

옥천대에 대한 고자기 연구: 예미지역 고생대 지층의 잔류자기

김인수* · 김성욱 · 최은경

부산대학교 지질학과

Palaeomagnetism of the Okchon Belt, Korea: Paleozoic Rocks in Yemi Area

In-Soo Kim*, Sung-Wook Kim and Eun-Kyeong Choi

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

Palaeomagnetism of Paleozoic Tuwibong Type Sequence in Yemi area was studied with a total of 256 core-samples collected from 23 sites. The study area (geographical coordinates: 37.18°N, 128.61°E) is located between Taebaek and Yongwol belonging to the northeastern part of the Okchon Belt. Thermal cleaning was a most effective method to extract stable characteristic remanent magnetization (ChRM) direction, even though AF cleaning also worked on some specimens. Mean ChRM direction of the Cambrian Hwajol Formation was different from the present-day field direction and showed maximum clustering (max. k value) at 100% bedding-tilt correction. However, it could not pass the fold test. Ordovician Makkol and Kosong Limestones as well as Permian Sadong and Kobangsan Formations have very weak NRM, and were remagnetized into the present-day field direction. ChRM directions from the Carboniferous Hongjom Formation passed both fold and reversal tests. IRM experiments and blocking temperature spectrum indicate that both magnetite and haematite are carrier of the primary magnetization. Palaeomagnetic pole position from the Carboniferous Hongjom Formation is very similar to that of contemporary North China Block (NCB) suggesting that the study area was a part of, or located very near to, the NCB during Carboniferous.

Key words : Okchon belt, Paleozoic, palaeomagnetism, Yemi area, North China Block (NCB)

옥천비변성대내 예미지역 23개지점으로부터 총 256개의 정향 코어시료를 채취하여 잔류자기 연구를 실시하였다. 연구지역은 태백과 영월사이의 두외봉형 퇴적지역이며 지리적 중심좌표는 37.18°N, 128.61°E이다. 일부 시료들에서는 교류 자기세척이 효과를 발휘하였으나 대부분의 경우 고온 열 세척이 특성잔류자기를 추출하는 주요 수단이었다. 캄브리아기 지층(화절층)의 특성잔류자기는 현재자기장 방향과 다르며 100%의 지층경사보정에서 최대의 군집을 이루어 1차잔류자기의 가능성을 제시하였으나 통계학적 습곡검사를 통과하지는 못하였다. 오도비스기 지층(막골석회암, 고성 석회암)의 경우에는 잔류자기 강도가 매우 낮았으며 또한 심하게 재자화되어 있었다. 석탄기 지층(홍점통)의 특성잔류자기는 습곡검사와 역자화검사를 통과하는 습곡이전의 1차잔류자기이었는데 교류 세척과 열 세척으로 나타난 각각의 안정 잔류자기 방향이 서로 일치할 보여서 1차잔류자기라는 확신을 굳혀주었다. 이 석탄기 지층의 특성잔류자기는 한 노두에서도 지층의 상하부에 따라 방향이 상당히 다르게 나타나는데 이는 홍점통이 퇴적되는 동안 지구의 자극이 이동되었던 데에 기인한 것으로 해석된다. 석탄기 지층을 상하부로 구분하여 평균 특성잔류자기 방향을 산출하고 이로 부터 고자기학적 북극의 위치를 구하여 중국의 것과 비교하면 북중국지괴(NCB)의 것과 매우 유사한 반면 남중국지괴(SCB)의 것과는 편이하게 다르다. 따라서 예미지역은 석탄기동안에 북중국지괴의 일부였거나 최소한 이에 근접하여 있었음을 알 수 있다. 페름기 지층(사동통, 고방산통)으로부터는 현재자장방향으로 재자화된 습곡이후의 2차잔류자기만이 검출되었다.

주요어 : 옥천대, 고생대, 잔류자기, 예미지역, 북중국지괴

*Corresponding author: insookim@pusan.ac.kr

1. 서론

남한의 고생대 지층은 옥천대내에 제한되어 분포하고 있다. 이 지층들은 지역마다 암상과 층서가 달라 두위봉형, 영월형, 평창형, 정선형, 문경형 등의 5가지 유형(type)으로 구분되어 불리우고 있다(이하영, 1982; 정창희, 1982; Lee, 1987; 등). 연구지역은 지리적 중심좌표 37.18°N, 128.61°E인 태백산지구 지하자원조사단(1962)의 1:50,000 예미도폭지역으로서, 옥천비변성대내 백운산향사대의 서쪽 끝과 공수원드러스트(Kobayashi, 1953; 각동단층: 정창희, 1974) 일대를 접하는 태백과 영월사이의 두위봉형 퇴적지대이다(Fig. 1).

예미-태백지역의 두위봉형 고생대층은 북동-남서방향의 공수원드러스트(각동단층)를 경계로 서편의 영월형 고생대층과 분리되어 있다(Fig. 1). 캄브리아 동물화석군에 근거할 때, 영월형 조선누층군의 지층들은 남중국지괴(SCB)인 양자지판에, 두위봉형 조선누층군의 지

층들은 북중국지괴(NCB)인 한중지판에 대비되는 것으로 알려져 있다(Kobayashi, 1953). 따라서 공수원드러스트선은 이 두 퇴적형 지역, 나아가서는 남중국지괴와 북중국지괴가 접하는 응결현상(suture line)인 것으로 볼 수 있다.

그러나 옥천대에서의 잔류자기연구 결과에서는 한반도의 지괴가 중국의 어느 지괴와도 대비되지 않는 독립된 지괴의 가능성이 있음이 제시된 바 있으며(김인수, 1989; 김광호 등, 1990; Kim and Van der Voo, 1990; Kim et al., 1992), 태백지역의 경우에는 초기 고생대동안에는 북중국지괴에 근접해 있다가, 페름기에 이르러서는 남중국지괴에 접근 또는 응결되었다는 견해가 제시되었다(김인수와 임아연, 1993). 한편, Doh and Piper(1994)는 태백(삼척탄전)지역이 후기 석탄기 이후 북중국지괴에 속해있다고 하였다.

이와 같은 상황에서 한반도의 각 지역이 중국의 어떤 지괴와 상응하는지 여부에 대한 면밀한 잔류자기

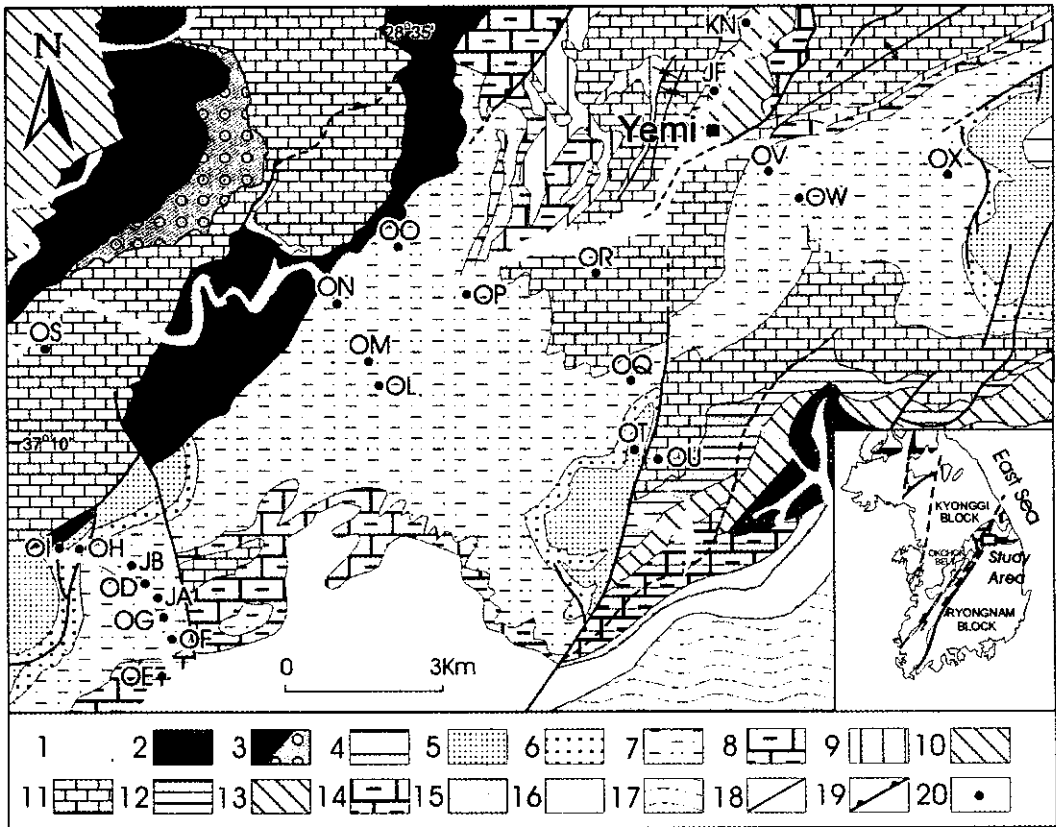


Fig. 1. Geologic and sample-site map of Yemi area. 1. Quaternary river deposits, 2. Granite, 3. Pansong Fm., 4. Nogam Fm., 5. Kobangsan Fm., 6. Sadong Fm., 7. Hongjom Fm., 8. Kosong Limestone, 9. Yemi Lime-breccia, 10. Yonghung Fm., 11. Makkol Limestone, 12. Tumudong Shale, 13. Hwajol Fm., 14. Pungchon Limestone, 15. Myobong Slate, 16. Changsan Quartzite, 17. Gneiss, 18. Fault, 19. Thrust, 20. Sample-site.

연구와 더불어 각 시대별 지층에 대한 상세한 층서 상호대비 연구가 절실히 요구된다. 특히, 문제지층들에 대한 잔류자기 연구는 소속지괴들의 고위치와 상호귀속 여부를 정량적으로 판단하는 효과적인 연구방법이기에 이번 연구에서는 태백의 서쪽 연접지인 예미지역을 선택하여 고생대 지층의 잔류자기 특성을 파악하고, 이를 바탕으로 연구지역의 고위치 규명과 중국지괴와의 관계를 규명하는 단서를 찾고자 하였다.

연구수행에 사용한 기본지질도는 1:50,000 태백산지구지질도(태백산지구 지하자원조사단, 1962)이었다. 따라서 이 논문에 사용된 지층명들은 이 지질도의 것들은 그대로 인용한 것이다. 필자들은 “홍점통”, “사동통”, “고방산통” 등의 용어가 부적절하다는 것을 잘 알고 있으나, 상기 도폭이 발간된 이후 이 연구지역에서 자세한 생층서적 연구가 이뤄진 바 없기 때문에 이 시간층서적인 옛 지층명을 사용하는 것이 불가피하였다. 아울러서, 지역이나 지층명의 영문표기도 어려운 문제이었다. 최근 정부에서 새로운 로마자표기지침을 내놓은 바 있으나, 그간 표기방법이 확고하게 정착되지 못하고 끊임없이 바뀌어온 것이 현실이고 장기적인 안목으로 볼 때에도 북한과의 표기통일의 문제도 남아 있어 아직 이 새 표기지침을 과감히 따르기도 주저되는 실정이다. 따라서 필자는 지금까지 해왔던 것처럼, 당분간 우리나라의 지질을 국제적으로 알려오고 있는 Geology of Korea(Lee, 1987)의 용례를 따르기로 하였다.

2. 일반지질과 지층의 연령

연구지역에는 영남육괴를 이루는 선캄브리아의 편마암을 기반암으로 하여 그 위에 석회암과 셰일 위주인 초기고생대(캄브로-오도비스기)의 두위봉형 조선누층군이 부정합적으로 놓이고, 이를 다시 사암위주인 후기고생대(석탄기-페름기)의 평안누층군이 부정합적으로 덮는 태백지역 두위봉형 층서의 전형적 골격(Kobayashi, 1966)을 따르고 있다. 그러나 상세한 면에서는 조선누층군에서 동점규암이 빠진채 하부로부터 장산규암, 묘봉스레이트, 풍촌석회암, 화절층, 두무동셰일, 막골석회암 순서의 층서를 이루고 있다. 평안누층군은 태백 등 여타 고생대지역과 마찬가지로 하부로부터 홍점통, 사동통, 고방산통, 녹암통으로 구성되어 있다. 마지막으로 이 고생대 지층위를 중생대 트라이아스기의 사암-역질 반송층이 부정합적으로 덮으며, 또한 중생대 화강암이 연구지역 남동부를 소규모적으로 관입하여 있

다(Fig. 1).

