaceous Gyeongsang Basin. We selected a site for a contact test as a preliminary study, and collected 41 core samples (7 from andesitic dike, 17 from sedimentary rock on the left side of dike and 17 from sedimentary rock on the right side). Magnetite was responsible for the remagnetization based on microscopic observation and demagnetization analysis. Although the increasement of magnetic susceptibility appears on both sides about 100 cm from the dike, the increment of NRM intensity was obtained from the specimens on the left side only. This is interpreted that the size of magnetite newly formed is dominated by superparamagnetic grains in the right side, but by larger than single-domain grains in the left. Reversed polarity component remagnetized by intrusion of dike was also found only for core samples from 116 cm left side of dike but absent from right side indicating the remagnetization by the dike depends on the geometric shape and width of the dike, which is supported by field observations. The content of epidote is well correlated with remagnetization, and indicates the hydrothermal alteration/metamorphism was activated by the intrusion. We concluded that the above evidences in this study further support thermally-activated chemical origin of the remagnetization with meager contribution of contact metamorphism, and that any significant evidence of regional-scaled remagnetization was not found in the study area.

서 언

백악기 경상분지내의 경상누층군의 조구조 및 지질시대 규명을 위한 고지자기 연구가 Otofujii *et al.* (1986), Lee *et al.* (1987), 김인수 (1988), 김광호, 김두수 (1991), 김인수 등 (1993a, 1993b), 도성재 등 (1994), 이윤수, 민경덕 (1995), Lee *et al.* (1997) 등에 의해 실시된 이래, 이들로 부터 구하여진 특성잔류자화 성분에 대한 재자화의 논란이 있어 왔다. 이는 본 연구지역의 동측에도 관입 및 분출 화산암류인 유천층군과 불국사 화강암류가 분포하고 있듯이, 경상분지에서는 퇴적 이후에 여러번에 걸친 화성활동이 인지되어, 화성암류에 의해 재자화된 잔류자화와 퇴적 당시에 획득한 1차자화의 방향을 구분하기가 그리 쉽지 않다.

최근의 국제적인 고지자기 연구는 그간의 축적된 자료 해석으로 이전에 알려지지 않았던 국부적인 지괴운동을 규명하고 보다 세밀한 지구조 해석을 제공하는 데에도 기여하고 있다. 이를 위해서는 고지자기 자료에 대한 가능한 여러 가지의 방법 (역압실험, 관입접촉실험, 습곡실험, consistency test, reliable qualification test, microscopic observation)을 통하여 확실한 1차자화만을 선택하여 해석하여야 한다.

본 연구에서 실시하는 관입접촉실험은 고지자기연구에 있어서 암석으로부터 구한 특성잔류자화가 일차자화임을 규명하기 위한 하나의 방법으로써, 이 방법을 적용하기 위해서는 관입암과 주변 모암의 특성잔류자화의 방향이 뚜렷이 구별되어야 하며, 이 둘의 형성시기가 비슷한 암석들을 대상으로 할 때에는 특성잔류자화들의 극성이 서로 달라야 한다는 제약을 갖는다.

최근 진행되고 있는 경상누층군의 자기층서에 관한 고지자기연구 (연세대와 경도대의 한일공동연구)에 따르면,

* 연세대학교 지구시스템과학과 (Department of Earth System Sciences, Yonsei University, Seoul 120-749, Korea)

** 한국자원연구소 (Korea Institute of Geology, Mining and Minerals, Taejon 305-350, Korea)

진주층과 칠곡층으로부터 구한 1차 특성잔류자화의 극성이 모두 정자극으로 이들의 형성연대가 백악기 정자극기 (KLNS, Cretaceous Long Normal Supercron; 124-84 Ma)의 일부에 해당한다는 것이 규명되고 있다.

본 연구에서는 특성잔류자화의 극성이 정자극을 나타내는 것으로 밝혀진 진주층 상부와 칠곡층을 관입하는 암맥을 대상으로, 일차적으로 특성잔류자화의 극성을 측정하여 역자화의 극성을 나타내는 것을 선정 한 후, 그 암맥과 주변암에 대해 관입접촉실험을 실시하고, 관입으로 인한 주변암의 재자화 및 자성광물의 화학적 변화를 규명하고자 한다. 또한 재자화된 암맥의 자화방향 변화와 이에 의한 퇴적암의 변질범위를 조사하고, 박편관찰을 통하여 이를 고찰하고자 한다.

지질개요

본 연구지역은 행정구역상으로 경상북도 고령군의 우곡면과 개진면 일대로서, 북위 35° 45' 00" ~ 35° 40' 00", 동

경 128° 20' 00" ~ 128° 25' 00" 사이에 위치한다.

본 연구지역에는 백악기의 경상누층군에 속하는 신동층군, 하양층군, 유천층군 (장기홍, 1975)이 분포하고 있으며 (Fig. 1), 동측에 신동층군의 최상부 지층인 진주층을 하양층군에 속하는 칠곡층, 신라역암층, 함안층이 차례로 피복하고 있다. 이들 육성 퇴적층들은 대략 단사습곡 구조를 이루고 있으며, 북북동 방향의 주향과 동남동 방향의 경사를 이루고 있다. 본 지역의 수계는 경상 누층군 내에 발달된 fracture cleavage에 기인하여 일반적으로 퇴적암층의 주향에 직각되는 방향으로 분포한다. 경상분지는 신동층군의 퇴적 직후 발달된 단층운동으로 3개의 소분지 (밀양, 의성 및 영양 소분지)로 구분된다 (Lee, 1987). 본 연구지역을 포함하는 밀양소분지는 대구-진주-부산 일원에 걸쳐 소분지중 가장 넓은 지역을 점하며, 활발한 지질층서적 연구가 진행되어 왔다.

진주층: 신동층군의 최상부를 이루는 층으로써, 하산동층을 정합적으로 피복하고 있고 주로 회색, 녹회색, 암회색의 사암과 흑색, 사질 셰일이 호층을 이루고 있으며, 하양

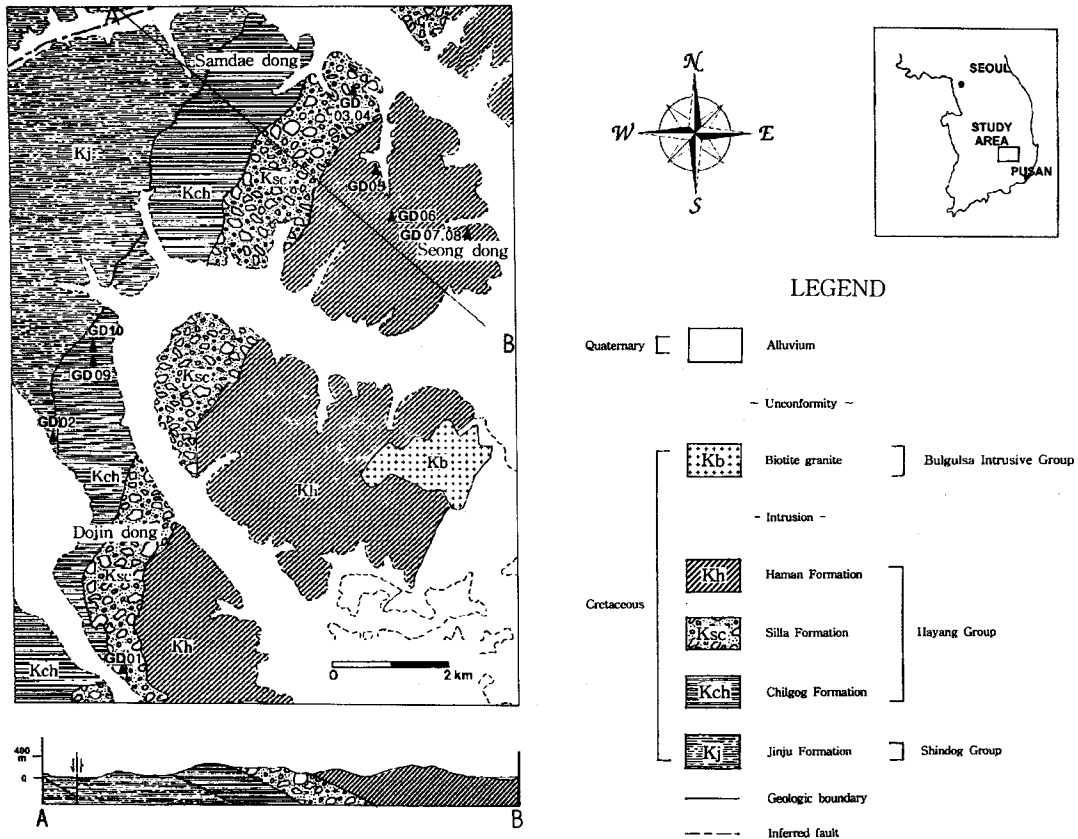


Fig. 1. Geologic map with sampling site of the study area.

층군의 칠곡층 최하부 적색 이암과 상부 경계를 이룬다. 층후는 1200 m이며, 층의 주향과 경사는 N24°~36°E/22°~29°SE이다.

칠곡층: 하양층군의 기저부를 이루고 진주층을 정합적으로 피복하고 있으며, 주로 적색 셰일, 이암, 사암 및 사질셰일과 녹회색, 암회색의 사암, 역암, 역사질암 등으로 구성된다. 본층 중부에 협재된 역암층은 역의 크기가 직경 5~7 cm 내외이며 원마도가 비교적 좋다. 층후는 약 450~500 m이며 층의 주향과 경사는 N20°~40°E/12°~26°SE이다.

