자원환경지질, 제37권, 제4호, 413-424, 2004
Econ. Environ. Geol., 37(4), 413-424, 2004

경기육괴에 분포하는 원생대 및 중생대 암석에 대한 고지자기 연구

석동우[1]* · 도성재[2] · 김완수[1]

[1]한양대학교 지구해양과학과, [2]고려대학교 지구환경과학과

Paleomagnetic Study of the Proterozoic and Mesozoic Rocks in the Kyeonggi Massif

Dongwoo Suk[1]*, Seong-Jae Doh[2] and Wansoo Kim[1]

[1]Department of Earth and Marine Sciences, Hanyang University, Ansan 426-791, Korea
[2]Department of Earth and Environmental Sciences, Korea University, Seoul 136-701, Korea

A paleomagnetic investigation of the Mesozoic Daedong Supergroup and the Precambrian Seosan Group in the Kyeonggi massif is carried out to elucidate the tectonic evolution of Korea under the effect of the collision between Korea and the North/South China Blocks. For the Daedong Supergroup, the characteristic direction of D/I=74.5°/36.7° (k=60.7, α_{95}=5.1°) after tilt correction is better clustered than that before tilt correction (D/I=61.9°/52.8°, k=4.4, α_{95}=21.5°), indicating that it is a primary magnetization acquired during the formation of the rock. Paleomagnetic pole position of the formation locates at 208.0°E, 24.5°N (n=14, K=67.5, A_{95}=4.9°), statistically similar to those of Middle Triassic period of the SCB, revealing that the two had occupied the same tectonic unit during this period. It is observed that only 6 out of 33 sites of the Seosan Group yield remagnetized paleomagnetic direction. The rest of the sampling sites reveals severe dispersion of magnetic directions presumably due to the consequences of the collision between Korea and the North/South China Blocks. The characteristic direction of the Seosan Group is D/I=45.7°/60.1° (k=41.2, α_{95}=10.6°) and the corresponding pole is at 195.0°E, 51.6°N (n=6, K=20.8, A_{95}=12.4°). Although the pole position is close to those of Jurassic period of the Kyeonggi massif and Early Cretaceous of the Kyeongsang basin, it is interpreted that the Seosan Group was remagnetized by the influence of the emplacement of the Jurassic Daebo Granite after or at the closing stage of the orogenic episode rather than under the direct effect of deformation and/or metamorphism caused by the collision.

Key words : Daedong Supergroup, South China Block, Seosan Group, remagnetization, dispersion of paleomagnetic directions

한반도의 북중국/남중국지괴와의 연계성 및 충돌의 영향을 근거로 한반도의 지체구조적 진화를 알아보기 위하여 경기육괴에 분포하는 중생대 대동누층군과 원생대 변성암인 서산층군에 대하여 고지자기 연구를 수행하였다. 대동누층군에 대해서는 26개 지점 239개의 시료 중 14개 지점 106개의 시료에서 생성당시의 특성잔류자화 방향을 추출하였다. 특성잔류자화 방향은 경사보정 후 평균방향이 D/I=74.5°/36.7° (k=60.7, α_{95}=5.1°)이며 이는 경사보정 전의 방향 D/I=61.9°/52.8° (k=4.4, α_{95}=21.5°)보다 집중된 분포를 나타내므로 암석생성당시 획득된 일차자화임을 지시한다. 경사보정 후의 방향으로부터 계산한 고지자기극은 208.0°E, 24.5°N (n=14, K=67.5, A_{95}=4.9°)에 위치하며 중기 트라이아스기 남중국지괴의 고자기극과 통계학적으로 유사하므로 이 기간 동안 대동누층군은 남중국지괴와 지구조적으로 동일했던 것으로 해석되며 남중국지괴와 한반도의 충돌에 따른 변형 · 변성작용에도 일차자화가 보존되었음을 지시한다. 서산층군의 33개 지점에서 채취한 279개 시료의 대부분은 분산된 방향을 나타내며, 오직 쥬라기 화강암 주변의 6개 지점에서 채취한 36개의 시료로부터 특성잔류자화 방향을 추출하였다. 이와 같은 결과는 경기육괴의 최대 변성시기인 북중국/남중국지괴와의 충돌과 연관된 고생대 말기에서 중생대 쥬라기 시기의 지구조 운동의 영향으로 추측된다. 지층경사보정 이전의 잔류자화 방향은 D/I=45.7°/60.1° (k=41.2, α_{95}=10.6°)이며 이로부터 구해진 고지자기극의 위치는 195.0°E, 51.6°N (n=6, K=20.8, A_{95}=12.4°)로서 한반도 쥬라기 또는 백악기 초의 고지자기극과 유사하다. 그러나 서산층군의 특성잔류자화 방향은 조산운동의 직접적인 영향보다는 조산운동 후기 또는 이후에 쥬라기 대보화강암의 정치와 연관되어 획득된 재자화 방향으로 해석하였다.

주요어 : 대동누층군, 남중국지괴, 서산층군, 재자화, 자화방향의 분산

*Corresponding author: dwsuk@hanyang.ac.kr

1. 서 론

한반도에 대한 고지자기 연구는 국내외의 유수한 학자들에 의해 지난 10년 간 활발히 진행되어 왔다. 유라시아 대륙의 지괴운동이 진행되었던 중생대 및 고생대의 한반도에 대한 고지자기 연구는 Otofujj *et al.* (1989), 김인수(1989), 김광호 등(1990) 및 도성재(1993) 등의 여러 사람들에 의해 활발히 수행되어왔다. McElhinny *et al.*(1981)에 의해 유라시아 대륙이 북중국지괴와 남중국지괴를 포함한 여러 개의 지괴들에 의해 이루어졌다는 사실이 알려진 이 후 고지자기 연구를 통하여 이들 지괴들의 상대적인 움직임에 대한 연구가 많이 수행되어져 왔으며(Enkin *et al.*, 1992), 특히 유라시아 대륙의 동쪽 연변부에 위치한 한반도의 지체구조학적인 위치에 대한 논란은 현재도 계속되고 있다. 즉 한반도가 북중국지괴에 속한다는 전통적인 견해(Lee, 1987), 이와는 상반되는 남중국지괴에 속한다는 의견(Lin *et al.*, 1985), 옥천대를 중심으로 북부는 남중국지괴 남부는 북중국지괴에 속한다는 보고(Cluzel and Cadet, 1992), 그리고 독립된 개별지괴일 가능성(Enkin *et al.*, 1992) 등이 그것이다. 특히 1980년대 후반부터는 중한지괴(Sino-Korean Plate, 또는 북중국지괴: North China Block)와 양쯔지괴(Yangtz Plate, 또는 남중국지괴: South China Block) 사이의 충돌대인 친링-다비-수루(Qinling-Dabie-Sulu) 조산대가 서해를 지나 한반도로 연장될 가능성에 대한 관심이 높아지고 있다(조문섭 등, 1995; Cluzel *et al.*, 1990; Ree *et al.*, 1996).

한반도의 중부를 가로지르는 옥천대는 경기육괴와 영남육괴의 경계부로서 변성암석학적 연구에 따르면 변성시기가 초기 트라이아스기로 보고되고 있으며(Ree *et al.*, 1996), 경기육괴 북부 휴전선 인접지역의 동서방향의 주향을 갖는 습곡-단층대인 임진강대는 남북 경계에 대한 정확한 정의는 성립되어있지는 않지만 트라이아스기에 광역변성작용을 받았다는 보고가 있으나(조문섭 등, 1995), 이들 임진강대와 옥천대의 성인에 대한 논란은 현재에 이르기까지 계속되고 있다. 경기육괴는 북중국지괴에, 영남육괴는 남중국지괴에 속한다는 견해(Lee, 1987)에 따르면 옥천대는 북중국지괴와 남중국지괴의 충돌선인 친링-다비-수루 조산대의 연장선으로 해석될 수 있는 반면에 옥천대를 중심으로 북부는 남중국지괴 옥천대 남부는 북중국지괴에 속한다는 결과(Cluzel and Cadet, 1992)에 의하면 임진강대와 옥천대를 한반도 내에서의 남중국지괴와 북중국지괴의 충돌 봉합선으로 해석할 수 있다. 그러나 최근에 와서는 옥천대, 경기육괴 및 임진강대 전체가 친링-다비-수루 조산대의 연장선일 가능성이 제기되기도 하였다(Oh *et al.*, 1997).