한편, 태백산지구 지하자원조사단(1962)은 예미지역의 조선누층군에서 예미각력암, 고성셰일, 고성석회암을 새로 설정하는데 예미각력암은 막골석회암을 부정합으로 덮는 시대미상의 기저역암으로 취급하였으며 그 위에 고성셰일과 고성석회암이 정합적으로 놓인다고 하였다. 그러나 김봉균(1969)은 예미각력암은 막골석회암 윗부분에 협재된 석회각력암에 불과하다고 보았으며 화석내용상 고성셰일은 막골석회암 상위의 직운산셰일의 연장이고 고성석회암은 직운산셰일 상위의 두위봉석회암에 해당한다고 하였다. 근년에 들어 역시 우경식(1997)은 퇴적학적 조직관찰을 통하여 예미각력암은 막골석회암(막골층으로 칭함)의 윗부분이며, 고성셰일은 직운산셰일(직운산층으로 칭함)에, 고성석회암은 두위봉석회암(두위봉층으로 칭함)에 대비된다는 결론을 내어놓았다.

예미지역의 평안누층군에 대한 화석연령의 연구 결과는 알려져 있지 않다. 따라서 연접 태백지역의 정보를 끌어낼 수 밖에 없겠는데, 그곳 평안누층군의 식물 화석에 따를 때 홍점통의 연령은 후기 석탄기의 모스코비안(Moscovian)에, 사동통의 연령은 석탄기 후반에서 페름기 전반에, 그리고 고방산통의 연령은 페름기 중기 내지 후기에 해당하는 것으로 알려지고 있다. 이는 태백지역 만항층(홍점통에 해당)의 연령이 후기 석탄기의 중간인 모스코비안(Moscovian) 하부-중부에, 금천층(사동통 최하부에 해당)의 연령이 모스코비안(Moscovian) 상부에, 밤치층(사동통 하부-중부에 해당)의 연령이 초기 페름기 삭마리안(Sakmarian)에, 장성층(사동통 상부에 해당)의 연령이 삭마리안 바로 다음의 초기 페름기 아틴스키안(Artinskian)에, 함백산층(고방산통 하부에 해당)의 연령이 아틴스키안 바로 다음이자 초기 페름기의 마지막을 이루는 쿡구리안(Kungurian)에, 도시곡층(고방산통 중부에 해당)의 연령이 후기 페름기의 카자니안(Kazanian)에 속하는 것으로 밝혀진 데에 근거한 것이다(정창희, 1982).

3. 연구방법

3.1. 시료채취

연구시료들은 노출상태가 양호한 현장에서 휴대용 착암기를 이용하여 직경 1인치의 코어시료(core sample)로서 착공(coring) 및 정향(定向, orientation)시켰다. 시료채취시 독립 정향시료간의 수직적 층위간격은 1~2미터이었는데 자기극성에 대한 정보를 최대한

확보하기 위하여 각 장소(site)에서 최대의 수직층위범위를 포함시키고자 노력하였다. 나아가서, 효과적인 습곡검사(fold test)의 적용과 단층이나 습곡작용에 기인한 지괴의 수평회전운동 여부를 판별하기 위하여 동일지층을 여러 지역에 걸쳐 중복 채취하였다.

연구지역 남서부의 JB로부터 OF지점까지(JB, OD, JA, OG, OF)의 구간에는(Fig. 1) 수직층후가 500미터에 달하는 석탄기 홍점통의 노두가 연속적으로 나타나 있었다. 이곳에서는 하부층준에서 상부층준을 향하는 순서로 시료를 보다 촘촘히, 그리고 보다 많이 채취하였다. 이 연속노두에서 지층의 주향과 경사는 각각 $190^{\circ}\sim 210^{\circ}$ 및 $45^{\circ}\sim 62^{\circ}$ 범위이었다.

한편, 묘봉스레이트와 두무동세일층은 착공시 심한 파손으로 인하여 시료의 확보가 곤란하였고, 풍촌석회암은 화강암이 관입된 연구지역의 남동모서리에 분포되어 있어서 시료채취를 기피하였다. 모든 시료채취 장소와 암상에 관한 정보는 Fig. 1과 Table 1에 제시되

어 있다.

3.2. 잔류자기의 안정성 검토와 성분분리 실험

채취된 시료(sample)들은 실험실에서 높이 2.2센티의 원주형 시편(specimen)으로 절단되어 측정과 실험에 사용되었다. 잔류자기의 안정성을 검토하고 자기성분의 분리를 위해서는 Molspin AC demagnetiser를 통한 교류 자기세척(AF cleaning)과 Schonstedt TSD-1 thermal demagnetizer를 이용한 열 자기세척(thermal cleaning)을 시행하였다. 잔류자기의 측정에는 Molspin rock magnetometer (MiniSpin)가 사용되었다.

우선 시료의 채취장소별로 초기 자연잔류자기(NRM)의 강도가 비교적 높은 1~2개의 시험시편(pilot specimen)을 선발하여 최고 100 mT까지 10~15단계의 교류 자기세척실험을 실시하였다. 여기에서 단일 자화성분이 분리되지 않으면 단계적 열 자기세척 실험을

Table 1. Sample-site and sample designations.

| Age | Formation | Site & sample name | Lithology | Number of samples | | |
|---------------|-----------------------------|--------------------|---|-------------------------|------------|------------|
| | | | | Collected | AF treated | TH treated |
| Permian | Kobangsan | OI | Milky white, green s.s. | 8 | 1 | 7 |
| | | OT | Black s.s., gray mudstone | 12 | 8 | 10 |
| | | Sadong | OH | Black shale | 2 | 1 |
| Carboniferous | Hongjom | JB | Gray, green sh., sandstone | 27 | 1 | 22 |
| | | OD | Red-green sh., green s.s. | 13 | 8 | 12 |
| | Upper | JA | Gray sandstone, green s.s. | 15 | 1 | 6 |
| | | OG | Red shale, sandstone | 9 | | 7 |
| | | OM | Red shale, sandstone | 8 | 1 | 8 |
| | | ON | Greenish qtz. sandstone | 6 | 1 | 4 |
| | | OW | Red, greenish sh., s.s. | 17 | 2 | 14 |
| | | Lower | OF | Red shale, sandstone | 16 | |
| | OL | | Red shale, sandstone | 10 | | 10 |
| | OO | | Red shale, green sandstone | 9 | | 9 |
| OP | Red shale | | 13 | 1 | 12 | |
| OQ | Light green s.s., siltstone | | 9 | | 2 | |
| OV | Green-red sh., green s.s. | | 7 | 1 | 6 | |
| OX | Red, greenish shale | | 9 | | 7 | |
| Ordovician | Kosong Ls. | | OE | Dark gray mudstone, ls. | 8 | 1 |
| | | OR | Light gray limestone | 12 | 2 | 5 |
| | Makkol Ls. | OS | Light gray, reddish ls. | 13 | 1 | 4 |
| | | OU | Gray, light gray limestone | 11 | 1 | 8 |
| Cambrian | Hwajol | JF | Mudstone, quartzite | 6 | 2 | 4 |
| | | KN | Dark green, dark gray mudstone, sandstone | 16 | | 14 |
| Total | | 23 sites | | 256 | 33 | 193 |

속행하였다. 이외에 1~2개의 시험시편을 추가로 선택하여 300°C까지 100°C씩 세척온도를 증가시키며 열 자기세척실험을 수행하였고 이 이상의 온도에서 500°C까지는 30°C내외의 간격으로, 보다 고온에서는 20°C내외의 간격으로 단계별 세척온도의 증가폭을 줄여가며 단일 자기성분이 유리되는 온도구간을 찾아내도록 하였다. 나머지 시편들에 대해서는 이 적정 온도대의 전후를 포함하는 구간에서 2~5°C간격의 다단계 열 자기세척을 실시하여 단일 자기성분의 유리를 확인하였다. 매 단계의 열 세척후에는 총 대자율(bulk magnetic susceptibility)을 측정, 기록하였는데 가열(열 세척)로 총 대자율이 초기값의 2배 이상 증가된 시편들은 광물학적 변화가 의심되므로 더 이상의 연구대상에서 제외하였다.

단계적 자기세척에 따른 잔류자기의 크기와 방향의 변화는 벡터다이아그램(vector diagram, Zijdeveld diagram)(Zijdeveld, 1967)과 등각 투영도(equal-angle

net, Wulff net)를 통하여 검토하였다. 이를 통하여 2차 성분의 분리와 안정 단일 잔류자기성분의 유리여부가 판정되었다. 벡터다이아그램에서 3단계 이상의 세척자료가 원점을 향하여 직선을 이루는 단일 잔류자기성분에 대해서는 주성분 분석법(PCA: Kirschvink, 1980)을 적용하여 특성잔류자기(ChRM: characteristic remanent magnetization) 방향을 구해내었으며, 이들에 대해 각 시료채취장소별로 Fisher통계(Fisher, 1953)를 적용하여 평균(site-mean) 특성잔류자기방향을 계산하였다. 이때, 대다수에 비하여 반평행(antipolar) 방향을 가리키는 소수의 잔류자기 방향은 역전(flip)시켰다.

끝으로, 단계적 자기세척으로도 2개의 자기성분이 분리되지 않아 대원(great circle)형 잔류자기 방향궤적(Halls, 1976)을 이루는 일부 시편들에 대해서는 대원들의 교점을 공통 특성잔류자기방향으로 취급하였다. 이때의 공통 특성잔류자기 계산방법은 대원-극(pole)-대원-극의 방법(Knutson *et al.*, 1991; 김인수 등,

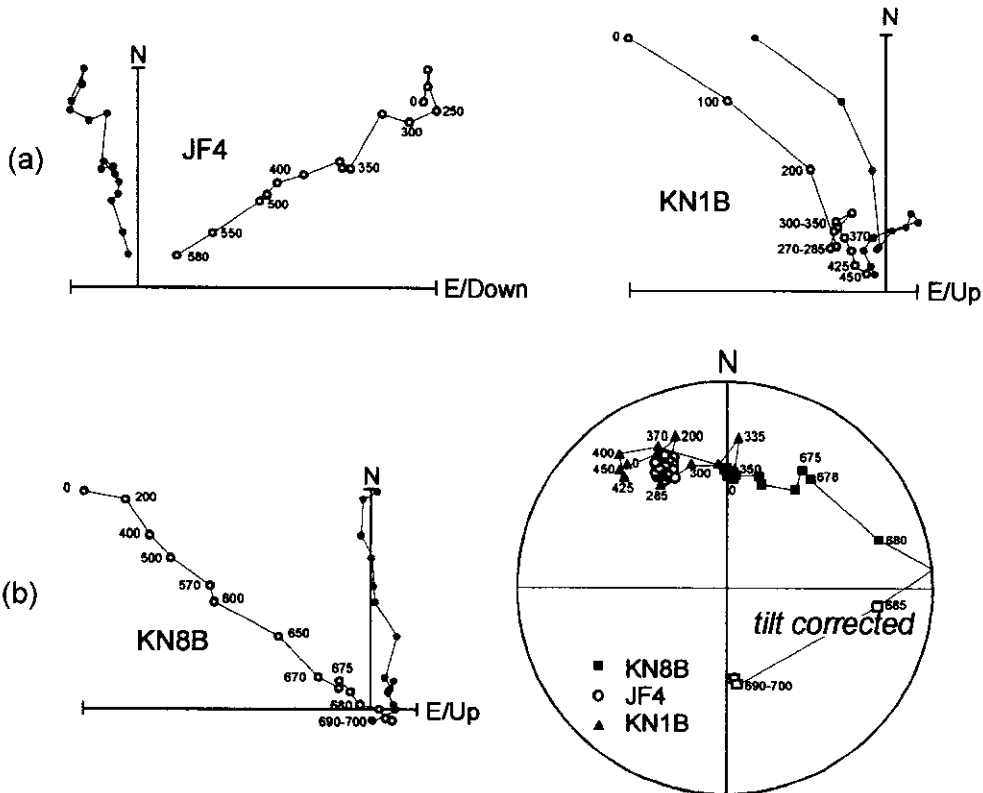


Fig. 2. Examples of thermal demagnetization of the Hwajol Formation. In all the vector diagrams in this paper, solid (open) symbols are projected on to the horizontal (vertical) plane without bedding-tilt correction. In the stereonets (= equal-angle nets) positive (negative) inclinations are represented with solid (open) symbol after bedding-tilt correction. JF 4 data in this stereonet are plotted exceptionally with open symbol for the sake of better resolution.

1995; 등)이었다. 이는 (1) 각 시편별로 가장 알맞은 대원과 그 극을 구하고 (2) 이 극들에 가장 일치하는 대원을 계산한 후에 (3) 다시 그 대원의 극을 구함으로써 초기 대원의 교점을 구하는 방법이다. 그러나 이 대원분석법으로 얻어진 특성잔류자기방향은 단지 참고와 비교의 자료로만 활용하였을 뿐, 실제의 평균 특성잔류자기 방향(site mean)을 계산할 때에는 포함시키지 않았다.

