

울산군 강동면 제3기 亭子盆地의 지질구조와 분지발달

손 문* · 김인수*

Geological Structures and Evolution of the Tertiary Chōngja Basin, Southeastern Margin of the Korean Peninsula

Moon Son* and In-Soo Kim*

ABSTRACT: The Tertiary Chōngja basin is located in the southeastern coastal area of the Korean Peninsula. It is a lozenge shaped fault-bounded basin with circa 5×5 km areal extent, isolated from other Tertiary basins by the Cretaceous Ulsan Formation in-between. The northwestern boundary of the basin is a domino/listric type normal fault trending N30°E, whereas its southwestern boundary is a dextral strike-slip fault (trending N20°W) with a lateral offset of more than 1 km. The basin is bounded by the East Sea on the eastern margin.

Basin-fills consist of extrusive volcanic rock (Tangsa Andesites) of Early Miocene (16~22 Ma in radiometric age), unconsolidated fluvio-deltaic conglomerate (Kangdong Formation) and shallow brackish-water sandstone (Sinhyon Formation). The latter yields abundant *Vicarya-Anadara* molluscan fossils of early Middle Miocene age. The Tertiary strata become younger toward the northwestern boundary-fault of the basin, showing a zonal distribution pattern parallel to the fault: the younger sedimentary formations occupy a narrow zone of 2 km width along the northwestern boundary-fault, whereas the older Tangsa Andesites underlie them unconformably in the eastern and southeastern portions of the basin.

The strata in the basin, including the Tangsa Andesites, are tilted (about 20°) toward the northwestern boundary-fault. Sedimentary strata thicken toward the boundary-fault, forming a wedge shaped half-graben structure. A number of small-scale syndepositional normal growth faults and graben structures are observed in the sedimentary strata. These extensional structures have the same trend as the normal northwestern boundary-fault which we interpret as a pull-apart detachment fault. These characteristics imply persistent extension during the basin evolution, caused by a NW-SE directed tensional force. The Chōngja basin is, thus, a kind of syndepositional tectonic basin evolved in a strike-slip (pull-apart) regime. The latter was caused by a dextral simple shear associated with the NNW-SSE opening of the East Sea.

In view of the fact that the normal growth faults do not cut through the uppermost portion of the youngest Sinhyon Formation, it is inferred that the tensional force came to be inactive in the early Middle Miocene. This is coincident in timing with the termination of the East Sea opening (15 Ma).

서 론

연구지역인 亭子盆地는 동해안을 따라 분포하는 제3기 퇴적분지들 중 최남단의 것으로서 (김봉균, 1970) 울산시에서 동쪽으로 無龍山 (452 m) 너머 동해연변의 경남 울산군 강동면 일대 (북위 35°33'~35°40', 동경 129°23'~129°29')를 점하고 있다 (Fig. 1). 분지내에는 백악기 경상 누층군의 울산층과 이를 분출 또는 관입한 제3기 안산암질화산암류를 기반으로하여, 제3기의 미고결 역암 및 사암층이 약 2 km의 폭을 가지며 N30°E의 방향으로 帶狀분포되어 있다 (Fig. 1). 김봉균 (1970)은 이 퇴적분지를

어일분지의 남쪽일부로 취급하였으며 Yoon (1976, 1979, 1980)은 동부 울산분지라고 불러왔다. 필자들은 이 제3기분지가 백악기의 울산층에 의하여 완전히 둘러싸여 고립되어 있으므로 하나의 독립분지로 취급하여 亭子盆地라는 새로운 이름을 제안한다 (다음절 참조). 아울러 이 亭子盆地의 充填物로서는 상기 제3기 퇴적층 뿐 만이 아니라 이의 기반을 이루는 제3기 안산암질화산암류들도 포함되는 것으로 정의한다.

본 정자분지내의 제3기 퇴적층에 대해서는 총서-고생물학적 연구가 활발히 진행된 바 있다 (박양대, 윤형대, 1968; 김봉균, 1968, 1970; Yoon, 1976, 1979, 1980; 윤선, 1979). 그러나 본 분지의 형성과 이에 관련된 지구조적 특성에 관한 연구는 거의 시행된 적이 없으며, 오직 동해의

* 부산대학교 지질학과 (Department of Geology, Pusan National University, Pusan 609-735, Korea)

성인에 관련한 제3기분지의 기원에 대한 일반론적 견해가 한종환 등 (1987), 김인수 (1985, 1990b), Yoon (1991) 그리고 이현구 등 (1992)에 의하여 제시된 적이 있다. 따라서 본 연구에서는 한반도지역에서의 신생대 지체구조발달의 고찰이라는 맥락에서 제3기분지 중 최남단에 위치한 본 분지를 설정하여 야외정밀조사를 실시하였으며, 이를 기초로하여 분지를 채우고 있는 퇴적물과 기반암과의 관계를 조명하고, 퇴적물내에 나타나는 구조지질학적 증거를 수집하여 분지를 이루는 기본구조와 그 형성 및 발달과정을 규명하고자 하였다.

새 분지명 제안의 연유

박양대, 윤형대 (1968)는 1:50,000 울산 지질도록조사를 통하여 울산시 동부지역과 동편으로 無龍山 (452m) 너머의 동해에 연접한 울산군 강동면 정자리일대에서 제3기 안산암류와 퇴적암류의 분포를 기재하고, 이 두 곳에 나타나는 퇴적암층을 亭子礫岩이라 명명하였다. 아울러 그들은 정자리부근의 정자역암층으로부터 Miocene의 貝類 화석들을 발견하고 이 지층이 川北礫岩에 대비되는 천해성 퇴적층인 것으로 해석하였다.

그 후 김봉균 (1968)은 후자인 정자리지역 정자역암의 상부로부터 연체동물화석 *Vicarya collosa japonica*를 기재하고, 이들이 천북역암에서 나타나지 않는 점을 들어 이 지층이 천북역암보다는 오히려 長鬚礫岩과 甘浦礫岩에 대비되어야 할 것이라고 주장하고 그 시대를 下部Miocene으로 하였다.