이와 같은 가설을 검증하기 위하여 그동안 중생대 및 고생대 시기의 옥천대 내에 분포하는 암석에 대한 고지자기 연구는 계속적으로 여러 차례 수행되어왔으며(김인수 등, 2001; 박용희 등, 2003; 이윤수와 민경덕, 1995) 현재에도 여러 연구자에 의해 수행 중에 있다. 또한 한반도의 신빙성있는 지체구조적 진화의 확립을 위해서는 옥천대, 임진강대 뿐만 아니라 논란의 핵심인 경기육괴에 분포하는 암석에 대한 고지자기 연구가 절실히 요구되고 있다. 그러나 경기육괴 내에는 하부 중생대 및 고생대 암석의 분포가 극히 제한적인 반면 선캠브리아기의 편암류와 경기변성복합체 및 중생대 화강암이 넓게 분포하나, 화강암과 변성암류에 대한 고지자기 연구는 이들 암석의 낮은 자화강도로 인하여 암석에 기록된 특성잔류자화 방향을 성공적으로 밝혀내기가 어렵다는 이유로 그동안 극히 소수의 고지자기 연구가 수행되었으며(김인수 등, 1993; 김성욱과 김인수, 1998; 김광호 등, 1990; 민경덕 등, 1989; 민경덕 등, 1992), 또한 그 연구 결과가 서로 상반되는 점에서 결론을 도출하지 못하였다. 또한 남한 중생대 초기의 대표적인 암석인 대동누층군은 한반도의 여러 지역에 분포하며 문경지역(민경덕 등, 1990; 김인수 등, 1995a; 김인수 등, 1995b), 단양지역(김정희, 1994; 민경덕 등, 1993), 김포지역(김인수 등, 1993; 김수현, 2002) 및 충남탄전지역(민경덕 등, 1992; 김성욱과 김인수, 1998; Uno and Chang, 2000)에서 대동누층군에 대한 고지자기 연구가 수행되어왔으나 그 연구 결과가 서로 상이하게 보고된 바 있다.

본 연구는 한반도의 북중국지괴/남중국지괴에 대한 지체구조학적인 연계성 및 북중국지괴와 남중국지괴 사이의 충돌대인 친링-다비-수루 조산대와 한반도와의 연관성을 밝히고자하는 연구의 일환으로 한반도 중부 서해안의 경기육괴에 분포하는 선캠브리아기 편암류 및 화강편마암으로 구성된 서산층군과 충남지역에 분포하는 중·후기 트라이아스기 암석인 대동누층군에 대한 특성잔류자화 방향 측정을 통하여 일차자화방향과 변성·변형작용에 의해 분산된 이차 자화방향의 확인과 분류 및 충남지역 대동누층군의 남중국지괴/북중국지괴와의 귀속문제를 밝힘으로써 경기육괴에 분포하는 암석의 지구조적 진화특성을 밝히고자 한다.

2. 지질개요

본 연구는 경기육괴에 포함되어 있으며 중부옥천대의 서남부에 위치하는 충남탄전 지역의 대동누층군과 태안반도를 중심으로 중부 서해안에 분포하는 서산층군을 대상으로 하였다. 충남탄전 지역의 대동누층군은 심한 습곡과 단층작용을 받아 변형되었으며 서산층군과 경기변성암복합체 및 화강 편마암과 편암 위에 부정합으로 놓여 있다. 지리상의 위치는 북위 36~36.5°, 동경 126.1~126.9°에 위치하며 중심 좌표는 36.3°N, 126.6°E이다. 이 지역의 지질 조사 연구는 Shimamura (1931)에 의해 청양, 대천, 부여 및 남포 등 4개 도폭 조사(1:50,000)에서 비롯되었으며, 그는 충남지역 대동누층군을 남포층군이라 명명하였다. 남포층군은 충청남도 서남부의 6개 군에 걸쳐 분포하며 한반도 남부에서는 최대 면적에 분포하는 대동누층군이다. 그 후 충남탄전 개발을 위한 엄상호 등(1966), 손치무 등(1967), 이돈영 등(1974), 전희영 등(1987), 서해길 등(1980)의 연구가 진행되었다.

충남탄전 지역 대동누층군의 층서는 여러 연구자에 의해 구분되었으나 본 연구에서는 서해길 등(1980)의 층서 구분을 따랐다. 연구지역의 대동누층군은(Fig. 1a) 최하부에 기저역암층으로 알려진 주로 역암으로 구성된 하조층이 400 m의 층의 두께로 분포하며, 역암의 역들은 호상편마암, 규암, 규질 편암으로 구성되어있다. 상부로 갈수록 점차 사암으로 변하여 상위의 아미산층은 주로 사암과 셰일로 구성되어 있으며 1,000 m에 가까운 층의 두께를 보인다. 하부의 장석질 각력 사암대와 상부의 역암대로 구성된 조계리층의 두께는 약 400m이다. 백운사층은 주로 역암과 사암으로 구성된 하부의 역암대와 사암과 이암 및 실트암의 호층으로 구성된 상부로 크게 구분된다. 성주리층은 장석질 사암과 역암으로 주로 구성되며 회색 이암 또는 실트암이 협재되기도 한다 . 한반도 남부의 여러 지역에 분포하는 대동누층군의 식물화석군을 비교 연구한 전희영 등(1987)은 김포탄전의 통진층, 충남탄전의 아미산층과 백운사층, 문경탄전의 여러 층에서 Dicyophyllun-Clathropteris의 존재를 보고하였으며, 이들 식물군은 동북아시아의 일본과 중국의 길림성, 동부 연해주 등지에서 산출되는 후기 트라이아스기 식물군으로 해석하였다.

서산층군이란 명칭은 최초로 손치무(1971)에 의해 '연천계 분포지역에 발달된 철광상을 포함하는 규암층'에 대해 정의되었다. 그러나 그 후 우리나라 중부 서해안 일대에 분포하는 규암 및 편암류를 통칭하여 서

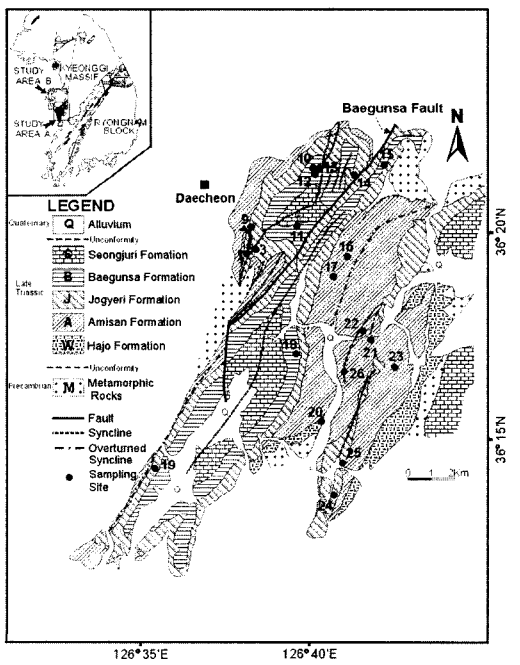

Fig. 1a. Geologic map of study area A (Daedong Supergroup in Chungnam Province) showing sampling sites (modified from Yu *et al.*, 1992).

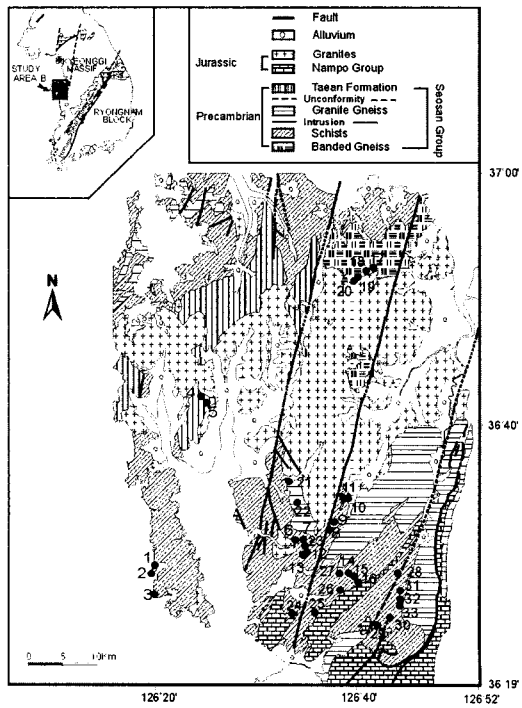

Fig. 1b. Geologic map of study area B (Seosan Group) showing sampling sites.