3.3. 자성광물의 파악

시료에 들어있는 자성광물의 종류를 판별하기 위해서는 (1) 열 세척온도에 따른 자기강도의 변화를 관찰하며 (2) 동온잔류자기(IRM) 획득실험을 통하여 이 유도자기의 포화도를 검토하는 방법을 이용하였다. 후자의 실험에서는 ASC IM10-30 순간충격 자화기(impulse

magnetizer)가 사용되었다.

4. 자기세척실험 결과

4.1. 캄브로-오도비스기 지층

화점층(JF, KN): 이 지층 시편들은 0.5~4.0 mA/m 범위의 초기 자연잔류자기(NRM)를 가지고 있었다. 단계적 열 세척실험으로 유리된 단일 안정 잔류자기(특성잔류자기: ChRM) 방향은 지층경사 보정후에 북북서로 나타났다(Fig. 2). 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 JF4시편에서는 500~580°C의 구간에서, KN1B시편에서는 370~450°C의 구간에서 단일 잔류자기성분이 추출되었다. 이렇게 서로 다른 온도에서 단일성분이 유리되는 것은 주 자성광물의 성분차이를 반영하는 것인데, 중요한 점은 자성광물의 종류가 달라도 잔류자기

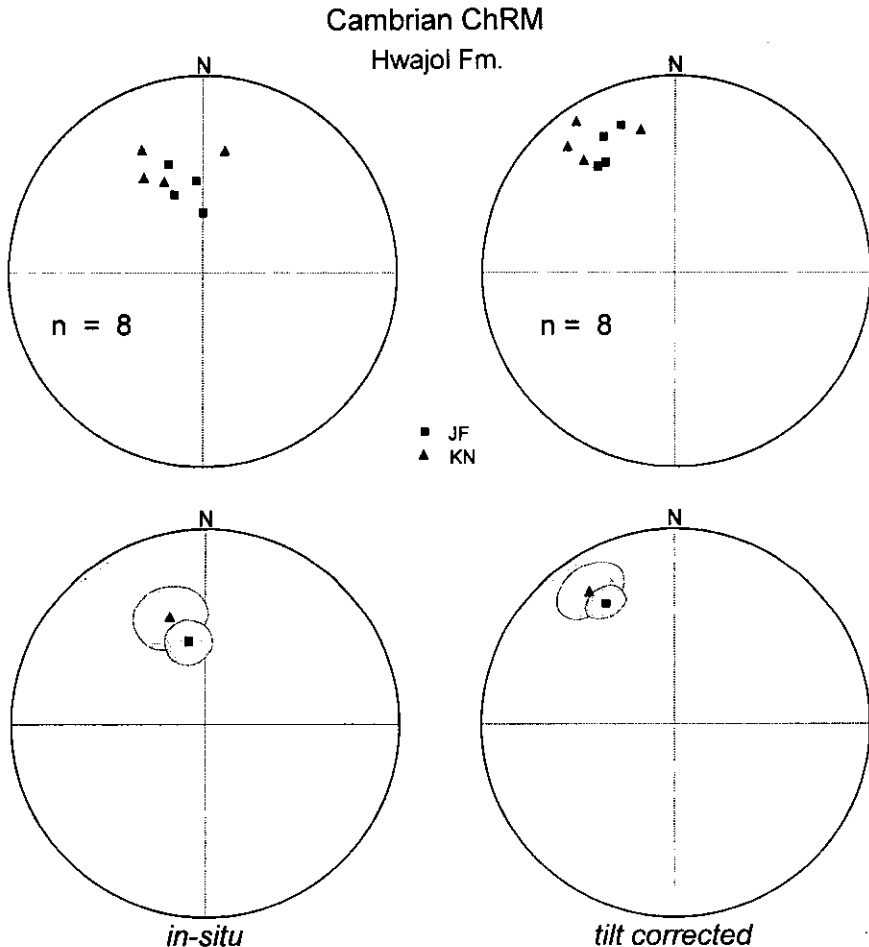


Fig. 3. Characteristic remanent magnetization (ChRM) of the Hwajol Formation. Upper diagrams represent ChRM direction of each specimen, and lower diagrams represent site-mean direction with α_{95} circle. See Table 2 for formation-mean.

의 방향은 상호 일치한다는 점이다. KN8B시편의 경우에는 600°C까지 남-북성분이 세척된 후에 남쪽방향의 역자화를 향하는 대원궤적 방향변화를 보였다(Fig. 2b).

각 시편들로부터 추출된 특성잔류자기방향을 사용하여 Fisher평균을 산출하면 지층경사 보정전에는 $d=344.1^\circ$, $i=47.1^\circ$, $\alpha_{95}=9.2^\circ$, $k_1=29.1$, $n=8$ 이며, 지층경사 보정후에는 $d=328.3^\circ$, $i=23.0^\circ$, $\alpha_{95}=7.3^\circ$, $k_2=46.6$, $n=8$ 이 된다(Fig. 3, Table 2).

막걸석회암(OR, OS, OU): 이 지층의 시편들은 0.5 mA/m미만의 미약한 초기 잔류자기를 가지고 있었다. 그 중 자기강도가 큰 시편들을 골라 세척실험을 실시하였다. 그러나 10 mT의 교류자기장 내지 200°C이하의 낮은 세척으로도 잔류자기가 거의 소멸되고 또한 여러방향의 자기성분이 중첩된 것으로 드러나서 안정 단일성분을 추출하지 못하였다.

고성석회암(OE): 2개 시편에 대한 열 자기세척에서 현재 자장방향으로부터 북서로 이동하는 잔류자기의 방

향변화가 관찰되었다. 그러나 400°C이상에 이르러서는 잔류자기가 소멸되어 더 이상의 방향추적이 불가능하였다.

4.2. 석탄기 지층

홍점층 (JA, JB, OD, OF, OG, OL, OM, ON, OO, OP, OQ, OV, OW, OX): 이 지층의 시편들은 저색 세일과 사암, 담녹색 사암, 녹색 이암, 암회색 이암, 암회색 사암, 석영질 사암으로 구성되어 있다. 저색의 세일과 사암의 시편들은 4~20 mA/m 범위의, 암회색 이암과 사암은 10~100 mA/m 범위의 강한 초기 자연잔류자기 강도를 보이며 세척반응도 양호한 반면, 담녹색 사암과 녹색 이암 및 사암은 1 mA/m이하의 미약한 초기 자연잔류자기를 가지며 90%이상이 불안정적인 세척반응을 보였다.

앞서 언급한 바와 같이 연구지역 남서부의 JB로부터 OF지점까지(JB, OD, JA, OG, OF)에는 수직층후가 500

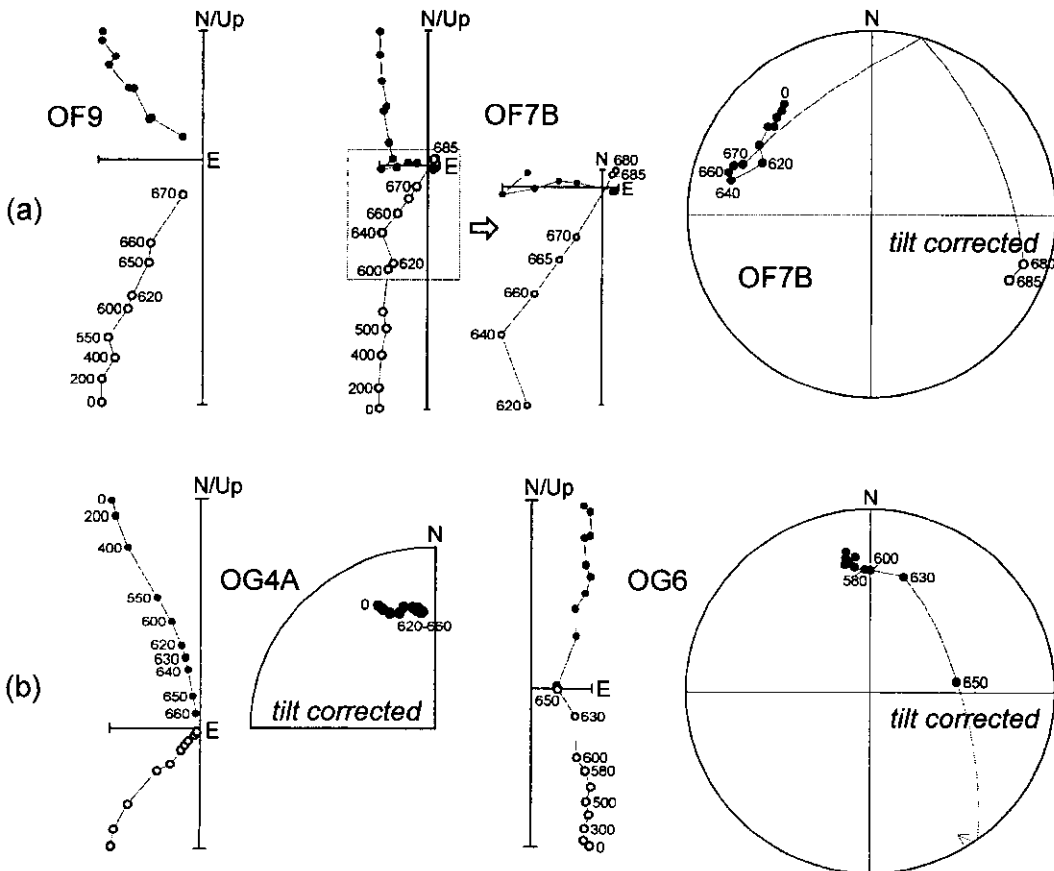


Fig. 4. Examples of thermal demagnetization of the Hongjom Formation in the southwest Yemi area.

m에 달하는 연속노도가 노출되어 있었다(Fig. 1). OF 시편들은 지층의 최하부에서 채취되었는데 대부분 저색 세일과 담녹색 사암으로 이루어져 있다. OF9시편에서는 670°C까지의 열세척을 통하여 매우 안정된 서북서의 단일 자화성분이 확인되었으며, OF7B시편에서는 640°C까지 남-북방향의 2차성분이 제거되다가 보다 고온에서 서북서방향의 정자화성분과 이에 반평행인 역자화성분이 유리되었다(Fig. 4a).

OG4A시편(Fig. 4b)에서는 600°C까지 2차성분이 제거된 후 620°C이후부터는 북북서방향의 단일 잔류자기 성분이 유리되었다. OG6을 위시한 다른 일부 시편들의 잔류자기는 열세척의 최종단계까지도 안정종점(stable end-point)에 도달하지 못하고 상기 OF7B시편에 유사한 남동방향의 향하는 대원궤적의 방향변화를 보였다(Fig. 4b).

JA지점 시편들도 이상 예시한 시편들과 유사한 세척 반응을 보였다. 일부(Fig. 5a, JA11)에서는 안정종점의 단일자기성분이 나타났으며, 다른 일부(Fig. 5a, JA2)에서는 계속적인 세척으로 남-북방향의 자기성분이 제거되며 동남동의 역자화를 향하는 대원궤적이 형성되었다.

OD지점은 암회색 이암과 사암 그리고 저색 세일이 호층을 이루는 곳인데, 이 지점의 시료들은 교류 자기 세척으로 자기강도가 70%까지 감소되는 효과를 보였

다(Fig. 5b). OD9시편은 매우 안정적인 단일 잔류자기 성분만을 가지고 있었으며, OD10시편에서는 600°C이상에 이르러서 비로소 북북서 방향의 단일성분이 유리되었다(Fig. 5b).

JB지점의 일부 시편들은(Fig. 6, JB7) 세척실험 초기 단계에서 40° 내외의 깊은 북각을 보이다가 630°C이상의 고온세척에서 북서상한내의 보다 저각도의 북각으로 변화되며 안정종점을 이루었다. 다른 일부의 시편들은(Fig. 6, JB19A) 670°C이상의 고온에서 상기방향에 반평행인 낮은 북각의 남동 역자화성분을 드러내었다.

이상으로 본 바와 같이 연구지역 남서부 5개 지점에서는 2차성분이 효과적으로 제거된 특성잔류자기가 획득되었다. 이 특성잔류자기의 정자화 성분과 역자화 성분이 지층경사 보정후에 거의 같은 북각을 가지고 정반대의 편각으로 대칭 배열되는 현상은 역자화검사(reversal test: Cox and Doell, 1960)를 통과하는 것이며 특성잔류자기가 1차잔류자기임을 지시하는 것이다.

