

## 한반도 동남부 제3기 암맥군과 지각변형

손문, 김종선, 김진섭, 김인수

부산대학교 지구환경시스템학부 (moonson@pusan.ac.kr)

### 1. 서언

신생대 마이오세 동안 동해 확장에 기인한 북북서-남남동방향 우수향 전단력의 영향으로 한반도 동남부에는 북동방향으로 길쭉한 지구 내지 반지구형 퇴적분지들이 도처에 만들어졌으며 지괴들이 북서방향으로 경동되는 사건이 발생하였다(손문과 김인수, 1994; 손문, 1998; 손문 외, 2000; Son et al., 2000). 또한, 북북서방향의 우수향 주향이동단층들이 만들어졌으며 이들 단층 사이에 끼여있던 단층지괴들은 시계방향으로 평균 약 30°이상 수평 회전된 것으로 알려져 있다(Kim et al., 1996; 김인수와 강희철, 1989; 김인수, 1992; 손문과 김인수, 1996). 이와 관련하여 최근의 고자기학과 구조지질학적 연구들은 이러한 지각변형을 규제한 서쪽 한계선이 기존에 알려져 있던 울산단층이 아니라 이보다 약 5km 동쪽에 위치한 새로운 지구조선 즉, 연일구조선(단층)임을 주장하고 있다(Son et al., 1997; 김인수 외, 1998; 손문 외, 2002). 한편, 연구지역에는 마이오세 동안 데사이트와 현무암질 암석으로 대표되는 이원성 화산활동이 광범위하게 발생하였으며(손문 외, 2000) 당시의 지각 균열을 따라 마그마가 관입하여 곳곳에 일정한 방향성을 가지는 암맥군(dike swarm)들이 형성되었다. 이번 연구에서는 한반도 동남부의 총 287개 암맥을 대상으로 암석기재학적 특징과 방향성을 검토하고 이를 시, 공간적으로 분류하여 그 결과를 당시의 지각변형과 관련하여 해석해 보고자 한다.

### 2. 암석기재학적 특징

야외 육안 관찰을 통하여 암맥들을 염기성, 중성, 산성질 암맥으로 구분하였다. 경하관찰을 통해 볼 때, 염기성 암맥은 대부분 연일구조선을 경계로 양편에서 동일하게 사장석, 감람석, 단사휘석(cpx), 각섬석 등의 반정을 가지며 오피틱 또는 서브오피틱 조직을 가지는 현무암 내지 현무암질 안산암 계열의 암석이며, 중성 암맥은 자형의 사장석과 흑운모 그리고 타형의 석영 반정을 포함하는 반상조직의 안산암 혹은 데사이트질 암석인 것으로 판단된다. 염기성과 중성 암맥은 전기 마이오세의 범곡리층군과 그 이전의 암석들을 관입하고 있으나 전기 마이오세말 내지 중기 마이오세 초의 장기층군과 연일층군내에서는 관찰되지 않는다. 연구 지역에는 이들 염기성과 중성 암맥이 절대적으로 우세하게 산출된다. 한편, 산성 암맥은 대부분 정장석과 석영의 반정이 관찰되는 유문암질 암석으로 고제3기 화강암류와 그 이전의 암석들에서만 관찰된다.

### 3. 관입면의 방향성

관입면은 대부분 80° 내외의 고경사로 북동방향의 주향을 가지는데, 염기성과 중성 암맥들은 북북동 내지 북동 주향이 절대적으로 우세하나 산성 암맥은 북북동과 서북서방향으로 양분되는 양상이다. 기반암별로 염기성 암맥의 관입면 방향성을 살펴보면, 경상누층군 하양층군의 경우에는 관입면의 주향이 북동과 북서방향으로 양분되며 유천층군의 경우에는 북서방향의 것이 절대적으로 우세하고 불국사화강암류와 제3기 전기 마이오세 범곡리층군의 경우에는 북동방향의 것이 절대적으로 우세하게 나타난다. 한편, 불국사화강암류를 연일구조선