산층군이라 부르고 있다. 본 연구에서는 1 : 250,000 대전 지질도폭 설명서(이병주 등, 1996)에 근거해 당진 부근의 호상편마암, 태안반도 및 안면도 일대에 분포하는 규암과 석회암을 포함하는 편암류 및 이를 관입한 화강편마암과 이 두 암체를 부정합으로 덮고 있는 태안층으로 분류하였다(Fig. 1b). 서산층군의 생성연대는 화강편마암의 절대연령이 약 2,300 Ma(주승환, 1983)으로 보고됨으로써 상부 시생대 내지 최하부 원생대로 유추할 수 있다. 그러나 태안부근 편마암에 대한 Rb/Sr 전암연대는 149-186 Ma로 보고된 바 있으며(주승환, 1983; 신상천과 진명식, 1995) 이는 서산층군의 세 번에 걸친 변성작용 중 트라이아스기에서 쥬라기에 걸쳐 일어났던 마지막 변성작용의 결과로 해석하기도 한다(권성택 등, 1997). 연구지역을 중심으로 홍성-서산-당진에 걸쳐 광범위하게 분포해있는 서산층군을 관입한 대보화강암의 생성 시기는 후기 트라이아스기-전기 쥬라기이며 이는 조산운동 중 대보조산운동과 동시대의 것으로 해석한다(이병주 등, 1996). 연구지역의 또 다른 구조적인 특징은 당진단층(나기창 등, 1982)을 포함하는 N15°E 내외의 거의 평행한 단층의 발달이다. 이 단층들은 북북동 방향의 좌수향 주향이동단층으로 추가령 구조선의 연장선으로 해석되기도 하였으나(김광호 등, 1995; 1997) 이를 뒷받침하는 야외에서 발견되는 증거는 아직 없다. 다만 천수만 지역에 발달하는 백악기 화산암류를 동일한 방향으로 잘랐다는 점에서 최소한 제3기까지도 활동한 단층으로 추측할 수 있다(이병주 등, 1996).

3. 연구방법

본 연구를 위해 대동누층군에서는 하조층 1개 지점, 아미산층 6개 지점, 조계리층 13개 지점, 백운사층 5개 지점, 그리고 성주리층 1개 지점 등 총 26개 지점(site)에서 239개의 독립된 정향시료를 채취하였다. 한편 서산층군에서는 호상편마암(banded gneiss) 4개 지점, 편암류(schists) 25개 지점, 화강편마암(granite gneiss) 2개 지점, 그리고 태안층 2개 지점 등 33개의 지점에서 총 319개의 정향시료를 채취하였다. 대동누층군과 서상층군의 시료 채취 지점은 각각 Fig. 1a와 Fig. 1b에 도시하였다. 야외에서 정향시료를 채취하기 위해서는 야외용 착암기를 이용하고 있으나 야외용 착암기의 사용이 제한되는 지점에서는 Brunton compass로 시료표면에 방향을 표시한 블록 시료(block sample)를 채취하였다. 또한 각 층의 층리면의 주향과 경사를 기록하였으며 층리면을 인지할 수 없는 지역에서는 노두의 대표적인 엽리면의 주향과 경사를 기록하였다. 야외에서 채취한 블록시료는 실험실에서 주향과 경사를 포함한 평면이 실내 시추기의 비트에 수직이 되도록 고정시킨 후 천공하였다. 천공하여 얻은 코어시료를 비자성 암석절단기를 이용하여 2.2cm 길이로 절단하여 측정시료를 얻었다.

고지자기 연구를 위하여 대동누층군에서는 239개의 정향시료로부터 358개의 측정시료를 준비하였고 그중 측정 가능한 283개의 시료에 대하여 특성잔류자화 방향을 측정하였다. 서산층군에 대해서는 총 319개의 정향시료로부터 279개의 측정시료를 준비하였으나 자화강도가 낮은 시료를 제외한 197개의 시료에 대하여 단계적 소자실험을 실시하였다. 모든 시료들에 대하여 자연잔류자화(natural remanent magnetization: NRM) 방향을 측정하고, 대표시료(pilot sample)의 소자양상을 근거로 나머지 시료들에 대한 최적의 소자 방법을 결정하였다. 열소자는 Magnetic Measurement사의 Model MMTD-80 열소자기를 사용하였고, 자화방향 측정은 FINO AG사의 SQUID-based spinner magnetometer 및 Molspin사의 spinner magnetometer를 사용하였다. 열소자는 300°C까지는 100°C 단계, 500°C까지는 50°C 단계, 700°C까지는 20°C 단계로 각 시료의 잔류자화를 기록하는 자성광물의 큐리온도(Curie Temperature)까지 수행하였다. 고지자기 자료처리는 직교소자도(Zijderveld, 1967)상에 나타나는 방향 변화로부터 주성분 분석법(Kirschvink, 1980)을 이용하여 각 방향성분을 추출하였으며, 주성분 분석법 적용 시에는 일직선상에 나타나는 최소한 3점 이상의 점들과 원점을 이용하여 Anchored Line Fit Method를 적용하였다. 각 암석시료로부터 추출된 특성잔류자화 방향에 대하여 Fisher의 구면통계법(Fishser, 1953)을 이용하여 노두별, 층별 평균값을 산출하였다.

4. 연구결과

대동누층군의 26개 지점에서 채취한 283개의 시료에 대해 단계별 열소자를 실시하였으나 오직 14개 지점 187개 시료 중 106개 시료에서 열소자를 통한 일차잔류자화 방향을 획득하였다. 하조층과 성주리층의 시료는 자화강도가 약하여 저온의 소자단계에서 방향이 불규칙해짐으로써 특성잔류자화 방향의 결정이 불가능하였으며, 일부 시료 중 원점을 향해 자화강도가 감소하는 경향을 나타내는 시료도 있으나 각각의 시료

가 나타내는 방향이 시료 채취지점의 평균을 산출하지 못할 정도의 산발된 자화 방향을 보임으로써 특성잔류자화 방향 결정을 못하였다. 백운사층의 2개 지점과 아미산층의 2개 지점을 제외하고는 조계리층의 10개 지점에서 일차 잔류자화를 추출할 수 있었으며, 조계리층의 10개 지점 중 8개의 시료채취 지점은(CN01~CN08) 약 2 km의 도로변에 노출된 연속된 노두에 집중된 것이었다(Fig. 1a). 조계리층(CN01~08, CN19, CN25)에서는 500°C~640°C 범위에서 특성잔류방향이 분리되었으며 640°C 이상에서는 자화강도가 약해짐에 따라 방향이 분산되는 경향을 나타내며 정자화 방향(Fig. 2a)과 역자화 방향(Fig. 2b)을 모두 나타내고 있다. 또한 자철석의 큐리온도인 580°C를 경계로 인지할만한 방향의 변화는 관찰되지 않았다. 아미산층(CN16, CN21)에서는 일반적으로 300~680°C 범위에서 특성잔류방향이 성공적으로 분리되었으며 자연잔류자화 방향을 포함한 전 단계의 방향이 거의 유사하게 측정되는 시료도 관찰되었다(Fig. 2c). 백운사층(CN11, CN13)에서는 350~640°C 범위에서 특성잔류방향이 분리되었다(Fig. 2d).

대동누층군의 평균 특성잔류자화 방향은 Table 1에 정리하였다. 10개 지점에서 추출된 조계리층의 평균방향은 경사보정 전이 D/I=71.2°/63.2°(k=6.5, α_{95}=20.4°)이며 경사보정 후는 D/I=75.9°/35.8° (k=70.3, α_{95}=5.8°)로 계산되었다. 백운사층과 아미산층의 시료채취 지점의 수가 각각 두개로써 각 층들의 평균방향의 의미는 없으나, 연구지역 대동누층군의 평균방향을 계산하기 위해서 백

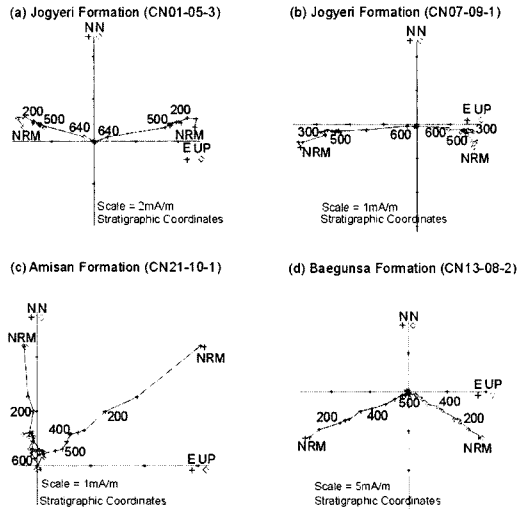

Fig. 2. Thermal demagnetization results of representative samples of the Jogyeri Formation (a, b), Amisan Formation (c) and Baegunsa Formation (d) showing normal and reversed polarities. Cross (diamond) represents horizontal (vertical) component.

