

옥천대에 대한 고자기 연구: 충주-수안보 일원 황강리층의 변형과 대자율 비등방성(AMS)

손 문* · 김인수 · 강희철

부산대학교 지질학과

Palaeomagnetism of the Okchon Belt, Korea : Anisotropy of Magnetic Susceptibility (AMS) and Deformation of the Hwanggangri Formation in Chungju-Suanbo Area

Moon Son*, In-Soo Kim and Hee-Cheol Kang

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

We report the results of structural field observation and measurement of anisotropy of magnetic susceptibility (AMS) of the diamictitic Hwanggangri Formation distributed in Chungju-Suanbo area of the Okchon Belt, Korea. The outcrops of the Hwanggangri Formation show two types of cleavage in general: slaty cleavage (S_1) and crenulation cleavage (S_2). S_1 cleavage is, however, well observable only in the northeastern (NE) part of study area, while overwhelmed by S_2 cleavage in the southwestern (SW) part, indicating stronger later deformation in SW part of the study area. This partitioning of the study area is corroborated by both IRM and AMS parameters: NE part of the study area is characterized by higher IRM intensity, higher bulk magnetic susceptibility, higher AMS degree, and by oblate shape of magnetic susceptibility ellipsoid. Their values become drastically lowered toward southwest, and reach to a stable minimum in the whole SW part of the study area. In addition, degree of both metamorphism and deformation tends to increase gradually from northeast toward southwest and also from northwest toward southeast in the study area. Based on the distribution pattern of the principal axes (k_1 , k_2 , k_3 axes) of magnetic anisotropy ellipsoids revealed in the NE part of the study area, three episodes of deformation (D_1 , D_2 , D_3) are recognized: D_1 deformation produced S_1 cleavage with NE-SW trend, which is caused by a strong NW-SE flattening of a coaxial pure shear. D_2 deformation produced S_2 cleavage characterized by a non-coaxial deformation. It was caused by a ductile or semi-ductile thrusting toward NW and concurrent sinistral shearing along S_2 cleavage plane. Lastly, D_3 deformation produced flexural folding of all previous structures with a nearly horizontal NE fold axis. Distribution pattern of the principal axes of magnetic anisotropy ellipsoid from the SW part of the study area, on the other hand, does not show any coherency among sites or samples. We interpret that this dispersed pattern of k_1 , k_2 , k_3 axes together with lower anisotropy strength indicates that magnetic fabrics in the SW part have been disturbed either by a superposition of strong deformation/metamorphism or by a kind of reciprocal strain due to an overlapping of D_1 and D_2 , or by both processes.

Key words: Okchon Belt, Hwanggangri Formation, AMS (anisotropy of magnetic susceptibility), cleavage, deformation history

옥천대 중부 충주-수안보 일원에 분포하는 황강리층을 대상으로 대자율 비등방성을 측정하고 야외 지질구조 자료들을 수집하였다. 그 결과, 연구지역의 북동부와 남서부 지역은 변성과 변형사가 서로 달랐음이 드러났다. 황강리층에는 야외에서 구별되는 두 종류의 벽개, 즉 점판벽개(S_1)와 파랑벽개(S_2)가 발달하고 있으나 S_1 면은 연구지역의 북동부에서 뚜렷이 관찰되는 반면, 남서부에서는 S_2 면의 발달이 절대적으로 우세하다. 동은잔류자기 강도, 체적 총 대자율 그리고 비등방성의 정도는 모두 남서부에 비해 북동부 지역에서 훨씬 높은 값을 보이고 있으며 남서쪽으로 갈수록 이들 값들이 현저히 감소하여 남서부 지역에 이르러서는 일관되게 매우 낮은 값을 보여준다. 또한, 대자율 비등방체의

*Corresponding author: moonson@hyowon.pusan.ac.kr

형태도 북동부 지역에서 자기적 엽리구조가 우세하며 남서쪽으로 갈수록 선구조 영역으로 점진적으로 변화되어 남서부 지역에 이르러서는 일관되게 구에 가까운 형태를 이룬다. 이러한 사실들은 모두 북동부에 비해 남서부에서 보다 강한 후기 변성과 변형이 있었음을 지시하는 것이다. 한편, 북동부 지역에서 얻어진 대자율 비등방 타원체의 주축들(k_1, k_2, k_3)의 분포 양상을 근거하면, 연구지역 황강리층은 세 번의 변형사건(D_1, D_2, D_3)을 겪은 것으로 해석된다. 북서-남동방향의 압축력에 의해서 북동-남서방향의 S_1 면이 형성되고 이 엽리면을 따라 순수 전단작용이 발생하여 황강리층을 편평화시킨 동축 변형사건(D_1)이 제일 먼저 있었으며, 이후 S_2 면을 따라 북서향의 충상단층과 좌수향의 연성 혹은 준 연성의 단순 전단작용이 일어나 기존의 변형타원체의 주축들이 차별적으로 회전되는 비동축 변형사건(D_2)이 있었고, 마지막으로 북동방향의 수평축을 가진 요굴습곡을 형성시킨 변형사건(D_3)이 있었다. 남서부 지역에서는 비등방 타원체의 모든 주축들이 분산되어 있으며 야외에서 S_2 면이 우세하게 관찰되고 북동부에 비해 IRM강도, 체적 총 대자율 그리고 대자율 비등방성 정도 등이 한결같이 매우 낮다. 이러한 점들은 북동부에 비해 강한 후기 변형 혹은 변성 과정에서 자성광물의 배열이 분산되었거나 강한 D_2 변형으로 D_1 변형타원체가 중첩되어 역변형된 결과이거나 혹은 이 두 가지가 복합된 결과로 해석된다.

주요어 : 옥천대, 황강리층, 대자율 비등방성, 벽개, 변형사

1. 서 언

변형된 암석을 대상으로 하는 대자율 비등방성(AMS: anisotropy of magnetic susceptibility) 연구는 유한 변형타원체(finite strain ellipsoid)의 형태와 암석의 미세구조(rock fabrics)를 밝혀내어 암석의 변형사를 파악하는 주요한 수단으로써 오늘날 세계적으로 널리 사용되고 있다(Owens, 1974; Rathore, 1979; Hrouda, 1987; Pares *et al.*, 1999; 등). 그러나 국내에서는 이러한 연구의 필요성은 인식되어져 있으나(김인수, 1990; 도성재, 1991) 최근 몇 편의 연구들(김성욱 등, 1997; 최은경 등, 1998)을 제외하고는 그 적용 사례가 많지 않은 편이다. 옥천대는 한반도의 지체구조 발달사(tectonics)를 해명하는데 있어서 가장 중요하게 여겨지고 있는 지구조 구역이다. 그러나 이곳은 층서, 지질시대 그리고 변형사 모두에서 의견이 일치되지 않고 논란이 계속되는 지역이기도 하다(이종혁, 1999). 따라서, 옥천대의 명확한 지사 해석을 위해서는 대자율 비등방성 연구와 같은 새로운 연구 방법의 적용과 이에 따른 다양한 자료의 수집과 해석이 요구되고 있다.

이번 연구는 충주-수안보 일원에서 약 5 km의 폭을 가지며 북동방향으로 약 30 km 뻗어 있는 역질 천매암인 황강리층을 대상으로 한 대자율 비등방성 연구이다(Fig. 1). 연구시료는 암석의 기질부와 역을 대상으로 15개 지점에서 200여개의 정향된 코어시료로써 채취되었으며, 각 지점에서는 지질구조 요소들, 특히 엽리면들의 방향성과 변형 특징들을 관찰하고 기재함으로써 실험결과 해석을 위한 보완 자료로 활용되었다. 아울러 실험실에서는 등온잔류자기 획득실험(IRM test)과 체적 총 대자율(bulk volume magnetic susceptibility)

측정실험을 수행하였으며 대자율 비등방성이 측정되어 비등방타원체의 주축들의 상대적 크기와 방향이 구해졌다. 이 실험 결과들을 야외 관찰 자료들과 종합하여 분석함으로써 연구지역 황강리층의 자기 특성과 변형사를 해석하고자 한다.

2. 지질학적 배경

연구지역에는 북동방향으로 뻗어있는 황강리층을 중심으로 그 북서쪽에는 문주리층이, 남동쪽에는 명오리층이 황강리층에 접하며 역시 북동방향으로 대상으로 분포되어 있으며, 후기에 주라기-백악기 화강암류가 도처에서 이들을 소규모로 관입하고 있다(Fig. 1)(김기완, 이흥규, 1965; 이민성, 박봉순, 1995). 명오리층, 황강리층 그리고 문주리층은 모두 옥천층군에 속하나 그 지질시대는 선캄브리아에서 후기 고생대에 이르기까지 연구자에 따라 다양한 의견이 제시되고 있다(김옥준, 1970; 이대성, 1971; 이종혁, 1995; 이민성 등 1998; 이지민 등, 2000). 이들 지층들의 선후 관계는 명오리층, 황강리층 그리고 문주리층 순서의 정합관계라는 의견이 지배적이나(김기완, 이흥규, 1965; Reedman *et al.*, 1973; 이민성 등, 1998) 일부 연구자들은 황강리층을 최후기의 지층으로 해석하기도 한다(김옥준, 1968; 손치무, 1970; 이대성, 1971).