을 경계로 서부지역과 경계지역 그리고 동부지역으로 각각 나누어 암맥의 관입면 주향을 살펴보면, 서부지역의 것은 평균  $6^\circ$ , 경계지역의 것은 평균  $15^\circ$  그리고 동부지역의 것은 평균  $37^\circ$ 로써 동쪽으로 갈수록 주향이 시계방향으로 회전되는 양상이며 동부지역의 것이 서부지역의 것에 비해  $31^\circ$  시계방향으로 회전되어 있다. 또한, 경사는 서부지역의 것은 평균  $89^\circ$ , 경계지역의 것은  $74^\circ$  그리고 동부지역의 것은  $83^\circ$ 로 모두 동쪽으로 경사져 있으나 서부지역에 비해 경계지역과 동부지역의 것이 보다 저각도이다. 마이오세 퇴적분지들 중 정자-울산-하서분지 일원과 어일-와읍분지 일원의 염기성 암맥들의 관입면은 각각 평균  $045^\circ/89^\circ$ ,  $045^\circ/69^\circ$ 이며 보다 동쪽의 구룡포반도의 것들은 평균  $075^\circ/84^\circ$ 로써 동쪽으로 갈수록 주향방향이 시계방향으로 보다 많이 회전된 양상이다.

#### 4. 절대연령

현재까지 연구 지역의 염기성 암맥에서 보고된 절대연령(K/Ar 전암연령) 자료는 총 14개로써 대체로 18~19 Ma에 집중된다(김종렬 외, 1991; 이현구 외, 1992; Choi et al., 2001). 한편, 퇴적분지를 충전하고 있는 마이오세 지층내 현무암 및 현무암질 안산암의 용암류에서 얻어진 절대 연령(K/Ar 전암연령과 휘선티랙연령)들도 대부분 18~23 Ma에 집중되고 있어(Kim et al., 1986; 진명식 외, 1988, 1989; 이현구 외, 1992) 관입암의 절대연령과 대체로 일치한다.

#### 5. 결과 해석 및 결론

이상의 연구 결과들은 연구 지역 염기성~중성 암맥들의 관입과 방향성은 신생대 마이오세 지각변형과 밀접한 관련성이 있음을 지시한다. 이들 암맥에서 얻어진 K/Ar 전암연령은 대부분 전기 마이오세를 지시한다. 이들 관입면의 주향은 대체로 북동방향으로 마이오세 퇴적분지들의 확장을 주도한 분지 경계단층인 북동 내지 동북동방향 정단층의 주향과 일치한다. 따라서, 이들 암맥들의 대부분이 동해가 활발히 확장되던 전기 마이오세에 한반도 동남부의 도처에 만들어진 대소 규모의 북동방향 신장균열을 통로로 하여 관입하였던 것으로 결론지워진다.

연일구조선을 경계로 서부지역과 경계지역 그리고 동부지역의 화강암체에서 관찰된 염기성 암맥은 암석기재학적으로 동일한 기원의 마그마에서 유래된 것으로 판단되나 관입면의 주향 방향은 동쪽으로 갈수록 시계방향으로 회전된다( $6^\circ \rightarrow 37^\circ$ ). 이러한 사실은 최근 고자기학과 구조지질학적 연구들에서 그 중요성이 부각되고 있는 연일구조선의 존재를 입증하는 것이며 또한, 연일구조선이 그 동쪽 분지 지역에서 흔히 관찰되는 지괴의 시계방향 수평 회전운동을 규제한 주요 지구조선임을 강력히 지지하고 있다. 연일구조선의 형성 시기는 최근의 야외 및 고자기학적 조사를 통해 약 17 Ma 전후임이 밝혀지고 있다(손문, 1998; 손문 외, 2002). 따라서, 염기성 암맥의 관입 시기는 대부분 17 Ma 이전이었음을 짐작할 수 있다. 암맥의 주향은 동쪽 해안선에 가까워질수록 시계방향으로 보다 많이 회전되어 가장 동쪽의 구룡포 반도의 것들은 평균 약  $75^\circ$ 이다. 이는 동해의 확장에 기인한 우수향 전단력이 해안선과 인접한 지괴를 먼저 회전시켰으며 시간이 지남에 따라 이러한 지괴회전이 서쪽의 육지 쪽으로 점진적으로 전파되었을 가능성을 지시한다. 또한 지괴의 수평 회전운동이 거의 미미하였던 것으로 판단되는 서부지역 암맥의 자세를 근거하면 당시의 최소 수평응력축( $\sigma_{Hmin}$ )은 거의 동서방향에 가까웠다는 결론을 얻을 수 있다. 염기성 암맥의 관입면의 경사각은 연일구조선을 경계로 서부 지역에서는 수직( $89^\circ$ )한 반면, 연일구조선의 경계지역과 동편지역은 한결같이 남동쪽으로 약  $80^\circ \sim 70^\circ$  경사진 양상이다. 이는 마이오세 지각변형동안 발생한 북

서향 지괴 경동운동과 관련할 가능성이 있다.