또한 김봉균 (1970)은 울산시 동부지역에 분포하는 제3기 퇴적암층 (박양대, 윤형대 (1968)의 정자역암) 하부로부터 저서성 有孔蟲과 介殼類 화석들을 기재하고 이를 근거로 이 지층을 연일세일에 해당하는 포항분지의 梨洞層과 浦項層에 대비시켰으며 그 시대를 上部Miocene으로 생각하였다. 이는 정자리지역의 제3기층보다 더 깊음을 의미하는 것이다. 따라서 그는 이 울산지역의 제3기지층을 華峰里層으로 재명명하였다. 한편 그는 *Vicarya collosa japonica*와 *Vicaryella* sp. 화석을 근거로하여 정자리지역의 제3기층 (정자역암)은 같은 화석이 산출되는 魚日層에 대비시켰다. 이러한 맥락에서 그는 (김봉균, 1970; 제1도) 정자리일대의 제3기층지역을 魚日盆地의 일부로 취급하였으며 울산시의 화봉리층지역에 대해서는 蔚山盆地라는 새로운 분지명을 부여하였다.

훗날 Yoon (1976)은 정자리일대의 제3기 지층을 세밀히 조사하여 사암이 협재된 역질의 하부층과 역암이 협재된 사암과 이암 교호의 상부층으로 분대하고 이들을

각각 江東層과 新峴層으로 명명하였다. 또한 그는 다량의 *Vicarya-Anadara* 化石群集을 근거로 신현층이 early Middle Miocene의 지층으로서 온난한 천해성 환경에서 퇴적된 것이며 어일분지의 松田層, 포항분지의 泉谷寺層에 대비되는 것이라고 하였다. 한편 강동층은 신현층이 퇴적되기 직전의 하성퇴적물로서 어일분지의 典洞層, 포항분지의 丹邱里礫岩에 대비된다고 하였다. Yoon (1979, 1980)은 또한 상기의 華峰里層이 화석군집으로 보아 신현층과 대비되는 것이므로 역시 early Middle Miocene 시대의 지층이 되어야 할 것으로 주장하였다.

한편, 위와 같은 연구결과가 보고되는 과정에서 Yoon (1976)의 “蔚山盆地”는 김봉균 (1970)의 울산분지 뿐만 아니라 동편으로 무룡산너머 정자리일대의 것까지를 포함하는 것으로 변화되었으며 후자는 울산분지의 東部로 호칭되었다. 그러나 이 동해에 연한 정자리일대의 제3기분지는 앞서 김봉균 (1970, 제1도)에서 어일분지의 남쪽부분으로 취급되었던 것이다. 따라서 하나의 분지에 대하여 2개의 이름 (synonym)이 존재하게 되었으며 이러한 경우 우선 사용자의 것 (어일분지)을 따라야 함이 물론이다. 그러나 정자리일대의 퇴적분지는 백악기 기반암 (울산층)을 사이에 두고 어일분지와는 격리된 별개의 독립분지이다. 따라서 필자들은 정자리일대의 제3기분지에 대하여 亭子盆地라는 새로운 이름을 사용할 것을 제안한다. 앞으로 자세한 연구가 있어야 할 것이나, 동해연안 정자리일대의 분지는 그 서편 내륙의 울산분지와는 분지형성 메카니즘과 형성시기에 있어서 차이를 가질 가능성이 있으므로 동부 울산분지라는 호칭은 적절치 못하게 보인다. 아직은 이 두 분지가 동일 지구조營力에 의하여 생성되었는지 혹은 별도의 환경에서 각기 독립적으로 생성된 것인지가 명확치 않다.

지질개요

정자분지는 백악기 경상누층군의 일원인 蔚山層에 의하여 둘러싸여져 다른 제3기 분지들로부터 격리되어 있다. 분지의 모양은 약 5×5 km 넓이의 마름모꼴인 바, 북서와 남서경계는 각각 약 N30°E, N20°W 방향의 단층으로 구획되어 있으며 東邊은 동해에 접하여 있다 (Fig. 1). 분지내부는 기반암인 울산층을 뚫고 분출 또는 관입한 Early Miocene의 安山岩質火山岩類, 그리고 보다 깊은 Early Middle Miocene의 하천성 역암층 江東層과 내반성 사암층 新峴層으로 채워져 있다 (박양대, 윤형대, 1968; Yoon, 1976). 분지내의 이 제3기 화산암과 퇴적층들은 북서면 경계단층과 대체로 평행한 帶狀分布의 양상을 이루고 있

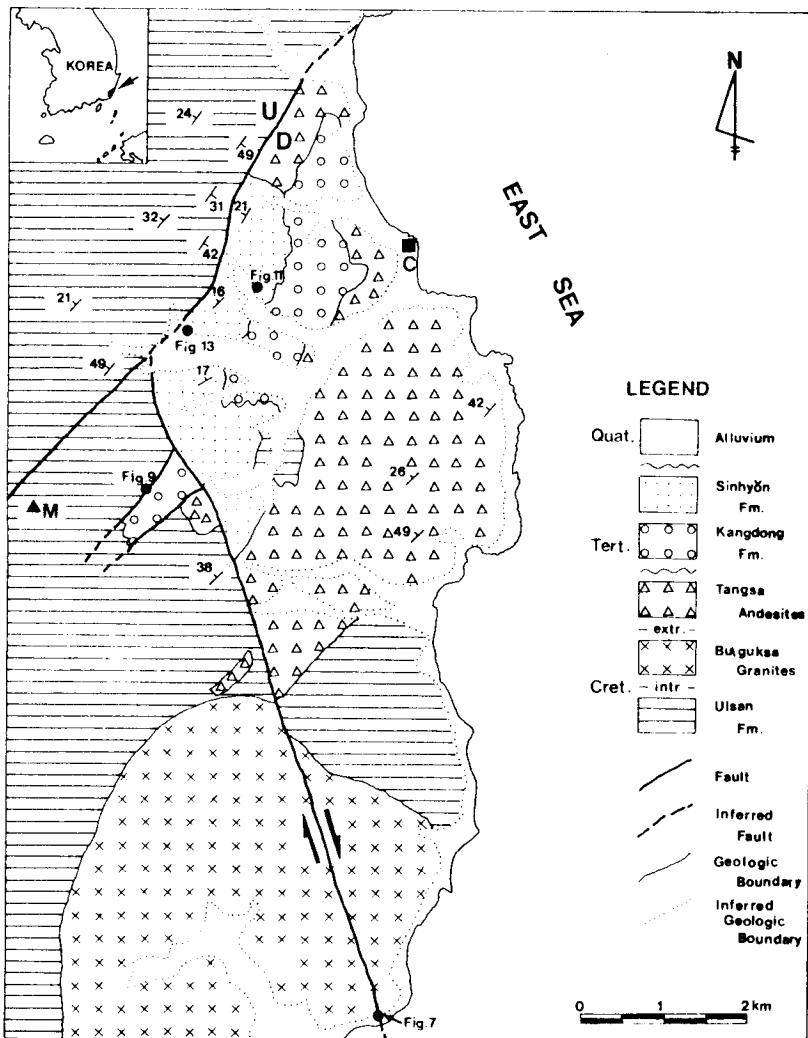


Fig.1. Geologic map of the study area. C; Chongja (town), M; Mt. Muryong. Sinhyon Formation; early Middle Miocene, Kangdong Formation; Early-Middle Miocene, Tangsa Andesites; Early Miocene, Bulguksa Granites (porphyritic biotite granites); Late Cretaceous-Eocene (?), and Ulsan Formation; Cretaceous.