연구지역 중앙부의 6개 지점(OL, OM, ON, OO, OP, OQ)은 녹색층이 우세한 곳인데 지층의 주향과 경사는 각각 160°~240°와 25°~70°의 범위로 상당한 변화를 보이고 있었다. OL, OM, ON지점들은 거시적으로 하나의 노두를 이루고 있으나, 각각 그곳 지층의 하부, 중부 그리고 상부를 대표한다. 하부인 OL지점 시료들은

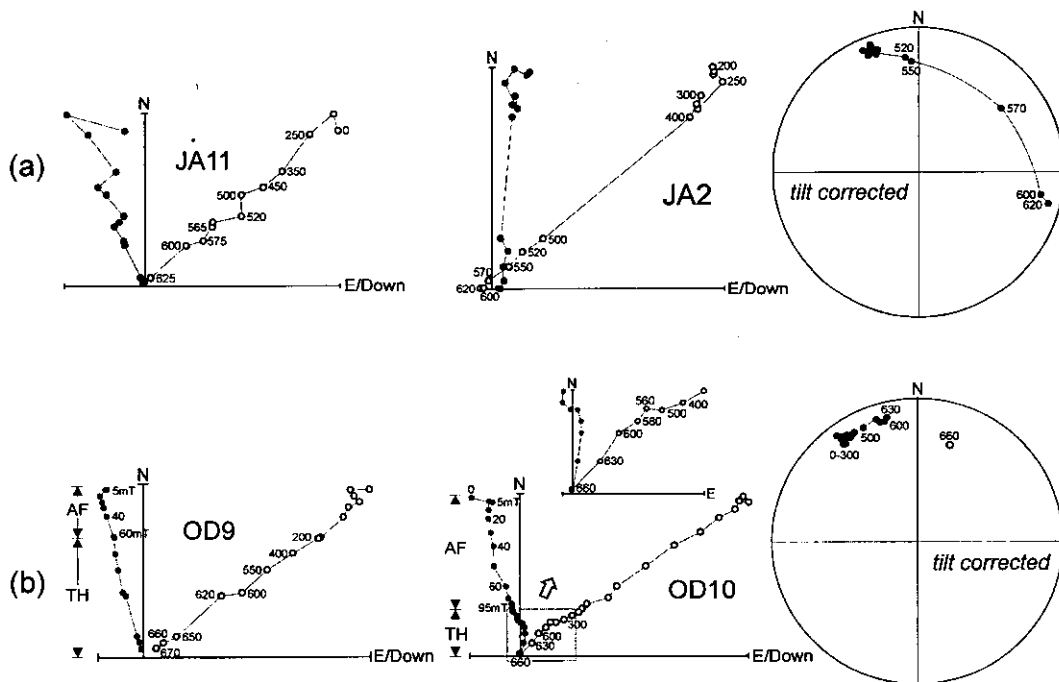


Fig. 5. Examples of thermal and AF demagnetization of the Hongjom Formation in the southwest Yemi area.

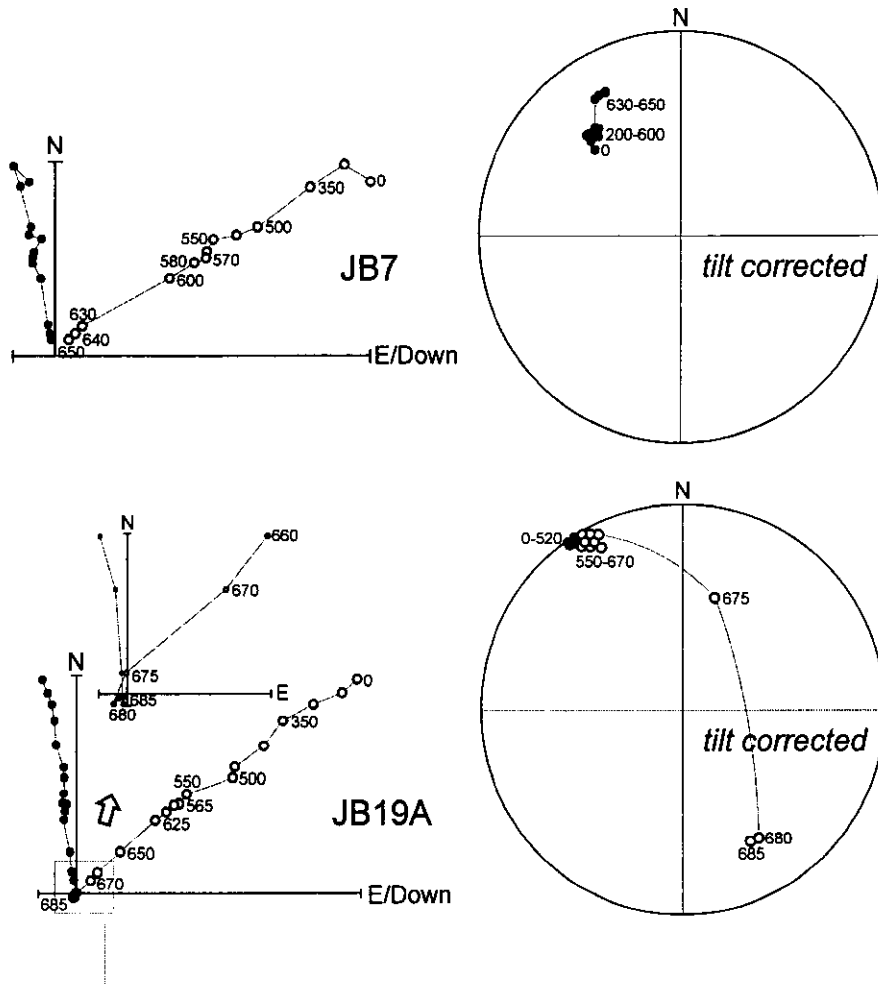


Fig. 6. Further examples of thermal demagnetization of the Hongjom Formation in the southwest Yemi area.

초기 자연잔류자기 상태에서부터 단일성분의 잔류자기로 이루어진 것도 있었고, 650°C이상의 고온세척으로 단일 잔류자기 성분이 유리되는 것도 있었다(Fig. 7a). OL3시편의 경우에는 650°C까지의 세척으로 북서성분이 제거됨에 따라 잔류자기 방향은 서북서로 이동하고 660°C에서부터 안정종점에 도달하였다. 시편 OL5A는 초기 자연잔류자기 상태에서부터 675°C까지 서북서방향의 정자화 성분만을 나타내다가 680°C에 이르러서 이에 반평행한 성분을 드러내었다.

OM지점의 저색 사암에서 채취된 두 개의 시편에서도 단일 잔류자기 성분이 유리되었는데 570°C까지 고각이었던 북각이 630°C에 이르러서는 북북서방향의 낮은 북각의 단일성분으로 변화되었다(Fig. 7b).

ON지점의 시료들은 녹색-담녹색 사암인 바, 오직

ON1 한 개의 시편에서만 북북서방향의 안정 잔류자기를 추출할 수 있었다(Fig. 7b). 즉, 300°C까지 증첩된 여러 잔류자기 성분들이 소거되고 그 다음 온도에서부터 급격한 자기강도의 감소와 함께 북북서방향의 안정 단일성분이 나타났다.

OP지점의 일부 시편들은 실험의 초기단계에서부터 최고 695°C에 이르기까지 북서상한의 정자화성분만을 나타내었다. 이와는 달리 O03과 OP5A 등의 시편들에서는 북서성분이 제거됨에 따라 반평행의 역자화성분이 나타났다(Fig. 8a). 한편, 세척의 최종단계까지도 안정종점에 도달되지 못하고 대원 궤적을 이루는 시편들도 많았는데 그들이 향하는 방향은 상기 O03과 OP5A시편들에서 안정종점이었던 남동방향이었다(Fig. 8b OOSite의 ☆표시).

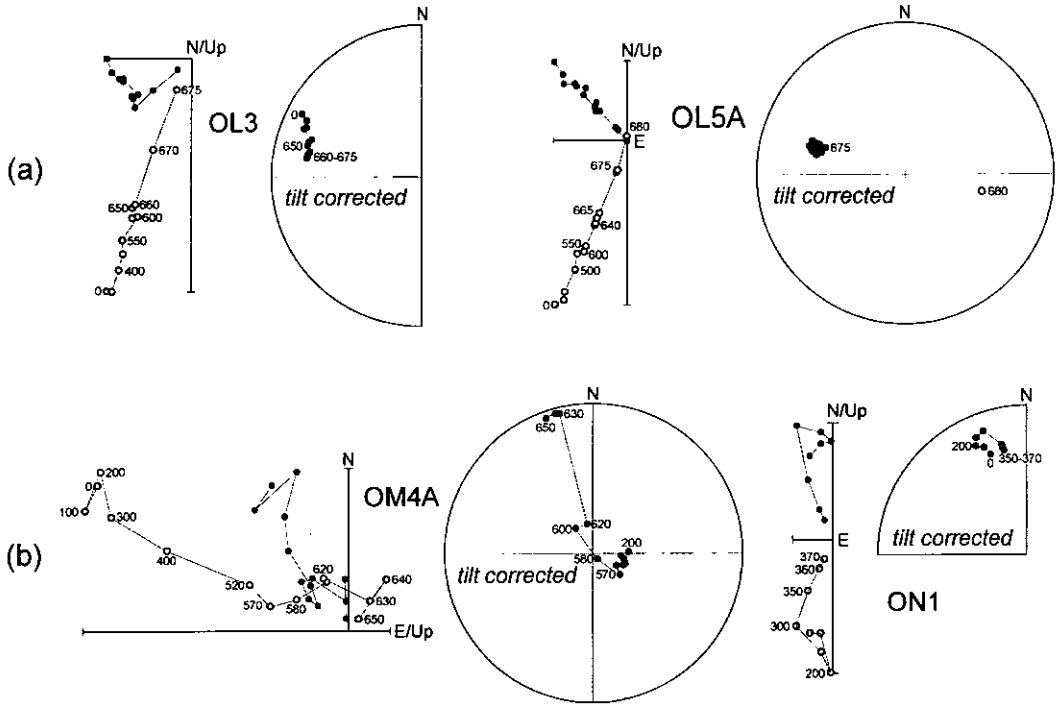


Fig. 7. Examples of thermal demagnetization of the Hongjom Formation in the middle part of Yemi area.

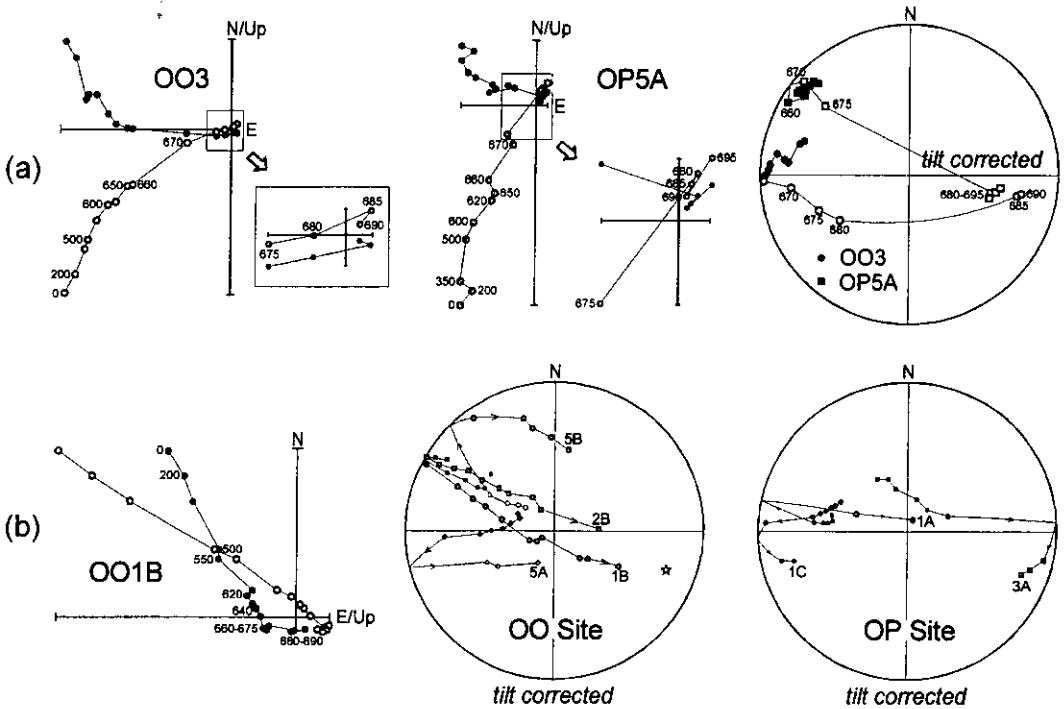


Fig. 8. Further examples of thermal demagnetization of the Hongjom Formation in the middle part of Yemi area. These OO and OP sites did not provide a single remanent component. Instead, the trace of remanent vectors in the course of stepwise thermal demagnetizations described a great circle trajectory. Star mark on the OO site stereonet represents the stable endpoint direction of the upper right stereonet.