Table 1. Paleomagnetic results of the Daedong Supergroup in Chungnam Province.

Formation	Site	N/No	Geographic coordinates				Stratigraphic coordinates				Paleomagnetic Pole		dp	dm
			D (°)	I (°)	k	α_{95} (°)	D (°)	I (°)	k	α_{95} (°)	Long. (°E)	Lat. (°N)	(°)	(°)
Baegunsa	CN11	3/10	107.4	32.5	2.2	121.7	77.9	40.1	84.3	13.5	204.2	22.7	9.8	16.3
	CN13	5/11	58.4	-20.6	3.9	44.8	81.2	30.4	95.9	7.9	208.2	16.6	4.9	8.8
Jogyeri	CN01	10/18	336.1	75.6	7.7	18.6	62.3	46.7	85.1	5.3	206.8	37.5	4.4	6.8
	CN02	14/20	48.2	28.7	1.6	49.1	73.9	44.7	55.0	5.4	202.9	27.6	4.3	6.8
	CN03	12/18	52.5	70.9	9.1	15.2	65.8	31.7	23.4	9.2	216.2	29.4	5.8	10.3
	CN04	8/9	59.8	46.5	2.1	50.7	84.1	42.6	54.2	7.6	199.3	18.8	5.8	9.4
	CN05	11/17	147.4	58.8	6.5	19.4	72.3	23.3	89.1	4.9	217.0	21.4	2.8	5.2
	CN06	8/15	165.1	67.2	2.1	50.8	81.8	39.8	47.4	8.1	202.4	19.5	5.8	9.7
	CN07	11/18	88.5	40.9	5.4	21.7	84.9	28.7	88.3	4.9	207.0	13.0	3.0	5.4
	CN08	6/10	19.9	82.3	1.4	100.6	73.9	30.8	56.1	9.0	212.1	22.5	5.6	10.0
	CN19	4/9	60.1	10.9	2.1	85.4	80.6	34.5	179.8	6.9	206.2	18.5	4.5	7.9
	CN25	3/10	73.3	75.3	46.8	37.4	78.6	33.6	392.7	12.6	207.9	19.7	8.2	14.4
	Mean		71.2	63.2	6.5	20.4	75.9	35.8	70.3	5.8	207.7	22.9	K=85.6	A_{95}=5.3
Amisan	CN16	6/11	14.9	36.3	2.9	47.9	56.0	51.0	70.6	8.0	205.2	44.0	7.3	10.8
	CN21	5/11	24.2	18.2	1.6	100.4	65.0	32.2	148.7	6.3	216.4	30.2	4.3	7.7
Total	Mean	14 sites	61.9	52.8	4.4	21.5	74.5	36.7	60.7	5.1	208.0	24.5	K=67.5	A_{95}=4.9

N/No : number of specimens averaged/measured; D and I: declination and inclination in geographic and stratigraphic coordinates; k: Fisherian precision parameter; α_{95}: radius of cone of 95% confidence interval; dp: semi axis of the confidence ellipse along the great-circle path from site to pole; dm: semi axis of the confidence ellipse perpendicular to that great-circle path.

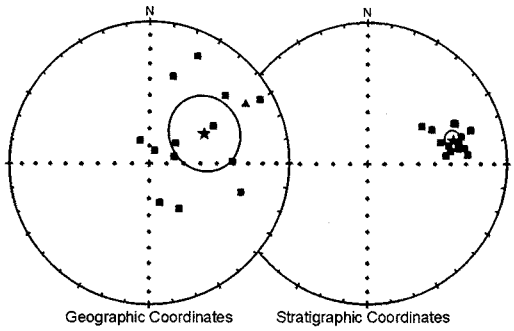

Fig. 3. Equal area projections of mean direction (star) of 14 sites of the Daedong Supergroup from Chungnam area with 95 percent confidence limit.

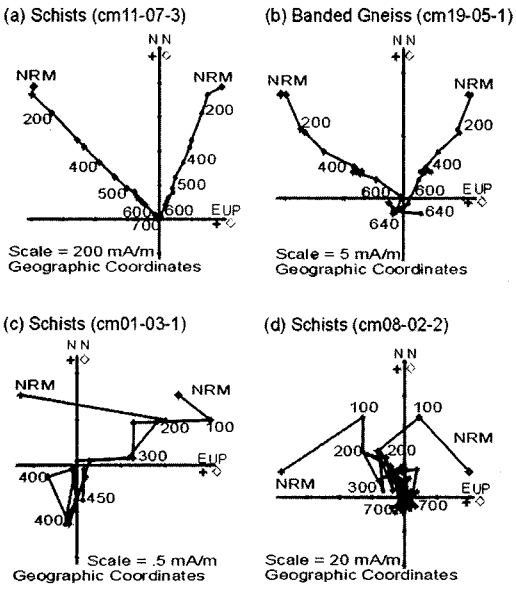

Fig. 4. Thermal demagnetization results of representative samples of the Seosan Group. Cross (diamond) represents horizontal (vertical) component.

운사층과 아미산층을 포함한 14개 지점의 특성잔류자화 방향을 사용하였다. 14개 지점에 대한 경사보정 전의 특성잔류자화 방향은 D/I=61.9°/52.8°(k=4.4, α_{95}=21.5°)이며 경사보정 후의 방향은 D/I=74.5°/36.7°(k=60.7, α_{95}=5.1°)로써 경사 보정 후의 방향이 보다 집중 분포함을 관찰할 수 있었으며(Table. 1, Fig. 3) 이 방향을 충남지역 대동누층군의 대표 평균방향으로 사용하였다.

본 연구의 또 다른 대상 암석인 서산층군은 편암(schists)과 편마암(gneiss)이 주를 이루는 변성암으로써 자연잔류자화(NRM)의 강도는 0.5~3000 mA/m로서 다양한 값을 보인다. Fig. 1b에서 보는 것처럼 연구지역 중심 지역에 쥬라기 화강암이 광범위하게 분포하고 있으며, 시료채취 지점의 발견에 어려움 있어 각 층에서 시료의 고른 채취를 하지 못하였고 대부분 편암류 지역에서 시료를 채취하였다. 각 시료의 특성잔류자화 방향은 심하게 분산되는 결과를 보이므로 각 층에 대한 특징적인 방향의 추출은 불가능하였다. 단계적 열소자 결과를 보면, 시료 CN11-07-3에서는 700°C까지 안정된 자화 방향이 나타나므로(Fig. 4a) 이는 자철석과 적철석 계열의 자성광물에 의해 기록된 성분으로 해석된다. 또한 시료 CN19-05-1에서는 자철석의 큐리온도인 580°C까지는 비교적 안정한 자화 방향을 나타내며 소자되다가 600°C 이후에 자화강도가 급격히 감소하며 불규칙한 방향을 보이는 경우(Fig. 4b)도 관찰되었다. 또한 많은 수의 시료가 매우 약한 자화강도를 보이고 방향성도 불안정하여 400°C부근에서 소자가 완료되는 경우도 빈번히 관찰되고 있다(Fig. 4c). 이러한 경우는 자류철석(pyrrhotite)이 주요 자성광물인 것으로 사료되나 일정한 방향을 결정할 수 없어 평균방향 계산 시에는 포함하지 않았다. 반면에 Fig. 4d에서 보는 것처럼 자화강도는 크나 전 소자 단계에 걸쳐 불규칙한 방향성을 보이는 시료도 존재하였다.