한편, 경상누층군 하양층군과 유천층군 그리고 불국사화강암류내에 관찰되는 염기성 암맥 들에서 주향이 서북서 내지 북서방향의 것들이 일부 관찰된다. 그러나 전기 마이오세 지층 내에는 오로지 북동방향의 것들만 관찰된다. 또한 산성 암맥들도 주향방향이 북북동과 서북 서방향으로 양분된다. 이는 전기 마이오세 이전에는 한반도 동남부가 남북 내지는 북북동 방향의 최소 수평응력축을 가진 응력장하에 있었을 가능성을 암시한다. 그러나 이러한 추론 은 현재로서는 확정적이지 않으며 차후 암상과 방향성에 따라 구분된 암맥군 개개의 정치 연 령에 관한 체계적인 연구가 수행됨으로써 그 진위 여부가 밝혀질 것이다.

## 6. 참고문헌

- 김인수, 1992, 새로운 동해의 성인모델과 양산단층계의 주향이동운동. 지질학회지, 28(1), 84-109.
- 김인수, 강희철, 1989, 어일분지 일대에 분포하는 제3기층에 대한 고자기학적 연구. 지질학회 지, 25권, p. 273-293.
- 김인수, 손문, 정현정, 이준동, 김정진, 백인성, 1998, 경주-울산일원에 대한 지역지질 특성 연구: 울산단층주변 화강암류의 잔류자기와 대자율. 자원환경지질, 31(1), 31-43.
- 손문, 1998, 한반도 동남부 제3기 마이오세 분지의 형성과 발달: 구조지질학 및 고자기학적 고찰. 부산대학교 이학박사 학위논문, 233.
- 손문, 김인수, 1994, 울산군 강동면 제3기 정자분지의 지질구조와 분지발달. 자원환경지질, 27(1), 65-80.
- 손문, 김인수, 이동호, 이준동, 김진섭, 백인성, 2000, 울산단층일원에 대한 지역지질 특성연구: 제3기 마이오세 와읍분지의 지질구조와 대자율비등방성(AMS). 지질학회지, 36(3), 195-216.
- 손문, 정혜운, 김인수, 2002, 한반도 동남부 연일구조선(단층) 남부 일원의 지질과 지질구조. 지질학회지, 심사중.
- 이현구, 문희수, 민경덕, 김인수, 윤혜수, 板谷徹丸, 1992, 포항 및 장기분지에 대한 고지자기, 층서 및 구조연구; 화산암류의 K-Ar 연대. 광산지질, 25, p. 337-349.
- 진명식, 김성재, 신성천, 1988, K-Ar 및 핏선트랙법에 의한 포항-감포 일대 화산암류의 암 석연령 측정연구. 연구보고서 KR-87-27 동위원소 지질연구, 한국동력자원연구소, p. 51-88.
- 진명식, 김성재, 신성천, 이주연, 1989, K/Ar 및 핏선트랙법에 의한 한국동남부 지역 화강암 및 화산암의 암석 광물연령 측정연구. 연구보고서 KR-88-6D, 한국동력자원연구소, 53-84.
- Choi, P. Y., Kwon, S., Hwang, J., Lee, S. R. and An, G., 2001, Paleostress analysis of the Pohang-Ulsan area, Southeast Korea: Tectonic sequence and timing of block rotation. Geosciences Journal, 5, p. 1-18.
- Kim, K. H., Won, J. K., Matsuda, J., Nagao, K. and Lee, M. W., 1986, Paleomagnetism and K-Ar age of volcanic rocks from Guryongpo area, Korea. Journal of the Korean Institute of Mining Geology, 19, 231-237.
- Son, M., Seo, H.-J., Jung, H.-J. and Kim, I.-S., 1997, Extension direction and tectonic boundaries of the Miocene basins, Southeast Korea. Tectonic Evolution of Eastern Asian Continent: Short papers for the international symposium on the occasion of the 50th Anniversary of the Geological Society of Korea, 104-109.
- Son, M., Seo, H.-J. and Kim, I.-S., 2000, Geological Structures and Evolution of the Miocene Eoil Basin, Southeastern Korea. Geosciences Journal, 4, 73-88.