다. 미고결 퇴적층인 강동층과 신현층은 북서 경계단층선에 연접하여 길이 약 5 km, 폭 약 2 km의 평행사변형 형태로 분포되어 있는 바. 본 논문에서는 이 퇴적암의 노출지면을 “퇴적분지”라 칭하였다. 이 퇴적분지의 퇴적암은 그의 남동변에서 보다 고기의 안산암질화산암류 그리고 백악기 울산층과 부정합의 관계를 이루고 있다. 부정합면 아래의 제3기 안산암질화산암류는 동해에 이르기까지 넓게 분포하면서 “성자분지”의 다른 일부를 이루고 있다. 이들 각 지층들의 보다 자세한 암상과 상호관계는 다음과 같다.

정자분지의 기저를 이루는 백악기 蔚山層은 주로 저색-

녹회색 세일, 사암, 응회질사암, 역암으로 구성되어 있으며 대부분은 불국사화강암류의 광범위한 관입의 영향으로 접촉변성작용을 받아 호온펠스 (*hornfels*)화 되어있다. 박양대, 윤형대 (1968)에 의하면 이 울산층은 대구도폭의 大邱層, 마산도폭의 成安層에 대비된다고 한다.

울산층을 분출 또는 관입하고 있는 제3기 安山岩質火山岩類는 대부분 호름구조가 잘 발달하고 반상조직을 보이는 안산암과, 이에 수반된 안산암질 용회암으로 구성되어진다. 박양대, 윤형대 (1968)는 이들을 장기통으로 생각하였으며 각각 堂舍安山岩과 堂舍安山岩質凝灰岩으로 세분한 바 있다. 그들이 의하면 저자인 담사아산암은 관

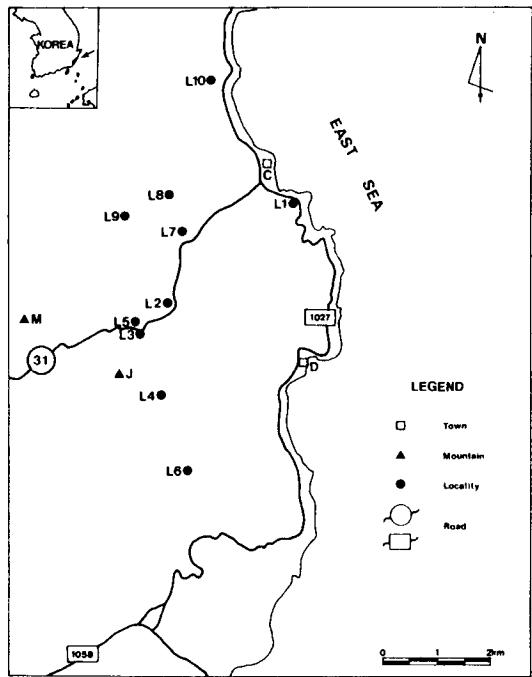


Fig. 1A. Location map of the outcrops cited in the text. L; outcrop localities described in the text. C; Chongja (town), D; Tangsa (town), M; Mt. Muryong, and J; Mt. Chogun-Muryong.

입과 분출의 모든 양상을 보여주며, 후자인 당사안산암질 응회암은 화산집괴암에 속하는 것들을 포함하고 있다고 한다. 유희 (1988)은 본 화산암류를 소위 양남분지 화산암류 중 가장 넓은 분포면적을 가지며 가장 후기의 것이라고 주장되는 그의 어일현무암질안산암질화산암류 (Yoon, 1992에서는 다시 어일현무암류로 개칭)에 포함시켰다. 그는 본 화산암류의 야외산상으로 보아 용암류에 비해 관입암체가 절대적으로 우세하며 대부분의 화산활동은 水低에서 일어난 것으로 기재하였다. 필자들의 야외관찰로서는 화산활동의 대부분이 수저에서 일어났다는 견해에 전적으로 동의하기는 어려웠으나 부분적으로는, 예를 들어서 정자리와 당사리사이의 도로변 (Fig. 1A의 L1; 본 논문에서 언급하는 모든 노두들의 위치는 Fig. 1A에 L로 표시되어 있다) 등, 이 안산암질화산암이 분출시 수분과 접촉을 일으켰던 것임이 인정되었다. 또한 후술하는 바와 같이 본 제3기 안산암질화산암류는 상부의 제3기 퇴적층과 부정합의 관계를 가짐이 확인되었다. 이 부정합면의 직하부에는 풍화로 인하여 수 cm의 점토대가 생성되어 있는 것으로 보아 화산암류의 분출과 퇴적층의 폐복사이에 다소간의 시간간극이 있었음이 유추된다. 한편,

방사능 연령측정연구에 의한 본 지역 제3기 화산암류들의 연령은 Early Miocene인 16~22 Ma로 나타나고 있다 (진명식 등, 1988; 이현구 등, 1992).

본 연구의 주 관심인 퇴적분지내에는 제3기의 하성역질퇴적층인 江東層과 이를 정합적으로 덮는 제3기의 내만성 사암층인 新峴層이 분포되어 있다 (Yoon, 1976). Yoon (1976)은 화석군집연구를 통하여 신현층이 early Middle Miocene의 퇴적물이라는 결론을 내렸다. 박양태, 윤형대 (1968)는 양 층을 구별하지 않고 묶어서 정자역암(연일통)으로 명명한 바 있으며, 이를 천북역암에 대비하고 천해상으로 해석하였다. 또한 김봉균 (1970)도 두 층을 세분하지 않고 산출화석에 입각하여 어일층에 대비시켰으며 내만성 퇴적환경으로 해석한 바 있다.