신리역암층: 적색 및 갈회색의 역암, 사질사암, 사암, 이암, 사질셰일, 실트스톤 (siltstone)으로 구성되며 지층사이에 말 (marl)의 결핵체가 발견되고, 층후는 약 550 m이다. 비교적 세립질인 것이 특징이며, 역의 크기도 작은 편

이다. 역의 성분은 주로 산성에서 염기성의 화산암들이나 화강편마암이나 규암으로 구성된다.

함안층: 적색, 녹회색 및 암회색의 셰일, 이암, 사질셰일, 사암과 적색의 역질사암 등이 협재되어 있고, 진주층에 의하여 정합적으로 피복되며, 본 층의 상부에서 회색 또는 암회색의 셰일층에 간혹 적색의 셰일을 협재하는 것으로 구분된다. 본 층은 본 역 중부에서 증동부로 낙동강을 따라 나누어지고 층후는 타층에 비하여 비교적 두꺼운 편으로 약 1300~1400 m이며, 층의 주향과 경사는 N20°~40°E/5°~25°SE 이다.

흑운모 화강암: 현풍산 재니산 부근에 암주상으로 관입한 흑운모화강암은 세립 내지 중립질로서 석영, 장석, 흑운모 등으로 구성되어 있으며, 그 중 장석은 현미경하에서 정장석과 사장석으로 되어 있고 알바이트, 칼스바드-알바이

Table 1. Paleomagnetic results from dikes of this study area.

site	Site		SN	NRM (A/m)	Dg/Ig	Mean	
	Long.	Lat.				Dm/Im	α_{95}/k
GD01	128° 22' 6"	35° 38' 39"	-1	2.5×10 ⁻³	344.3/57.6	345.3/32.6	56.2/5.9
			-2	3.4×10 ⁻³	339.4/52.1		
			-3	7.4×10 ⁻³	349.7/-7.1		
GD02	128° 20' 20"	35° 40' 49"	-p2	2.82×10 ⁻²	121.1/-10.1	213.2/-53.5	29.6/4.0
			-p3	6.05×10 ⁻¹	200/-30		
			-p4	8.42×10 ⁻²	45.3/50.2		
GD03	128° 23' 54"	35° 44' 10"	-1	4.31×10 ⁻²	261.7/-25.3	278.9/67	49.4/1.7
			-2	3.81×10 ⁻¹	160.1/-60.4		
			-3	2.73	359.7/59.6		
GD04	128° 23' 54"	35° 44' 10"	-1	5.78×10 ⁻¹	301.3/55.2	303.7/82.8	28.6/3.8
			-2	6.4×10 ⁻¹	11.6/63.7		
			-3	1.31×10 ⁻¹	142.5/25.4		
GD05	128° 24' 11"	35° 43' 21"	-1	4.56×10 ⁻²	341.3/57.9	347.8/64.4	13.1/89.9
			-2	1.08×10 ⁻²	349/61.9		
			-3	2.76×10 ⁻²	357.6/73.1		
GD06	128° 24' 26"	35° 42' 54"	-1	3.46	4.2/64.7	2.3/55.6	26.6/22.5
			-2	1.11	358.7/65.9		
			-3	8.26×10 ⁻²	3.2/35.7		
GD07	128° 25' 10"	35° 42' 43"	-1	5.86	138.4/-2.2	83.8/66.6	180/1.8
			-2	9.6×10 ⁻²	33.7/66.2		
			-3	1.52×10 ⁻¹	344.2/59.2		
GD08	128° 25' 10"	35° 42' 43"	-1	6.31×10 ⁻²	26.3/63.8	22.3/62.7	6.7/343.9
			-2	7.4×10 ⁻²	14.0/64.9		
			-3	1.32×10 ⁻¹	25.6/59.1		
GD09	128° 20' 50"	35° 41' 41"	-1	4.94×10 ⁻¹	167.4/-25.2	128.9/64.9	25.7/4.5
			-2	7.25×10 ⁻¹	233.8/61.3		
GD10	128° 20' 50"	35° 41' 46"	-1	5.53	6.6/73.6	348.9/74	19.3/41.8
			-2	1.15×10 ¹	359.6/64.1		
			-3	7.3	293.2/78.3		

SN; Sample No, Dg(Ds) and Ig(Is); declination and inclination in geographic (stratigraphic) coordinates, Dm/Im; site mean direction, α_{95} ; 95% confidence angle, k; Fisher's precision parameter.

트, 칼스바드 쌍정을 보여준다. 흑운모는 작은 집단으로 층층이 모여 있으며, 장식의 일부는 견운모화 되었다.

안산암맥: 본 암은 주로 흑녹색, 녹회색을 띠며 하양층군의 퇴적암류를 관입하고 있다. 개진면 성동리에 관입한 변질 안산암질 암맥은 N10°E에 수직하며 4~5 m 두께로 관입하였고 현미경 관찰시 사장석, 휘석 및 불투명 광물과 2차적 광물로는 사장석 내부를 치환하는 견운모와 공극사이를 충전한 방해석으로 구성되어 있다.

연구 방법

시료채취는 본 연구 대상 지역인 경상북도 고령군에 분포하고 있는 경상누층군의 퇴적암과 암맥중 가능한 한 신선하고 암석 생성당시의 본 암체로부터 이탈되지 않은 것을 선택하여 시료를 채취하였다. 본 연구에서는 3각팔 나침반과 휴대용 코아시추기를 이용하여 각각 정향 암석시료 및 정향 코아시료를 채취하였다.

본 연구지역에 분포하는 진주층과 칠곡층의 퇴적암류의 특성잔류자화가 공히 정자극의 극성을 갖고 퇴적과 동시기 혹은 직후에 얻어진 것으로 규명되어 (연세대와 경도대의 한일공동연구자들과의 의견 교환), 관입암류의 특성잔류자화의 극성의 뚜렷한 구별을 위하여 역자화의 극성을 나타내는 암맥을 선정하기 위한 2차례의 예비 연구를 실시하였다. 1차 예비 연구에서는 고령지역 10개소에서 50개의 정향시료를 채취하였다 (Fig. 1). 각 개소에 대한 시료채취 방법은 암맥내에서 3개, 좌우의 주변 퇴적암에서 각각 1개씩 채취하였는데, 각 개소에 대한 위치와 각 시료에 대한 편각, 복각, 자연잔류자화 (NRM)를 Table 1에 나타내었다. 1차 예비 연구결과 역자극의 극성을 갖거나 이에 가까운 4개 지역 (GD02, GD03, GD04, GD09)을 선정하였고 (Table 1), 2차 예비 연구에서는 선정된 4개소에서 168개의 정향시료를 채취하였다. 2차 예비 연

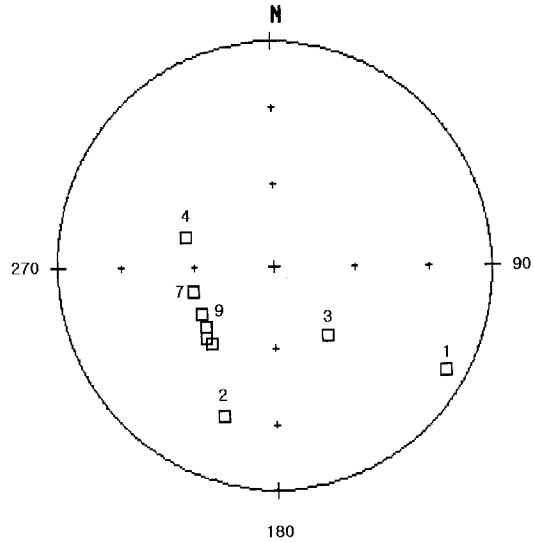


Fig. 2. Direction of remanent magnetization directions of the dikes in stratigraphic coordinates obtained from the site GD02. Number denotes the specimen number. All are projection on the upper (lower) hemisphere.

구결과 GD02 지역 암맥시료의 평균 잔류자화 방향이 가장 확실한 역자극을 나타내어 (Fig. 2), 이 지역을 본 연구의 대상 지역으로 최종 선정하였다.

GD02 지역에서 실시한 시료채취 방법은 폭 565 cm인 암맥을 중심으로 좌우로 934 cm 폭의 총 2430 cm의 노두 단면에서 정향시료가 면밀히 채취되었으며, 암맥내 (시료 GD02-1~GD02-7)에서 7개, 좌우 주변부 (각각 시료 2L1~2L17과 시료 2R1~2R17)에서 각각 17개씩 취하였으며, 암석시료 번호와 그 위치를 Table 2에 나타내었다.

소자실험 및 잔류자화의 측정

암석이 가지고 있는 자연 잔류자기는 암석 생성당시에

Table 2. Relative sampling positions in the site GD02.

SN	2L17	2L16	2L15	2L14	2L13	2L12	2L11	2L10	2L9
D	0 cm	214 cm	378 cm	502 cm	598 cm	670 cm	729 cm	778 cm	818 cm
SN	2L8	2L7	2L6	2L5	2L4	2L3	2L2	2L1	GD02-1
D	850 cm	875 cm	894 cm	908 cm	918 cm	925 cm	930 cm	934 cm	1084 cm
SN	GD02-2	GD02-3	GD02-4	GD02-5	GD02-6	GD02-7	2R1	2R2	2R3
D	1109 cm	1184 cm	1279 cm	1354 cm	1449 cm	1469 cm	1499 cm	1053 cm	1508 cm
SN	2R4	2R5	2R6	2R7	2R8	2R9	2R10	2R11	2R12
D	1515 cm	1525 cm	1539 cm	1558 cm	1583 cm	1615 cm	1655 cm	1704 cm	1763 cm
SN	2R13	2R14	2R15	2R16	2R17				
D	1837 cm	1931 cm	2055 cm	2219 cm	2433 cm				

SN; sample number, D; distance from the sample 2L17.

