

# 단양지역에 분포하는 석탄기하부 페름기 지층에 대한 고지자기 연구: 예비 결과

이경아<sup>1)</sup>, 도성재<sup>1)</sup>, 박용희<sup>1)</sup>, 김원년<sup>1)</sup>

## 1. 서론

한반도의 평안누층군은 고생대 석탄기 말에서 중생대 트라이아스기 초까지 퇴적된 지층으로서 한반도 지구조사를 밝히는 데 있어 중요한 위치를 차지하고 있다. 평안누층군에 대한 고지자기 연구는 주로 옥천비변성대에 위치하고 있는 예미, 태백, 영월, 정선, 평창지역 등을 중심으로 수행되어왔다. 이 중 예미지역과 태백지역은 일차잔류자화 성분이 기록되어 있으나(김인수 외, 2001; 도성재, 1995), 영월, 정선, 평창지역에서는 재자화된 것으로 보고되었다(Doh et al., 1997; 박용희 외, 2003). 암석에 일차잔류자화 성분이 기록되어 있을 경우 지층 생성 당시의 고지자기극을 이용하여 지피의 이동 및 회전 등의 지체구조운동에 관한 정량적인 정보를 제공하는 한편, 암석이 재자화된 경우에는 재자화가 일어난 지역의 범위와 시기 및 메커니즘을 규명함으로써 지층이 겪었던 여러 가지 지질학적 사건들(예, 화성활동, 광화작용, 조산운동 등)에 대한 중요한 정보를 제공할 수 있다. 이러한 관점에서 단양지역에 분포하는 평안누층군에 대한 고지자기 연구가 수행중이며, 현재까지 얻은 석탄기-하부 페름기에 퇴적된 만항층, 금천층 및 장성층에 대한 예비 결과를 보고하고자 한다.

## 2. 연구방법

본 연구에서는 야외용 착암기와 magnetic compass를 이용하여 회색사암과 적색세일로 구성된 만항층에서 10개 지점, 흑색사암과 흑색세일로 구성된 금천층에서 2개 지점, 흑색 세일로 구성된 장성층에서 8개 지점 등, 총 20개의 지점에서 211개의 정향코아시료를 채취하였다. 모든 시료들에 대하여 자연잔류자화와 대자율을 측정 한 후, 각각의 지점에서 2개 이상의 표준시료를 선정하고 각 시료에 대하여 단계적인 교류소자와 열소자를 실시하여 최적의 소자방법 및 단계를 적용하였다. 열소자는 Magnetic Measurement사의 열소자기를 이용하였고 교류소자는 Molspin사의 교류소자기를 사용하였다. 잔류자화의 측정은 Molspin사의 회반자력계와 FINO AG사의 초전도자력계를 이용하였다. 열소자 실험 과정에서 발생할 수 있는 자성광물의 화학적 변화를 감지하기 위하여 Bartington사의 대자율 측정기를 이용하여 각 단계마다 대자율을 측정하였다. 또한 실험시 발생할 수 있는 점성잔류자화의 획득을 방지하기 위하여 모든 시료들은  $\mu$ -metal상자에 보관하였다. 고지자기 자료처리는 벡터 다이어그램(Zijderveld, 1967)상에 나타나는 방향변화로부 터 주성분분석법(Kirschvink, 1980)을 이용하여 분석하였고, 주성분분석법 적용시에는 최소 직선상의 3점 이상을 이용하여 특성잔류자화의

-----  
주요어 : 평안누층군, 고지자기, 단양, 석탄기, 하부 페름기

1)고려대학교 지구환경과학과 (이경아: ka0210@korea.ac.kr; 도성재: sjdoh@korea.ac.kr;  
박용희: aegis@korea.ac.kr; 김원년: wnkim@korea.ac.kr)

방향을 추출하였다.