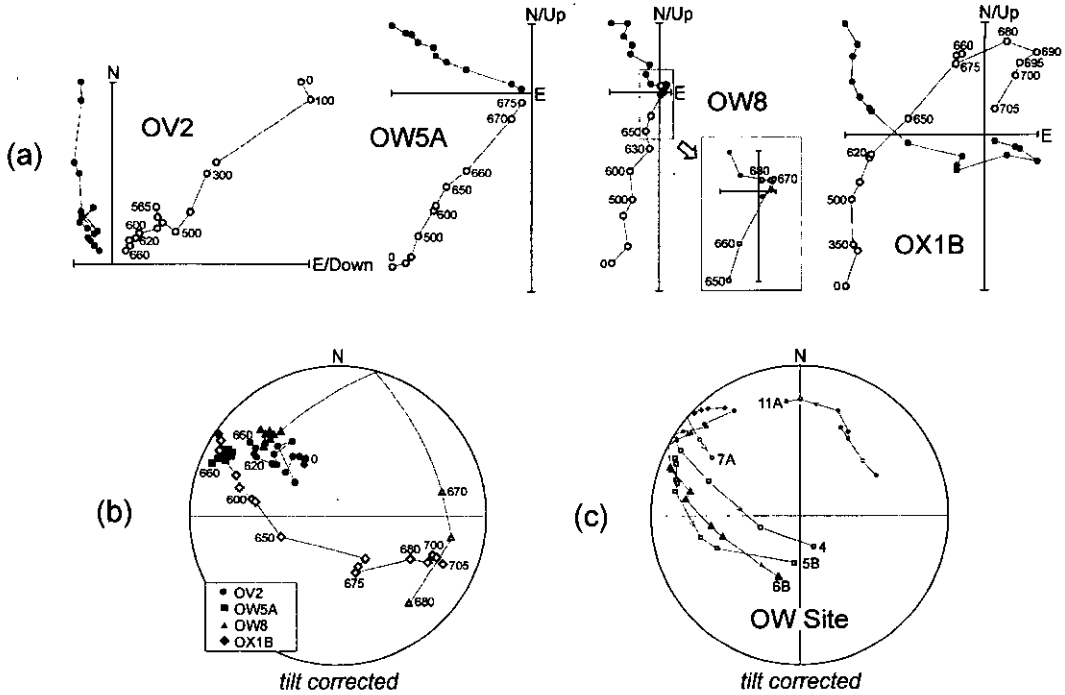


Fig. 9. Examples of thermal demagnetization of the Hongjom Formation in the northeast Yemi area.

연구지역 북동부 시료지역(OV, OW, OX)은 백운산향사의 서쪽끝에 해당한다. 이곳 지층의 주향과 경사는 각각 180°~250° 및 20°~50°의 범위로 곳에 따른 차이를 가지고 있었다. 세척실험결과를 보면, 시편 OV2의 경우에는(Fig. 9a) 현재자장에 해당하는 남-북방향의 성분이 500°C까지 제거된 후에 대체적으로 안정적인 북서방향 정자화의 성분이 유리되었다. OW5A시편의 잔류자기는 북서방향 정자화로 매우 안정적이었다. OX1B시편의 경우에는 세척실험 초기단계에 북서향 고북각이었던 잔류자기가 남동향으로 이동하여 안정중점을 이루었다(Fig. 9a). 한편, 이들과 달리 2개의 잔류자기성분들이 완전히 분리되지 못하여 대원 궤적의 방향 변화를 나타내는 시편들도 많았는데(Fig. 9b) OW8시편(Fig. 9a, b)과 같이 북서의 정자화에서 남동의 역자화로 진행되는 시편들이 있는 반면, OW11A시편과 같이 이에 반대되는 변화경로를 보이는 시편도 있었다(Fig. 9c).

이상과 같이 예미지역의 남서부와 중앙부 그리고 북동부의 13개 지점 시편들의 특성잔류자기로부터 각 장소평균(site mean)을 구하고 이들로부터 다시 홍점통 전체의 지층평균(formation mean)을 산출하면(Fisher, 1953) 지층경사 보정전에는 $d=326.7^\circ$, $i=50.2^\circ$, $\alpha_{95}=14.0^\circ$, $k_1=7.7$ $n=13$ 이며, 지층경사 보정후에는 $d=$

315.8° , $i=14.5^\circ$, $\alpha_{95}=8.8^\circ$, $k_2=19.4$ $n=13$ 이 된다. 이는 지층경사 보정으로 특성잔류자기 방향의 군집도(k 값)가 2.52배 향상된 것으로서 95%의 신뢰도로 습곡 검사를 통과하는 것을 의미한다. 따라서 홍점통 지층의 특성잔류자기는 습곡전의 1차잔류자기이라고 말할 수 있다(Fig. 10, Table 2).

4.3. 페름기 지층

시동통(OH) : 이 지층의 시편들은 0.5 mA/m이하의 미약한 초기 자연잔류자기 강도를 가지고 있었으며, 세척실험에서도 여러 잔류자기성분들이 중첩된 세척온도(unblocking temperature)를 가진 것으로 나타났다. 따라서 단일 잔류자기성분을 추출하지 못하였다.

고방산통(OI, OT) : 이 지층의 시편들은 유백색 내지 담녹색의 사암(OI지점)과 암회색 이암(OT지점)이었다. 사암 시료들은 0.5 mA/m이하의 미약한 초기 자연잔류자기 강도를 가져서 세척실험을 효과적으로 수행할 수가 없었다. 반면에 이암 시료들은 좀더 높은 10 mA/m 정도의 강도를 가지면서 열세척 실험에서도 안정적인 반응을 보였다. 그러나 세척의 최종단계까지도 추출이 가능했던 것은 오로지 남-북방향의 성분 뿐이었다. 9개의 시편에서 추출된 특성잔류자기 방향들로부터 Fisher평균을 산출하면 지층경사 보정전에는 $d=$

Table 2. Summary of ChRM data.

| Age/Formation | Site | Treatment level (°C) | n | Before bedding-tilt correction | | | | After bedding-tilt correction | | | | Fold test | Palaeo-latitude | |
|---------------|------|----------------------|-----|--------------------------------|-------|-------------------|----------------|-------------------------------|-------|-------------------|----------------|--------------------------------------|-----------------|--|
| | | | | d (°) | i (°) | α_{95} (°) | k ₁ | d (°) | i (°) | α_{95} (°) | k ₂ | | | |
| Permian | | | | | | | | | | | | | | |
| Kobangsansan | OT | 300-400 | 9 | 358.7 | 55.8 | 3.5 | 183.1 | 30.4 | 22.5 | 8.5 | 30.1 | 99% negative ($k_1/k_2 = 6.08$) | 11.7°N | |
| Carboniferous | | | | | | | | | | | | | | |
| Hongjomsan | JB | 570-685 | 18 | 1.7 | 56.5 | 5.2 | 39.8 | 325.7 | 14.8 | 4.9 | 45.0 | Not significant ($k_2/k_1 = 1.13$) | 7.5°N | |
| | OD | 600-650 | 8 | 352.6 | 48.0 | 6.4 | 59.4 | 329.1 | 8.9 | 4.7 | 110.3 | Not significant ($k_2/k_1 = 1.86$) | 4.5°N | |
| Upper | JA | 570-625 | 5 | 342.7 | 50.8 | 10.4 | 36.6 | 322.8 | 7.0 | 10.1 | 38.7 | Not significant ($k_2/k_1 = 1.06$) | 3.5°N | |
| | OG | 600-660 | 5 | 355.9 | 42.2 | 12.5 | 25.2 | 337.3 | 4.5 | 10.9 | 33.2 | Not significant ($k_2/k_1 = 1.32$) | 2.3°N | |
| | OM | 630-670 | 2 | 350.8 | -31.9 | 2.6 | 1430.5 | 341.8 | 8.25 | 2.4 | 1714.0 | Not significant ($k_2/k_1 = 1.20$) | 4.1°N | |
| | ON | 350-370 | 1 | 332.9 | 37.8 | | | 332.5 | 8.8 | | | | 4.4°N | |
| | OW | 670-680 | 5 | 322.8 | 54.9 | 12.7 | 24.5 | 319.1 | 15.9 | 10.2 | 37.6 | Not significant ($k_2/k_1 = 1.55$) | 8.1°N | |
| | Mean | | 7* | 345.8 | 39.9 | 20.2 | 6.9 | 329.8 | 10.6 | 6.3 | 71.2 | 99% positive ($k_2/k_1 = 10.32$) | 5.3°N | |
| Lower | OF | 640-690 | 9 | 312.5 | 62.5 | 10.1 | 19.1 | 309.7 | 20.2 | 9.1 | 26.1 | Not significant ($k_2/k_1 = 1.37$) | 10.4°N | |
| | OL | 660-685 | 6 | 291.4 | 67.8 | 13.7 | 21.0 | 294.1 | 18.4 | 7.6 | 68.0 | 95% positive ($k_2/k_1 = 3.24$) | 9.4°N | |
| | OO | 650-695 | 1 | 111.2 | -43.0 | | | 103.3 | -17.7 | | | | 9.1°S | |
| | OP | 620-695 | 6 | 281.6 | 57.1 | 16.01 | 12.7 | 296.1 | 14.6 | 13.2 | 18.8 | Not significant ($k_2/k_1 = 1.48$) | 7.4°N | |
| | OV | 600-660 | 2 | 300.4 | 39.0 | 25.6 | 14.9 | 302.2 | 19.5 | 14.7 | 45.4 | Not significant ($k_2/k_1 = 3.05$) | 10.0°N | |
| | OX | 690-705 | 3 | 140.1 | -63.1 | 15.9 | 25.9 | 126.3 | -21.6 | 14.0 | 33.4 | Not significant ($k_2/k_1 = 1.29$) | 11.2°S | |
| | Mean | | 6* | 300.7 | 58.7 | 10.5 | 35.3 | 301.7 | 17.9 | 5.4 | 134.2 | 95% positive ($k_2/k_1 = 3.80$) | 9.2°N | |
| | Mean | | 13* | 326.7 | 50.2 | 14.0 | 7.7 | 315.8 | 14.5 | 8.8 | 19.4 | Positive ($k_2/k_1 = 2.52$) | 7.4°N | |
| Cambrian | | | | | | | | | | | | | | |
| Hwajolsan | JF | 350-580 | 4 | 347.7 | 54.0 | 9.7 | 52.4 | 329.9 | 27.8 | 7.7 | 82.6 | Not significant ($k_2/k_1 = 1.58$) | 14.8°N | |
| | KN | 370-550 | 4 | 341.2 | 40.8 | 14.7 | 22.8 | 327.2 | 19.4 | 12.7 | 30.3 | Not significant ($k_2/k_1 = 1.33$) | 10.0°N | |
| | Mean | | 8 | 344.1 | 47.1 | 9.2 | 29.1 | 328.3 | 23.0 | 7.3 | 46.6 | Not significant ($k_2/k_1 = 1.60$) | 12.0°N | |

n: number of specimens which yield ChRM direction, n*: number of sites to build formation-mean ChRM direction, d(i): declination (inclination) of site-mean ChRM direction, α_{95} and k: statistical parameters of Fisher (1953).

Carboniferous ChRM
Hongjom Fm.