얻은 1차 잔류자화와 암석 생성 이후의 여러가지 물리, 화학적 작용에 의하여 획득된 2차 잔류자화의 백터합으로 나타난다. 본 연구에서는 암석이 생성될 당시의 지자기장의 방향 (1차 잔류자화성분)을 알아내기 위해서 채취 제작된 모든 시편에 대하여는 먼저 단계별 교류 소자실험 (Alternating field demagnetization)을 실시하여 2차 자화성분을 분리하였으며, 교류 소자 후에도 잔류자화 강도가

초기치의 10~20% 이상 남아있는 시료에 대해서는 열 소자 실험 (Thermal demagnetization)을 병행하여 실시하였다.

단계별 교류 소자실험은 시료의 3축 방향 (x, y, z)으로 교류자장을 작용시켜 자화성분을 조금씩 제거시키는 것이며, 0~20 mT 단계까지는 5 mT 씩, 그 후 20~80 mT 단계까지는 10~20 mT 씩 증가시키면서 실시하였다. 열 소자실험은 450~600°C까지는 50°C 씩, 그 후 660°C까지

Table 3. Paleomagnetic results from the site GD02.

Sample site	Weight (g)	NRM (A/M)	Mass suscep.	Dg	Ig	Ds	Is	Lithology
2L 17	19.5	1.57 E-3	1.48 E-07	359.2	56.8	27.2	62.2	Sandstone
2L 16	26.5	2.71 E-3	1.28 E-07	339.9	45.5	355.6	57.3	Sandstone
2L 15	29.3	1.03 E-3	9.72 E-08	17.3	47.0	36.1	48.3	Sandstone
2L 14	28.3	7.31 E-3	7.74 E-08	84.4	63.1	97.1	48.3	Sandstone
2L 12	26.2	6.53 E-3	9.11 E-08	331.5	68.6	22.4	79.2	Sandstone
2L 11	30.0	3.87 E-3	9.91 E-08	90.4	66.8	102.3	51.2	Sandstone
2L 10	30.5	3.22 E-3	1.11 E-07	42.4	51.4	60.5	45.4	Sandstone
2L 9	29.7	5.54 E-3	1.13 E-07	241.8	-45.0	253.3	-34.8	Sandstone
2L 8	28.8	3.37 E-2	9.96 E-08	264.9	-49.2	273.1	-34.8	Sandstone
2L 7	30.5	6.33 E-2	1.15 E-07	260.9	-52.6	270.9	-38.6	Sandstone
2L 6	30.2	5.33 E-2	1.03 E-07	268.6	-50.9	276.3	-35.9	Sandstone
2L 5	26.8	5.32 E-2	1.26 E-07	244.4	-46.3	255.9	-35.3	Sandstone
2L 4	25.2	6.31 E-2	2.10 E-07	263.5	-51.3	272.5	-36.9	Sandstone
2L 3	20.8	4.80 E-2	1.44 E-07	276.0	-43.0	280.6	-27.3	Sandstone
2L 2	24.2	5.63 E-2	1.46 E-07	230.3	-40.4	241.9	-33.1	Sandstone
2L 1	26.1	5.32 E-2	2.01 E-07	231.1	-51.6	247.6	-43.4	Sandstone
2D 1	27.7	7.64 E-3	2.14 E-07	160.9	-54.0			Andesitic
2D 2	29.6	9.38 E-3	1.78 E-07	273.2	-54.0			Andesitic
2D 3	26.3	8.19 E-3	1.96 E-07	221.3	-59.8			Andesitic
2D 4	28.3	7.88 E-3	2.17 E-07	237.3	-54.3			Andesitic
2D 5	28.3	7.33 E-3	1.86 E-07	238.7	-54.7			Andesitic
2D 6	28.2	7.26 E-3	1.78 E-07	226.5	-52.4			Andesitic
2D 7	29.9	6.80 E-3	1.81 E-07	222.9	-53.4			Andesitic
2R 1	21.7	2.86 E-3	9.26 E-07	299.8	66.6	304.0	77.5	Sandstone
2R 2	27.2	1.01 E-2	1.25 E-07	57.7	56.3	68.8	49.2	Sandstone
2R 3	29.5	6.95 E-3	1.02 E-07	36.2	58.0	51.5	54.0	Sandstone
2R 4	27.9	1.02 E-2	1.34 E-07	77.8	49.7	83.7	40.4	Sandstone
2R 5	29.4	7.71 E-3	1.32 E-07	83.5	47.6	88.1	37.8	Sandstone
2R 6	24.8	1.51 E-2	1.57 E-07	355.2	64.6	19.4	67.7	Sandstone
2R 7	26.8	1.14 E-2	1.21 E-07	31.4	51.5	44.2	48.6	Sandstone
2R 8	29.7	1.00 E-2	7.54 E-07	37.6	57.2	52.3	53.0	Sandstone
2R 9	27.5	1.20 E-2	8.58 E-08	100.6	48.5	102.6	37.8	Sandstone
2R 10	22.9	7.54 E-3	8.78 E-08	101.3	40.4	102.8	29.6	Sandstone
2R 11	26.7	1.46 E-2	7.96 E-08	3.3	58.0	21.4	60.0	Sandstone
2R 12	26.6	7.21 E-3	8.03 E-08	55.4	60.6	68.7	53.6	Sandstone
2R 13	26.6	8.57 E-3	8.97 E-08	80.3	53.3	86.5	43.7	Sandstone
2R 14	27.7	1.50 E-2	9.48 E-08	85.1	46.2	89.3	36.3	Sandstone
2R 16	26.4	1.13 E-2	1.14 E-07	63.9	51.8	72.5	43.9	Sandstone
2R 17	27.7	2.99 E-3	1.04 E-07	97.7	53.9	100.7	43.2	Sandstone

Susceptibility; The ratio of the induced magnetization to the strength (H) of the magnetic field causing the magnetization, Dg (Ds) and Ig (Is); declination and inclination in geographic (stratigraphic) coordinates.

는 30°C 씩 높여가면서 실시한 후, 각 단계마다 잔류자화를 측정하였다.

고지자기 자료처리는 Vector diagram (Zijderveld, 1967) 상에 나타나는 방향변화를 주성분 분석법 (Principle component analysis)을 이용하여 일직선상에 나타나는 최소한 3점 혹은 그 이상의 점들로부터 각 방향성분을 추출하였다.

본 연구의 소자실험 및 자연 잔류자기의 측정은 한국자원연구소와 고려대학교에서 실시하였으며, 잔류자기는 Shonstedt사와 Molspin사의 Spinner magnetometer를 사용하여 측정하였으며, 소자는 Molspin사의 교류소자기 및 Shonstedt사의 열소자기를 이용하였다.

연구 결과 및 해석

채취시료의 초기 잔류자화와 대자율값의 이상

이상과 같은 방법으로 측정된 평균편각 및 평균복각, 대자율, 잔류자화의 강도는 Table 3에 나타내었으며, 시료위치에 따른 초기 잔류 자화강도 및 중량 대자율 분포는 각각 Fig. 3과 Fig. 4에 도시하였다.

퇴적암내에 암맥 (시료 GD02-1~GD02-7, 3.22×10^{-3} ~ 2.71×10^{-2} (A/m))의 관입에 의한 자화 강도는 Fig. 3에 잘 나타나듯이, 암맥 좌측의 관입 주변부 (시료 2L1~2L8)가 3.28×10^{-2} ~ 6.33×10^{-2} (A/m)로써, 나머지 좌측

부와 우측부의 각각 6.80 ~ 9.38×10^{-3} (A/m) 및 2.86×10^{-3} ~ 1.5×10^{-2} (A/m)보다 계통적으로 높게 나타나며, 2L7~2L9에서 각각 6.33×10^{-2} (A/m), 3.28×10^{-2} (A/m), 4.36×10^{-3} (A/m)으로 그 크기가 급격히 줄어드는 것을 관찰할 수 있다. 이는 퇴적암 시료 2L1~2L8의 부분이 관입암의 열변성작용에 의해 강한 잔류자화를 갖는 새로운 강자성광물이 결정되었음을 시사해 주며, 그 자성광물은 교류소자 실험분석 결과 자철석으로 확인되었다.

한편 퇴적암내에 암맥 (시료 GD02-1~GD02-7, 1.78 ~ 2.17×10^{-7} (SI))의 관입에 의한 중량 대자율 값의 분포 (Fig. 4)는 관입 좌우측 (각각, 시료 2L1~2L9, 9.96×10^{-8} ~ 2.10×10^{-7} (SI)) 및 시료 2R1~2R7, 9.26×10^{-8} ~ 1.57×10^{-7} (SI))에서 비교적 높은 분포를 보이고, 시료 2L9~2L17과 시료 2R8~2R17은 각각 7.44×10^{-8} ~ 1.48×10^{-7} (SI), 7.54 ~ 10^{-8} ~ 1.14×10^{-7} (SI)의 완만한 분포를 나타낸다. 이는 암맥의 좌우측 접촉부에 새로운 자성광물 (현미경 분석 결과 자철석으로 확인됨)이 형성되었음을 시사하여 준다. 즉 자철석은 적철석의 자화강도나 대자율값보다 수백배 정도 크기 때문에, 소량의 자철석이 새로 결정되었다 하더라도 자화강도와 대자율 값의 증가를 초래할 수 있으며, 이에 대한 더욱 구체적인 증거는 현미경 관찰에서 제시될 것이다.