### 3. 결과 및 토의

본 연구에서 측정된 대부분의 시료는 교류소자보다 열소자가 효과적이었으며, 금천층의 경우에는 벡터 다이어그램상에 나타나는 자화의 방향이 불안정해서 특성잔류자화를 추출하는데 실패하였다. 대표적인 열소자실험 결과를 그림 1에 나타내었다. 만항층(그림 1a) 시료들의 경우 주로 300 °C이하에서 점성잔류자화로 추정되는 성분이 제거되었고 특성잔류자화 성분은 350~700 °C 구간에서 추출되었다. 장성층(그림 1b)의 시료들에서는 300~360 °C의 구간에서 원점으로 향하는 안정된 특성잔류자화 성분을 추출할 수 있었다. 열소자를 바탕으로 특성잔류자화 성분이 만항층은 주로 적철석에 의하여, 장성층의 경우 주로 자류철석에 의하여 기록된 것으로 해석된다.

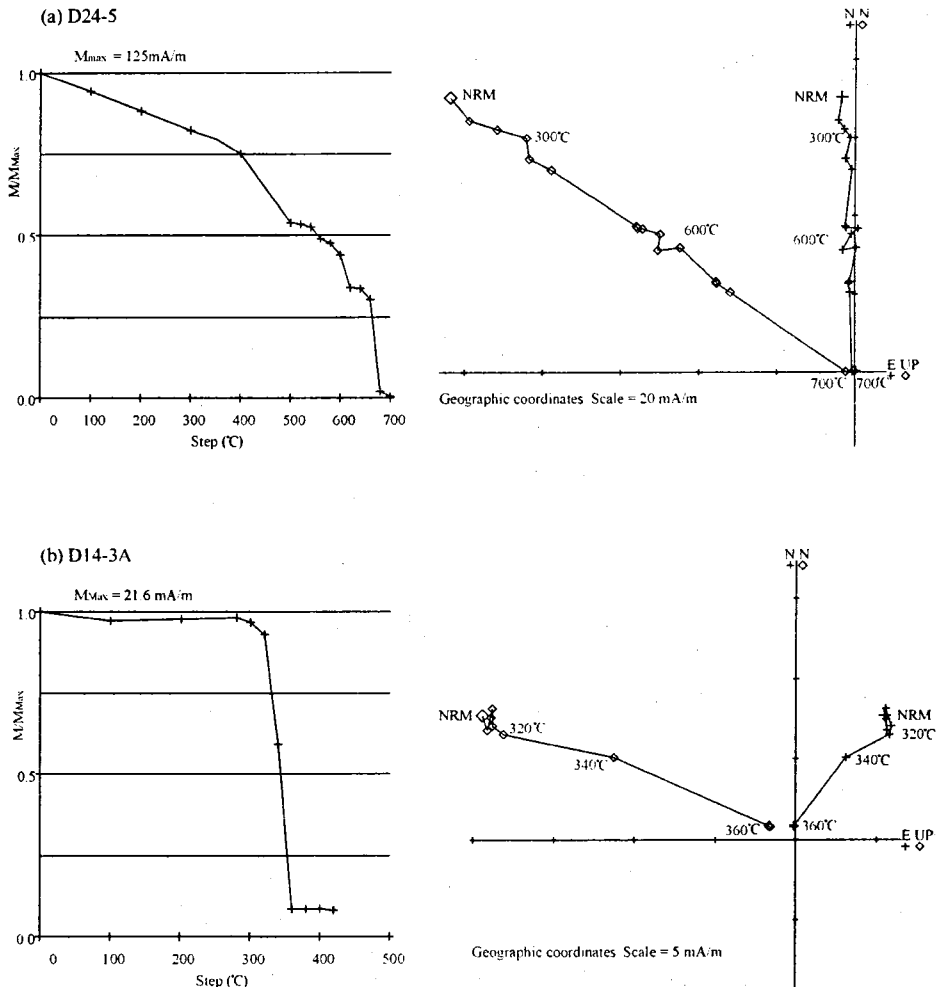


Fig. 1. Typical thermal demagnetization results of samples from the (a) Manhang and (b) Jangseong formations.