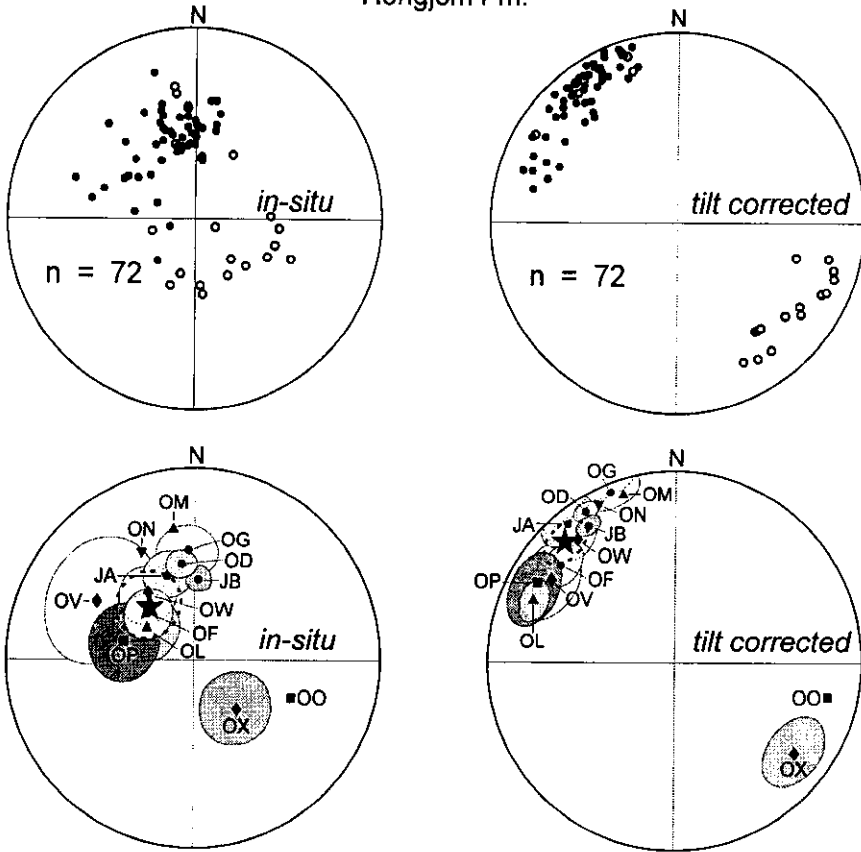


Fig. 10. Characteristic remanent magnetization (ChRM) of the Hongjom Formation. Upper diagrams represent ChRM direction of each specimen, and lower diagrams represent site-mean direction with α_{95} circle. See Table 2 for formation-mean.

358.7°, $i=55.8^\circ$, $\alpha_{95}=3.5^\circ$, $k_1=183.1$, $n=9$ 이고, 지층경사 보정후에는 $d=30.4^\circ$, $i=22.5^\circ$, $\alpha_{95}=8.5^\circ$, $k_2=30.1$, $n=9$ 가 되었다. 이 고방산통 지층의 시편들에서는 오직 현재자장방향의 성분만 추출되며 경사보정을 통하여 군집도(k 값)가 6.08배 감소하는 사실로부터, 이 특성잔류자기는 습곡후에 재자화된 2차잔류자기(post-folding magnetization)임을 알 수 있다(Table 2).

5. 자성광물 고찰

안정적 자화성분을 가진 시료에 들어있는 자성광물의 종류를 알아보기 위하여 세척온도에 따른 잔류자기 강도와 총 대자율(bulk magnetic susceptibility)의 변화를 고찰하고 등온잔류자기(IRM) 획득실험을 실시하였다(Fig. 11, 12, 13). Fig. 11a를 보면 350°C~400°C

와 550°C~600°C의 온도범위에서 시편의 자기강도가 급속히 감소되고 있다. 가열(열세척)에 따른 이들 시편에서의 총 대자율의 변화는 극히 미미하였다(Fig. 11b).

등온잔류자기 획득실험(Fig. 11c)에서는 300 mT 이하의 낮은 외부자기장으로도 등온잔류자기가 완전히 포화됨이 나타나고 있다. 이상의 특성은 자철석 등의 티탄자철석계열(titanomagnetite series)의 광물이 주 자성광물임을 지시한다. 이 시편들 중 550~600°C의 온도에서 잔류자기가 급감하는 것은 자철석이 주 자성광물이기 때문이다.

한편 Fig. 12에 예시된 시편에서의 주 자성광물은 적철석이었다. Fig. 12a에서 볼 수 있는 바와 같이 이들의 경우에는 630~700°C의 고온 열세척에 이르러 자기강도가 급감하였다. 이 시편들의 일부는 650°C 이상의 고온에서 최대 2배의 총대자율의 증가를 나타내

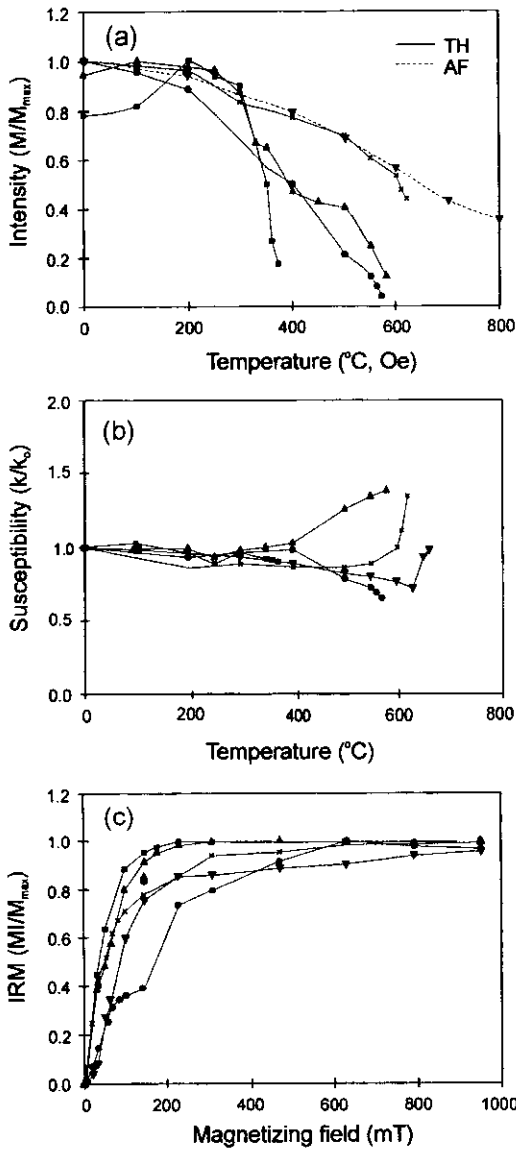


Fig. 11. Magnetic mineralogy dominated by the titanomagnetite series. (a) Variation of remanent magnetization intensity against demagnetization step (°C or Oe). (b) Variation of low-field magnetic susceptibility measured after each step of the thermal demagnetization. (c) Isothermal remanent magnetization (IRM) acquisition curves. JF: Cambrian-Hwajol Formation, Others: Carboniferous Hongjom Formation. -▽-: JB19, -▲-: OG4A, -●-: OF9, -■-: ON1, -*-: -▲-: JF4

었다(Fig. 12b). 등온잔류자기 획득실험에서는(Fig. 12c) 2,500 mT에 이르는 강한 외부자기장으로도 등온잔류 자기가 포화에 도달하지 못하였다. 이는 주 자성광물이 적철석임을 나타내는 특성이다.

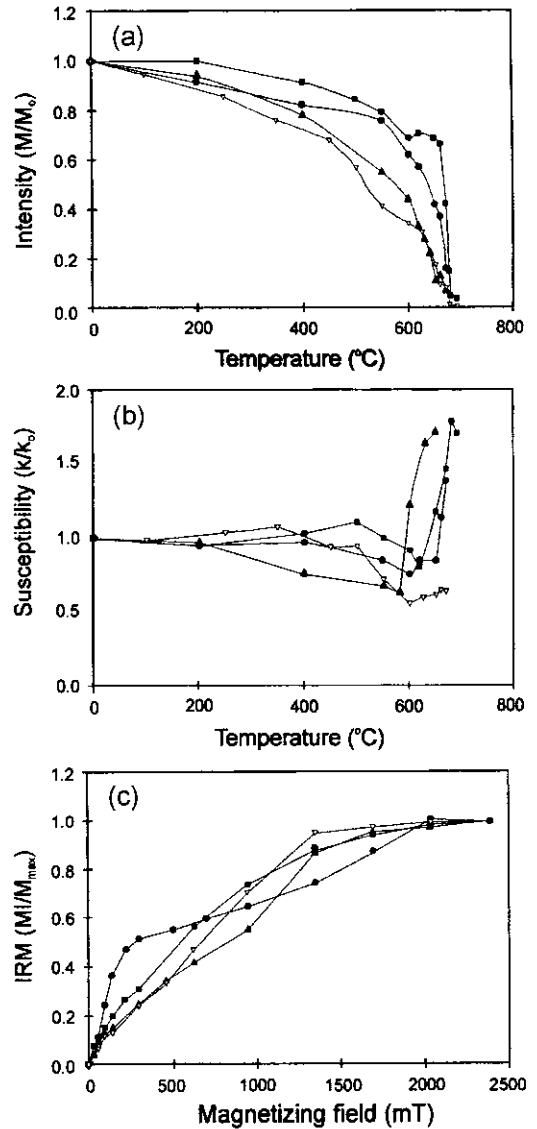


Fig. 12. Magnetic mineralogy dominated by haematite. (a) Variation of remanent magnetization intensity against demagnetization step (°C). (b) Variation of low-field magnetic susceptibility measured after each step of the thermal demagnetization. (c) Isothermal remanent magnetization (IRM) acquisition curves. All specimens are from the Carboniferous Hongjom Formation. -▽-: JB19, -▲-: OG4A, -●-: OF9, -■-: OL3

Fig. 13은 동일 시편내에 자철석과 적철석의 두 자성 광물이 함께 함유된 예이다. 이 시편들에서는 일단 600°C까지의 열세척으로 잔류자기의 상당한 감소가 일어나지만 완전소자에 이르지 않고, 630°C~700°C의 고온에서 다시금 잔류자기의 감소가 나타난다(Fig. 13a).

이는 자철석과 적철석 두 자성광물의 존재를 지시하는 것이다. 이는 등온잔류자기 획득실험으로써 확인된다 (Fig. 13c). 즉, 우선 300 mT이하의 낮은 외부자기장으로도 등온잔류자기 강도가 급격히 증가하나 완전포화에는 도달하지 못하며 외부자기장이 2,500 mT에 이르기까지도 계속 증가하는 사실이 이를 뒷받침하는 것이다.

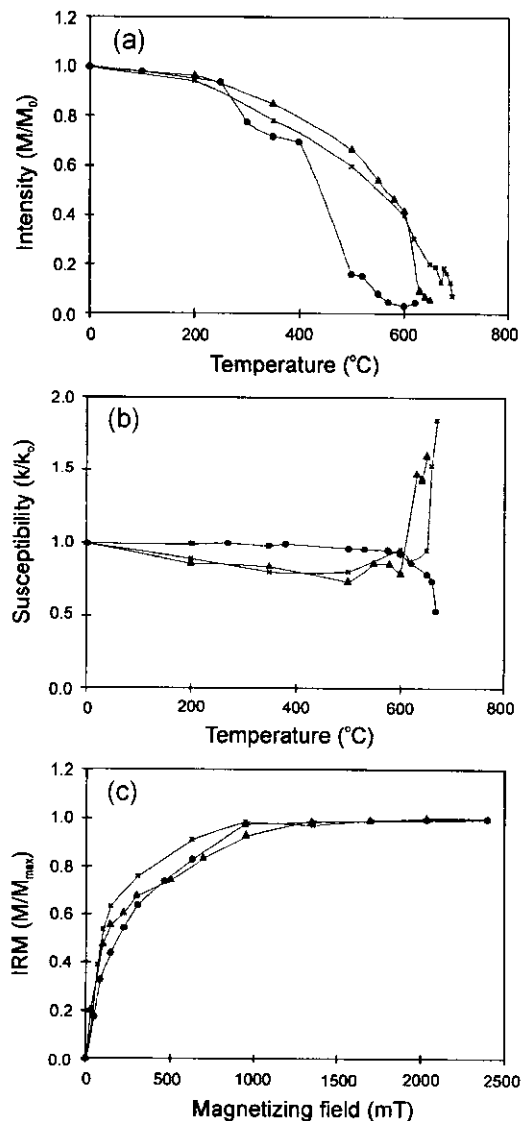


Fig. 13. IRM acquisition experiment showing both magnetite and haematite. (a) Variation of remanent magnetization intensity against demagnetization stop (°C). (b) Variation of low-field magnetic susceptibility measured after each step of the thermal demagnetization. (c) Isothermal remanent magnetization (IRM) acquisition curves. All specimens are from the Carboniferous Hongjom Formation. —▲—: JB7, —■—: JA2, —●—: OX14

6. 결과 정리와 고찰

실험결과 얻어진 예미지역 고생대 지층의 특성잔류 자기와 Fisher통계 그리고 고위도 등의 정보는 Table 2, 3에 정리되어 있다.

이암과 사암으로 이루어진 캄브리아 지층(화절층)에서 일부의 시료는 500~690°C의 열 세척으로 현재자장과 구별되는 단일 잔류자기성분을 유리시켰다(Fig. 3). 이들은 100%의 경사보정에서 최대의 군집(k값)을 이루었다(Fig. 14a). 그러나 통계학적으로 McElhinny (1964)의 습곡검사를 완벽하게 통과하지는 못하였다.