Fig. 3과 Fig. 4의 결과를 종합하면, 대자율 값은 암맥의 좌우측 접촉부에서 대칭적으로 높게 나타나는데 반하여,

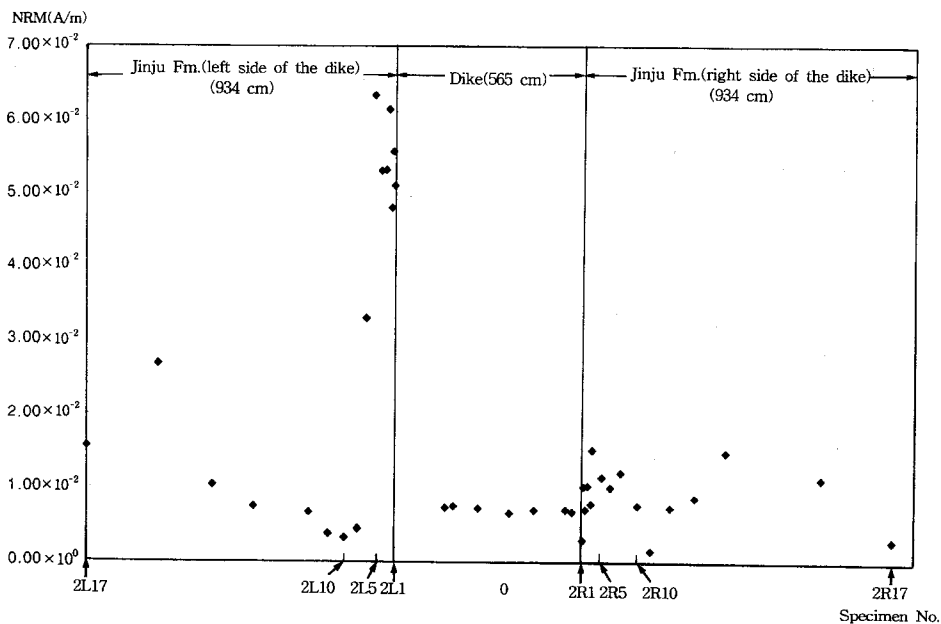


Fig. 3. NRM intensity vs. sampling position in the site of GD02. See text for further explanation.

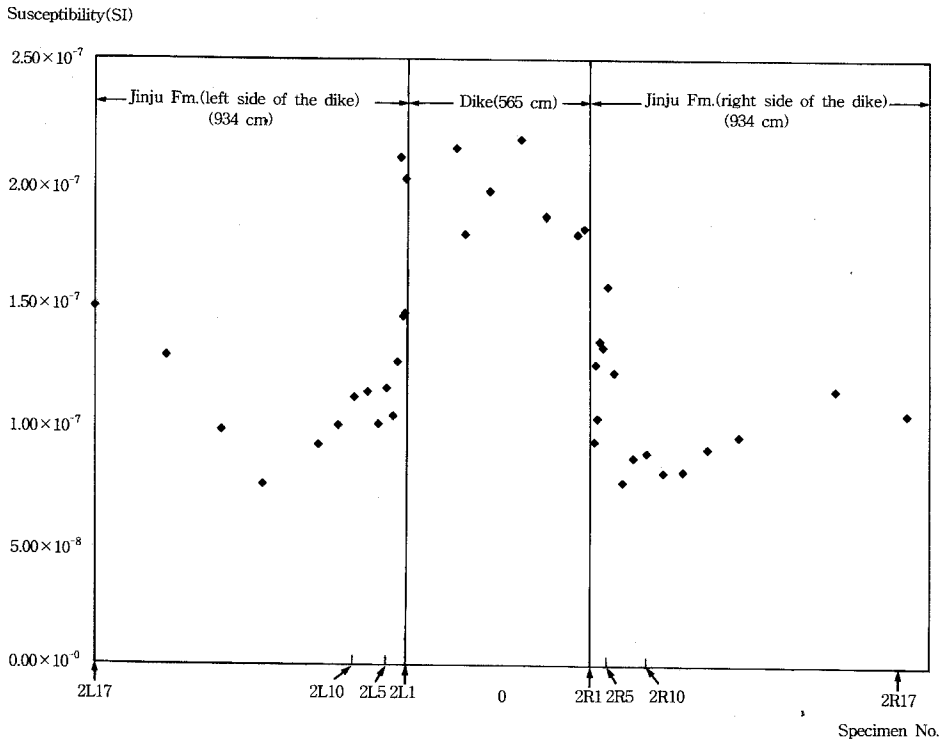


Fig. 4. Susceptibility vs. sampling position in the site of GD02. See text for further explanation.

초기자화강도는 암맥의 좌측 접촉부에서만 높게 나타날 뿐 우측 접촉부에서는 주변암과 그다지 다르지 않는 비대칭을 보인다. 이는 암맥의 관입시 좌우측 접촉부에 공허새로이 자철석이 형성되었지만, 좌측 접촉부에는 잔류자화를 가질 수 있는 단자구 이상의 크기의 자철석이 존재하지만, 우측 접촉부에는 잔류자화를 가질 수 없는 작은 크기의 초상자성 크기의 것일 가능성을 시사한다.

잔류자화의 강도 분포가 암맥을 중심으로 대칭적으로 나타나지 않는 원인은 아마도 Fig. 5에서 보이듯이 암맥의 특이한 관입 형태에 기인하는 것으로 사료된다. 즉 연구지역 (GD02)에 노출된 암맥 우측부의 경계면은 주변사암을 거의 수직으로 관입하고 있으나, 좌측부의 경계면은 계단 형태로 노출되어, 암맥의 두께는 노두 하부에서 두텁고 상부로 가면서 좁게 나타나며, 사진상으로는 보이지 않지만 좌측 도로 밑으로는 계단형태로 더 두터워지는 것으로 사료된다. 이처럼 비대칭으로 관입한 암맥의 형태에 의하여 좌,우 주변부의 측정결과가 상이하게 나타나는 것은 위로 전도되는 열의 특성상 계단형태로 관입한 좌측부가 거의 수직으로 관입한 우측부보다 열과 접촉되는 면적이 많아 열수변질대를 많이 형성하여 좌측접촉부 (시료 2L1~2L9)에 더 많은 영향을 주었기 때문일 것이다.

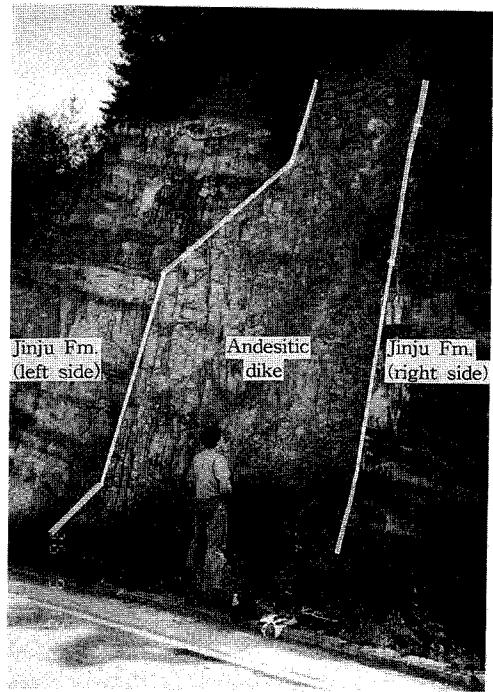


Fig. 5. Outcrop Photograph of the site GD02 in the Jinju Fm. Showing geomorphic feature of the andesitic dike.

한편, 관입암맥에서 약 600 cm 떨어진 시료 2L15~2L17, 시료 2R14 및 시료 2R16에서도, 잔류자화강도 (Fig. 3)와 대자율 (Fig. 4)값의 이상이 소규모로 관찰되는데, 이는 비록 노두에서는 잘 관찰되지 않지만 세맥이나 절리 등을 따라 열수 등이 퇴적암에 작용하여 비록 소량이지만 새로운 자철석이 결정되었을 가능성때문인 것으로 사료된다.