소자실험을 통하여 추출된 특성잔류자화 성분들의 지층별 평균 방향을 그림 2에 나타내었다. 매우 큰 오차범위( $\alpha_{95} > 30^\circ$ )를 보이는 지점은 각 지층별 평균 고지자기 방향 계산시 제외하였다. 만항층(그림 2a)에 기록된 특성잔류자화 성분의 평균 고지자기 방향은 경사보정 전  $D/I = 350.5^\circ/56.8^\circ$  ( $k = 34.7$ ,  $\alpha_{95} = 11.5^\circ$ )이고 지층경사보정 후  $D/I = 324.8^\circ/3.5^\circ$  ( $k = 85.7$ ,  $\alpha_{95} = 7.3^\circ$ )로 나타났다. 지층경사보정 후가 보정 전에 비하여 정확도상수( $k$ )값이 증가하고 단계적 경사보정에 따른  $k$ 값의 변화는 100 %의 경사보정에서 최대값을 보인다. Parameter estimating 습곡시험(Watson & Enkin, 1993)에서도  $k$ 값의 변화는 94.5 % 경사보정에서 최대값을 나타냈으며 direction-correction(DC) 습곡시험(Enkin, 2003)에서는 DC slope이  $0.947 \pm 0.531$ 로 'positive'의 결과를 보였다. 이러한 결과는 만항층의 특성잔류자화 성분이 지층경사 이전에 획득된 일차잔류자화 성분일 가능성을 지시한다. 장성층(그림 2b)에 기록된 평균 고지자기방향은 지층경사보정 전  $D/I = 10.2^\circ/66.7^\circ$  ( $k = 99.5$ ,  $\alpha_{95} = 6.7^\circ$ )이고, 지층경사 보정 후  $D/I = 328.8^\circ/18.1^\circ$  ( $k = 26.1$ ,  $\alpha_{95} = 13.1^\circ$ )로 지층경사보정 후에 분산도가 증가하였으며, 또한 단계적 경사보정에 따른  $k$ 값의 변화는 10 % 경사보정에서 최대값을 보였다. Parameter estimating 습곡시험에서도  $k$ 값의 변화는 13.5 % 경사보정에서 최대값을 나타냈으며, DC 습곡시험에서는 DC slope이  $0.170 \pm 0.391$ 로 'negative'의 결과를 보인다. 이러한 결과는 장성층의 특성잔류자화 성분이 지층경사도중 또는 이후에 기록된 재자화 성분임을 지시한다.