황강리층은 그 두께가 800 m 이상으로 알려져 있는데 주로 함력 천매암질암으로 구성되어 있으며 일부 석회암 박층이 협재되기도 한다. 기원암은 주로 함력 석회질 이암과 실트질암이며 일부 사질암과 석회암이 포함된다. 포함된 역은 규암, 셰일, 석회암의 순서로 많으며 그 외에도 화강암과 편마암이 일부 나타나는 것

으로 보고되고 있다(이민성 등, 1998). 역은 기질지성이며 분급이 불량하여 전형적인 다이아믹타이트(diamictite)의 특징을 보여주고 있다. 그 기원에 관한 의견은 해저 암설류 퇴적물(debris flow deposits)(Chough, 1981; Chough and Bahk, 1992)과 킬라이트(tillite)(김옥준, 1971; Reedman and Fletcher, 1976; 이민성 등, 1998)로 양분되어 있다.

명오리층은 약 50 m의 두께를 가지며 주로 암회색의 천매암으로 구성된다. 기원암은 대부분 이암과 실트암이며 지층 상부와 하부에 최대 5 m 정도에 이르는 석회암층이 불연속으로 발달한다. 문주리층은 500 m 이상의 두께를 가지며 주로 암녹색의 편암으로 구성된다. 기원암은 주로 셰일이며 사암과 화산쇄설암이 협재된다(이민성 등, 1998). 한편, 옥천층군을 중심으로 북서부에는 쥬라기 화강암류가 남동부에는 백악기 화강암류가 관입되어 있는데 이로 인하여 옥천층군의 일부가 접촉변성된 것으로 알려져 있다(이민성과 박봉순, 1965).

옥천층군의 주요 변형시기는 1970년대 초반까지 만해도 트라이아스기의 송림변동과 쥬라기 말 전후의 대보변동으로 알려져 왔다. 그러나 최근에 들어서는 사일루리아기 말에서 페름기 초에 일어난 옥천층군에 국한된 소위 고생대 옥천변동의 중요성이 대두되고 있다(나기창 등, 1982; Kim, 1987; Cluzel *et al.*, 1990). 지질구조에 관해서는 1990년대 이전에는 일반적으로 북향사나 북배사와 같은 습곡구조가 옥천층군을 변형시킨 주체로 인식되어져 왔으나(김옥준, 1970; Reedman *et al.*, 1973) 최근 들어서는 습곡을 수반하는 연성의 충상단층운동이 옥천층군을 교란시킨 주체로 인식되고 있는 경향이다(Cluzel *et al.*, 1990, Cluzel, 1991; 장태우 등, 1995; Koh and Kim, 1995). 변성강도에 관한 의견은 옥천변성대의 북동부에서 서남부로 갈수록 그 강도가 증가한다는 의견(나기창, 1987)과, 남동쪽에서 북서쪽으로 갈수록 증가한다는 의견(Reedman *et al.*, 1973) 그리고 변성대 중앙부에서 북서와 남동방향으로 대칭적으로 증가한다는 의견(Kim, 1971) 등이 있다.

연구지역 일원에서 실시된 지질구조 해석 연구들을 살펴보면 (1) 북서-남동방향의 횡압력에 의한 편평화(flattening) 변형(D₁)의 이후에 축면이 남동방향으로 경사진 전단 습곡(slip fold, shear fold)이 주도한 2차 변형(D₂)이 있었다는 의견(Lee and Kim, 1988), (2) 북동방향의 등사습곡(isoclinal tight fold) 작용이 주도한 1차 변형(D₁), 단순전단(simple shear)의 형태로 북

동방향의 폐쇄습곡(close fold)을 형성시킨 2차 변형(D₂), 옥천층군을 조선누층군의 상위에 놓이게 한 충상단층(thrust) 운동과 관련한 3차 변형(D₃), 그리고 동서 내지 동남동방향의 대규모 개방습곡(open fold)과 관련한 4차 변형(D₄)이 있었다는 의견(임명혁, 장태우, 1993), (3) 수평의 연성 전단작용 즉 점진 변형작용으로 엽리면을 따라 변성광물이 성장한 1차 충상단층 작용(D₁, D₂)과 상부 지각이 북서-남동방향으로 재압축된 결과인 취성 내지 준 연성의 2차 충상단층 작용(D₃), 뒤이어 좌수향의 주향이동단층 운동과 동서방향의 대규모 개방습곡과 관련한 취성변형 작용(D₄)이 있었다는 의견(Koh and Kim, 1995) 등이 있다.

2. 시료 채취와 야외 관찰

연구 시료는 황강리층을 대상으로 노두 현장에서 휴대용 착암기를 이용하여 채취되었으며 정향작업은 야외조사용 컴파스를 이용하였다. 시료는 주로 기질부를 위주로 채취하였는데 역의 시료는 크기가 크고 빈도가 높은 규암역을 대상으로 하였다(Fig. 1, Table 1). 황강리층의 자기적 성질과 변형 특징의 공간변화를 파악하기 위하여 가능한 넓은 범위에서 북동-남서방향과 북서-남동방향으로 황강리층의 분포지를 횡단하면서 시료를 채취하였다.

이번 연구의 대상이 된 노두들에서는 두 방향의 벽개, 즉 점판벽개(slaty cleavage, S₁)와 파랑벽개(crenulation cleavage, S₂)가 현저하게 발달하고 있음이 육안으로 관찰되었다(Fig. 2). S₁은 연구지역의 북동부에서 잘 관찰되는데 남서쪽으로 갈수록 S₂의 발달이 우세해져 남서부에서는 S₁이 지워지거나 심하게 교란되어 야외에서 정확한 엽리면을 인식하기가 어려우며 변형이 중첩되어 지질구조가 복잡한 양상이다. 황강리층의 층리면(S₀)은 관찰이 쉽지만 대부분 역들의 장축들이 S₁면을 따라 배열되어 있어 층리면은 이 엽리면에 평행할 가능성이 높다. 그러나 규암역을 포함한 모든 역들이 일반 퇴적활동에서는 상상할 수 없을 정도로 매우 신장된 형태를 보여주고 있어 S₁면을 따라 상당한 편평화 작용도 있었음이 틀림없다. 이 엽리면의 주향은 대부분 북동방향이거나 경사 방향은 북서와 남동으로 양분되어 있어 후기에 북동방향을 축으로 습곡된 양상이다. 엽리면상의 역 신장 방향은 연구지역 북동부에서 북동 내지 동서방향이며 20° 내외의 각도로 동쪽 내지 서쪽으로 경사져 있다.