Fig. 6은 GD02-3 (암맥시료)에 대한 단계별 교류 소자 실험의 결과로써 0 mT에서 80 mT까지 단계별 교류 소자 실험을 실시한 것이다. Fig. 6a는 각 소자 단계별 수평 성분과 수직성분의 강도를 각각 x-y plane (검은 사각형)과 x-z plane (흰 사각형)상에 도시한 것이다. 본 vector diagram에서 나타나듯이, 본 시료에서는 10 mT 이하에서 저 항자력 성분이 전부 소자되고, 20 mT 이상에서 한 방향의 특성 잔류자화 성분이 검출된다. 특성 잔류자화 성분은 20~60 mT에서 비교적 안정한 자화 거동을 보이며, 저 항자력 성분은 오랜 시간 지구자기장 혹은 실험실내의

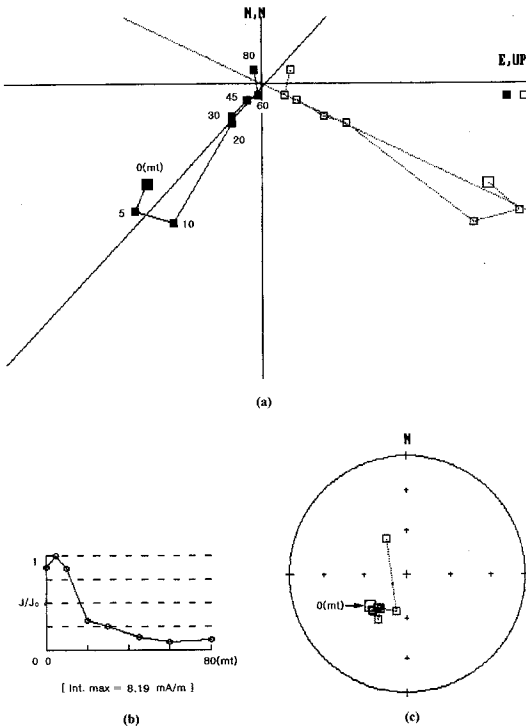


Fig. 6. Paleomagnetic results from andesitic dike (specimen No. GD02-3); (a) Zijderveld demagnetograms of alternating field demagnetization of NRM (Open (solid) squares and dotted (solid) lines represent vector points and principal component lines of vertical (horizontal) components, respectively.), (b) normalized intensity diagram, and (c) stereographic projections in stratigraphic coordinates with open (solid) squares denoting projection on the upper (lower) hemisphere.

자기장에 노출되면서 획득된 점성잔류자화일 것으로 사료된다. Fig. 6b는 표품시료 GD02-3에 대하여 측정된 초기 잔류 자화강도 (J_0)에 대한 교류 소자후의 잔류 자화강도 (J)의 비를 각 소자 단계별로 나타낸 것이다. 잔류자화는 60 mT에서 초기값의 90% 이상 소자되며, 이러한 거동은 본 특성 잔류자화를 담당하는 광물 성분이 항자력이 약한 자철석으로 사료된다. Fig. 6c는 같은 시료에 대한 소자 단계별 편각 D와 복각 I의 방향변화 (경사보정 후)를 equal area net에 도시한 것으로서, 편각은 N을 기준으로 시계방향으로 0°, 90°, 180°, 270°를 나타내며, 복각은 가장 외부의 원으로부터 중심으로 0°, 30°, 60°, 90°를 나타낸다. 본 시료에 대한 자화방향은 $D_g=221.3^\circ$, $I_g=-59.8^\circ$ 을 나타낸다.

Fig. 7은 암맥내 우측부에 위치한 GD02-6에 대한 단계별 교류소자실험의 결과로써 0 mT에서 80 mT까지 단계별 교류소자실험을 실시한 것이다. 5 mT 미만에서 점성 잔류자화 (Viscous remanent magnetization)로 추정되는 저항자력성분이 제거된 후, 소자단계가 증가함에 따라 직교소자도상에서 원점을 향하는 단일성분의 특성 잔류

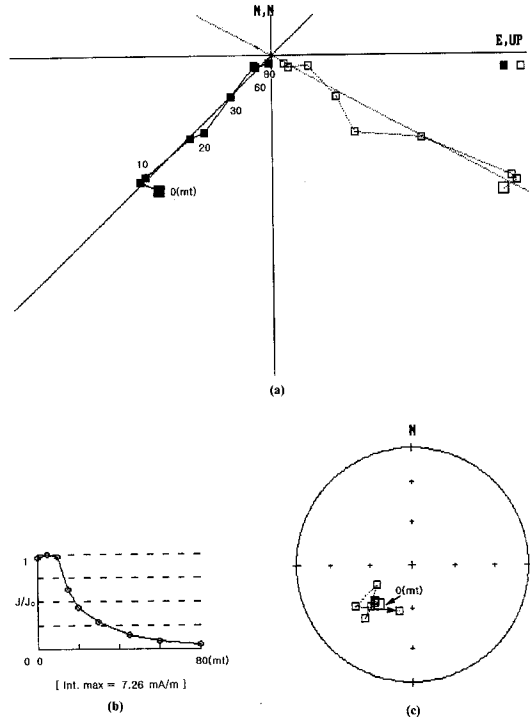


Fig. 7. Paleomagnetic results from andesitic dike (specimen No. GD02-6); (a) Zijderveld demagnetograms of alternating field demagnetization of NRM, (b) normalized intensity diagram, and (c) stereographic projections in stratigraphic coordinates. See Fig. 6 for symbols.

자화 성분이 분리된다. Fig. 7b는 10~15 mT 소자단계에서 자화강도가 급격히 줄어들고 60 mT에서 초기값의 90% 이상 소자됨을 보여준다.

Fig. 8은 암맥의 좌측 접촉부에 위치하며 초기 NRM이 높았던 2L2에 대한 교류소자 결과로써 편각, 복각이 안산 암맥의 그것들과 같은 극성을 보이며, 이는 본 퇴적암 시료내의 특성 잔류자화가 암맥의 관입시 획득되었다는 가능성을 시사한다. vector diagram상에 나타나는 방향변화를 보면 15 mT까지 자화강도 및 방향이 감소하지 않고, 그 이후 80 mT까지 원점을 향하면서 한 방향의 특성 잔류자화 성분이 나타난다. 80 mT에서 초기 잔류자화값의 90% 이상 교류자화성분이 쉽게 소자되는 것으로 미루어 자철석이 주자성광물로 사료되며, 등면적도에 도시하면 $D_s=230.3^\circ$, $I_s=-40.4^\circ$ 로써 소자단계에 관계없이 자화 방향이 한 점에 집중되는 분포를 보이고 있다.

Fig. 9은 좌측 끝부분 2L17에 대한 소자실험 결과로써 Figs. 6, 7, 8의 vector diagram과는 편각 및 복각이 반대 방향을 나타낸다. 이는 경상누층군의 진주층, 칠곡층에 나타나는 전형적인 특성 잔류자화 방향으로써(Lee *et al.*,

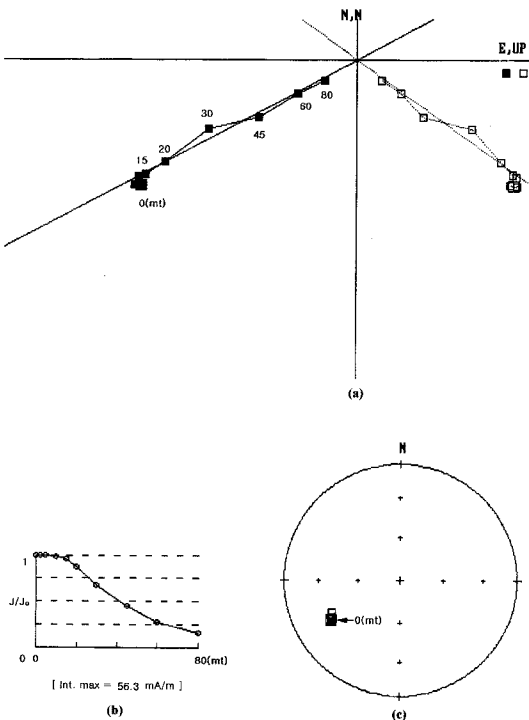


Fig. 8. Paleomagnetic results from the Jinju Fm (specimen No. 2L2); (a) Zijderveld demagnetograms of alternating field demagnetization of NRM, (b) normalized intensity diagram, and (c) stereographic projections in stratigraphic coordinates. See Fig. 6 for symbols.

1997), 역자극의 극성을 갖는 암맥에 의한 재자화의 영향을 받지 않았음을 지시해 준다. 5 mT에서부터 원점을 향하는 잔류자화는 80 mT에서 초기값의 90% 이상 소자되어 나타난다.

Fig. 10은 암맥의 우측 접촉부에 위치한 2R2의 해석 결과로써 Fig. 9과 같은 형태의 소자 거동을 보이며, 5 mT에서부터 원점을 향하는 특성 잔류자기 성분을 나타낸다. 잔류자화는 80 mT에서 초기값의 80% 이상 소자되며, 주로 항자력이 약한 자철석이 기여하고 있음을 시사한다. 이를 등면적도에 도시하면 (Fig. 10c) $D_s=68.8^\circ$, $I_s=49.2^\circ$ 의 방향을 보인다.