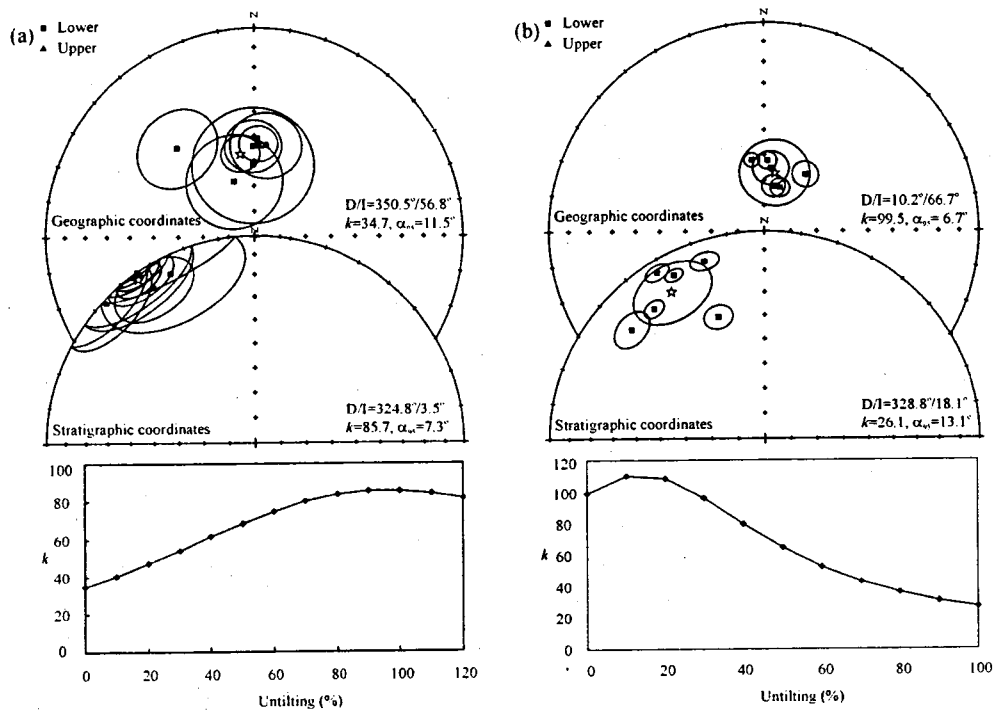


Fig. 2. Equal area projections of site-mean directions with 95 percent confidence circles in geographic and stratigraphic coordinates(☆: mean direction) for the (a) Manhang and (b) Jangseong formations. The results of the stepwise untilting test plotting Fisher's precision parameter ( $k$ ) versus percent untilting are also shown.

만항층과 장성층의 평균 고지자기 방향을 이용하여 계산된 고지자기극을 그림 3에 나타내었다. 그 결과 만항층(그림 3a)의 고지자기극의 위치는 Lat./Log. = 42.4°N/359.5°E (dp/dm = 3.7°/7.3°)이며 다른 지역(예, 태백, 예미)의 동시기(석탄기)극들과 유사하였다. 장성층(그림 3b)의 경우에는 단계적 경사보정시험에서 최대 정확도상수를 보인 10 % 경사보정 시의 편각과 복각을 이용하여 계산된 고지자기극의 위치(Lat./Log. = 75.6°N/52.1°E, dp/dm = 12.8°/17.4°)는 제 3기와 제 4기의 고지자기극과 근접하여 장성층이 이 시기동안 재자화 성분을 획득하였음을 지시한다.

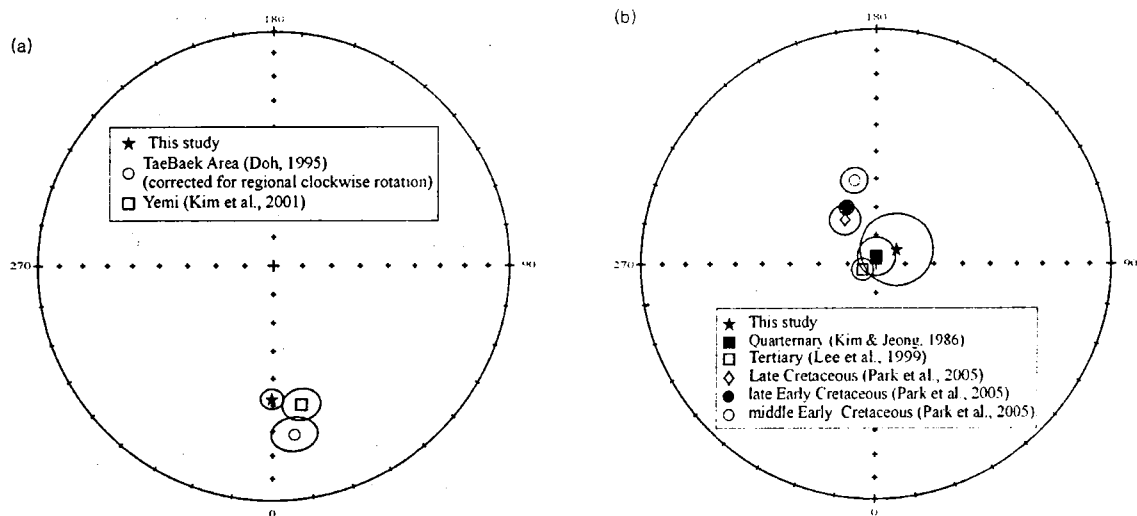


Fig. 3. (a) The paleomagnetic pole of the Manhang Formation in the Danyang area compared to the Carboniferous paleopoles from Yemi and Taebaek areas. (b) The paleomagnetic pole of the Jangseong Formation compared to the Korean paleopoles for the Cretaceous the Quaternary.