본 연구를 통하여서는, 미고결의 신현층과 강동층이 분지의 남동부에서 보다 고기의 제3기 안산암질화산암류를 부정합으로 덮고 있으며 북서와 남서경계부에서는 기반암인 백악기 울산층과 단층접촉을 보이는 것으로 밝혀졌다.

江東層은 이미 보고된 바와 같이 (Yoon, 1976) 분급이 불량하고, 亞角形-亞圓形의 역으로 구성되어 있으며 사암층을 일부 협재하는 것으로 확인되었다. 이 지층으로부터 화석이 발견된 보고는 없다. 김항목, 권명미 (1981)는 구성역의 互狀構造와 역의 경사방향 연구로부터 역의 공급지는 주로 분지의 남동쪽이었으며 그 다음은 북동쪽이라고 하였다. 그러나 강동층을 구성하는 역들의 구성을 조사하여보면 울산층이 90% 이상이며 화강암과 안산암질화산암류의 역들은 5~10% 정도 관찰된다. 따라서 (Fig. 1 참조) 본 강동층 퇴적물들은 일차적으로 분지의 북동쪽으로부터 각력상으로 공급되어 확산된 후에 분지내에서 강하게 마모되며 북동으로 재동 (reworking)된 것으로 해석된다.

퇴적분지의 남서부에는 역암인 강동층이 전혀 노출되어 있지 않다. 그러나 오히려 분지의 남서경계 외곽인 뭇안 일대 (Fig. 1)에서는 특이하게도 대부분의 역이 매우 각질인 소규모의 역암층이 고립되어 나타난다. 이 역암층은 신현층은 물론이고 역질인 강동층과도 확연히 다른 암상을 보인다. 그 분포모양 (장축방향 약 N30°E)은 북동쪽 주 퇴적분지의 축소판으로서 아들분지를 이루고 있다.

新峴層은 주로 사암과 이암의 호층으로 이루어지며, 부분적으로 역암이 렌즈상으로 협재된 양상을 보여준다. 본 연구를 통하여 분지의 북서 연변부로 갈수록 신현층 내에 협재되는 역암멤버의 숫자와 양이 많아짐이 새로 인지되었다.

본 지역 제3기지층의 상부에는 동부 해안선을 따른

곳곳에 제4기의 해안단구 및 홍적층이 펴복하고 있으며, 하천과 계곡을 따라서는 하상층적층이 퇴적되고 있다. 박양대, 윤형대 (1968)는 홍적층이 해안 단구를 따라 대지 또는 사구를 형성한다고 하였으며, Lee and Kim (1992)은 이 해안단구를 시대 및 고도별로 구별하여 다섯개의 단계로 나눈 바 있다.

지질구조

정자분지지역에서 관찰되는 주요 지질구조는 분지를 경계짓는 경계단층들과 부정합이다. 아울러 퇴적분지내 제3기 퇴적층에는 소규모의 정단층들이 다수 나타난다. 아래에 이들 각각에 대해 야외조사에서 관찰된 사실을 중심으로 기재하며 아울러 이들과 연관된 퇴적상에 대해서도 설명한다.

분지의 북서경계단층 지역

Yoon (1976)에 의하여 처음 기재된 본 단층은 정자분지의 북서경계를 이루며 약 N30°E의 방향으로 뻗어있다. 지표에 노출된 단층면의 경사는 약 75°SE이다. 이 단층을 경계로 하여 북서편의 분지외곽에는 백악기의 울산층이, 남동편의 퇴적분지에는 단층선 가까운 쪽에 신기의 신현층이 그리고 먼쪽에 고기의 강동층이 단층선과 거의 평행을 이루며 帶狀 분포되어 있다 (Fig. 1).

분지밖 북서부의 蔚山層은 호온펠스화되어 있는 바, 단층선 가까이에서는 지층이 완전히 교란된 강렬한 파쇄대를 이룬다. 이 파쇄대의 폭은 약 20~80 m에 이르며 단층선을 따르며 좋은 연속성을 가진다. 파쇄대내에 생성된 역들은 각질이며 운이나고 斷層條線 (slickenside)을 보여준다. 각력과 각력 사이에는 세립질의 모암파쇄물들이 채워져 있다. 단층파쇄대로부터 북서로 약 1 km 이내까지의 울산층은 평균 주향과 경사가 각각 N29°E, 44°SE로서 (Fig. 2), 인근 북서경계단층과 거의 같은 주향을 가지면서 단층선쪽, 즉 분지쪽으로 급하게 경사지고 있다. 반면, 단층운동으로 삼히 교란된 울산층의 자세는 파쇄대를 벗어남으로서 안정되어진다. 단층파쇄대로부터 북서로 약 1 km 이상 벗어나면 주향과 경사는 평균 약 N35°E, 30°NW로 변화되어 지층의 경사가 분지의 반대쪽을 향하게 된다. 이로부터 단층파쇄대의 북서쪽 약 1 km 거리에 단층선과 평행한 배사구조축이 형성되어 있음을 알 수 있다 (Fig. 3). 이상의 사실들을 종합하여 볼 때, 본 북서경계단층은 강렬한 파쇄대를 형성시키면서 단층선 주변 약 1 km까지의 기반암을 남동으로 끌림 (dragging)시킨

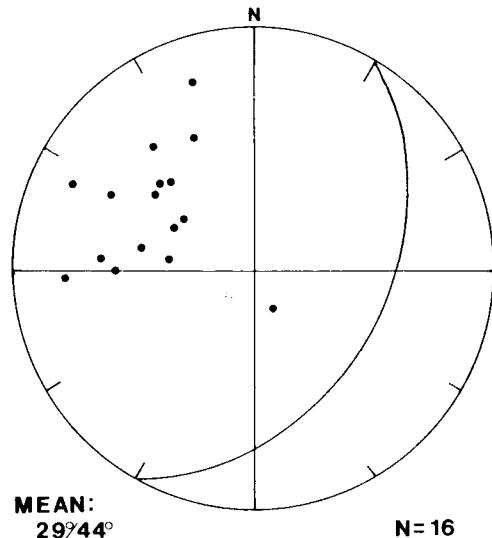


Fig. 2. Equal-area π -diagram showing poles to the bedding of the Ulsan Formation observed within a zone of about 1 km outside of the northwestern boundary of the Chongja basin (see Figs. 1 and 3). Equal-area projection onto the lower hemisphere. The great circle represents the mean bedding plane. Note the basinward (southeastward) inclination of the strata, which is caused by the downward dragging of the northwestern boundary-fault.