Fig. 11는 우측 거의 끝지점에서 채취된 2R16의 해석 결과로써 Figs. 9, 10과 같은 형태의 소자 거동을 보여주며 초기 잔류자화부터 원점을 향하는 특성 잔류자화를 나타내고 있다. 이 시료는 80 mT까지 교류 소자 후에도 초기 NRM의 30% 이상 남아있었기 때문에 500~660°C 까지 열 소자를 실시하였으며, 660°C까지도 20% 가까이 남아 있는 것으로 보아 본 특성 잔류자화를 이루는 자성 광물은 blocking temperature가 660°C 이상인 적철석

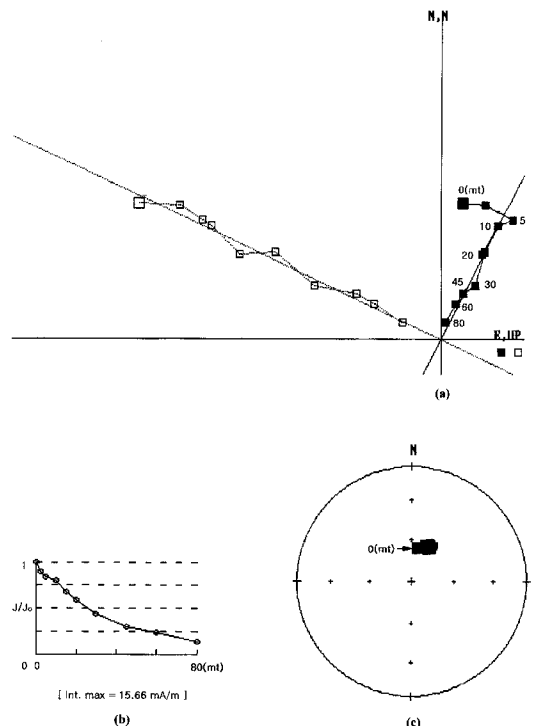


Fig. 9. Paleomagnetic results from the Jinju Fm (specimen No. 2L17); (a) Zijderveld demagnetograms of alternating field demagnetization of NRM, (b) normalized intensity diagram, and (c) stereographic projections in stratigraphic coordinates. See Fig. 6 for symbols.

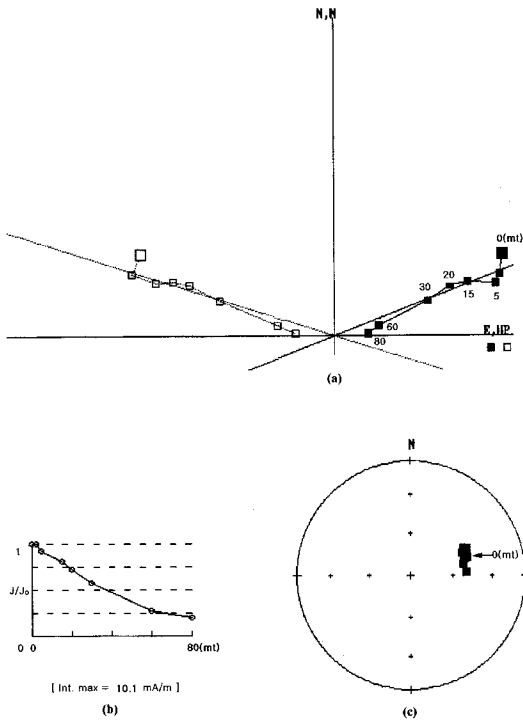


Fig. 10. Paleomagnetic results from the Jinju Fm (specimen No. 2R2); (a) Zijderveld demagnetograms of alternating field demagnetization of NRM, (b) normalized intensity diagram, and (c) stereographic projections in stratigraphic coordinates. See Fig. 6 for symbols.

(hematite)임을 지시한다.

현미경 관찰결과

암석시료내에 존재하는 자성광물과 암맥의 영향으로 재자화된 부분을 확인하고 규명하기 위하여, 신동충균의 진주층을 포함하는 주변 퇴적암과 이를 관입한 안산암맥에서 모두 40개의 시료를 선정하고 박편을 제작하여 편광현미경 관찰 및 전자 현미경 관찰을 수행하였다.

진주층의 퇴적암은 주로 석영, 사장석, 암편으로 구성되어 있고 2차적으로 방해석과 녹염석이 나타난다. 주 구성 입자의 크기가 다양하며 angular~subangular의 분포를 보이고 분급이 불량하다. 관입한 안산암맥은 주로 사장석의 석기로 이루어져 있고 침상조직을 나타내고 있으며, 자형의 자철석들이 상당량 관찰된다. lath형의 사장석의 양끝 부분은 거칠고 큰 침상조직을 보이는 반면, 암맥 중심부로 갈수록 작고 촘촘한 형태를 보인다. Fig. 12a는 안산암맥 시료 GD02-3에 대한 전자현미경 사진으로써, 사장석내에 결정된 자형의 자철석이 관찰되는데 이는 본 시

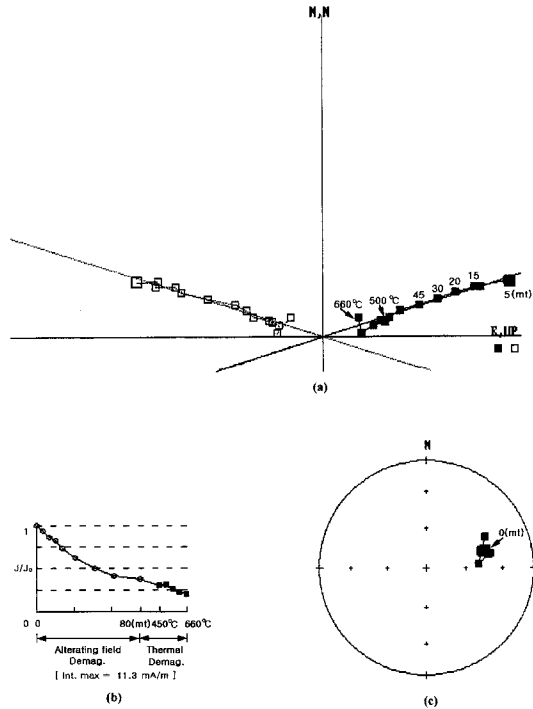


Fig. 11. Paleomagnetic results from the Jinju Fm (specimen No. 2R16); (a) Zijderveld demagnetograms combination of alternating field and thermal demagnetization of NRM, (b) normalized intensity diagram, and (c) stereographic projections in stratigraphic coordinates. See Fig. 6 for symbols.

료의 교류소자시 밝혀진 자성광물 분석결과와 일치한다. Fig. 12b는 관입에 의한 재자화가 나타난 퇴적암시료 2L2에 대한 전자현미경 사진으로써 공극 내에 1 μm 내외의 자형을 갖는 자철석들이 이차적으로 형성되어 있음을 보여준다.

Fig. 13a는 같은 시료 2L2에 대한 공극내 비정질의 철산화물내의 결정인 자철석에 대한 전자현미경 사진이고, Fig. 13b는 암맥에 의한 재자화를 받지 않은 시료 2L14에 대한 전자현미경 사진으로써 angular에서 subangular의 쇄설성 적철석이 관찰되는데 본시료에 대한 열소자 결과도 이를 입증한다.

Fig. 14a,b는 관입에 의한 재자화가 나타난 퇴적암 시료 2L1에 대한 편광현미경 사진으로써 녹염석 (epidote)이 상당히 많고 일정한 방향성을 보인다. 석영 입자의 크기는 0.1~0.5 mm 정도이고 subangular~round한 분포를 보이며, 자형의 자철석 결정들이 관찰된다. 안산암맥에 의해 좌측부 퇴적암에서 나타나는 역자화 성분은 현미경 관찰결과 비 쇄설성 기원의 다량의 자형의 자철석들이 발견되는 것으로 보아 (Fig. 12b), 이는 자철석이 관입에 의해

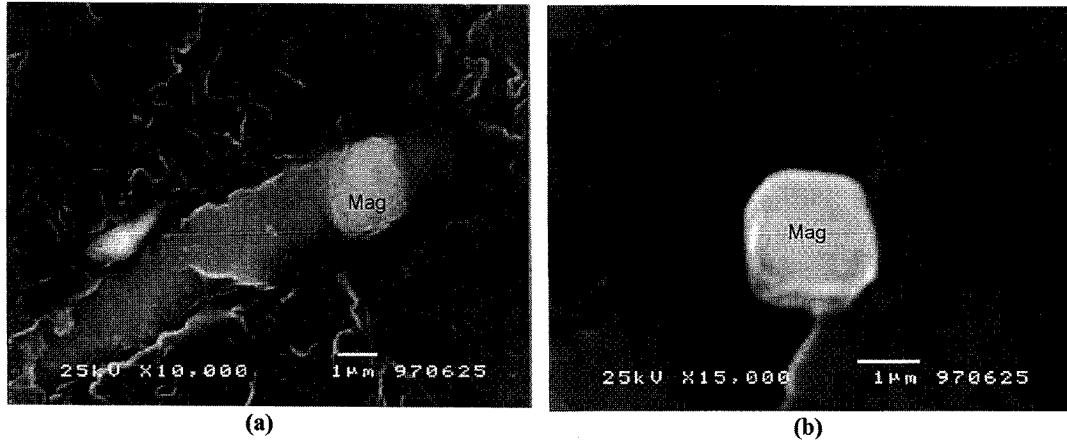


Fig. 12. SEM Photomicrograph of (a) andesitic dike of sample No. GD02-3 and (b) sandstone of sample No. 2L2.



Fig. 13. SEM Photomicrographs of (a) sandstone of sample No. 2L2 and (b) sandstone of sample No. 2L14.

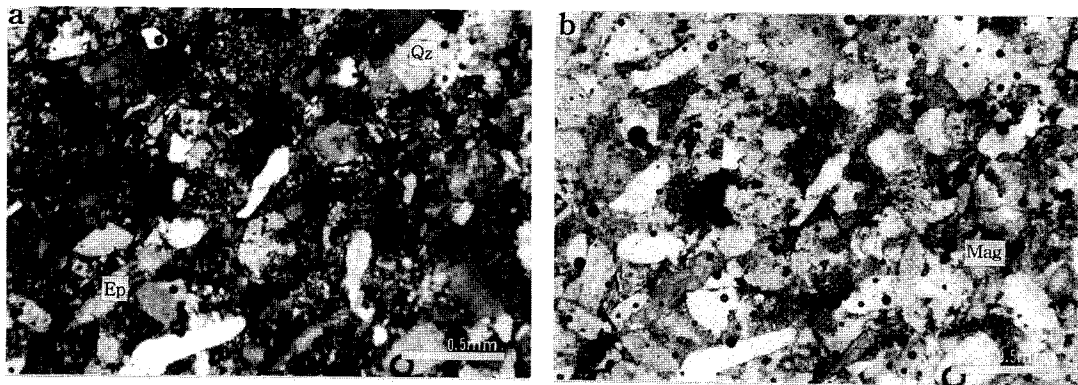


Fig. 14. Thin-section view of sandstone of sample No. 2L1 under the (a) open and (b) cross nicols.