서산층군 암석시료는 전반적으로 약한 자화 강도와 불안정한 자화 방향으로 인하여 자화 방향이 심하게 분산되는 양상을 나타냄으로써 양질의 특성잔류자화 방향의 결정은 불가능하였으며, 33개의 시료채취 지점에서 채취한 시료 중 지점 평균 분산도(α_{95})의 값이 40° 미만인 6개 지점으로부터 평균방향을 결정하였다. 또한 변성암에 대한 경사 보정은 퇴적암 기원의 변성암인 경우 원래의 층리면이 관찰되는 경우에는 가능하겠으나, 본 연구지역에서는 이러한 층리면은 관찰할 수 없었고 각 시료채취 지점에서 관찰한 엽리면의 방향을 기준으로 엽리면의 형성과 특성잔류자화 방향획득 과정의 체계적인 연관성의 확인을 위하여 경사보정을 실시하였다. 이와 같이 얻어진 서산층군의 특성잔류자화 방향과 고지자기극의 위치는 Table 2에 정리하였다. 지점 평균 분산도(α_{95})의 값이 40° 미만인 6개 지점으로부터 구한 평균방향은 경사보전 전이 D/I=45.7°/60.1°(k=41.2, α_{95}=10.6°)이며 경사보정 후의 방향은 D/I=38.8°/32.2°(k=7.5, α_{95}=26.1°)이며(Table 2), 이 결과는 Fig. 5에 도시하였다. 참고로 이와 함께 33개 사이트 중 낮은 자화 강도로 인해 최소 3개미만의 시료에서만 방향이 추출된 8개 지점의 결과를 제외한 25개 지점 각각의 평균방향을 평균한 전체 평균 방향은 지층경사보정 전이 D/I=356.0°/49.8°(k=5.6, α_{95}=13.4°)이며 경사 보정 후의 방향은 D/I=355.0°/22.5°(k=2.6,

Table 2. Paleomagnetic results of the Seosan Group.

Site	N/N0	Geographic coordinates				Stratigraphic coordinates				Paleomagnetic Pole		dp	dm
		D (°)	I (°)	k	α_{95} (°)	D (°)	I (°)	k	α_{95} (°)	Long. (°E)	Lat. (°N)	(°)	(°)
SS18	3/5	23.4	71.9	24.0	25.7	18.4	42.8	56.5	16.6	157.2	64.7	39.9	45.3
SS19	5/13	41.1	54.8	9.2	26.6	38.6	8.5	4.3	41.7	206.7	57.0	26.6	37.6
SS20	15/15	31.9	54.7	12.8	11.1	45.4	28.9	12.2	11.4	210.6	64.3	11.1	15.7
SS21	6/6	62.7	54.2	9.0	23.6	46.8	27.0	9.4	23.0	198.9	40.0	23.3	33.2
SS27	3/3	27.7	61.1	16.2	31.7	338.0	76.1	16.2	31.7	193.1	67.9	37.3	48.6
SS30	4/5	75.8	55.7	8.1	34.4	53.0	6.8	4.2	51.2	192.1	30.7	35.2	49.2
All site	25/33	356.0	49.8	5.6	13.4	355.0	22.5	2.6	23.1	339.3	88.1	K=4.5	A_{95}=15.3
All sample	197/279	5.3	51.8	1.8	10.9	0.3	10.5	1.5	13.9	258.4	84	10.2	14.9
Mean of 6 sites	6/33 sites	45.7	60.1	41.2	10.6	38.8	32.2	7.5	26.1	194.3	55.2	K=20.4	A_{95}=15.2

N/No: number of specimens averaged/measured; D and I: declination and inclination in geographic and stratigraphic coordinates; k: Fisherian precision parameter; α_{95}: radius of cone of 95% confidence interval; dp: semi axis of the confidence ellipse along the great-circle path from site to pole; dm: semi axis of the confidence ellipse perpendicular to that great-circle path.

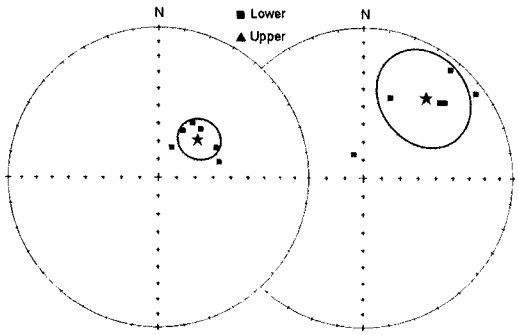

Fig. 5. Equal area projections of mean directions of six sites having better statistics among sampling sites of the Seosan Group and their mean direction (star) with 95 percent confidence circle in (a) geographic and (b) stratigraphic coordinates.

α_{95}=23.1°)로 계산되며, 25개 지점 197개 시료의 방향을 평균한 방향은 지층경사보정 전이 D/I=5.3°/51.8°(k=1.8, α95=10.9°)이며 경사보정 후 방향은 D/I=0.3°/10.5°(k=1.5, α_{95}=13.9°)로써 평균방향의 신뢰도가 매우 낮게 나타나고 있다(Table 2).

5. 토 의

본 연구에서 얻어진 충남지역에 분포하는 대동누층군의 특성잔류자화 방향은 경사보정 전이 D/I=61.9°/52.8°(k=4.4, α_{95}=21.5°)이며 경사보정 후의 방향은 D/I=74.5°/36.7°(k=60.7, α_{95}=5.1°)로써 경사 보정 후의 방향이 보다 집중 분포함을 관찰할 수 있었다(Table 1, Fig. 3). 이와 같은 결과는 특성잔류자화 방향이 연구지역의 단층 및 습곡형성 등의 지질구조 형성에 영향을 미쳤던 쥬라기의 대보조산운동 또는 백악기의 불국사조산운동 이전인 대동누층군의 생성 시기인 중기~후기 트라이아스기에 획득된 일차 자화임을 지시하고 있으며 김성욱과 김인수(1998)와 Uno and Chang(2000)의 연구 결과와도 잘 일치하고 있다. 민경덕 등(1992)의 선행연구에서는 백운사 단층대를 중심으로 서북측 지괴와 남동측 지괴의 특성 잔류자화의 방향이 약 45° 정도 차이가 있음을 보고하였으며 이는 백운사 단층대의 형성에 따른 지괴 간 상대적 회전 운동에 기인한다고 해석하였다. 본 연구에서 구한 충남지역 대동누층군의 특성잔류자화 방향은 대부분 조계리층의 제한된 지역에서 얻어진 것(Table 1, Fig. 1a)으로써 연구 결과의 충남지역 대동누층군에 대한 대표성은 제한되나 앞에 언급한 지역간의 특성잔류자화 방향의 차이는 인지되지 않았다.

충남지역 대동누층군의 특성잔류자화 방향으로부터 계산된 고지자기극의 위치는 208.0°E, 24.5°N (n=14, K=67.5, A_{95}=4.9°)이며(Table. 2), 충남지역과 김포지역에 분포하는 대동누층군에 대해 선행된 연구 결과(민경덕 등, 1992; 김인수 등, 1993; 김성욱, 1998; Uno and Chang, 2000; 김수현, 2002)의 고지자기극의 위치와 비교하였다(Fig. 6a). 본 연구 결과는 민경덕 등(1992)의 고지자기극의 위치와는 매우 상이한 반면 충남지역의 Uno and Chang (2000)과 김포지역에서의 김수현(2002)의 선행연구 결과와는 통계적으로 다르지 않음을 나타낸다. 또한 본 연구 결과는 김포층군에 대한 김인수 등(1993)의 연구 결과와 충남지역 대동누층군에 대한 김성욱(1998)의 결과와는 통계적으로