오도비스기 석회암층(막골석회암, 고성석회암) 시료들의 경우에는 400°C이하의 저온 세척으로도 잔류자기 강도가 측정 한도 이하로 떨어졌다. 추출된 단일성분의 방향들이 지층경사 보정전에 현재자장 방향이며, 지층 경사를 보정함에 따라 분산되는 것으로 보아 이 두 지층에서의 특성잔류자기는 습곡후의 재자화에 의한 것으로 결론지워진다.

석탄기 지층(홍점통)의 특성잔류자기는 99% 혹은 95%의 신뢰도로 McElhinny(1964)의 습곡검사를 통과하는 습곡전의 1차잔류자기인 것으로 나타났다. 단계적 습곡검사에서도 100%의 지층경사보정에서 군집지수(k)가 최대가 되었다(Fig. 14b). 이 석탄기 지층 특성잔류

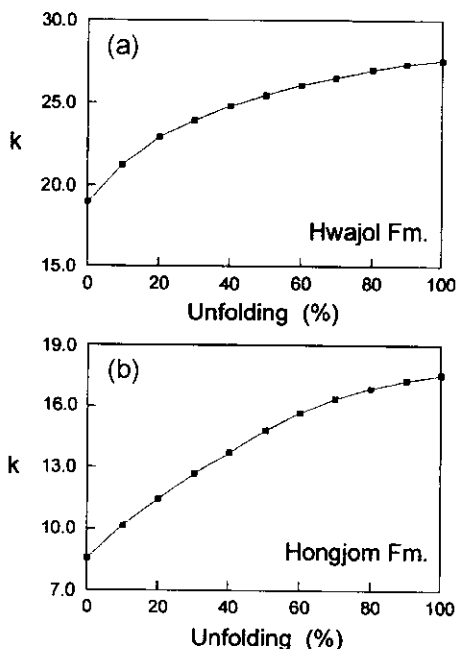


Fig. 14. Incremental fold test, showing a maximum of k (Fisher's precision parameter) at the 100% unfolding.

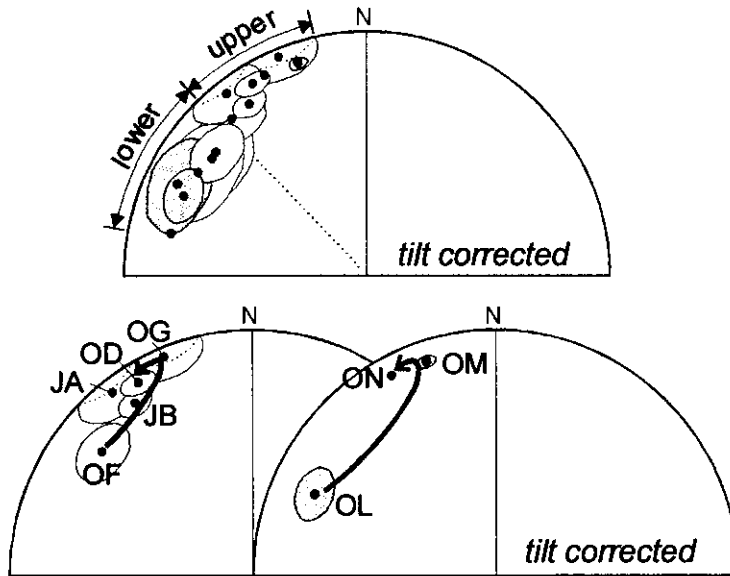


Fig. 15. Site-mean ChRM directions from a single large continuous outcrop of the Carboniferous Hongjom Formation. They revealed a sequential directional change from WNW through NNW to NW, as one goes from the lower toward the upper stratigraphic horizon. The apparent scatter of the directions is thus much diminished if the outcrop is separated into the upper and the lower parts.

자기의 장소평균(site mean)들은 북서상한에서 저북각으로 띠를 이루며 분포하는데(Fig. 10), 이러한 양상은 석탄기 지층에 대한 다른 연구에서도 보고된 바 있다(Doh and Piper, 1994; Lee *et al.*, 1997). 이 분산된 편각방향들을 잘 고찰해보면 지층의 하부에서 상부로 감에 따라 서북서→북북서→북서방향의 규칙을 이루며 변하고 있음을 알 수 있다(Fig. 15). 하부층과 상부층을 구분하여 평균하면 하부층의 경우에는 $D/I=301.7^\circ/17.9^\circ$, $\alpha_{95}=5.4^\circ$, $k=134.2$, $N=6$ 으로서 서북서 방향을 이루고, 상부지층의 경우에는 $D/I=329.8^\circ/10.6^\circ$, $\alpha_{95}=6.3^\circ$, $k=71.2$, $N=7$ 로서 북북서방향을 이룬다(Table 2).

중전의 잔류자기 연구자들은 옥천대내 동시대 지층들에서 편각방향의 지역별로 상이하게 나타나는 것은 지괴의 수평회전운동 때문이라고 해석하였다. 예를 들어 Kim and Van der Voo(1990)는 옥천대내 화강암의 특성잔류자기 편각방향이 동시대의 경기육괴나 영남육괴의 것과 약 60° 차이를 보임을 밝히고 이는 슈라기 후기 내지 백악기 초기동안 영남육괴와 경기육괴 사이의 좌향 전단운동으로 옥천대 화강암체가 반시계 방향으로 수평회전운동된 데에 기인한다고 해석하였다. 또한 Doh and Piper(1994)는 백운산항사대에 분포하는 평안누층군에 대한 고자기 연구에서 백악기에 획득된 제자화 성분의 편각이 경상분지에서의 특성잔류자

기 방향과 다르다는 근거로 백운산항사대가 백악기 이후 Tan-Lu단층의 우향주향운동에 연관하여서 시계방향으로 30° 수평회전운동된 것으로 해석하였다. 아울러 이윤수와 민경덕(1995) 그리고 Lee *et al.*(1997)도 옥천대에 대한 고자기 연구에서 북동 옥천대 석탄기 지층의 특성잔류자기 방향을 기준으로 할 때, 문경과 화순지역의 편각이 시계방향으로 각각 80.3° 와 42.4° 수평회전한 것으로 나타난다고 하였으며 이는 세 지역이 서로 다른 방향의 구조적 영향을 받은 결과인 바, 트라이아스기동안 호남전단대의 우향 전단운동이 그 주요 원인이라고 해석하였다.

만약 잔류자기의 편각차이가 지층형성 이후의 구조적 회전운동에 의한 것이라면 소규모 지역이나 동일노두 정도의 좁은 범위내에서는 특성잔류자기의 방향이 동일하여야 할 것이다. 그러나 이번 연구에서 나타난 바로는 석탄기 지층 동일노두에서도 하부와 상부 사이에 특성잔류자기 방향의 뚜렷한 차이가 있었다(Fig. 10, 15). 따라서 이러한 차이는 지괴의 제자리 회전운동(rotation)이나 지층의 변형(deformation)보다는 시간에 따른 자극(磁極)의 이동(true polar wander)이나 지괴의 위치이동(drift)으로 이해되어야 할 것이다. 한편, 잔류자기 북각자료로부터 계산된 고위도를 살펴보면(Table 2) 수치상으로 석탄기의 상부층의 고위도는 $5.3^\circ N$ 으로서 하부층의 $9.2^\circ N$ 보다 약간 저위도인 것으

Table 3. Paleomagnetic pole positions calculated from the ChRM data.

| Age/Formation | Site | Before bedding-tilt correction | | | | After bedding-tilt correction | | | | |
|----------------------|--------------|--------------------------------|------------|---------|--------|-------------------------------|------------|---------|-------|-----|
| | | pole lat. | pole long. | dp(°) | dm(°) | pole lat. | pole long. | dp(°) | dm(°) | |
| Permian | | | | | | | | | | |
| Kobangsang | OT | 88.7°N | 2.1°E | 3.6 | 5.0 | 52.7°N | 253.8°E | 4.8 | 9.0 | |
| Carboniferous | | | | | | | | | | |
| Hongjom | JB | 88.6°N | 220.7°E | 5.4 | 7.5 | 47.0°N | 3.7°E | 2.6 | 5.0 | |
| | OD | 79.8°N | 348.1°E | 5.5 | 8.4 | 46.8°N | 357.0°E | 2.4 | 4.7 | |
| | JA | 74.7°N | 22.1°E | 9.5 | 14.0 | 42.1°N | 3.0°E | 5.1 | 10.2 | |
| | OG | 76.8°N | 325.1°E | 9.4 | 15.4 | 49.3°N | 344.9°E | 5.5 | 10.9 | |
| | OM | 34.9°N | 319.1°E | 1.7 | 2.9 | 53.0°N | 339.8°E | 1.2 | 2.4 | |
| | ON | 61.6°N | 11.9°E | | | 48.7°N | 352.8°E | | | |
| | OW | 60.2°N | 46.5°E | 12.8 | 18.0 | 43.0°N | 10.9°E | 5.4 | 10.5 | |
| | Mean (upper) | | 71.0°N | 352.7°E | 14.6 | 24.3 | 47.9°N | 356.9°E | 3.2 | 6.4 |
| | OF | 53.8°N | 64.4°E | 12.3 | 15.8 | 37.6°N | 21.3°E | 5.0 | 9.5 | |
| | OL | 54.0°N | 65.3°E | 17.9 | 22.8 | 24.8°N | 31.5°E | 4.1 | 7.9 | |
| OO | 31.1°N | 47.9°E | | | 16.0°N | 217.9°E | | | | |
| OP | 29.7°N | 65.2°E | 17 | 23.3 | 25.2°N | 28.4°E | 6.9 | 13.5 | | |
| OV | 36.9°N | 39.6°E | 18.2 | 30.5 | 31.6°N | 26.5°E | 8.0 | 15.4 | | |
| OX | 59.2°N | 65.1°E | 19.7 | 25.0 | 35.5°S | 204.7°E | 7.8 | 14.8 | | |
| Mean (lower) | | 44.3°N | 60.5°E | 11.6 | 15.6 | 30.6°N | 26.1°E | 2.9 | 5.6 | |
| Cambrian | | | | | | | | | | |
| Hwajol | JF | 79.7°N | 27.5°E | 9.5 | 13.6 | 55.1°N | 6.7°E | 4.6 | 8.4 | |
| | KN | 68.7°N | 3.3°E | 10.8 | 17.8 | 49.9°N | 4.4°E | 6.9 | 13.3 | |
| Mean | | 74.0°N | 9.4°E | 7.7 | 11.9 | 52.1°N | 5.3°E | 4.0 | 7.4 | |

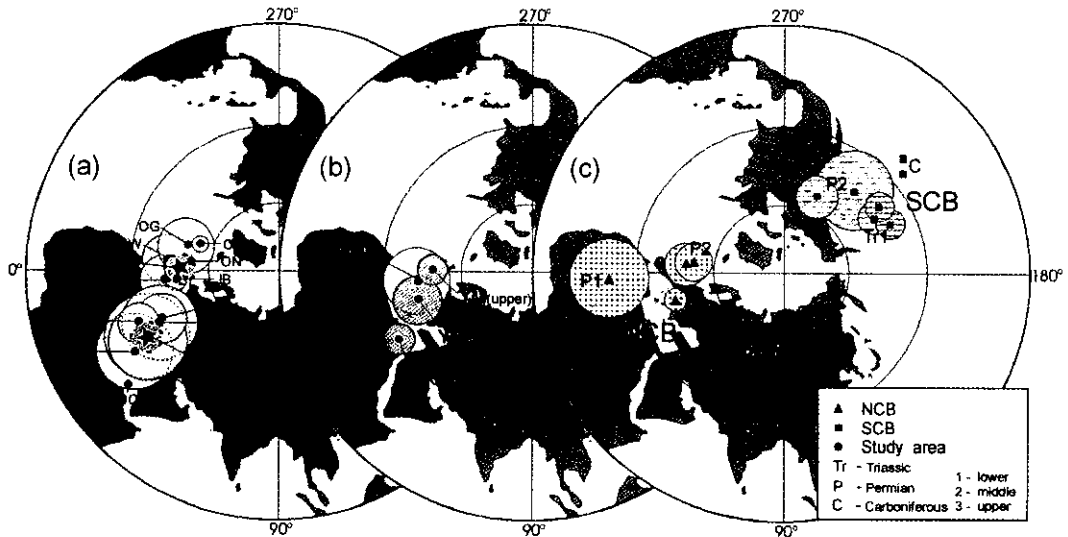


Fig. 16. (a) Carboniferous palaeomagnetic pole positions calculated from the site-mean directions of the Hongjom Formation in this study. (b) Carboniferous palaeomagnetic pole positions calculated from the formation-mean directions of the Hongjom Formation in Yemi area (YM: this study) and Yongwol area (YW: to be published). (c) Upper Palaeozoic palaeomagnetic pole positions from the North China Block (NCB) and the South China Block (SCB) listed in Lin & Fuller (1990), Enkin *et al.*(1992), Dobson & Heller (1993), Gilder *et al.*(1995) and Huang & Opdyke (1996)

로 나타난다. 그러나 그 차이가 미미하므로 연구지역은 석탄기동안 별다른 지괴의 이동이 없이 북위 10°N 이내의 적도근처 저위도에 머물어 있었다는 결론을 얻을 수 있다. 그렇다면 이번 연구에서 드러난 석탄기 지층내 층위에 따른 잔류자기방향의 차이는 지괴의 이동보다 자극자체의 이동(true polar wander)에 기인한 것으로 보아야 할 것이다. 예미지역 석탄기 지층의 특성잔류자기로부터 계산된 고자기학적 북극의 위치는 하부층의 30.6°N, 26.1°E(dp=2.9°, dm=5.6°)로부터 서쪽으로 옮기기 시작하여 상부층의 47.9°N, 3.1°W(dp=3.2°, dm=6.4°)에 이르기까지 상당한 거리의 이동을 보이고 있다(Table 3, Fig. 16). 이 자극이동의 양상은 앞으로 옥천대를 비롯한 우리나라 여러곳에 산재한 석탄기 지층들의 정밀한 시대결정과 상호간의 시대대비에 매우 유용하게 이용될 수 있을 것이다.