S₂는 연구지역의 북동부에서는 미약하게 발달하나 남

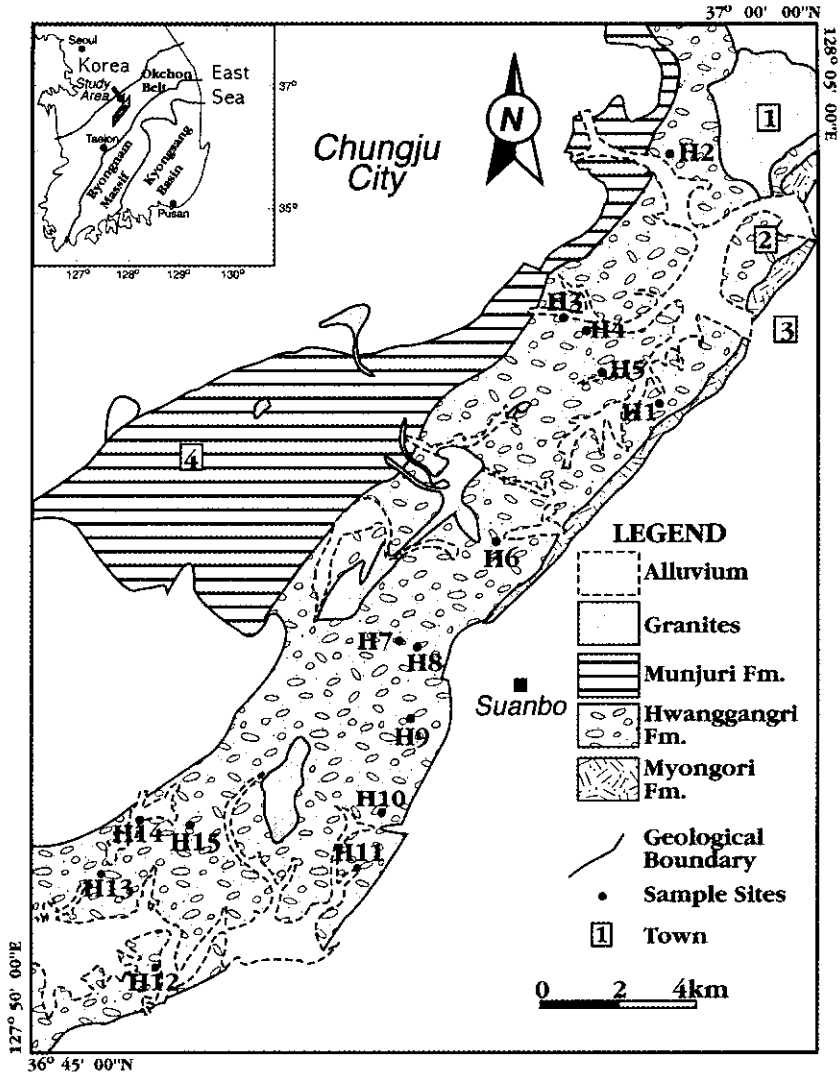


Fig. 1. Geologic and sample site map, modified from Kim and Lee (1965) and Lee and Park (1965). 1: Seoun-ri, 2: Hwanggang-ri, 3: Pukno-ri, 4: Munju-ri.

서쪽으로 갈수록 그 발달 정도가 현저하다. 대부분의 노두에서 이 엽리는 대상 파랑벽개(zonal crenulation cleavage)의 형태이나 일부는 불연속 파랑벽개(discrete crenulation cleavage)의 특징을 보여준다. 엽리면의 자세는 대부분 북동의 주향을 가지며 30°~60° 남동방향으로 경사져 있다. 이 엽리면을 수직 단면에서 관찰하면(Fig. 2a), 엽리면을 따라서 편평화 작용이 있었음이 인정되며 남동에서 북서쪽으로는 층상단층 운동을 지시하는 소규모 S자 습곡구조들이 관찰되었다. 엽리면을 수평면에서 관찰하면(Fig. 2b와 2c), 대부분의 노두에서 변형된 역의 S자 구조가 좌수향의 전단운동을 지

시하였다. 이러한 점들은 S₂면을 따라 북서향 층상단층 운동과 함께 북동-남서의 좌수향 전단운동이 동시에 발생하였음을 말해주는 것이다.

3. 실험과 그 결과

이번 연구에서는 암석의 주 자성광물을 판별하기 위하여 각 지점별로 한 개씩의 시료를 선택하여 등온잔류자기(IRM) 획득 실험을 실시하였으며 채취된 모든 시료들을 대상으로 체적 총 대자율과 대자율 비등방성 측정 실험을 실시하였다. 등온잔류자기 실험을 위해서

Table 1. Summary of sample sites and designation of samples.

Age	Formation	Site name	No. of samples (clast)	Lithology	*Schistosity	**Lineation on the schistosity plane	
Unknown (Late PreCambrian to Early Paleozoic?)	Hwanggangri Formation	H1	15(6)	Dark grey pebble-bearing phyllite (Originally pebble-bearing silt and mudstone) Poorly sorted and matrix-supported	S ₁	56/40	66/11
					S ₂	39/52	?
		H2	13(4)		S ₁	183/28	263/28
					S ₂	115/10	?
		H3	9(0)		S ₁	287/13	297/02
					S ₂	13/38	58/31
		H4	13(0)		S ₁	217/41	22/13
					S ₂	04/34	?
		H5	12(2)		S ₁	198/37	276/32
					S ₂	08/32	?
		H6	19(9)		S ₁	44/55	66/28
					S ₂	29/75	?
		H7	10(0)		S ₁	80/54	?
					S ₂	55/56	?
		H8	11(0)		S ₁	57/63	?
S ₂	38/88			217/22			
H9	9(0)	S ₁	58/37	?			
		S ₂	41/74	?			
H10	11(0)	S ₁	227/50	?			
		S ₂	41/63	?			
H11	11(0)	S ₁	?	?			
		S ₂	54/66	?			
H12	12(0)	S ₁	337/60	?			
		S ₂	94/17	?			
H13	19(0)	S ₁	106/47	?			
		S ₂	56/56	?			
H14	14(0)	S ₁	268/63	?			
		S ₂	246/80	?			
H15	10(0)	S ₁	218/36	?			
		S ₂	38/56	?			

*Strike/dip and **azimuth/plunge are measured according to the right-hand rule.

?: not possible to measure/not sufficiently developed.

는 ASC IM10-30 Impulse 자화기와 Molspin spinner 자력계를, 체적 총 대자율과 대자율 비등방성 측정을 위해서는 Molspin Minisep 대자율 측정기를 이용하였다. 측정 결과, 네 개 지점에서 채취된 규암질 역들의 시료들은(Table 1) 총 대자율 값들이 기기의 측정 한계인 $4\pi \times 10^{-6}$ (SI) 보다 대부분 작으며 대자율 비등방

타원체 주축들의 방향이 주변 기질부에서의 결과와는 전혀 다르고 분산된 방향을 보여 주었기 때문에 역에서 얻어진 실험 값들은 이번 연구의 논의에서 제외하였다.

대자율 비등방성 연구는 암석의 주 자성광물이 강한 형태 비등방성을 띠는 티탄자철석계열일 때 성공 가능

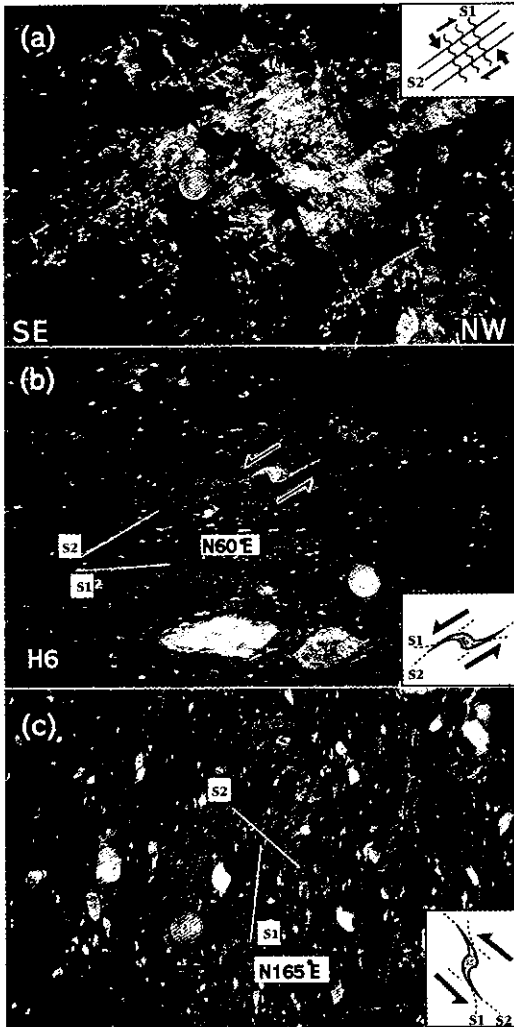


Fig. 2. Outcrop photographs showing relationship between S_1 and S_2 cleavages in the Hwanggangri Formation. (a) This sectional view shows firstly a strong flattening along S_1 cleavages. This was followed by a concurrent flattening and thrusting toward NW along the S_2 cleavages. (b) and (c) These plane views show Z-shaped sigmoidal clasts deformed by a ductile/semi-ductile sinistral shearing along the S_2 .

성이 높다(Collison, 1983; 김인수, 1990; Tarling and Hrouda, 1993). 등온잔류자기 실험의 결과를 살펴보면, 먼저 연구지역 북동부의 황강리층 시료들은 대부분 자기장의 강도 300 mT의 훨씬 이전에 포화되었다(Fig. 3a). 이는 이 지역 암석들의 자성광물이 티탄자철석계열의 광물임을 시사하는 것이다. 한편, 연구지역 남서부의 시료들은 300 mT 이전에 등온잔류자기의 대부분을 획득하고 있기는 하나 300 mT 이후에도 자화강

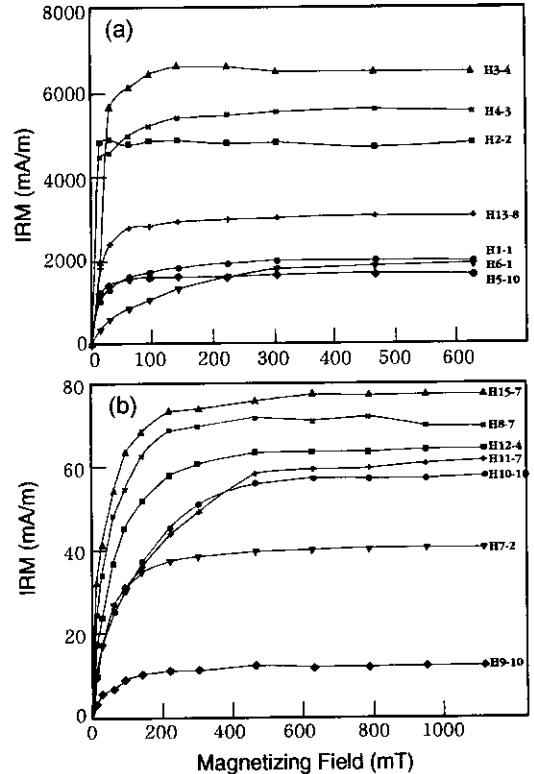


Fig. 3. IRM acquisition experiments for identification of magnetic minerals. (a) Samples from the NE part of study area (with a sole exception of H13-8). (b) Samples from the SW part of study area. Note the difference of scale and IRM intensity between (a) and (b).