강한 정단층운동의 표현임을 알 수 있다.

앞서 언급한 바와 같이, 본 단층 남동편의 퇴적분지내에는 제3기 江東層과 新峴層이 단층선에 평행하게 帶狀분포되어 있다 (Fig. 1). 보다 고기의 河成역암층인 강동층은 단층선으로부터 보다 멀리 떨어진 분지의 남동편에 치우쳐져 있으며, 신기의 내만성 사암층인 신현층은 단층선에 연접하며 이에 평행하게 나타난다. 이러한 분포특성은 분지가 발달함에 따라 퇴적상이 바뀌어 갔음을 말하는 것이며 또한 분지의 성장이 기반암의 남동으로의 이동과 이에 수반된 북서로의 경동에 의하여 이루어졌음을 말하는 것이다. 즉 고기의 강동층이 분지의 남동부에만 노출되어 있는 것은 분지의 형성초기에 단층선근처에서 퇴적되었던 부분이 분지의 확장에 따라 다소간 남동으로 이동되었기 때문이며, 신기의 신현층이 분지의 북서부에 분포하고 있는 것은 분지 기반암의 북서향 경동에 따라 분지북서부에 생성된 공간 (half-graben type의 해침된 내만)에 신현층이 펴복되었음을 뜻하는 것이다 (Fig. 3). 이와 더불어, 퇴적분지의 남동경계가 경사부정합 (다음절에서 다시 설명)을 이루고 있음을 함께 고려할 때 북서경계단층은 단순한 정단층 (normal fault)이기 보다 북서쪽으로 지괴가 경동된 書架斷層 (domino fault, bookshelf fault) 또는 하부로

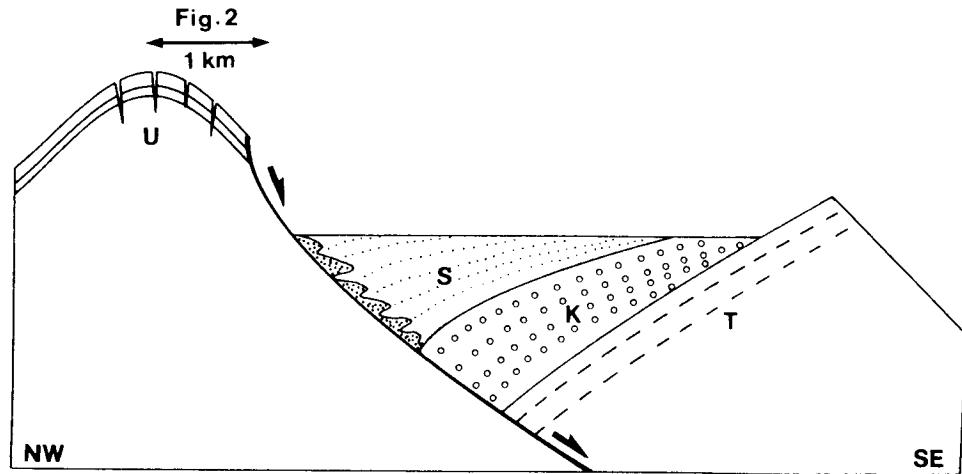


Fig. 3. Schematic NW-SE profile of the Chongja basin. The following structural and stratigraphic characteristics are observed in the field as depicted in the diagram (not to scale); i.e. Downward dragging in the Ulsan Formation (U) just outside of the basin margin, onlapping of the Tertiary strata (K) onto the Tangsa Andesites (T), rollover anticline and faultward thickening of the Tertiary strata (K, S). All are the results of NW-SE extension and concomitant listric/dominio faulting (thick solid arrows) of basement rocks. No significant post-depositional deformation of sediments is observed in the field. Dominant source-area of the Kangdong Formation is NW, whereas that of the Sinkyon Formation is SE out of the basin. U; Cretaceous Ulsan Formation, T; Early Miocene Tangsa Andesites, K; fluviatile Kangdong Formation, and S; shallow brackish-water Sinkyon Formation of early Middle Miocene fossil age.

단층면의 경사가 점차 얕아지는 減緩斷層 (listric fault)의 성격을 가졌을 것임을 알 수 있다 (Doutsos and Piper, 1990; Price and Cosgrove, 1990). 이를 양자는 흔히 퇴적동시성의 (synsedimentary) 成長斷層 (growth fault)으로 작용한다.

화석이 전혀 산출되지 않는 江東層은 분급상태가 불량하고 역의 크기가 평균 5~10 cm, 최대 약 20 cm 정도이며 역우세 (clast supported)의 양상을 보여준다. 역들은 흔히 현저한 복와구조 (clast imbrication)를 보인다. 부분적으로 협재된 사암부분에는 사층리가 발달하나 원층리의 발달은 미약한 전형적인 하성역암의 특성이 관찰된다. 강동층은 본 분지의 형성 초기에 -아직 해침이 일어나기 이전- 단층선 연접대를 따라 발달된 하천내의 陸成퇴적물이며 (Yoon, 1976), 분지가 서가단층 혹은 점wan단층작용 (domino/listric faulting)으로 점점 남동방향으로 확장됨에 따라 단층上盤에 실린 既퇴적부분이 남동으로 이동되고 퇴적범위 또한 남동으로 확장되어가는 환경에서 퇴적되었던 것으로 생각된다.

新峴層은 온난한 内灣性 환경을 지시하는 *Vicarya-Anadara* 화석군을 다량 산출하는 (Yoon, 1976) 비교적 양호한 층리의 지층이다. 암상은 주로 사암과 이암의 호층으로 되어있으며 전체적으로 지층의 경사는 매우 완만하다. 대체적으로 북서경계단층에 가까이 갈수록 층리가 안정되고

지층의 경사가 커진다. 북서경계단층 부근의 신현층의 주향과 경사는 각각 평균 N53°E, 16°NW로서 (Fig. 4) 단층선이 있는 북서를 향하여 완만히 경사지고 있음을 보여준다. 이는 半地溝 (half-graben)에서 흔히 나타나는 굴름배사 (rollover anticline: Hamblin, 1965; Gibbs, 1984)로 해석되는 양상이다 (Fig. 3) (Price and Cosgrove, 1990). 신현층에 협재된 역암층의 두께는 북서경계단층에 가까이 갈수록 점차 두꺼워지고 역의 원마도는 낮아진다. 또한 캐기상의 역암층들도 더욱 빈번하게 발달한다. 이는 분지의 북서면으로부터 단층각력을 포함하는 다양한 역들이 공급되었음을 추론케 한다.