다르게 나타나고 있다(Fig. 6a). 과거에 충남지역의 대동누층군과 김포지역의 김포층군은 서로 다른 고지자기극의 위치를 보임으로써 충남의 대동누층군은 옥천대에, 김포층군은 경기육괴에 속한다는 해석도 있었으나(민경덕 등, 1992) 본 연구 결과를 포함하는 최근의 자료는 이 두 지역이 대동누층군의 형성시기에는 같은 지구조단위임을 지시하고 있다. 또한 충남지역 대동누층군의 북중국지괴/남중국지괴와의 연관성을 밝히기 위해 충남지역 대동누층군의 고지자기극의 위치(208.0°E, 24.5°N, n=14, K=67.5, A_{95}=4.9°)와 북중국지괴/남중국지괴에 대한 연구결과와 비교하였다(Table 3, Fig. 6b). 북중국지괴/남중국지괴에 대한 연구결과는 김성욱(1998)의 자료로부터 전기·중기·후기 트라이아스기의 시대별 고지자기극의 위치를 계산하여(Table 3) Fig. 6b에 도시 비교하였다. 대동누층군의 고지자기극의 위치는 북중국지괴의 고지자기 극의 위치와는 상이한 반면 남중국지괴의 중기 트라이아스기의 고지자기극과는 통계적으로 다르지 않음을 나타내는 반면 남중국지괴의 전기·후기 트라이아스기와는 통계적으로 같지 않음을 보이고 있다. 또한 남중국지괴/북중국지괴의 전기 쥬라기의 고지자기 극의 위치와 비교하여 보면(Table 3, Fig. 6b) 이들과 충남지역 대동누층군의 극과는 서로 같지 않음을 나타내고 있다. 따라서 본 연구의 대상인 충남지역 대동누층군과 함께 유사한 고지자기 극의 위치를 보이는 김포지역을 포함한 경기육괴는 중기 트라이아스기 동안 남중국지괴와 지구조적으로 동일했던 것으로 해석된다. 이는 대동누층군이 중기 트라이아스기의 지층 형성 당시의 특성잔류자화를 기록하고 있으며 암석생성 당시에는 남중국지괴에 포함되었다는 김성욱(1998) 및 Uno and Chang(2000)의 연구 결과와도 일치하고 있다.

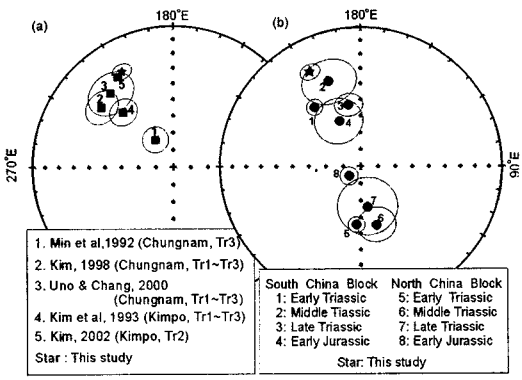

Fig. 6. Comparison of paleomagnetic pole of the Daedong Supergroup of this study to (a) those of the Daedong Supergroup in Chungnam Province and Kimpo area and to (b) those of the South China and North China Blocks with 95 percent confidence circles. Triassic poles of SCB and NCB are calculated based on the compilation of Kim (1998) and Early Jurassic pole of SCB is from Gilder *et al.* (1993) and that of NCB is from Uno and Huang (2003).

서산층군의 특성잔류자화 방향은 연구 지역 전체 또는 층별 평균방향의 결정이 불가능할 정도로 분산되는 양상을 나타냄으로 지점 평균 분산도(α_{95})의 값이 40° 미만인 6개 지점으로부터 평균방향을 구하였으며, 평균 방향은 경사보전 전이 D/I=45.7°/60.1°(k=41.2, α_{95}=10.6°), 경사보정 후의 방향은 D/I=38.8°/32.2°(k=7.5, α_{95}=26.1°)로 계산되었다(Table 2, Fig. 5). 암석생성 이후의 변성·변형작용은 암석에 영향을 미치며, 그 영향은 암석내의 특성잔류자화 방향의 변화로써 기록되는 한편 지체구조운동을 유발시킨 응력은 암석의 엽리, 습곡, 단층 등의 형성 원인이 될 뿐만 아니라 암석내의 자성광물의 변형 및 재배열을 유발시킴으로써 대자율 이방성을 증가시킨다. 암석내의 특성잔류자화 방향과 대자율 이방성의 체계적인 변화는 이

Table 3. Triassic and Jurassic paleomagnetic poles of the North and South China Block.

Unit	Period		N(n)	Paleomagnetic Pole		A_{95} (°)
				Long.(°E)	Lat.(°N)	
South China Block (SCB)	Jurassic	Early	3	204.5	60.4	14.0
	Triassic	Late	(19)	189.5	51.0	6.7
		Middle	6	200.5	34.8	14.4
		Early	11	217.8	45.3	4.6
North China Block (NCB)	Jurassic	Early	(15)	302.5	81.5	5.5
	Triassic	Late	2	8.4	66.2	17.1
		Middle	4	14.5	54.5	10.6
		Early	9	355.1	55.6	4.7

N(n): the number of previous studies (sites); Lat.: latitude; Long.: longitude; A_{95}: radius of the circle of 95% confidence. Triassic poles are calculated based on the compilation of Kim (1998) and Early Jurassic pole of SCB is from Gilder *et al.* (1993) and that of NCB is from Uno and Huang (2003).

러한 방향변화의 원인이 되는 변성·변형작용을 이해할 수 있는 고지자기학적 증거로서 이를 바탕으로 지체구조학적 진화과정의 해석을 가능하게 하고 있으며 (Hrouda, 1982; Tarling and Hrouda, 1993) 본 연구에서도 지구조운동과 특성잔류자화 방향의 체계적인 상관관계를 통하여 경기육괴의 지체구조적 진화과정 해석을 시도하였다. 엽리면의 형성과 고지자기 방향의 획득 기작 및 시기의 연관성을 확인하려는 시도로써 서산층군의 특성잔류자화 방향에 대하여 엽리면을 기준으로 경사보정을 실시하였으나 경사보정 실시 후의 방향의 분산도가 증가함으로써(Table 2, Fig. 5) 연구지역에서는 이들 간의 체계적 관계는 없는 것으로 해석하였다. 엽리면의 형성과 수반된 지구조운동이 대상암석의 특성잔류자화 방향을 분산시키는 것도 체계적 연관성의 하나이지만, 이런 경우에는 이들 간의 정량적 해석이 불가능함으로 본 연구에서는 단순히 이들 간의 체계적 연관성은 없는 것으로 간주하였으며, 따라서 변성암체인 서산층군의 경사보정 전의 방향은 서산층군의 변성·변형 이후에 획득된 재자화 성분으로 해석하였다.

서산층군의 재자화 시기와 원인을 이해하기 위하여 지층경사보정 이전의 방향으로부터 고지자기 극의 위치를 계산하여(195.0°E, 51.6°N, K=20.8, A_{95}=12.4°) 트라이아스기, 쥬라기, 백악기의 한반도와 유라시아대륙의 고지자기극들과 비교하였다(Table 4, Fig. 7). 본 연구지역에서 추출한 고지자기 극의 위치는 대동누층군의 극과는 통계학적으로 다르게 비교되는 반면, 김광호 등(1990)의 경기육괴와 영남육괴에 분포하는 쥬라기 화강암 및 퇴적암으로부터 구한 고지자기 극의 위치(200.9°E, 56.4°N, dp/dm=11.9°/ 16.1°)와는 유사함을 나타낸다. 또한 백악기 경상분지의 연구 결과 중 신동층군과 하양층군에서 얻어진 도성재 등(1994)에 의한 백악기 초의 고지자기극의 위치와는 통계적으로 유사한 반면 Besse & Courtillot(1991)에 의해 구해진 유라시아대륙의 백악기 평균 방향과는 다르게 비교되었다(Fig. 7). 충남지역의 서산층군의 재자화시기는 상기한 고지자기 연구결과와의 비교를 통해서는 쥬라기~백악기 초에 해당하는 것으로 판단된다. 이와 함께 나기창 등(1982)에 의해 보고된 본 연구지역의 최후 변성시기인 3차 변성시기가 트라이아스기~쥬라기인 점, 한반도내 쥬라기 화강암의 관입 및 정치 시기가 트라이아스기 말~쥬라기 중기(205±15 Ma)인 점(대한지질학회, 1999), 태안반도 부근의 편마암에 대한 Rb/Sr 전암 연대가 149-186 Ma로 보고 된 것(주승환, 1983; 신상천과 진명식, 1995)과 이 전암 연대를 서산층군의 세 번에 걸친 변성작용 중 트라이아스기에서 쥬라기에 걸쳐 일어났던 마지막 변성작용의 결과로 해석한 권성택 등

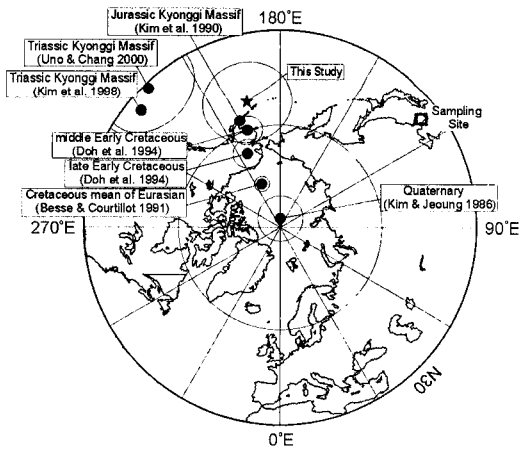

Fig. 7. Paleomagnetic pole of the Seosan group compared with those of Korea and Eurasian for the period of Triassic to Quaternary with 95 percent confidence circles.

