

한반도 동남부 마이오세 지각변형의 주요 특징

손분, 김인수

부산대학교 지구환경시스템학부, moonson@pusan.ac.kr

동해가 활발히 확장되던 마이오세 동안 한반도 동해안을 따라서 발생한 지각변형의 대표적인 산물 중의 하나는 지각 확장으로 인한 퇴적분지의 형성이다. 이곳 분지들은 대부분 단층으로 구획되고 기반암에 의해 서로 격리되어 있으며 각 지역의 층전물의 암상과 연령에서 차이를 보여주고 있어 북으로부터 영해분지, 포항분지, 장기분지, 와읍분지, 어일분지, 하서분지 그리고 정자분지와 울산분지로 구분될 수 있다.

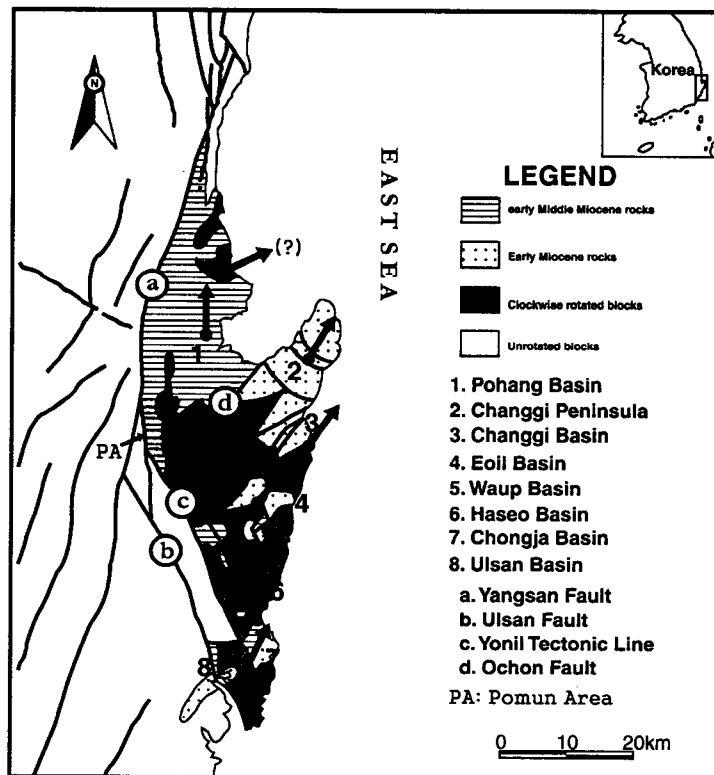


Fig. 1. Regional tectonic map showing the rotation magnitudes of structural domains based on the mean direction of ChRMs. Note that the shape and geographical position of each basin, and rotational angle of each domain. The parallelogram-shaped basin is located in the area of rotated terrane, while the wedge-shaped basin, in the area between rotated terrane and unrotated terrane just like the Pohang Basin.

포항분지 이남의 와읍, 어일, 정자분지에 대한 연구결과들을 종합해보면, 이들 분지들은 공통적으로 북북서방향의 우수향 주향이동단층들 사이의 우향 굴곡부 혹은 오버스텝부에서 형성된 당겨열림형(pull-apart) 분지의 특징을 보여준다. 분지들은 주위 기반암과 단층으로 대부분 경계되어 있는데 경계단층들은 크게 두개의 단층계로 구분할 수 있다: (1) 북동방향의 정단층계, (2) 북북서방향의 우수향 주향이동단층계. 또한 기반암과 분지 충전물의 지층은 단층 인접부 일부를 제외하고는 대부분 북서향으로 경사져 있어 지괴들이 북서방향으로 경동(tilting)된 특징을 보인다. 또한, 고기의 지층일수록 지층의 경사각이 크지는 경향을 보여주고 있어 지괴의 경동은 퇴적동시기적으로 발생하였음을 지시하고 있다. 분지내외에서 실시된 취성변형요소들을 이용한 고응력장 복원에서는 σ_1 또는 σ_2 가 수직 혹은 아수직으로써 수평최대 응력(σ_{Hmax})이 북동방향이며 최소수평응력(σ_{Hmin})이 북서방향으로 북서-남동방향의 횡인장성 응력장을 지시한다. 마이오세 분지들의 충전물은 북동에서 남서쪽으로 갈수록 퇴적연령이 전반적으로 젊어지는 특징을 보이는데 와읍분지와 어일분지가 가장 대표적인 경우이다. 따라서 와읍분지와 어일분지는 북동부에서 확장을 시작하여 시간이 지남에 따라 남서쪽으로 확장축이 확산되는 일종의 전파 열개(propagating rifting)의 과정을 겪었다.