이들 제3기 퇴적물내에는 소규모의 정단층들이 발달되어 있는데, 이에 관해서는 뒤에서 다시 언급한다.

다른 한가지 주목되는 사실은 퇴적분지내 퇴적층의 분포가 분지의 축방향을 따라 남서부에서는 신기인 신현층이 자배적이다가 북동으로 고기의 강동층으로 변화되고 최북동에 이르러서는 더욱 고기인 안산암질화산암류로 대체된다는 점이다 (Fig. 1). 이는 본 분지의 남서부가 북동부에 비해 더 많이 확장되고 침강되었음을 추론케 하는 것이다. 이 차별 확장과 침강의 원인은 분지확장에 수반된 반시계방향의 분지회전에 의한 것이거나 (Fig. 5A), 분지의 기저가 상이한 확장속도의 소지괴들로 나뉘어져 차별적 남동향 이동을 하였던 때문으로 생각할 수 있다 (Fig. 5B).

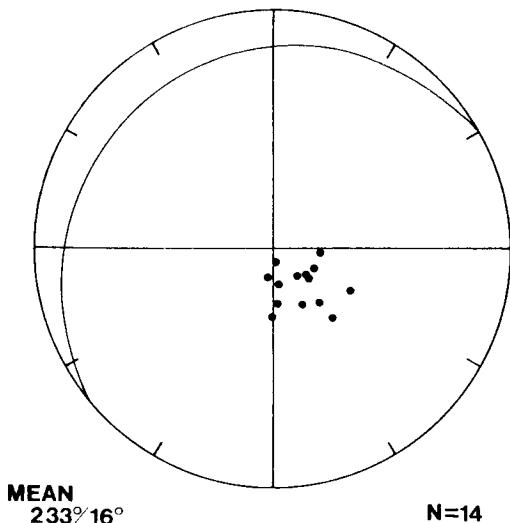
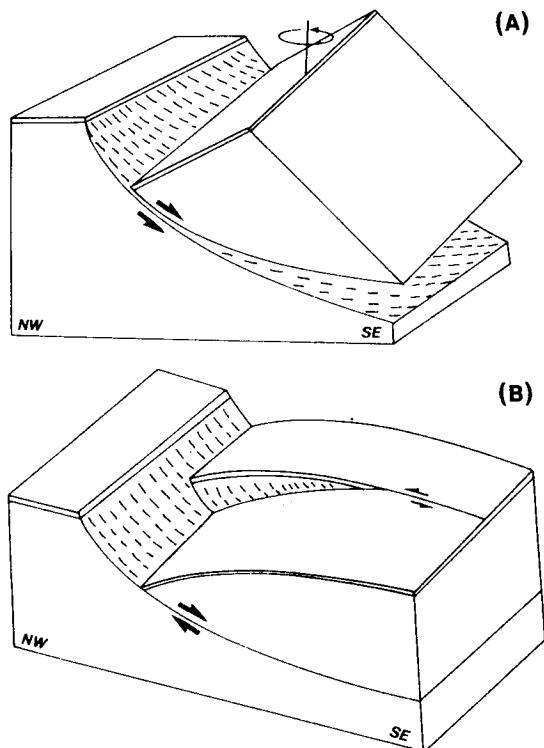


Fig. 4. Poles to the bedding of the Sinhyeon Formation near the northwestern boundary-fault of the Chongja basin. Equal-area projection onto the lower hemisphere. The great circle represents the mean bedding plane. Note that the strata incline toward the boundary-fault.



퇴적분지 남동면 지역: 퇴적층과 기반암사이의 부정합

본 不整合의 존재는 기존 조사자들 (박양대, 윤형태 1968; 김봉균 1970; Yoon, 1976)에 의해 이미 알려진 바 있으며 본 연구를 통하여 경사부정합으로 확인되었다. 부정합선을 따라 충적층이 발달한 탓으로 부정합면이 지표상에 거의 노출되지 않으나, 신전양지 입구 31번 국도변 (Fig. 1A의 L2)에서는 신현층이 경상누층군의 울산층을 부정합으로 덮는 노두가 관찰된다.

본 부정합의 하부는 울산층과 안산암질화산암류로 이루어져 있다. 울산층은 부정합면 근처에서 국부적으로 노출되나, 안산암질화산암류는 퇴적분지의 남동부에서 높은 지형을 이루며 해안까지의 넓은 지역을 점하고 있다 (Fig. 1).

부정합면 하부의 蔚山層은 강하게 호온펜스화되어 있다. 지층의 자세는 평균 $N43^{\circ}E$, $33^{\circ}NW$ 으로 (Fig. 6A) 분지의 장축방향과 거의 평행하며 북서방향으로 경사져 있다. 이 경사값은 보다 신기인 신현층에서의 평균경사 $16^{\circ}NW$ 보다 큰 값이다.

부정합면 아래에 노출된 安山岩質火山岩類는 박양대, 윤형태 (1968)의 연구에서 당사리안산암과 당사리안산암 질응회암 (화산집괴암)으로 구분된 바 있다. 그러나 본 연구의 야외조사에서는 이들이 교호되며 나타나는 것으로

Fig. 5. Schematic block diagrams explaining the fact that younger strata (Sinhyeon Formation) become broader toward the southwestern part of the basin (see Fig. 1). (A); By listric/domino faulting accompanied by rotational movement about a vertical axis. (B); By faster extension of the southwestern part of the basin. Model (A) seems to be preferable in the context of regional tectonics.