Table 4. Paleomagnetic pole of the Seosan Group and those from Korea and Eurasia.

Period	N	Pole Position		A_{95} (dp/dm)(°)	Reference
		Lat. (°N)	Long. (°E)		
Triassic Kyonggi Massif	23	35.2	230.2	(4.9/9.4)	Kim *et al.* (1998)
Triassic Kyonggi Massif	7	31.9	220.2	12.7	Uno & Chang (2000)
Jurassic Kyonggi Massif	(8)	56.4	200.9	(11.9/16.1)	Kim *et al.* (1990)
middle Early Cretaceous	16	59.9	198.8	4.3	Doh *et al.* (1994)
late Early Cretaceous	20	66.4	204.1	4.2	Doh *et al.* (1994)
Cretaceous mean of Eurasian		76.3	202.8	2.2	Bess & Courtillot (1991)
Quaternary		87.4	178.8	6.6	Kim & Jeong (1986)
This study	6	55.2	194.3	15.2	

N: the number of sites(areas); Lat.: latitude; Long.: longitude; A_{95}: radius of the circle of 95% confidence; dp: the semi axis of the confidence ellipse along the great-circle path from site to pole; dm: the semi axis of the confidence ellipse perpendicular to that great-circle path.

(1997)의 연구결과, 본 연구에서 서산층군의 평균방향을 도출한 시료 채취 지점이 연구지역 중앙에 넓게 분포하는 쥬라기 대보화강암 인접 지역이라는 점과 함께 앞서 언급한 본 연구 결과인 서산층군의 재자화는 연구지역의 변성·변형작용 이후에 획득된 이차 자화라는 점을 종합해 보면 서산층군의 재자화 획득 시기는 고지자기극의 위치 비교에서 해석한 것 중 쥬라기에 연구지역의 대보화강암의 정치와 연관이 있는 것으로 해석된다.

권성택(1997)은 주승환(1983)에 의해 연구된 경기육괴 변성암의 연대측정 자료(149-186 Ma)에 대한 재고찰을 통하여 경기육괴의 최대 변성 시기는 중국 대륙충돌과 관계가 있음을 제시하였다. 대부분의 서산층군 시료에서 특징적인 잔류자화방향을 구할 수 없었던 이유는 연구지역의 암석이 생성된 후 격은 복잡한 조산운동과 화성활동(서산변혁, 경기변혁, 송림조산운동, 대보조산운동)의 복합적인 영향으로 특성잔류자화 방향의 분산이라는 결과에 기인한 것이라고 판단되며 연구지역내의 대보화강암 인근지역에서 추출한 재자화 방향은 화성암체의 영향에 의해 획득된 것으로 해석된다. 한편 충남지역 대동누층군에 대한 고지자기 연구결과는 대상암석에 기록된 특성잔류자화 방향이 대동누층군 퇴적당시인 중기 트라이아스기에 남중국지괴와 동일한 지구조단위에서 획득한 일차 자화임을 지시하는데, 이는 대동누층군의 특성잔류자화 방향이 남중국지괴와 한반도의 충돌에 의한 변성·변형작용에 의해서 분산되지 않고 남아있음을 의미하며 또한 특성잔류자화 방향을 추출할 수 있었던 시료들의 대부분이 대동누층군 중 조계리층에 집중적으로 분포하는 이유를 설명하기도 한다. 그러나 충남지역 대동누층군과 지리적으로 약 40 km 떨어져 부정합 또는 단층 등으로 접하고 있는 서산층군에 대한 연구 결과인 화성암체에 의한 재자화 또는 변성·변형작용에 의한 자화 방향의 무작위 분산이라는 사실은 앞으로 여러 분야의 지질학적 증거와 야외에서의 확인 작업을 통해 검증되어야 공존할 수 있는 사항으로 남는다.

6. 결 론

본 연구는 북중국지괴/남중국지괴와 관련된 한반도의 지체구조적 진화과정이 경기육괴에 분포하는 원생대 및 중생대 암석에 어떻게 기록되어 있는가를 밝히기 위한 목적으로 충남지역에 분포하는 중생대 대동누층군과 우리나라에 존재하는 최고기의 변성암인 서상층군과 대해 실시한 고지자기 연구이다. 충남지역 대동누층군에 대한 고지자기 연구는 대동누층군의 특성잔류자화 방향은 암석 생성 당시에 획득된 일차자화임을 지시하며 이로부터 구한 고지자기극의 위치는 208.0°E, 24.5°N(n=14, K=67.5, A_{95}=4.9°)로서 북중국지괴의 고지자기 극의 위치와는 상이하며 남중국지괴의 중기 트라이아스기의 고지자기극과 유사함으로 충남지역 대동누층군을 포함한 경기육괴는 중기 트라이아스기 동안 남중국지괴와 동일한 지구조 단위였던 것으로 해석하였다.

서산층군은 생성 이래 수차례의 변형?변성작용을 경험하였고 이로 인해 고지자기 방향이 무작위 분포를 보이며 분산되었다. 그러나 대보화강암 주변 6개 지점에서 추출한 재자화 방향은 D/I=45.7°/60.1°(k=41.2, α_{95}=10.6°)이며 이로부터 계산한 고지자기 극의 위치(195.0°E, 51.6°N, K=20.8, A_{95}=12.4°)는 경기육괴의 쥬라기와 경상분지에서 구해진 백악기 초의 극의 위치와 유사함을 나타낸다. 이와 함께 서산층군과 관계되는 변형·변성·화성운동을 고려하면 서산층군에 기록된 재자화 방향은 중국지괴와 한반도와의 충돌로 인한 연구지역의 변형·변성작용 후기 또는 이후의 쥬라기 대보화강암의 정치에 따른 영향에 의하여 쥬라기 화강암 주변부 암석에 한정적으로 기록되었다고 해석하였다.

사 사

본 논문은 2000년도 한국학술진흥재단 선도연구자지원사업(과제번호 KRF-2000-D00297)에 의하여 연구되었다. 이 논문의 완성도를 높이기 위하여 세심하고 건설적인 의견을 제시해주신 부산대학교 김인수 교수님과 한국지질자원연구원 이윤수 박사님께 감사드린다.

참고문헌

권성택, 전은영, 이진한 (1997) 경기육괴 변성암의 흑운모 Rb-Sr 연대: 지구조적 의미. 지질학회지, 33권, p. 49-53.

김광호, 남기상, 이정후 (1990) 한국 쥬라기의 고지자기. 지질학회지, 26권, p. 513-526.

김광호, 송무영 (1995) 한반도 중서부 지각구조와 물성연구 전곡-연천 일대에 분포하는 백악기 화산암류의 고지자기. 한국지구과학회지, 16권, p. 65-73.

김광호, 송무영, 정지곤, 김원사, 이동우 (1997) 한반도 중서부 지각구조와 물성 연구(III) 추가령열곡 남부에 분포하는 백악기 화산암류의 고지자기. 한국지구과학회지, 18권, p. 332-328.