도가 약간 증가하는 경향을 보이고 있어(Fig. 3b) 이 지역 암석들의 주요 자성광물 또한 티탄자철석계열이기는 하나 티탄적철석계열의 광물들이 부분적으로 존재할 가능성을 시사하고 있다. 이는 남서지역의 황강리층에서 녹색편암 변성상 이상의 변성작용이 진행되어 기존의 자철석 내에 일부 티탄철석과 적철석의 연정(intergrowth)이 생성되었을 가능성과 산화로 인하여 자철석 표면의 일부가 적철석화 되었을 가능성을 시사한다(김인수, 1983; Butler, 1992; 김광호와 도성재, 1999). 따라서, 연구지역 황강리층은 총체적으로 티탄자철석계열의 광물을 주요 자성광물로 하고 있으나 북동부와 남서부 지역은 변성강도나 산화정도에서 차이를 보임을 알 수 있다. 이와 더불어, 포화 자화강도는 북동부에서 10^3 mA m^{-1} 단위인 것에 비해(H13 지점 제외) 남서부에서는 10^1 mA m^{-1} 단위로서 상대적으로 매우 낮은 값을 보인다.

체적 총 대자율의 크기는 자성광물의 상대적인 함량

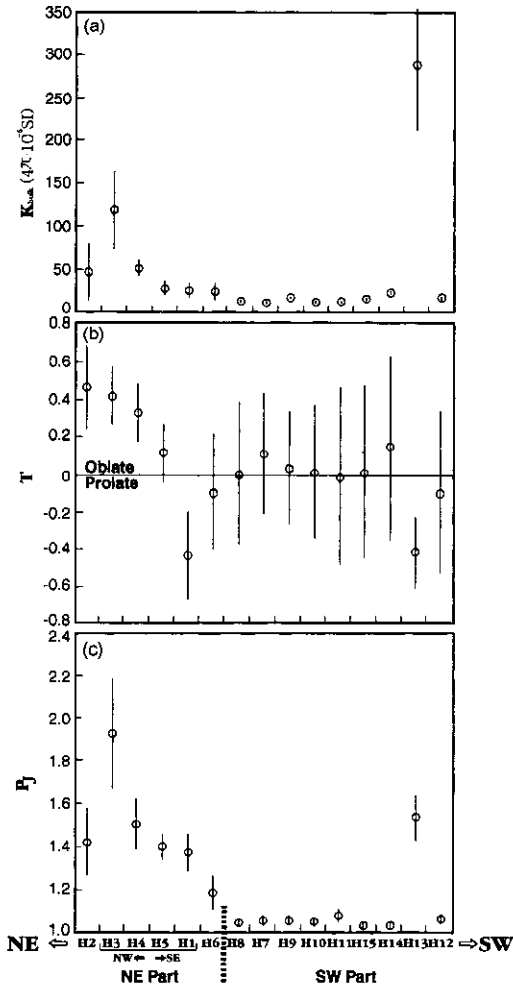


Fig. 4. Site-mean and standard deviation of (a) bulk magnetic susceptibility, (b) shape parameter (Jelinek, 1981; Hrouda, 1982), and (c) degree of anisotropy of magnetic susceptibility (Jelinek, 1981). Sample sites (abscissa) are arranged in real spatial context.

과 관련된다. 지점별의 변화를 살펴보면(Fig. 4a), 연구 지역 북동부 지역에서의 체적 총 대자율은 북서에서 남동방향으로 평균 약 130(단위 : $4\pi \times 10^{-6} \text{SI}$)에서 25에 이르기까지 점진적인 감소를 보이는 반면, 남서부 지역에서는 H13의 한 지점을 제외하고는 일관되게 10 내외의 작은 값을 보인다.

한편, 각 지점별로 자기 엽리구조와 선구조의 우세 정도와 대자율 비등방성의 정도를 알아보기 위하여 시료들의 대자율 비등방체의 주축 k_1 , k_2 , k_3 ($k_1 > k_2 > k_3$)을 구해내고 이를 이용하여 대자율 비등방타원체의 지점별 평균 형태변수 T와 정도변수 P_j 값(Jelinek, 1981;

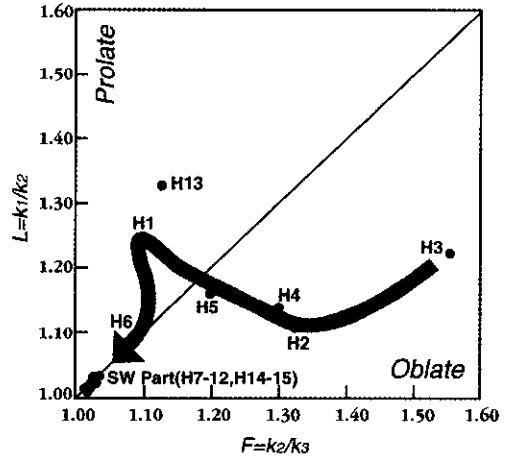


Fig. 5. Flinn-type diagram showing deformation trend in conjunction with sample sites. $L=k_1/k_2$ and $F=k_2/k_3$ are lineation and foliation parameters, respectively. $L < F$ ($L > F$) indicates oblate (prolate) shape of AMS ellipsoid. Deformation trend (thick shade line) of this study suggests a superposition of reciprocal strain in the SW part of the study area, as discussed in the text.

Hrouda, 1982; 김성욱 등, 1997; 최은경 등, 1998)들을 각각 계산해 보면(Fig. 4b와 4c), 이 또한 북서에서 남동쪽으로 점진적인 변화를 보이며 남서부에서는 비교적 일관된 값을 유지한다. 먼저 비등방타원체의 형태를 나타내는 T 값들은 북동부에서 자기 엽리구조 영역에서 자기 선구조 영역으로 점진적으로 변화되다가 남서부에 들어서면 대부분 엽리구조와 선구조의 경계 주위에 평균값이 놓인다(Fig. 4b). 또한, 비등방성의 크기를 나타내는 P_j 값도 북동부에서는 평균 약 1.9에서 1.2까지 점진적으로 감소되다가 남서부에 이르러서는 역시 H13 한 개 지점을 제외하고는 지점간의 주목할 만한 차이가 없이 1.1 이하로 매우 감소하였다(Fig. 4c). 이 낮은 P_j 값은 대자율 비등방타원체가 주축들의 크기 차가 거의 없는 구(sphere)에 가까운 형태임을 의미한다.

각 지점별 대자율 비등방체 주축들의 평균 크기를 플린그림(Flinn diagram)에 도시하여 시료 채취지점의 이동에 따른 변형경로(deformation path)를 살펴보면(Fig. 5), 북동에서 남서로 갈수록 황강리층이 전체적으로 역변형(reciprocal strain)되는 양상이다. 연구지역의 남서부로 갈수록 중첩된 구조가 뚜렷해지고 도시된 변형경로(굵은 음영선)가 한번의 변형사건에 의한 니질암의 점진변형 경로(Ramsay, Huber, 1983)와는 다르다는 점을 고려하면, 남서부에서는 후기 변형사건에 의