여 새로이 재결정되면서 관입 당시의 지자기의 극성(역자극) 방향으로 자화된 것으로 사료된다. 하지만, 본 현미경 관찰 결과 혼하지는 않지만 쇄설성 기원으로 사료되는 자철석도 발견되는데, 본 노두에서의 재자화가 자철석의 재

결정작용에 의해서만 획득된 것 이외에도, 암맥이 관입할 때 자철석의 큐리온도를 넘는 영역에서 획득된 재자화의 영향도 있었을 것으로 사료된다.

녹염석은 열수변성작용에 의해 흔히 발견되는 광물로

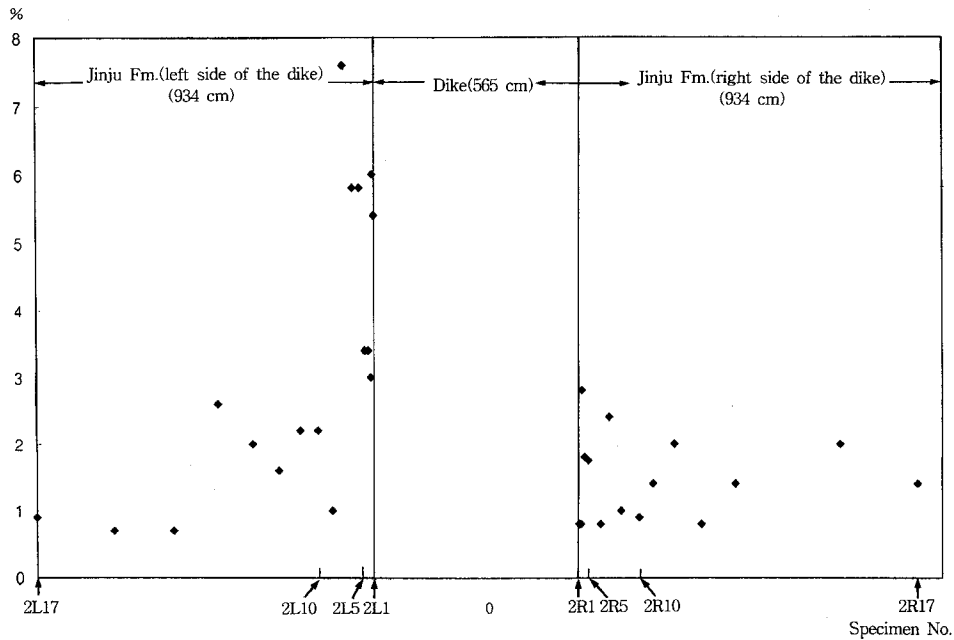


Fig. 15. The modal percentage of epidote vs. sampling positions in the site of GD02.

써, 본 역에서도 관입암맥의 주변 퇴적암내에 다량 발견되며, 모드분석 결과 2L1~2L8에서 3%~7.8%, 2L9~2L17에서 0.6%~2.2%, 2R1~2R17은 1%~2.6%의 분포를 보이며 (Fig. 15), 암맥에서 멀어질수록 그 분포도가 감소하여 재자화에 기인한 NRM의 강도변화 (Fig. 3)와 높은 상관관계를 갖는다.

토 의

특성잔류자화에 대한 역전실험

본 연구에서 구한 특성 잔류자화는 역자화성분을 나타내는 시료 2L1~2L9, 시료 GD02-1~GD02-7과 정자화성분 (Kn)을 나타내는 시료 2L10~2L17, 시료 2R1~2R17로 나눌 수 있다 (Table 3). 정자화성분 (Kn)은 지층경사보정 전 $Kn (D_g/I_g=51.5^\circ/62.3^\circ, \alpha_{95}=9.4, k=11.4)$ 이고, 경사보정 후 $Kn (D_s/I_s=69.3^\circ/55.2^\circ)$ 로써, 본 연구에서는 Kn 성분을 암석 생성 당시 획득한 1차 특성 잔류자화로 간주하였다. 한편 본 연구에서 구한 역자화성분 (Kr)은 관입암맥의 시료 GD02-1~GD02-7 및 관입암맥과 접촉변성을 받은 퇴적암의 시료 2L1~2L9에서 나타나며, 경사보정 전 $Kr (D_g/I_g=241.3^\circ/-52.7^\circ, \alpha_{95}=8.5, k=19.6)$ 이고, 경사보정 후 $Kr (D_s/I_s=256.0^\circ/-42.1^\circ, \alpha_{95}=8.5, k=19.6)$ 를 나타낸다.

이러한 방향들은 본 지역의 현재의 지심 지자기장의 방향 ($D=0^\circ, I=55.2^\circ$)과는 전혀 다른 극성과 방향을 나타내며, 이는 안산암맥의 관입 당시의 지구자기장은 지금과는 반대방향으로 되어 있었으며, 본 역자화성분 (Kr)은 암맥이 큐리온도 이하로 식으면서 획득된 열 잔류자화 혹은 열화학 잔류자화를 지시한다.

한편 경사누층군은 하부로부터 신동층군, 하양층군 및 유천층군으로 구분되며, 전자 두층군이 쇠설성 퇴적암으로 구성되어 있고 평행부정합의 관계를 보이는 것에 비하여; 후자는 주로 분출 및 관입 화산암층으로 구성되며, 하양층과의 부정합 관계도 평행부정합인지 혹은 경사부정합인지 분명치 않다. 만일, (1) 주변 퇴적암 (진주층)이 수평인 상태인 채 암맥이 관입하였다면, 역자화성분의 경사보정전의 방향 Kr (D_g/I_g)과 후의 방향 Kr (D_s/I_s)은 각각 정자화성분의 경사보정전의 방향 Kn (D_g/I_g)과 후의 방향 Kn (D_s/I_s)에 antipodal하게 일치할 것이고, (2) 주변 퇴적암층 (진주층)이 이미 경사진 후에 암맥이 관입했다면, 역자화성분의 경사보정전의 방향 Kr (D_g/I_g)만이 정자화성분의 경사보정 후의 방향 Kn (D_s/I_s)과 antipodal하게 일치할 것이다. 즉, 이러한 역전실험을 통하여 지층의 경동이 암맥의 관입 이전에 있었는지 혹은 이후에 있었는지를 유추해 볼 수 있다.

역전실험을 위하여, 역자화성분의 지층경사보정 전의 방향 Kr (D_g/I_g)과 경사보정 후의 방향 Kr (D_s/I_s)을 정

자화의 값으로 환원하면, 각각 Kr' ($D_g/I_g=61.3^\circ, 52.7^\circ$) 및 Kr' ($D_g/I_s=86.0^\circ/42.1^\circ$)로 나타낼 수 있다. 또한 Kn (D_g/I_s)와 Kr' (D_g/I_g)는 통계학적으로 95%의 신뢰 범위 내에서 서로의 신뢰타원이 평균값들을 포함하여 다르다는 증거를 보이지 않아, 암맥의 관입 이전에 이미 지층이 경사져 있었을 가능성을 시사한다.

하지만 비록 경사보정전인 역자극기가 경사보정된 정자극기의 값과 거의 일치하는 것은 암맥의 관입시기가 지층의 경동운동 후에 일어났을 가능성을 시사하지만, 두 평균값들은 수천년의 비선형적 주기를 갖는 지자기의 영년변화를 포함하지 못하기 때문에, 상기한 가능성은 아직 단정지를 수 있는 단계는 아니며, 장차 주변의 동시기의 암석들에 대한 보다 많은 고지자기 자료가 보고될 때 명확히 규명될 것이다.

재자화의 형성 기작

본 연구지역에 있어서 역자화를 나타내는 안산암맥은 주변 퇴적암을 좌측 접촉부로부터 116 cm까지를 재자화 시켰으며 Harland *et al.* (1990)의 지자기 층서표에 대비하여 보면, Santonian 이후에 관입한 역자극기 암맥으로 사료된다. 또한 퇴적암시료 (시료 2L10~2L17 및 2R1~2R17)로부터 구한 정자화성분 (Kn)과 함께 한 장소에서 두가지 극성이 함께 존재하는 것은 본 역에서 광역적인 재자화작용은 일어나지 않았다는 증거로서, 본 연구결과는 경상누층군 자기층서 연구에 중요한 초석이 된다.

본 연구결과와 주변의 퇴적암류의 자화가 백악기 정자극기 (124~84 Ma)에 획득되었다는 연구결과 (연세대와 경도대와의 한일 공동 자기층서 연구자들과의 개인적 의견교환)를 고려할 때, 본 안산암맥은 84 Ma 이후에 형성되었다고 사료되며, 암맥의 좌측부에서 두가지 극성이 혼재되는 것을 보면 그 후 광역적 재자화는 없었던 것으로 판단된다. 이를 바탕으로 관입 암맥에서 멀리 떨어진 곳의 진주층과 칠곡층에서 구한 특성잔류자화방향은 일차자화성분이라는 것을 지시한다.