김성욱 (1998) 옥천대에 분포하는 고생대 및 중생대 지층에 대한 고지자기 연구. 부산대학교 이학박사학위논문,

235p.
김성욱, 김인수 (1998) 충남지역 대동누층군에 대한 고자기 연구. 지질학회지, 34권, p. 1-19.
김수현 (2002) 김포분지에 분포하는 트라이아스기 대동누층군에 대한 고지자기 및 암석자기 연구, 고려대학교 이학석사학위논문, 32p.
김인수, 민경덕, 이미영, 강희철, 전희영 (1993) 김포지역 대동누층군에 대한 고자기 연구. 자원환경지질, 26, p. 193-206.
김인수, 민경덕, 이미영, 강희철, 전희영 (1993) 김포지역 대동누층군에 대한 고지자기 연구. 광산지질, 26권, p. 193-206.
김인수, 김정필, 민경덕 (1995a) 문경지역 대동누층군에 대한 고지자기 연구(I): 특성잔류자기의 추출. 지질학회지, 31권, p. 362-381.
김인수, 민경덕, 전희영 (1995b) 문경지역 대동누층군에 대한 고지자기 연구(II): 지구조적, 층서적 의의. 지질학회지, 31권, p. 382-392.
김인수, 김성욱, 최은경 (2001) 옥천대에 대한 고지자기 연구: 예미지역 고생대 지층의 잔류자기. 자원환경지질, 34권, p. 355-373.
김정희 (1994) 단양분지 일대의 고지자기학적 연구. 이학석사학위논문, 부산대학교, 52p.
나기창, 김형식, 이상훈 (1982) 서산층군의 층서 및 변성작용. 광산지질, 15권, p. 33-39.
대한지질학회 (1999) 한국의 지질, 시그마프레스, 802p.
도성재 (1993) 백운산 향사대에 분포하는 동고층에 대한 고지자기 연구. 광산지질, 26권, p. 383-393.
도성재, 김광호 (1994) 의성지역에 분포하는 백악기 지층에 대한 고지자기 연구. 광산지질, 27권, p. 263-279.
도성재, 황창수, 김광호 (1994) 밀양 소분지에 본포하는 경상누층군 퇴적암류에 대한 고지자기 연구. 지질학회지, 30권. p. 211-228.
민경덕, 이윤수, Shibuya, H., Sasajima, S., Nishimura, S., 기정석, 김문환 (1989) 김포지역에 분포하는 김포층군에 대한 고지자기 연구. 광산지질, 22권, p. 186-187.
민경덕, 엄정기, 김동욱, 최용훈, 이윤수 (1992) 충남탄전에 분포하는 대동층군에 대한 고자기학적 연구. 광산지질, 25권, p. 87-96
민경덕, 이윤수, 김원균 (1990) 문경지역에 분포하는 대동누층군에 대한 고지자기 연구(I). 광산지질, 23권, p. 81-87.
민경덕, 엄정기, 김동욱, 최용훈, 이윤수 (1992) 충남탄전에 분포하는 대동층군에 대한 고지자기학적 연구. 광산지질, 25권, p. 87-96.
민경덕, 이윤수, 김원균 (1993) 옥천대 북동부에 분포하는 하부 고생대층에 대한 고지자기연구. 광산지질, 26권, p. 395-401.
박용희, 도성재, 석동우 (2003) 정선지역에 분포하는 평안누층군에 대한 고지자기 연구: 재자화의 지질학적 의미. 지질학회지, 39권, p. 235-247.
서해길, 김동숙, 박석환, 임순복, 조민조, 배두종, 이창범, 이돈영, 유양수, 박정서, 장윤환 (1980) 충남탄전(I): 성주지역. 석탄자원조사보고서, 제2호, 자원개발연구소, 42p.
손치무 (1971) 동아의 선캠브리아기의 층서. 광산지질, 4권, p. 19-32.
손치무, 정창희, 김봉균, 이상만 (1967) 충남탄전의 정밀지질조사. 지질조사소, 탄전지질조사보고서, 제7호, p. 119-156.
신성천, 진명식 (1995) 한국 변성암 동위원소 연대 지도. 한국자원연구소.
엄상호, 최승오, 김승우 (1966) 충남탄전의 지질조사보고. 지질조사소, 탄전지질조사보고서, 제6호, p. 67-118.
이돈영, 유양수, 강기우, 예종근, 유병화 등 10인 (1974) 충남탄전 정밀지질조사 보고서. 상공부, 50p.
이병주, 김동학, 최현일, 기원서, 박기화 (1996) 1:250,000 대전 지질 도폭 설명서. 과학기술처, 59p.
이윤수, 민경덕 (1995) 옥천대의 중생대 이래의 지구조적 운동에 관한 고지자기 연구. 자원환경지질, 28권, p. 493-501.
장태우, 이상용 (1982) 한국지질도, 1:50,000 서산-모항도폭. 한국동력자원연구소.
전희영, 봉필윤, 이호영, 최성자 (1987) 함탄퇴적분지의 층서연구-충남탄전지역을 중심으로-. 한국동력자원연구소 연구보고서 KR-87-28, 52p.
조문섭, 권성택, 이진한, Nakamura, E. (1995) 연천-전곡지역에 분포하는 임진강대의 고압 각섬암. 암석학회지, 4권, p. 1-19.
주승환 (1983) Rb-Sr법에 의한 한반도 경기육괴의 연대측정에 관한 연구. 박사학위논문, 한양대학교, 139p.
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. J. Geophys. Res., v. 96, p. 4029-4050.
Cluzel, D., Cadet, J. and Lapierre, H. (1990) Geodynamics of the Ogcheon belt (South Korea). Tectonopysics, v. 183, p. 41-56.
Cluzel, D. and Cadet, J. (1992) Geodynamic evolution of Korea: A view. The Island Arc, v. 1, p. 64-70.
Einkin, R.J., Yang, Z., Chen, Y., and Courtillot, V. (1992) Paleomagnetic constraints on the geodynamic history of the major block of China from to the present. J. Geophys. Res., v. 97, p. 13,953-13,989.
Fisher, R.A. (1953) Dispersion on a sphere. Proc. R. Soc. Lond., v. A217, p. 295-305.
Gilder, S.A., Zao, X., Coe, R.S., Wu, H. Kuang, G. (1993) Discordance of Jurassic paleomagnetic data from south China and their tectonic implications. Earth Planet. Sci. Lett., v. 119, p. 269-269.
Hrouda, F. (1982) Magnetic anisotrophy of rocks and its application in geology and geophysics. Geophys. Surveys, v. 5, p. 37-82.
Kirschvink, J.I. (1980) The least-square line and plane and the analysis of paleomagnetic data. Geophys. J.R. astr. Soc., v. 62, p. 699-718.
Lee. D.S. (ed) (1987) Geology of Korea, Kyohaksa, 514p.
Lin, J.L., Fuller, M., and Zhang, W.Y. (1985) Preliminary Phanerozoic polar wander path for the North and South China blocks. Nature, v. 313, p. 444-449.
McElhinny, M. W., Embleton, B.J.J., Ma, X.H., and Zang, Z.K. (1981) Fragmentation of Asia in the Permian. Nature, v. 293, p. 212-216.
Na, K.C. (1992) A study on the metamorphism in the southwestern part of Gyeonggi Massif. Jour. Petrol. Soc. Korea, v. 1, p. 25-33.
Oh, C.W., Kim, S.W. and Kwon, S.T. (1997) Tectonic interpretation based on 40Ar/39Ar anphibolr ages from the Ogcheon metamorphic belt, Korea. Eos, v. 78, p. 46.
Otofuji, Y., Katsuargi, K., Inokuchi, H., Yaskawa, K., Kim, K.H., Lee, D.S., and Lee, H.Y. (1989) Remagnetization of Cambrian to Triassic sedimentary rocks of

the Paegunsan Syncline of the Okchon Zone, South Korea. J. Geomag. Geoelectr., v. 41, p. 119-135.
Ree, J.H., Cho, M.S., Kwon, S.T. and Nakamura, E. (1996) Possible eastward extension of Chinese collision belt in South Korea: The Imjingang belt. Geology, v. 24, p. 1071-1074.
Shimamura, S. (1931) Geological atlas of Chosen, Seiyo (Cheongyang), Daisenri (Daecheonri), Fuyo (Buyeo) and Nampo Sheet (1:50,000). Geological Survey of Chosen, 13p.
Tarling, D. H. and Hrouda, F. (1993) The Magnetic Anisotropy of Rocks. Champman & Hall, London, 217p.
Uno, K. and K-H. Chang (2000) Paleomagnetic result from the lower Mesozoic 대동누층군 in the Gyeonggi Block, Korean Pennisula an eastern extension of the South China Block. Earth and Planetary Science Letter, v. 182, p. 49-59.
Uno, K. and Huang, B. (2003) Constraints on the Jurassic swing of the apparent polar wander path for the North China Block. Geophys. J. Int., v. 154, p. 801-810.
Yu, K-M., Lee Y. (1992) Sedimentary Petrology of the Sandstones of the Daedong Group in western part of the Chungnam Coalfield. Jour. Geol. Soc. Korea. v. 28, p. 284-297.
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 Paleomagnetism. Elsevier, Amsterdam, p. 254-286.

2004년 7월 17일 원고접수, 2004년 8월 17일 게재승인.