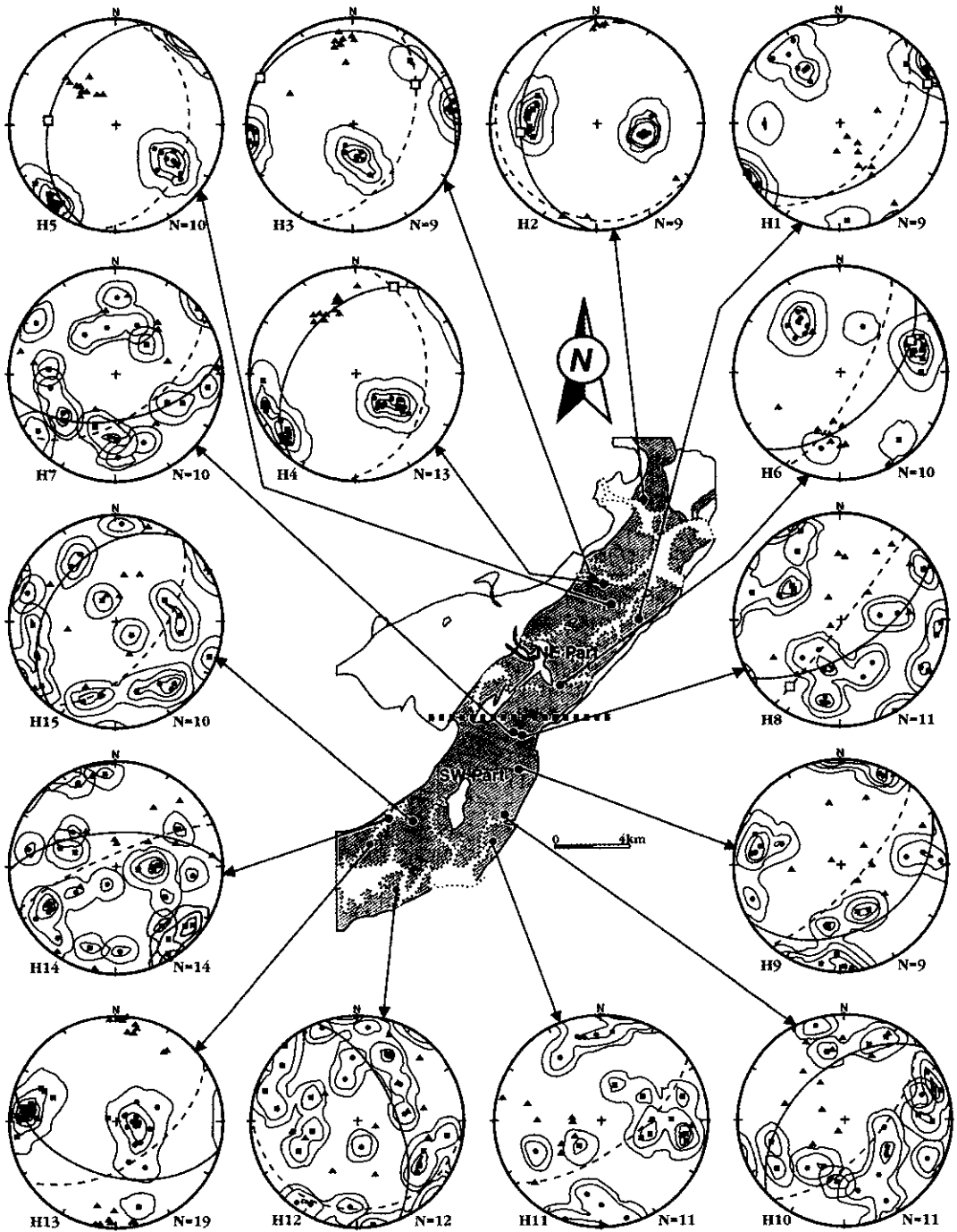


Fig. 6. Plot of the principal axes (k_1 , k_2 , k_3) of AMS ellipsoid from each sample site. Filled square: k_1 , Filled triangle: k_2 , Filled circle: k_3 . Solid and dotted great circles represent the projection of S_1 and S_2 cleavages measured at each sample site, respectively. Open squares on the great circle represent stretching direction of clasts on the cleavage plane. Contours: 1, 10, 20, 30% for H1, 2, 3, 4, 5, 6, 13 sites; 1, 3, 9, 12% for other sites. Lower hemisphere equal-area projection in geographical(in-situ) coordinates.

해 기존의 변형타원체가 구로 재변형되었을 가능성이 있다. 종합하면, 연구지역 북동부의 황강리층은 북동에서 남서쪽으로 그리고 북서에서 남동쪽으로 갈수록 체적 총 대자율과 비등방성 정도가 체계적으로 감소하고 비등방타원체, 즉 미세구조의 형태도 자기 엽리구조 영역에서 선구조 영역으로 점진적으로 변화되는 경향을 보였다. 남서부 지역에 이르러서는 체적 총 대자율과 비등방성 정도가 예외적인 한 개 지점(H13)을 제외하고는 일관되게 매우 낮은 값을 보여주며 변형의 중첩으로 역변형된 특징을 보여준다.

각 지점별 대자율 비등방성 측정 결과를 야외에서 관찰된 엽리구조 그리고 선구조와 함께 등적투영망에

도시하였다(Fig. 6). 북동부에서는 모든 지점에서 k_3 방향(검은 원)이 S_1 면(실선 대원)에 수직한 방향으로 밀집되어 있으며 S_1 면에서 관찰된 역의 신장방향(하얀 네모)과 k_1 방향(검은 네모)의 밀집지역이 거의 일치된다. 또한, k_1 과 k_2 방향들의 밀집도가 높으며 이들 방향들이 S_1 면상에 놓여져 있다. 이에 반하여 대자율 비등방타원체의 주축들과 S_2 면(점선 대원)과의 체계적인 상관관계는 발견되지 않는다. 이러한 사실은 북동부 황강리층의 대자율 비등방성이 S_2 보다 S_1 엽리면의 형성과 매우 밀접한 관련을 가짐을 지시하는 것이다. 한편, 남서부에서는 비등방성 주축들의 방향이 북동부에 비하여 매우 분산되어 나타나는 것이 특징이다. 몇 지점에

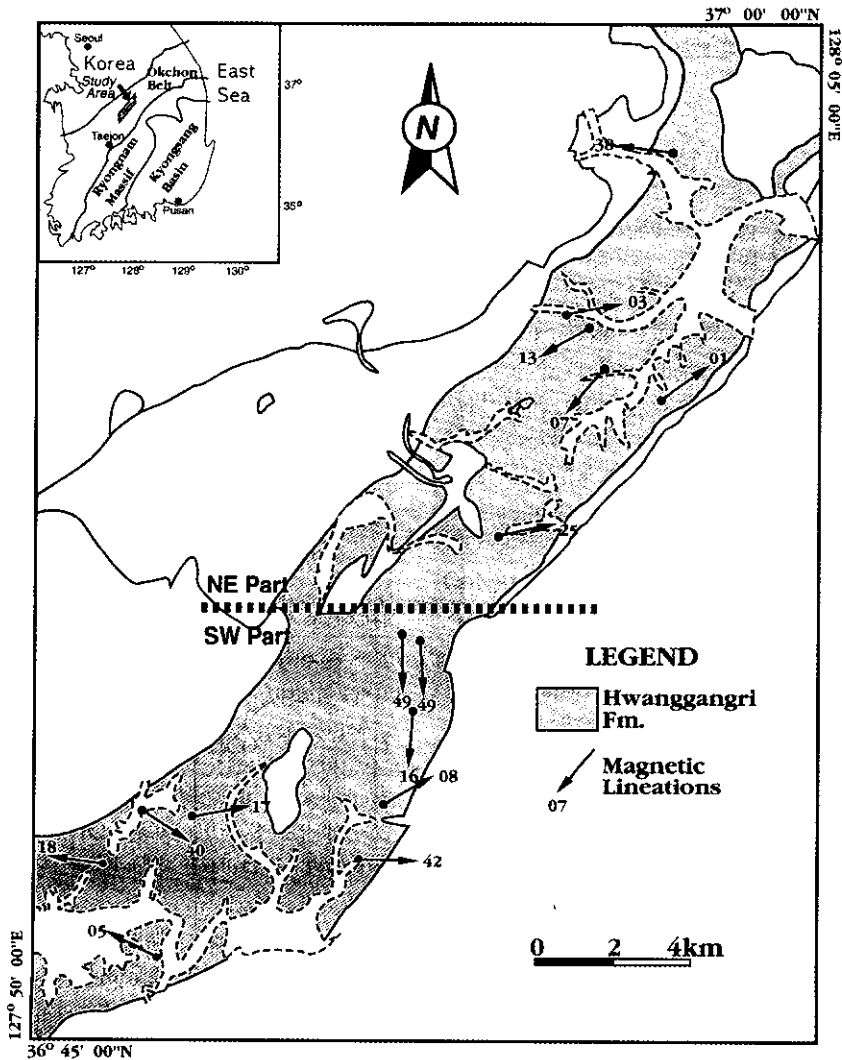


Fig. 7. Site-mean magnetic lineation. Note a more disturbed pattern in both azimuth and plunge in the SE part of study area.