본 예비연구 결과, 단양지역에 분포하는 만항층은 일차잔류자화를 기록하고 있는 반면, 장성층은 재자화된 것으로 나타났다. 향후 만항층의 경우 시료를 추가하여 보다 신뢰할 수 있는 석탄기 고지자기극을 제시하고 이를 바탕으로 고생대말 이후 한반도 지구조운동에 대한 해석을 수행할 계획이다. 한편, 장성층의 재자화 성분은 자류철석에 의하여 기록되어 있다. 이는 자류철석의 큐리온도가 약 320°C로서 만항층의 특성잔류자화 성분을 기록하고 있는 적철석의 큐리온도(680°C)보다 매우 낮으므로, 만항층과 장성층의 온도가 300~400°C 정도로 가열되었을 때, 장성층만 선택적으로 열잔류자화 또는 열점성잔류자화를 획득하여 재자화되었을 가능성이 있다. 다른 가능성은 장성층에 선택적으로 주위로부터 열수(hydrothermal fluid)가 유입되어 화학작용을 일으켜 화학잔류자화를 획득한 경우이다. 전자의 경우 연구지역 주변에 분포하는 주라기 화강암과 관련될 수 있으나 재자화 성분으로부터 계산된 고지자기극의 위치가 기 보고된 한반도의 제3기와 제4기 극들과 근접한 점과는 배치된다. 후자의 경우 주로 흑색 셰일로 구성되어 있는 장성층에만 열수가 통과했다고 생각하기 어렵다. 따라서 제3기 또는 제4기 동안에 지층이 300°C이상의 온도로 재가열 되었을 가능성이 있으며, 이를 뒷받침하기 위해서는 다양한 암석자기 실험 및 전자현미경 관찰 등의 연구가 요구된다.

#### 4. 참고문헌

- 김인수, 김성욱, 최은경, 2001, 옥천대에 대한 고자기 연구: 예미지역 고생대 지층의 잔류자기. *자원환경지질학회지*, **34**, 355-373.
- 도성재, 1995, 삼척지역에 분포하는 평안누층군에 대한 고지자기 연구. *자원환경지질학회지*, **28**, 559-569.
- 박용희, 도성재, 석동우, 2003, 정선지역에 분포하는 평안누층군에 대한 고지자기 연구: 재자화의 지질학적 의미. *지질학회지*, **39**, 235-247.
- Doh, S.J., Suk, D. and Park, Y.H., 1997, Remagnetization of the Pyeongan Supergroup in the Yeongwol Area, Korea. *Jour. Geomag. Geoelctr.*, **49**, 1217-1232.
- Enkin, R.J., 2003, The direction-correction tilt test: an all-purpose tilt/fold test for paleomagnetic studies. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **212**, 151-166.
- Kirschvink, J.L., 1980, The least square line and plane the analysis of paleomagnetic data. *Geophys. Jour. Roy. Astr. Soc.*, **62**, 699-718.
- Watson, G.S. and Enkin, R.J., 1993. The fold test in paleomagnetism as a parameter estimation problem. *Geophys. Res. Lett.*, **20**, 2135-2137.
- Zijderveld, J.D.A., 1967, AC demagnetization of rocks: Analysis of results. In: Collinson, D.W., Creer, K. and Runcorn, S.K. (eds.), *Methods in Paleomagnetism*. Elsevier, Amsterdam, 254-286.