판명되었다. 나아가서 안산암에서도 흐름구조 (flow structure)가 관찰되는데 동해안가에서는 부분적으로 파동의 형태를 보이고 내륙쪽에서는 보다 판상을 이루고 있다. 이 흐름層理 (flow layer)를 따라서는 흐름節理 (flow joint) 가 발달되고 있다. 이상의 사실들은 본 지역 제3기 화산암류들의 定置메카니즘이 관입보다는 분출성임을 말하는 것이다. 즉, 간헐적이며 반복적인 안산암 용암의 분출이 있었으며 이에 수반된 집괴성 안산암질응회암 (화산집괴암)들이 교호적으로 쌓였던 것이다. 따라서 본 논문에서는 이들을 분대하지 않고 안산암질화산암류로 한데 묶어서 취급한다. 안산암에 나타나는 흐름절리와 안산암질응회암에 발달된 흐름층리는 해안가 일부의 파동치는 모양의 것들을 제외하고는 거의 모든 지역에서 평균 $N49^{\circ}E$, $25^{\circ}NW$ 의 일정한 자세를 보이고 있다 (Fig. 6B). 이는 부정합면 아래에 노출된 울산층에서의 자세와 유사하게 북서방향으로 기울어진 것이다. 그러나 고기인 울산층보다는

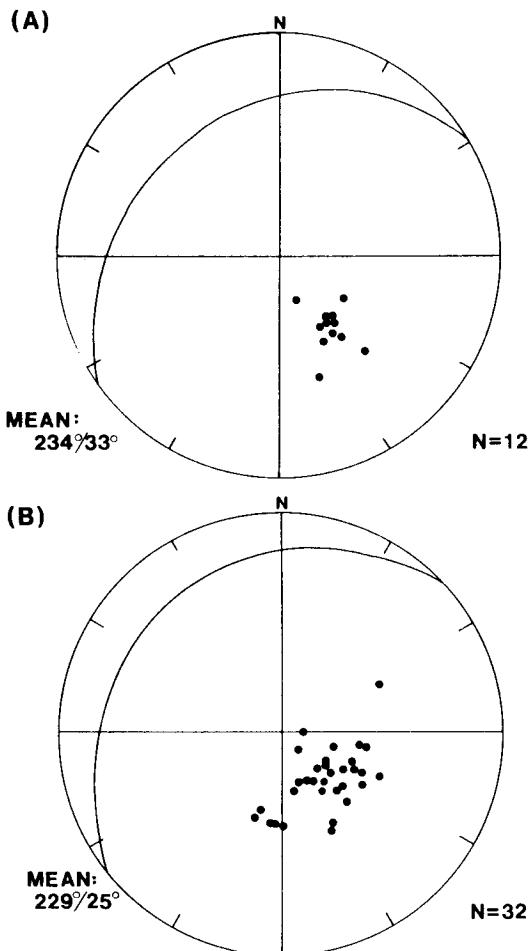


Fig. 6. (A); Bedding poles and the mean bedding plane of the Cretaceous Ulsan Formation exposed unconformably under the Tertiary sedimentary strata at the center of the basin (small outcrop in Fig. 1). (B); Poles and the mean direction of planar flow-joints in the Early Miocene Tangsa Andesites exposed in the southeastern area of the Chongja basin. Equal-area projections onto the lower hemisphere. Note in combination of Fig. 4 that the older the strata, the steeper the bedding. This implies an ongoing tilting process during the basin evolution.

경사가 얕고 후기인 강동층과 신현층보다는 경사가 급하다. 따라서 본 안산암과 안산암질옹회암에 발달된 판상의 흐름절리나 흐름층리의 경사는 본 암류가 생성될 당시의 초기경사 (initial dip)이기 보다는 북서경계단층에서의 단층작용에 수반된 구조적 지괴경동 (tilting)에 의하여 초래된 것으로 해석된다.

이상의 사실들을 앞절의 북서경계단층에서의 것들과 연관하여 볼 때, 본 정자분지내의 퇴적분지는 북서부가

서가단층 혹은 점환단층으로 경계되어 있으며 남동부는 경사부정합으로 경계지워진 쇄기모양 단면의 半地溝 (half-graben, dustpan-shaped graben)임을 알 수 있다 (Figs. 3, 5). 半地溝내의 지층들이 모두 북서경계단층을 향하여 경사져 있으며 이 방향으로 두꺼워지고, 고기지층 일수록 그 경사각이 큰 것은 북서경계단층이 퇴적동시기 적으로 작용하였던 成長斷層 (growth fault)임을 말하는 것이다.

분지의 남서경계단층 지역

본 단층은 정자분지의 남서경계를 형성하며 주향 약 N 20°W의 방향으로 뻗어 있다. 본 단층을 경계로한 남서외곽은 주로 울산층으로 이루어져 있으며, 단층선에 연접하여서 흐름절리를 보여주는 안산암과 매우 각력질인 미고결 역암층 (Yoon, 1976의 강동층)의 노두가 소규모적으로 분포되어 있다 (Fig. 1). 단층선의 북동편은 앞에서 언급한 제3기 퇴적물과 안산암질화산암류가 차지한다. 즉, 본 남서경계단층선을 기준으로 북동쪽에는 제3기의 강동층과 신현층이 병렬 (juxtaposed)상으로 분포하고 있으나 남서쪽에는 아래에서 다시 설명할 극히 소규모의 쇄기상 역암층을 제외하고는 제3기 퇴적물이 전혀 존재하지 않는다. 이와같이 단층선을 경계로 비대칭을 이루는 특이한 지질분포 양상은 정자분지내의 제3기 퇴적층들이 본 남서경계단층의 우향주향이동 단층활동에 따라 형성된 裂開盆地 (당겨열림분지, pull-apart basin)내에 규제적으로 퇴적되었음을 의미한다.