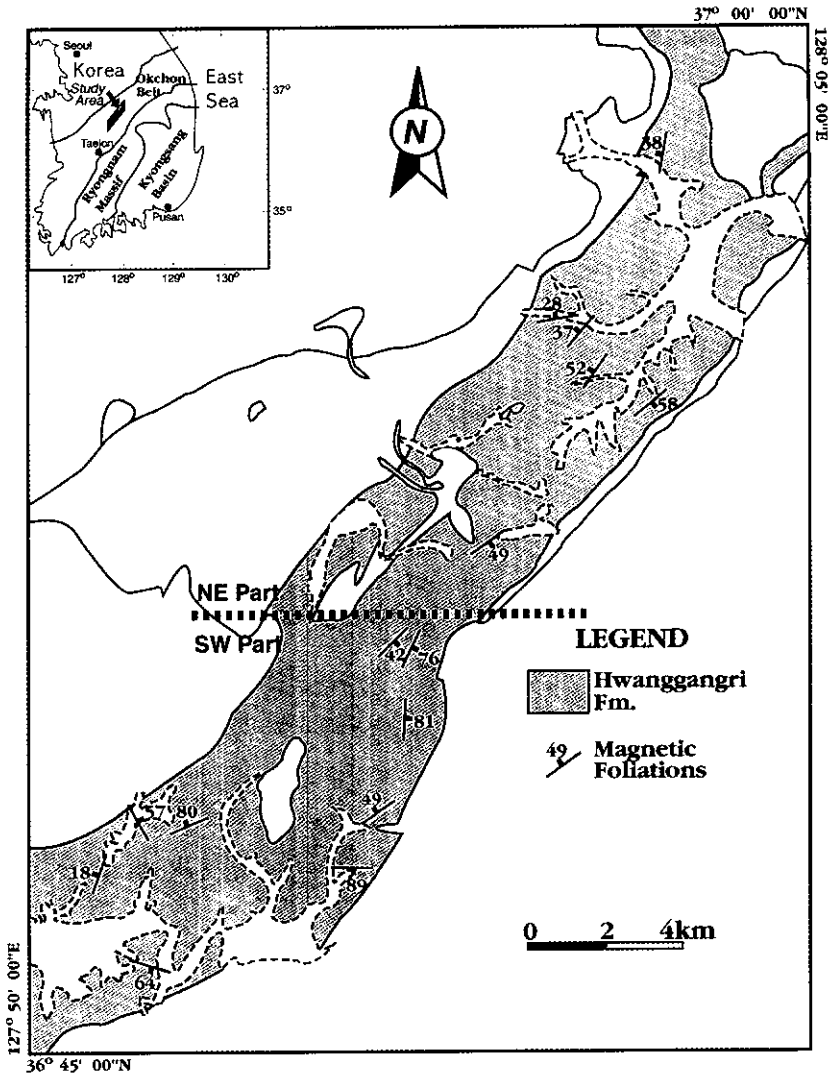


Fig. 8. Site-mean magnetic foliation. Note a more disturbed pattern in both strike and dip in the SE part of study area.

서는 k_3 방향이 S_1 에 수직으로 분포되는 듯 하나 전체적인 일관성은 부족하다. 체적 총 대자율과 T 그리고 P_2 값에서 예외적인 모습을 보여 주었던(Fig. 4) H13지점에서는 역시 예외적으로 대자율비등방체 주축들의 밀집도가 높기는 하나 k_3 가 S_1 면이나 S_3 면에 수직하지 않다. 또한, 이 남서부 황강리층에서 k_2 방향들이 대체로 S_2 면 근처에 놓이는 경우가 있으나 역시 일관성이 부족하다.

각 지점별로 얻어진 비등방타원체의 주축들을 이용하여 자기 선구조와 자기 엽리구조의 평균 방향들을 지질도에 도시하였다(Fig. 7, 8). 연구지역 전체로 볼 때, 선구조의 방향은 세 개 지점을 제외하고는 대략

동서 방향에 가깝게 배열되어 있다(Fig. 7). 그러나 보다 자세히 고찰할 때, 지역에 따른 이들 방향과 경사각의 차이가 발견된다. 즉, 북동부에서는 모두가 30° 이내의 저각도로 일관되게 동서 내지는 동북동방향으로 배열되어 있던 선구조가 남서부에 들어서면 갑자기 약 50°의 각도로 남으로 향하다가 다시 동서방향으로 변화되는 양상이다. 한편 자기 엽리구조는 전체적으로 지질경계선과 평행한 북동방향의 주향을 가지며 북서 혹은 남동으로 경사져 있는 양상이다(Fig. 8). 그러나 보다 자세히 고찰할 때, 북동부에서는 30°~60°의 경사각을 가지며 일관되게 북동방향으로 배열되어 있던 엽리구조가 남서부로 갈수록 보다 급한 경사각을 보이고

주향 역시 갈수록 불규칙해짐이 인지된다.

4. 해석과 토의

야외에서 관찰된 지질구조와 실험 결과들은 모두 연구지역의 황강리층이 북동에서 남서로 그리고 북서에서 남동쪽으로 갈수록 변성과 변형 정도가 증가하고 있음을 보여주고 있다. 야외관찰시 북동부에서 잘 관찰되던 S_1 는 남서부에 이르러 S_2 의 발달로 인하여 지워지거나 교란된 상태이다(Fig. 2). 또한 연구지역의 남서부에서 체적 총 대자율이 감소하고(Fig. 4a) 등온잔류자기의 포화 자화강도가 매우 낮게 나타남(Fig. 3b)은 티탄자철석계열 광물의 함량이 점차 낮아짐을 지시하고 있는데 이는 변성과정에서 자철석이 티탄철석과 적철석으로 용리되었거나 자철석 표면의 일부가 산화되었음을 지시한다. 즉, 북동에서 남서쪽으로 그리고 북서에서 남동쪽으로 갈수록 황강리층은 변성 혹은 변질을 더 많이 받은 것이다.

한편, 연구지역 북동부에서의 대자율 비등방타원체의 주축들은 야외에서 관찰된 엽리면들 중 S_1 면과 밀접한 관련을 보여주었다(Fig. 6). 즉, k_3 는 이 엽리면의 극(pole)에 해당되며 k_1 과 k_2 를 각각은 이 엽리면에 놓인다. 이는 북동부 황강리층의 자기구조가 S_1 의 형성에 관련된 변형사건에 의해 주도되었음을 지시하는 것이다. 이는 순수 전단작용(pure shearing)에 의해 암석을 편평화시킨 동축 변형(coaxial deformation)의 사건이었다. 이 비등방 타원체 주축들의 분포 형상은 황강리층이 Ramsay and Huber(1983)에 의한 니질 퇴적암의 배열구조 형성 순서 중 강한 벽개 단계(strong cleavage stage)까지의 변형(Pares *et al.*, 1999)을 겪었음을 알려준다.

북동부에서 비등방타원체의 형태를 지시하는 T값을 살펴보면(Fig. 4b), 북동에서는 엽리구조가 우세하며 남서와 남동쪽으로 가면서 선구조쪽으로 이동된다. 이러한 현상은 후자의 지역에서는 암석이 퇴적될 당시에 광물의 선상 배열정도가 우세하였던 것으로 해석할 수도 있게 한다. 그러나 체적 총 대자율 k 과 비등방성의 정도 P_j 또한 체계적으로 감소하고 있음을 감안한다면 이 현상이 단순한 퇴적초기의 광물배열의 차이에 의한 것이기보다는, 남서와 남동으로 강해지는 2차 변성 및 변형으로 광물의 관상 배열이 약화되고 선상 배열이 강화된 결과로 해석된다. 이러한 맥락에서 북동부의 가장 남서쪽에 위치하며 자기 선구조를 보이는 두 개 지점(Fig. 6의 H1과 H6)의 k_1 과 k_2 방향들을 보면 다른

지점들에 비해 전단작용이 우세한 2차 엽리면인 S_2 면에 가까이 놓여 있어 이 엽리면들을 따라 발생한 2차 전단작용으로 선상 배열이 강화되었음을 알 수 있다. 한편, 임명혁과 장태우(1993)는 연구지역 북서부에 비해 남동부에서는 그들의 3차 변형(D_3)의 산물인 대규모 층상단층이 집중되어 있음을 보고한 바 있다.

북동부에 비해 남서부에서는 비등방타원체의 주축들이 대부분 매우 분산되게 나타나서 야외 엽리면들과의 명확한 관련성을 찾을 수가 없었다(Fig. 6). 야외관찰, 체적 총 대자율 그리고 등온잔류자기 실험 결과들 모두는 이 남서부가 북동부에 비해 강한 2차 변성과 변형작용을 겪었음을 지시하고 있다(Fig. 2, 3, 4a). T값의 평균치는 자기 엽리구조와 선구조의 경계에 놓여 있으며 오차범위는 북동부에 비해 유난히 크다(Fig. 4b). P_j 는 한 개 지점(H13)을 제외하고는 모두 1.1이하로 아주 작은 오차범위내에서 구에 가까운 유한변형 타원체를 지시하고 있다(Fig. 4c). 이러한 사실들은 강한 변성 혹은 변질과정에서 기존의 티탄자철석계열의 자성광물들이 티탄철석이나 적철석으로 변화되고 자성광물의 배열이 분산되었을 가능성, 혹은 S_2 의 생성과 관련한 2차적 변형과정에서 변형의 중첩으로 역변형되었을 가능성을 지시해준다(Fig. 5). 이들 중 어느 것이 옳은지 확인하기는 어려우나, 야외에서 중첩된 변형구조가 확실하게 관찰된다는 점 그리고 등온잔류자기 실험에서 남서부에서도 주 자성광물이 티탄자철석계열임이 드러나 후자의 가능성이 지지된다.