한편, 1980년대 후반기에 들어 마이오세 분지 지역에 대한 고자기학적 연구가 본격적으로 수행된 이래로, 여러 연구들에서 제3기 암석들의 잔류자기 편각들의 다수가 시계방향으로 편향되어 있음이 관찰되었다. 이러한 잔류자기의 편향현상은 이 지역에서 특징적으로 시계방향의 수평 지괴회전운동이 있었음을 의미하며, 인근 주요 단층들이 우수향 주향이동단층 활동을 하였음을 지시한다. 한반도 동남부 마이오세 분지들은 주변 지괴의 운동학적 특징에 따라 평행사변형꼴 분지(parallelogram-shaped basin; rhombochasm)와 쐐기형 분지(wedge-shaped basin; sphenochasm)로 나눌 수 있다. 전자는 시계방향으로 회전하는 기반암 지괴들 내에서 북서-남동방향의 지각확장에 의해 생성되었으며, 후자는 시계방향으로 수평 회전하는 지괴와 회전하지 않는 지괴사이에서 지각의 부채꼴식 확장에 의해 만들어졌다. 평행사변형꼴 분지는 정자, 어일, 와읍 그리고 장기분지가 해당되며 분지 충전물의 연령을 근거로 할 때 전기 마이오세에 주로 확장되었으며, 쐐기형 분지는 울산 그리고

포항분지가 해당되며 중기 마이오세초에 이르러 주로 확장되었다. 이는 공간상 차별적인 지괴의 회전운동이 분지의 기하와 확장 방식을 결정하는 주요한 요인이 될 수 있음을 보여준다. 정자, 어일, 와읍분지는 모두 시계방향으로 회전된 지괴들의 영역내에 위치하고 있다. 이들은 지질도상의 전체적인 형태는 단층으로 구획된 평행사변형의 지구/반지구들이 결합되어 있는 양상이다. 반면, 포항분지는 ‘썩기형 분지’의 전형인 것으로 판단된다. 포항분지는 서쪽으로 양산단층에 의해 그리고 동남쪽으로는 오천단층에 의해 구획되어 있다. 양산단층의 서쪽은 경상분지 경상누층군으로 구성된 기반암 지괴로써, 이 지괴에서는 암석의 잔류자기가 편향되었다는 보고가 없다. 반면, 오천단층 동남쪽의 장기반도에서는 많은 연구들에서 암석의 잔류자기가 시계방향으로 회전되었음이 보고되었다.

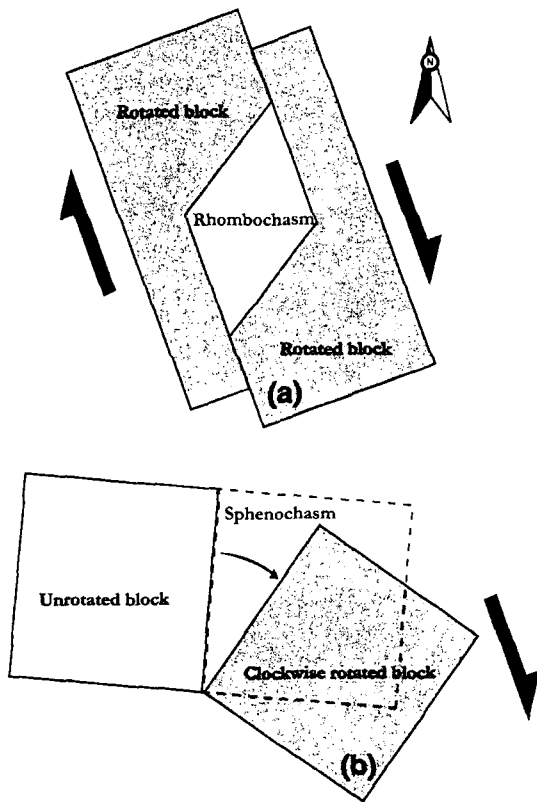


Fig. 2. From the viewpoint of kinematics, two types of simple formation models of the Miocene basins in southeast Korea. (a) Parallelogram-shaped basin model (rhombochasm). (b) Wedged-shaped basin model (sphenochasm). All of these are originated by NNW dextral simple shear.