또한, 연구결과 안산암맥의 좌측 접촉부의 사암에서는 116 cm (관입암맥 폭의 20.5%)까지 역자극을 나타내지만, 우측접촉부는 모두 정자극만이 발견되었으며, 암맥을 중심으로 대칭적인 재자화작용은 보이지 않는다. 이는 (1) 야외에서 (Fig. 5) 안산암맥의 우측접촉부가 거의 수직의 형태를 갖는 반면, 좌측접촉부는 좌측으로 계단진 형태로 되어 있어, 관입 열의 전도가 암맥계단 위에 pocket되어 있는 퇴적암 (시료 2L1~2L9)에 집적되어 일

어났음을 시사해 주며, (2) 암맥의 관입열이 우측하부로는 자철석의 큐리온도인 575°C 이상을 넘지 않았음을 지시하여 준다.

또한 본 연구결과는 관입암에 의한 재자화의 범위는 주변암과의 관입 형태 및 관입 각도, 관입암의 두께에 따라 달라질 수 있음을 시사해 주며, 이의 정확한 규명을 위해서는 보다 많은 암맥들에 대한 면밀한 연구가 요구된다. 또한 야외 노두에서 암맥의 관입 부근은 현미경 관찰한 결과 다량의 녹염석을 수반하며, 특히 퇴적암이 재자화를 받은 부분 (시료 2L1~2L9)은 주변의 회색 퇴적암이 연녹회색으로 변질되어 나타나고 녹염석의 상대적인 양도 더 많다. 이는 본 역에 재자화를 일으키는 열 변성작용이 주변 모암에 단순히 열의 이동뿐 만 아니라, fluid의 이동을 수반하여 열수변질을 일으켰음을 지시하여 주며, 본 암 주위의 고지자기 연구시 재자화를 피하기 위한 암석 시료 선별에 중요한 지시자중 하나로써 제안될 수 있다고 사료된다.

결론

1. 본 연구지역의 안산암맥은 역자화로서 백악기 말의 방향과 일치하며 백악기 정자극기 (124~84 Ma) 이후에 관입한 암맥으로 사료된다.
2. 본 고지자기 연구결과 경상북도 고령군에 분포하는 안산암맥 (GD02)의 좌측의 사암에서는 116 cm의 범주내에서 관입에 의하여 재자화를 받았으나, 우측의 사암에서는 전혀 관찰되지 않았다. 이는 안산암맥의 좌측 관입부의 형태가 계단식으로 되어있어 열의 전도가 상부로 전달되어 암맥과 같은 극성을 갖도록 재자화되면서, 전체적으로 급냉하였던 것으로 사료된다.
3. 박편관찰 결과 왼쪽 접촉부에는 열수변성 작용에 의해 이차적으로 형성된 자철석이 확인되었으며, 3~7.8%의 녹염석을 수반한다.
4. 본 안산암맥의 관입에 의해 나타나는 재자화의 범위는 암맥 두께의 약 20%정도의 범위에서 국부적으로 나타나며, 한 장소에서 두가지 극성이 함께 존재하는 것은 광역적 재자화를 받지 않았다는 증거이다.
5. 경사보정전인 역자극을 나타내는 안산암맥으로부터 구한 평균자화방향과 경사보정된 정자극기의 평균자화방향값이 α_{95} 신뢰도 circle에서 보면 서로가 서로를 포함하여 신뢰도 내에서 일치하는 것은 암맥의 관입시기가 지층경동이후에 일어났을 가능성을 시사해 주지만, 보다 명확한 규명을 위해서는 추후 보다 많은 연구가 요구된다.

사 사

본 원고에 대한 세심한 조언과 심사를 하여주신 부산대 김인수 교수, 고려대 도성재 교수께 깊은 감사를 드리며, 본 연구를 지원해 주신 한국과학재단 (한일공동연구, 956-0400-001-2)의 관계자분들께 감사한다.

참고문헌

- 김인수 (1988), 부산지역 백악기 다대포층에 대한 고지자기학적 연구: 그의 층 서적, 지구조적 의의. *자원환경지질*, 24권, p. 211-233.
- 김인수, 강희철, 이현구 (1993a), 경상분지 남서부 진교-사천 지역 전기백악기 퇴적암에 대한 고자기 연구. *자원환경지질*, 26권, p. 519-539.
- 김인수, 이현구, 윤혜수, 강희철 (1993b), 의성지역 백악기 암석에 대한 고자기 연구. *자원환경지질*, 26권, p. 403-420.
- 도성재, 김광호 (1994), 의성지역에 분포하는 백악기 지층에 대한 고자기 연구. *자원환경지질*, 27권, p. 263-279.
- 도성재, 황창수, 김광호 (1994), 밀양 소분지에 분포하는 경상누층군 퇴적암류에 대한 연구. *지질학회지*, 30권, p. 211-228.

- 이윤수, 민경덕 (1995), 옥천대의 중생대 이래의 지구조적 운동에 관한 고자기 연구. *자원환경지질*, 28권, p. 493-501.
- 장기홍 (1975), 한반도 동남부의 백악기 층서. *지질학회지*, p. 1-23.
- Harland, W.B., Armstrong, R.L., Cox, A.V., Carig, L.E., Smith, A.G. and Smith, D.G. (1990) A geologic time scale. Cambridge Univ. Press, 263p.
- Lee, D.S. (1987), *Geology of Korea*. Kyohak-Sa, p. 175-190.
- 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. (1997), Paleomagnetotectonics of East Asia in the Proto-Tethys Ocean. *Tectonophysics*, v. 277, p. 157-166.
- Otofuji, Y., O, J.Y., Hirajima, T., Min, K.D. and Sasajima, S. (1983), Paleomagnetism and age determination of Cretaceous rocks from Gyeongsang Basin, Korean Peninsula, in the tectonic and geologic evolution of Southeast Asian Sea and islands, Part 2. *Geophys. Monogr. Ser.*, 27; p. 388-396.

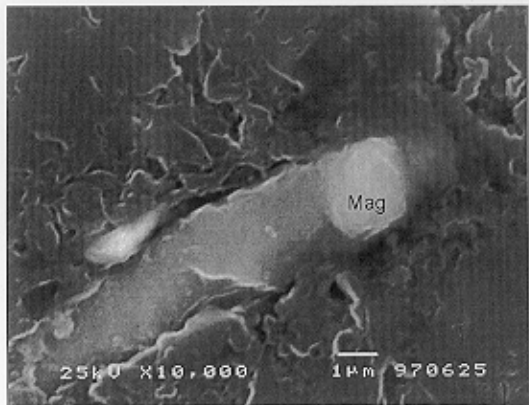
1997년 9월 26일 접수

A black and white photograph of a geological outcrop. A person stands at the base of the rock face for scale. Two white lines are drawn on the rock face to delineate different geological units. The left side is labeled 'Jinju Fm. (left side)', the central vertical zone is labeled 'Andesitic dike', and the right side is labeled 'Jinju Fm. (right side)'. The rock shows distinct horizontal layering and a more textured, vertical zone in the center. A road is visible at the bottom of the frame.

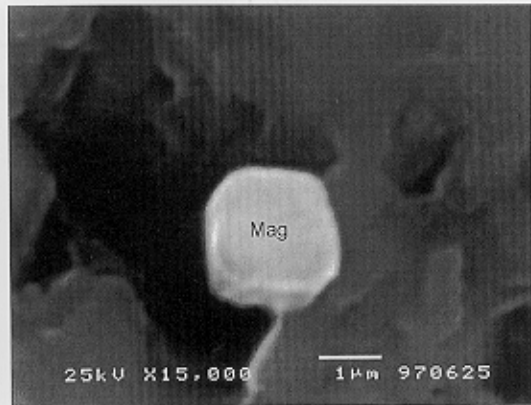
Jinju Fm.
(left side)

Andesitic
dike

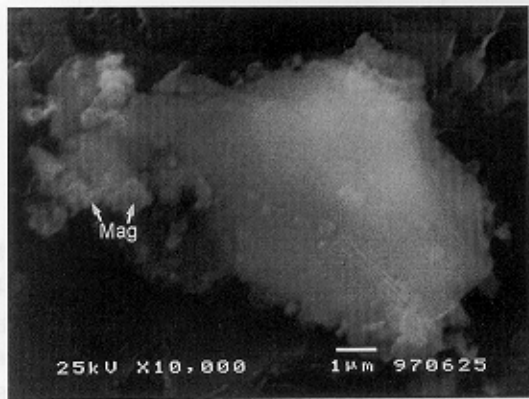
Jinju Fm.
(right side)



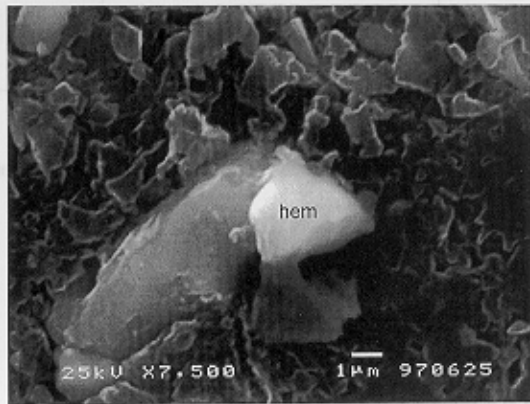
(a)



(b)



(a)



(b)