연구지역 일원의 지질구조 해석에 대해서는 다양한 의견들이 제시되고 있다(Lee and Kim, 1988; 임명혁과 장태우, 1993; Koh and Kim, 1995). 이번 연구 결과들을 기초로 연구지역의 지질구조를 해석해보면 다음과 같다. 연구지역 전역에서 동북동-동서방향의 선구조와 북동방향의 엽리구조가 우세하게 나타나고 있어(Fig. 7, 8) 황강리층의 유한 변형타원체와 광물들의 배열구조는 전반적으로 북서-남동방향의 압축력의 주도로 만들어진 것으로 판단된다. 이 압축력은 S_1 면을 형성시켰으며 엽리면을 따라 순수 전단작용에 의한 동축 변형(D_1)을 발생시켰다. 이 변형사건은 황강리층의 1차 변형사건(D_1)이었으며 연구지역 일원에서 보고된 바 있는 편평화 변형(Lee and Kim, 1988) 그리고 변성퇴적암의 등사습곡(임명혁과 장태우, 1993)과 관련을 가질 것이다.

D_1 변형 이후의 변형사건을 알아보기 위하여 북동부에서 얻어진 각 지점들의 비등방타원체 주축들(k_1 , k_2 , k_3 축) 모두를 하나의 등적 투영망에 함께 투영해보면

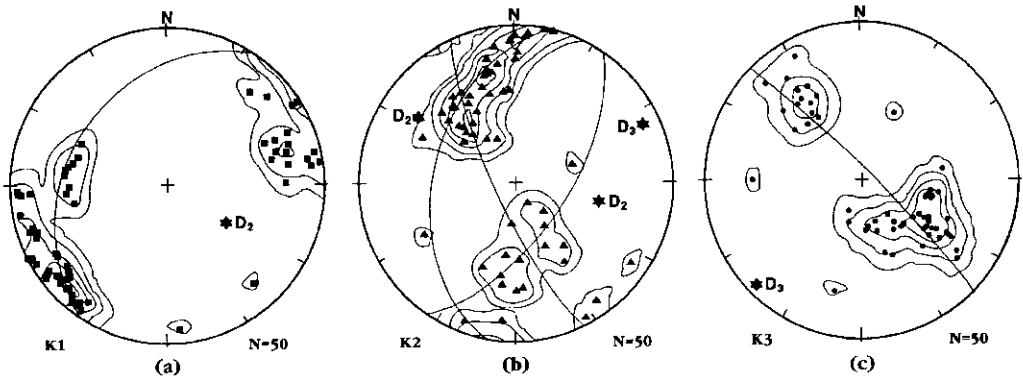


Fig. 9. Plot of the principal axes (k_1 , k_2 , k_3) of AMS ellipsoid from all sampling sites in the NE part of study area together. Great circles are mathematically best-fitted girdle-distributions of principal axes. Solid stars represent poles (π -axes) to the great girdles. Contours: 1, 3, 6, 9, 12%. Lower hemisphere equal-area projection in geographical (in-situ) coordinates.

(Fig. 9a), k_1 축은 대부분 30° 이내의 저각도로 동북동-서남서방향으로 분포하나 일부는 $124^\circ/53^\circ$ 를 중심축(일종의 π -axis)으로 하는 대원분포를 보인다. 이러한 현상은 D_1 변형 이후 이 축을 중심으로 k_1 축이 다시 습곡된 결과로 해석될 수도 있다. 그러나 이 대원분포는 시료 지점간보다는 개별 지점내(동일한 엽리면)의 시료들간에서 더 잘 관찰되고 있어 단순한 요굴습곡(flexural fold)의 결과라기보다는 준 연성의 단순 전단 작용(simple shearing)에 의한 비동축 변형(non-coaxial deformation) 즉, 전단작용 동안 개별 시료에 따라 차별적으로 기존의 주축들이 회전된 결과인 것으로 해석된다. 이러한 현상은 k_2 축의 분포에서도 잘 나타나는데 (Fig. 9b) $103^\circ/45^\circ$ 와 $304^\circ/26^\circ$ 의 축을 중심으로 두 개의 대원형 분포가 확인된다. 따라서, D_1 사건 이후에 북서와 남동방향으로 40° 내외로 경사진 축을 회전축으로 하는 전단작용을 받아 기존의 비등방타원체 주축들(특히 k_1 과 k_2 축)이 차별적으로 회전되는 비동축 변형(D_2)이 발생되었음을 알 수 있다. 이 D_2 변형 사건은 북서향의 충상단층과 좌수향의 전단작용으로 특징 지을 수 있는 S_2 면과 밀접한 관련을 가질 것이며 기존 연구들에서 보고된 전단습곡(Lee and Kim, 1988), 단순전단 형태의 폐쇄습곡과 충상단층(임명혁, 장태우, 1993) 혹은 2차 충상단층운동(Koh and Kim, 1995)과 관련되었을 가능성이 있다. 흥미롭게도 k_3 축의 분포는 북서와 남동방향으로 40° 내외로 경사진 방향에 밀집되어 있다(Fig. 9c). 이 방향은 k_1 과 k_2 축에서 관찰된 D_2 비동축 변형의 회전축 방향들(k_1 에서 $124^\circ/53^\circ$, k_2 에서 $103^\circ/45^\circ$ 와 $304^\circ/26^\circ$)과 아주 유사하다. 따라서, k_3 축의 분포에서는 k_1 과 k_2 축에서 관찰되는 대원상 분포, 즉 D_2 변형의 자취가 나타나지 않는 것이다.

황강리층 지역에는 이러한 D_2 변형 이후에도 또 다른 변형(D_3 변형)이 있었다. 이 D_3 사건을 해석하기 위해서 먼저 k_3 축들의 분포양상을 살펴보면, $225^\circ/05^\circ$ 방향을 축(D_3 축)으로 하는 대원분포가 관찰된다(Fig. 9c). 이러한 D_3 변형의 증거는 k_2 축의 분포에서도 잘 나타나는데(Fig. 9b) 우선 $65^\circ/12^\circ$ 를 축을 중심으로 하는 k_2 축의 대원형 분포가 그것이다. 나아가서 위에서 언급한 D_2 변형축들($103^\circ/45^\circ$ 와 $304^\circ/26^\circ$)이 다시금 북동방향의 거의 수평인 축을 중심으로 습곡되어 있는 양상도 주목하여야 할 점이다(Fig. 9b). 이상으로 볼 때, 황강리층은 D_2 변형 이후에도 북서-남동방향의 수평 압축력에 의한 취성 내지 준 취성의 요굴습곡을 일으킨 D_3 변형사건을 겪은 것으로 해석된다. 한편, k_1 축들은 주로 북동방향의 D_3 변형 습곡축 방향으로 밀집되어 있는 관계로 대원상 분포 등과 같은 D_3 변형의 증거들을 보이지 않는다(Fig. 9a).

5. 결 론

충주-수안보 일원 황강리층에 대한 구조지질학적 노두관찰과 15개 지점 200여 개의 시료를 대상으로 하는 대자율 비등방성(AMS) 연구를 실시하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 황강리층에는 야외에서 구별되는 두 종류의 벽개, 즉 점판벽개(S_1)와 파랑벽개(S_2)가 발달한다.
2. 연구지역의 북동부와 남서부는 엽리면의 종류별 발달 정도, 등온전류자기(IRM) 실험결과 그리고 체적 충 대자율과 대자율 비등방성에서 서로 확실한 차이를 보이며 두 지역의 변성과 변형사가 서로 달랐던 것으로 판단된다.

3. 황강리층은 북동에서 남서쪽으로 그리고 북서에서 남동쪽으로 갈수록 변성과 변형 정도가 체계적으로 증가한다.

4. 북동부 지역 자료들을 근거로 하면, 연구지역에서는 북서-남동방향의 압축력에 의해서 S₁면이 형성되고 이 엽리면을 따라 순수 전단작용이 발생하여 황강리층을 강한 벽개 단계(Ramsay and Huber, 1983; Pares et al., 1999)까지 편평화시킨 동축 변형사건(D₁)이 제일 먼저 있었으며, 이후 S₂면을 따라 북서향의 충상단층과 좌수향의 연성 혹은 준 연성의 단순 전단작용이 일어나 기존의 변형타원체의 주축들이 차별적으로 회전되는 비동축 변형사건(D₂)이 있었고, 마지막으로 북동방향의 수평축을 가진 요굴습곡을 형성시킨 변형사건(D₃)이 있었던 것으로 해석된다.