한반도 동남부의 마이오세 분지의 발달과 지괴의 회전운동은 많은 국내의 학자들에 의해 양산단층과 울산단층이 우수향 주향이동단층으로써 활동한 결과로 해석되어 왔다. 그러나 양산단층과 울산단층 일원에서 실시된 최근 일련의 연구들은 이러한 견해에 강한 의문을 제기하며 새로운 구조선인 연일구조선의 존재를 제안하고 있다. 우선 양산단층 일원에서 실시된 고자기 연구결과에 의할 때, 단층 양편의 암석들에서 잔류자기의 편향차가 인지되지 않았다. 이후 수행된 울산단층 일원의 고자기 연구에서도 울산단층선으로 알려진 울산-경주간 계곡(7번 국도)선 양편 암석들에서 편향차가 나타나지 않았다. 반면, 동해안 마이오세 분지 지역에서 널리 나타나는 잔류자기의 시계방향

편향현상은 울산단층선으로부터 동쪽으로 약 5km 이동의 지역에서만 관찰되었다. 이에 후속적인 야외조사에서는 연일구조선이 폭 수십 m의 연속적인 단층 파쇄대인 것으로 추적·확인되었다. 또한 이 파쇄대는 동해연변 퇴적분지 지역에서 마이오세에 활발하였던 시계방향 지괴회전, 화산과 퇴적활동 그리고 분지를 확장시킨 정단층들의 서쪽 연장과 마이오세 염기성 암맥군의 방향성도 규제하고 있음이 밝혀졌다. 따라서 연일구조선이 한반도 동남부에서 발생한 마이오세 지각변형을 주도적으로 규제한 서쪽 한계선임이 입증되고 있다. 한편, 구조선 동편 인접지를 따르며 연일층군과 대비되는 각력질 역암층이 존재하고 있음이 야외조사에서 확인되었다. 이는 동해가 확장되는 동안 동해안가에 가해진 북북서방향의 우수향 전단력은 서쪽의 내륙으로 전파되었으며, 이 응력은 연일층군이 퇴적되기 시작하던 약 17Ma경에 이르러 연일구조선을 따라 발생한 단층운동에 의해 최종적으로 해소되었음을 지시

한다.

한반도 동남부에서 분지의 확장이 종결되고 지각이 융기되기 시작한 시점은 현재로서는 명확하지 않으나 약 15Ma 이후의 암석들에서 잔류자기의 편향현상이 관찰되지 않은 것으로 보아 이때일 가능성이 높다. 이 응력반전(tectonic inversion)기에는 퇴적분지를 경계하고 있던 정단층 중 일부는 역단층으로 재활동되었으며, 이 때문에 포항시 달전리에 위치하는 포항분지 서부 경계단층의 경우에는 현재 역단층의 기하와 운동학적 특징을 보여 주기도 한다. 또한, 취성변형요소들을 이용한 고응력장 복원에서는 한반도 동남부의 도처

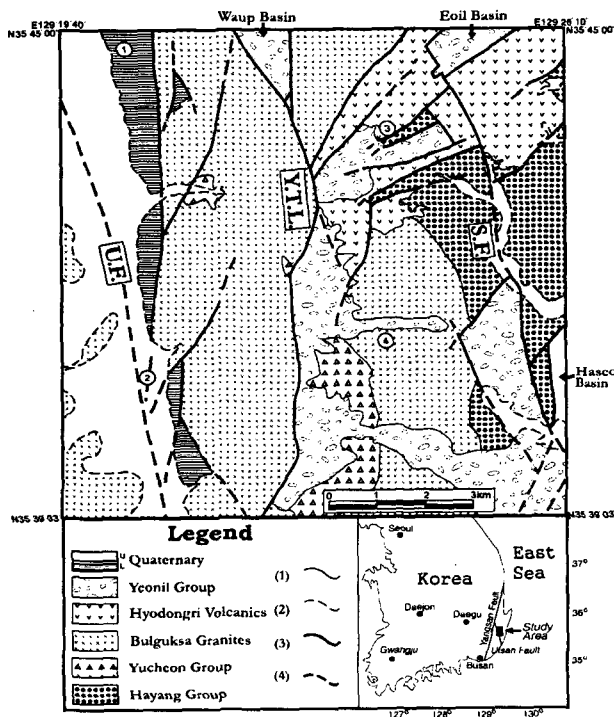


Fig. 3. Detailed geological map of the vicinity of the southern part of the Yonil Tectonic Line. U.F.: Ulsan Fault, Y.T.L.: Yonil Tectonic Line, S.F.: Seokup Fault. (1) geological boundary, (2) inferred geological boundary, (3) fault, (4) inferred fault. L: Lower part of Quaternary, U: Upper part of Quaternary. Towns: ① Malbang-ri, ② Moha-ri, ③ Hyodong-ri, ④ Sindae-ri.

에서 σ_2 가 수직 혹은 아수직인 북서-남동방향의 횡압축성 응력장이 관찰된다. 이 응력장은 응력비 $\Phi((\sigma_2 - \sigma_3)/(\sigma_1 - \sigma_3))$ 가 대부분 0.1-0.2 내외의 낮은 수치를 보여주고 있어 북서-남동방향으로 σ_1 이 강력하게 작용되었으며, 북동-남서방향으로 작용된 σ_3 는 σ_2 에 비해 세기가 큰 차이를 가지지 않은 것으로 판단된다.