끝으로, 이번의 연구결과를 남중국지괴 및 북중국지괴로부터의 연구결과와 비교하면(Fig. 16) 예미지역 석탄기 지층의 고북극 위치는 동시기 남중국지괴(SCB)의 것과 현격한 차이를 보이는 대신 북중국지괴(NCB)의 것에 매우 유사한 것으로 나타난다. 엄격한 견지에서 볼 때, 북중국지괴로부터의 석탄기 지층에 대한 정밀한 잔류자기 연구결과가 아직 알려져 있지 않아 우리의 석탄기 자료와 맞비교가 가능하지는 않다. 그러나 Fig. 16에서 볼 수 있는 바와 같이 예미지역 석탄기 지층의 고북극 위치가 지층상부로 감에 따라 북중국지괴 초기 페름기의 고북극으로 접근하는 사실로 미루어 보아, 예미지역 지괴는 북중국지괴의 일부였거나 최소한 이에 근접하여 있었음을 알 수 있다. 이는 태백지역이 후기 석탄기 이래 북중국지괴에 속해있다고 한 Doh and Piper(1994)의 결론을 지지한다. 한편, 예미지역 페름기의 지층들은 재자화로 밝혀져, 태백지역이 초기 고생대동안 북중국지괴에 근접해 있다가 페름기에 이르러 남중국지괴로 접근 또는 융결되었다는 김인수와 임아연(1993)의 가설은 확인할 수가 없다.

7. 결 론

북동옥천대내 예미지역에 분포하는 두위봉형 고생대 지층들에 대한 잔류자기 연구로부터 밝혀진 사실들은 다음과 같다.

1. 캄브리아기 화절층의 특성잔류자기는 현재자장방향과 다르며 100%의 지층경사보정에서 최대의 균집을 이루어 1차잔류자기의 가능성을 제시하였다. 그러나 통계학적으로는 McElhinny(1964)의 습곡검사를 통과하

지 못하였다. 따라서 지층경사가 상이한 다른 지점에서의 보충연구가 요망된다.

2. 오도비스기 막골석회암과 고성석회암의 잔류자기는 매우 약하며 재자화 성분이 압도적이었다. 이 지층의 잔류자기는 지점에 관계없이 모두 재자화되어 있다.

3. 석탄기 홍점통 지층의 특성잔류자기는 95% 혹은 99%의 통계학적 신뢰도로 습곡검사를 통과하는 습곡 이전의 1차잔류자기이다. 또한, 이의 역자화와 정자화 방향은 상호 대칭되어 Cox and Doell(1960)의 역자화 검사를 통과하고, 교류세척과 열세척 모두에서 동일한 안정 잔류자기 방향을 보여서 자철석과 적철석 모두에 1차잔류자기가 보존된 것으로 나타났다.

4. 석탄기 홍점통 지층의 특성잔류자기는 한 노두에서도 지층의 하부에서 상부로 감에 따라 서북서→북북서→북서방향의 편각 변화를 보여준다. 비교적 작은 규모의 노두에서 나타나는 이러한 잔류자기의 방향변화는 지괴의 수평회전운동으로써 이해되기는 어렵고, 시간에 따른 자극의 이동에 의한 것으로 해석되어야 할 것이다. 이 자극이동의 경로는 앞으로 옥천대를 비롯한 우리나라 여러곳의 석탄기 지층들의 정밀한 시대결정과 상호 시대대비에 유용하게 이용될 것이다.

5. 위 4항의 분산(streaking)된 편각방향은 지층을 상, 하부로 구분하여 분리하면 각 그룹내에서 잘 균집된다. 이 각각의 평균 특성잔류자기들로부터 계산된 고자기학적 북극의 위치를 남중국지괴(SCB)와 북중국지괴(NCB)의 것들과 비교하면 전자의 것과는 현격한 차이를 보이는 반면 후자의 것에는 매우 유사함이 드러난다. 따라서 예미지역 지괴는 석탄기동안 북중국지괴(NCB)의 일부였거나 최소한 이에 근접하여 있었음을 알 수 있다.

6. 연구된 석탄기 홍점통 지층은 정자화와 역자화 성분 모두를 가지고 있으며 고북극 위치는 지층의 상부에 이르면서 북중국지괴의 초기 페름기의 것에 접근되는 것으로 나타났다. 이는 연구된 석탄기 홍점통 대부분의 연령이 Kiaman Reversed Superchron(약 262 Ma-약 316 Ma) 이전임을 시사한다.

7. 페름기 사동통과 고방산통 지층에서는 오직 현재 자장방향의 성분만이 추출되었다. 지층경사 보정을 통하여 잔류자기방향의 균집도가 6배이상 감소되는 것으로 보아 이 특성잔류자기는 습곡후에 재자화된 2차잔류자기(post-folding magnetization)임을 알 수 있다.

이 논문은 1998년 한국학술진흥재단의 학술연구비(연구과제명: 육천대에 분포하는 선캄브리아-중생대 지층에 대한 고자기 연구, 과제번호: 998-001-D00868)의 지원과 부분적으로 부산대학교 기초과학연구소 학술연구조성비(간접연구경비) 지원에 의하여 수행되었음(RIBS-PNU-99-501)을 밝히며 이에 대하여 감사하는 바이다. 또한 논문심사과정에서 유익한 조언을 하여준 한양대학교 석동우 교수와 한국지질자원연구원 이윤수 박사의 관심에도 감사드립니다.

참고문헌

김광호, 남기상, 이정후 (1990) 한국 유라기의 고자기. 지질학회지, 26권, p. 513-526.
 김봉근 (1969) 예미북서부지역에서 밝혀진 몇가지 지질학적 사실. 지질학회지, 5권, p. 229-241.
 김인수 (1989) 영월-파차리-정선일대의 캄브리아-페름기 퇴적암에 대한 고자기연구. 지질학회지, 25권, p. 413-428.
 김인수, 임아연 (1993) 태백지역의 캄브리아-트라이아스기 퇴적암에 대한 고자기 연구. 지질학회지, 29권, p. 415-436.
 김인수, 김정필, 민경덕 (1995) 문경지역 대동누층군에 대한 고자기 연구: (I) 특성잔류자기의 추출. 지질학회지, 31권, p. 362-381.
 우경식 (1997) 예미각력암 : 성인과 층서적 의미. 한국석유지질학회지, 5권, p. 16-26.
 이윤수, 민경덕 (1995) 육천대의 중생대 아래의 지구조적 운동에 관한 고자기 연구. 자원환경지질, 28권, p. 493-501.
 이하영 (1982) 하부고생대층. 한국의 지질과 광물자원, 연세대학교 지질학과 동문회, p. 45-62.
 정창희 (1974) 고생물학적으로 본 각동단층의 의의. 지질학회지, 10권, p. 227.
 정창희 (1982) 상부고생대층. 한국의 지질과 광물자원, 연세대학교 지질학과 동문회, p. 62-94.
 태백산지구 지하자원 조사단 (1962) 태백산지구 지질도 (1:50,000), 국립지질조사소.
 Cox, A.V and Doell, R.R. (1960) Review of paleomagnetism, Geol. Soc. Amer. Bull., v. 71, p. 645-768.
 Dobson, J.P and Heller, F. (1993) Triassic paleomagnetic results from the Yangtze block, SE China. Geophys. Res. Lett., v. 20, p. 1391-1394.
 Doh, S.-J. and Piper, D.A. (1994) Palaeomagnetism of the (Upper Paleozoic-Lower Mesozoic) Pyongan Supergroup, Korea: a Phanerozoic link with the North China Block. Geophys. Jour. Int., v. 117, p. 850-863.
 Enkin, R.J., Yang, Z., Chen, Y. and Courtillot, V. (1992) Paleomagnetic constraints on the geodynamic history of the major blocks of China from the Permian to the present. Jour. Geophys. Res., v. 97, p. 13,953-13,989.
 Fisher, R.A. (1953) Dispersion on a sphere. Proc. Roy.

Soc. London, Ser. A, v. 217, p. 295-305.
 Gilder, S.A., Coe, R.S., Wu, H., Kunag, G., Zhao, X. and Wu, Q. (1995) Triassic paleomagnetic data from South China and their bearing on the tectonic evolution of the western circum-Pacific region. Earth Planet. Sci. Lett., v. 131, p. 269-287.
 Halls, H.C. (1976) A least-squares method to find a remanence direction from converging remagnetization circles. Geophys. Jour. Roy. astr. Soc., v. 45, p. 297-304.
 Huang, K. and Opdyke, N.D. (1996) Paleomagnetism of Middle Triassic redbeds from Hubei and northwestern Hunan provinces, South China. Earth Planet. Sci. Lett., v. 143, p. 63-79.
 Kim, K.H. and Van der Voo, R. (1990) Jurassic and Triassic paleomagnetism of south Korea. Tectonics, v. 9, p. 699-717.
 Kim, K.H., Lee, J.D. and Choi, M.O. (1992) Carboniferous-Triassic palaeomagnetism of south Korea. Jour. Geomag. Geoelectr., v. 44, p. 959-978.
 Kirschvink, J.L. (1980) The least-squares line and plane and the analysis of palaeomagnetic data. Geophys. Jour. Roy. astr. Soc., v. 62, p. 699-718.
 Knutson, L.C., Van der Voo, R., Johnson, R.J.E. and Van der Pluijm, B.A. (1991) Paleogeography of some vestiges of Iapetus: Paleomagnetism of the Ordovician Robert's Arm, Summerford, and Chanceport Groups, central Newfoundland. Geol. Soc. Amer. Bull., v. 103, p. 1564-1575.
 Kobayashi, T. (1953) Geology of South Korea with special reference to the limestone Plateau of Kogendo, The Cambro-Ordovician formations and the fauna of South Chosen(Korea), Part IV. Jour. Fac. Sci. Univ. Tokyo, Sec. II, v. 8, p. 145-293.
 Kobayashi, T. (1966) Stratigraphy of the Chosen group in Korea and South Manchuria and its relations to the Cambro-Ordovician faunas of other areas. Jour. Fac. Sci. Univ. Tokyo, Sec. II, v. 2, p. 209-311.
 Lee, D.S., (ed.) (1987) Geology of Korea. Geol. Soc. Korea, Kyohak-Sa Publ. Co. Seoul, 514p.
 Lee, Y.S., Nishimura, S. and Min, K.D. (1997) High-unblocking temperature haematite magnetizations of late Paleozoic red beds from the Okcheon zone, southern part of the Korean peninsula. Geophys. Jour. Int., v. 125, p. 266-284.
 Lin, J.L. and Fuller, M. (1990) Palaeomagnetism, North China and South China collision, and the Tan-Lu fault. Phil. Trans. Royal Soc. London, Ser. A, v. 331, p. 589-598.
 McElhinny, M.W. (1964) Statistical significance of the fold test in palaeomagnetism. Geophys. Jour. Roy. astr. Soc., v. 8, p. 338-340.
 Zijdeveld, J.D.A. (1967) A. C. demagnetization of rocks: Analysis of result, In Collinson, D.W., Creer, K.M. and Runcorn, S.K. (eds.) Methods in Palaeomagnetism. Elsevier, Amsterdam, p. 254-286.