5. 남서부에서는 비등방 타원체의 모든 주축들이 분산되어 대원분포와 같은 특이한 분포 경향이 발견되지 않으며 북동부에 비해 IRM강도, 체적 총 대지율을 그리고 대지율 비등방성 정도 등이 한결같이 매우 낮다. 이는 북동부에 비해 강한 후기 변형 혹은 변성 과정에서 자성광물의 배열이 분산되었거나 강한 D₂변형으로 D₁ 변형타원체가 중첩되어 역변형된 결과이거나 혹은 이 두 가지가 복합된 결과로 해석된다.

사 사

이 논문은 1998년 한국학술진흥재단의 학술연구비(연구과제명: 옥천대에 분포하는 선캄브리아-중생대 지층에 대한 고자기 연구, 과제번호: 998-001-D00868)에 의하여 지원되었음을 밝히며 이에 대하여 감사한다. 초고를 읽고 유익한 조언을 해주신 이윤수 박사님과 익명의 심사자에게도 감사드린다. 아울러 이 논문이 완성되기까지 야외와 실내 작업에서 큰 도움을 준 부산대학교 지질환경과학 전공 4학년의 이용희와 정훈 두 학생에게도 감사한다.

참고문헌

김광호, 도성재 (1999) 고지자기학. 대우학술총서, 327p.
 김기완, 이홍규 (1965) 한국지질도(1:50,000), 충주도폭과 설명서. 국립지질조사소, 35p.
 김성욱, 최은경, 정연규, 김인수 (1997) 옥천대에 대한 고자기 연구: 태백지역에서의 대지율 비등방성과 지구조적 응력장. 자원환경지질, 30년, p. 613-624.
 김옥준 (1968) 충주문경간의 옥천계의 층서와 구조. 광산지질, 1권, p. 35-46.
 김옥준 (1970) 남한 중부지역의 지질과 지구조. 광산지질,

2권, p. 73-90.
 김옥준 (1971) 남한의 광상생성시기와 생성구. 지질학회지, 7권, p. 37-59.
 김인수 (1983) 고자기학연구를 위한 자성광물론. 광산지질, 16권, p. 223-243.
 김인수 (1990) 포항이남 제3기 분지암석의 자기 비등방성과 지구조적 응력장. 광산지질, 23권, p. 59-71.
 나기창 (1987) 옥천 북동변에 분포하는 부산혼성편마암에 대한 암석학적 연구. 광산지질, 20권, p. 235-246.
 나기창, 이동진, 이상현 (1982) 충주층군과 옥천층군의 비교연구. 광산지질, 15권, 177-188.
 도성재 (1991) 대지율 이방성과 이의 지질학적 응용. 광산지질, 24권, p. 382-392.
 손치무 (1970) 옥천층군의 지질시대에 관하여. 광산지질, 3권, p. 9-16.
 이대성 (1971) 남한 중부 옥천지향사대에 있어서의 화성 활동에 관한 연구. 지질학회지, 7권, p. 153-216.
 이민성, 박봉순 (1965) 한국지질도(1:50,000), 황강리도폭과 설명서. 국립지질조사소, 43p.
 이민성, 여정필, 이종익, 좌용주, S. Yoshida, 이한영 (1998) 옥천계의 빙하기원 다이아마이드이트와 그 지질시대 및 고생대 말의 한반도의 고지리. 지질학회지, 34권, p. 343-370.
 이종혁 (1999) 시대미상의 옥천누층군. 한국의 지질, 대한지질학회, p. 58-91.
 이종혁 (1995) 옥천누층군의 지질. 이종혁교수 정년퇴임 기념논문집, 강원대학교 지질학과 동문회, 강원대학교, p. 17-130.
 이지민, 김규한, T. Tanaka, I. Kawabe (2000) 옥천대 황강리층 함력침매암질암내의 석회암역의 REE와 Sr 동위원소 조성. 지질학회지, 36권, p. 257-278.
 임명혁, 장태우 (1993) 북동부 옥천구조대 부산지역의 지질구조 및 변형작용사. 지질학회지, 29권, p. 540-550.
 장태우, 기원서, 이병주 (1995) 순창전단대. 대한지질학회 춘계학술답사 안내서, p. 1-41.
 최은경, 김성욱, 김인수 (1998) 옥천대에 대한 고자기 연구: 북동옥천대에서의 대지율 비등방성과 지구조적 응력장. 지구과학회지, 19권, p. 9-21.
 Butler, F.R. (1992) Paleomagnetism: Magnetic Domains to Geologic Terranes. Blackwell Scientific Publication, 319p.
 Chough, S.K. (1981) Submarine debris flow deposits in the Ogcheon Basin, Korean Peninsula. United Nations ESCAP, CCOP Technical Bulletin, v. 14, p. 17-29.
 Chough, S.K. and Bahk, K.S. (1992) The Hwanggangri Formation in the Ogcheon Basin. In: Chough, S. K. (ed.), Sedimentary Basins in the Korean Peninsula and Adjacent Seas. Special Publications, Korean Sedimentary Research Group, Seoul, p. 77-103.
 Cluzel, D. (1991) The Ogcheon Belt (Republic of Korea): Tectonics and geodynamics of a polycyclic intraplate domains. J. Geol. Soc. Korea, v. 27. p. 515-519.
 Cluzel, D., Cadet, J.P and Lapierre, H. (1990) Geodynamics of the Ogcheon Belt (South Korea). In: J. Angelier(ed.), Geodynamic Evolution of the Eastern Eurasian Margin, Tectonophysics, v. 183, p. 41-56.
 Collinson, D.W. (1983) Methods in Rock Magnetism and Palaeomagnetism: Techniques and Instrumentation. Chapman & Hall, London, 503p.
 Hrouda, F. (1982) Magnetic anisotropy of rocks and its application in geology and geophysics. Geophys. Surveys, v. 5, p. 37-92.

- Hrouda, F. (1987) Mathematical model relationship between the paramagnetic anisotropy and strain in slates. *Tectonophysics*, v. 142, p. 323-327.
- Jelinek, V. (1981) Characterization of the magnetic fabric of rocks. *Tectonophysics*, v. 79, p. 63-67.
- Kim, H.S. (1971) Metamorphic facies and regional metamorphism of Ogcheon Metamorphic Belt. *J. Geol. Soc. Korea*, v. 7, p. 221-256.
- Kim, J.H. (1987) Caledonian Ogcheon orogeny of Korea with special reference to the Ogcheon uraniferous marine black slate. Ph. D. Thesis, Univ. Tokyo, Japan.
- Koh, H.J. and Kim, J.H. (1995) Deformation sequence and characteristics of the Ogcheon Supergroup in the Goesan area, central Ogcheon Belt, Korea. *J. Geol. Soc. Korea*, v. 31, p. 271-298.
- Lee, Y.-J. and Kim H.-S. (1988) Structural analysis of the Ogcheon Group in the Hanggangni Area, Korea. *J. Geol. Soc. Korea*, v. 24, p. 213-232.
- Owens, W. H. (1974) Mathematical model studies on factors affecting the magnetic anisotropy of deformed rocks. *Tectonophysics*, v. 24, p. 115-131.
- Pares, J.M., Van der Pluijm, B.A. and Dinres-Turell, J. (1999) Evolution of magnetic fabrics during incipient deformation of mudrocks (Pyrenees, northern Spain). *Tectonophysics*, v. 307, p. 1-14.
- Ramsay, J. G. and Huber, M. I. (1983) *The Techniques of Modern Structural Geology, Volume 1: Strain Analysis*. Academic Press, London, 307p.
- Rathore, J.S. (1979) Magnetic susceptibility anisotropy in the Cambrian slate belt of North Wales and correlation with strain. *Tectonophysics*, v. 53, p. 83-97.
- Reedman, A.J. and Fletcher, C.J.N. (1976) Tillites of the Ogcheon Group and their stratigraphic significance. *J. Geol. Soc. Korea*, v. 12, p. 107-112.
- Reedman, A.J., Fletcher, C.J.N., Evans, R.B., Workman, D.R., Yoon, K.S., Rhyu, H.S., Jeong, S.H. and Park, J.N. (1973) The geology of the Hwanggangri mining district, Republic of Korea. Geological and Mineral Institute of Korea, Report of Geology and Mineralogical Exploration, 118p.
- Tarling, D.H. and Hrouda, F. (1993) *The Magnetic Anisotropy of Rocks*. Chapman & Hall, 217p.

2000년 12월 4일 원고접수, 2001년 2월 9일 게재승인.