본 단층의 남서외곽에 분포하는 蔚山層은 다른 곳에서와 마찬가지로 호온펠스화 되어있으며 단층선을 따라서 강렬한 파쇄대를 보여준다. 파쇄대의 폭은 대부분 30 m 이상이며, 그 연속성 또한 아주 좋다. 본 파쇄대 역시 북서경계단층에서의 파쇄대와 마찬가지로 층리를 알아볼 수 없을 정도로 각력화되어 있다. 각력과 각력사이는 세립의 울산층 파쇄물들이 채워져 있다. 31번 국도변 (Fig. 1A의 L3)에서는 점토층으로 오인될 정도로 지층이 심하게 파쇄되고 다수의 각력들이 포함된 노두가 나타난다. 적은 물 용산 북쪽 계곡 (Fig. 1A의 L4)에서는 매우 파쇄되어 있는, 울산층과 집괴성 안산암질옹회암의 경계부를 발견할 수 있다. 앞서 설명한 북서경계단층 밖에서의 울산층의 경우와 마찬가지로 본 남서경계단층 남서편의 울산층 역시 단층파쇄대로부터 멀어짐에 따라 층리의 주향과 경사가 안정되기 시작한다. 다만, 울산시 동부동과 서부동 일대에서는 널리 분포하는 불국사화강암류인 반상혹운모화강암 (박양대, 윤형대, 1968)의 관입으로 그의 연접지역에서

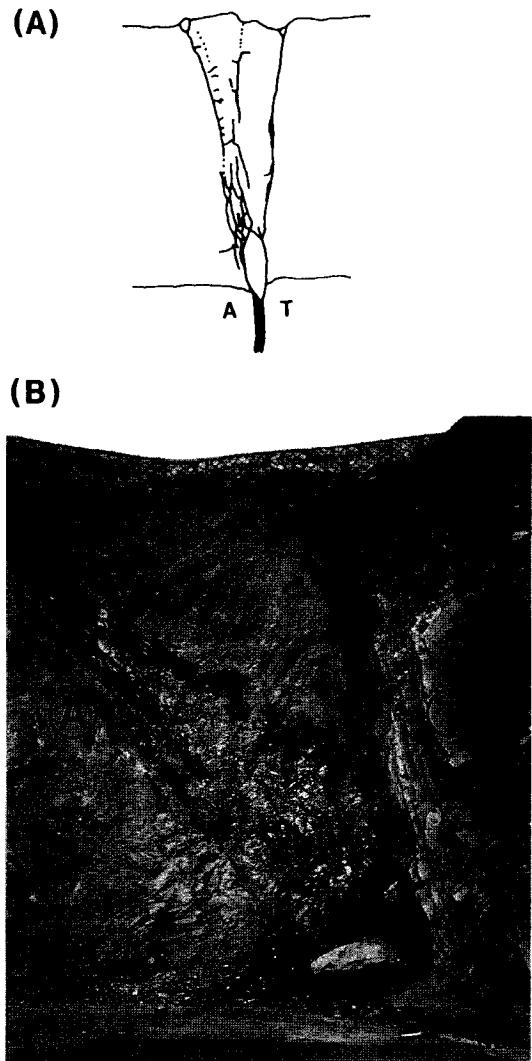


Fig. 7. (A); Fracture pattern observed in a strike-slip experiments with sandstone (redrawn from Bartlett et al., 1981, Sylvester, 1988). (B); An outcrop photo taken at the southern extremity of the southwest boundary-fault of the Chongja basin. See Fig. 1 for the location. Note the close similarity of the structure between (A) and (B). They display the characteristic flower structure (palm-tree structure) well known in strike-slip fault zones of the world in general. T; toward the reader and A; away from the reader. The geologist in the photo is observing nearly horizontal slicken-striations on the fault plane.

다소 변형된 주향과 경사가 나타난다. 이를 제외한 대부분 지역에서의 울산층의 주향 경사는 일반적으로 약 $N40^{\circ}E$, $40^{\circ}NW$ 로 안정되어 있다.

본 단층의 남서쪽에 연접하여 국부적으로 나타나는 安

山岩質火山岩 (Fig. 1 및 Fig. 1A의 L5)은 본 단층의 운동 양상과 변이량에 대한 정보를 제공한다. 즉, 이 분지밖 안산암질화산암은 분지내 부정합의 하부에 널리 나타나는 안산암질화산암류의 경우와 마찬가지로 흐름절리를 보이며, 혼미경하에서도 동일한 조성광물과 門牌狀 (lath-shaped) 사장석 결정들이 일정한 방향으로 배열된 필로탁시티 (pilotaxitic) 조직을 이루고 있다. 거시적 야외산상이나 지질도에서도 이 분지밖 안산암질화산암 노두는 남서경계단층에 의하여 잘려지며 분지내 안산암질화산암의 본체로부터 右向으로 약 1 km 범위된 양상을 보여준다 (Fig. 1).

한편 울산시 동부동과 서부동 일대에 암주상으로 분포하는 반상혹운모화강암지역 (박양대, 윤형대, 1968)에서의 야외관찰에 의하면 (Fig. 1A의 L6) 이 암체 역시 단층에 의하여 잘리워지며 약 1 km 우향변위 되어있음이 나타난다. 즉, 남서경계단층은 그 북동편의 분지지괴를 남동으로 右向이동시킨 것이다 (Fig. 1). Fig. 7 (B)는 울산시 동구 미포조선소내에 노출된 이 주향이동성 남서경계단층의 단면 사진이다 (Fig. 1의 위치표시 참조). 조사자가 측정하고 있는 단층면의 자세는 $N12^{\circ}W$, $79^{\circ}NE$ 이며 단층면에는 거의 수평인 斷層條線들이 발달되어 있다. 한편, 조사자가 서있는 지점을 중심으로 대소 단층면들이 위를 향하여 방사상으로 퍼져나가고 있음을 볼 수 있는데 이는 주향이동단층지역에서 특징적으로 나타나는 꽃다발구조 (flower structure, palm-tree structure) (Ramsay and Huber, 1987; Sylvester, 1988 등)로 해석된다. 이 구조는 주향이동단층실험 (사암, 50 MPa의 폐색압력조건)에서 관찰된 Fig. 7(A)의 구조 (Bartlett et al., 1981)와 대단히 유사하다.

Fig. 8은 본 남서경계단층선의 연접지역을 따르면서 관찰한, 울산층과 화강암을 자르는 소단층면들의 極圖 (π -diagram)이다. 측정된 소단층면의 총수는 128개인 바 야외현장에서 단층점토대가 10 cm 이상 확연히 식별되는 것들 만을 선정하였다. 이 소단층들은 주 남서경계단층선에 접근할수록 그 숫자가 증가된다. 이 빈도도 (contour diagram)에 나타난 바와 같이 소단층면들의 자세는 $N17^{\circ}W$, $79^{\circ}NE$ 에서 가장 높은 밀집도 (14.1%)를 보인다. 이는 주 남서경계단층선의 주향과 일치되는 방향이다. 한편, 보다 낮은 밀집도의 $N40\sim50^{\circ}E$ 주향의 소단층들은 정자분지 북서경계단층의 주향과 거의 평행하다. 아울러 이 지역에 나타나는 안산암질 암맥들의 관입면방향 (Fig. 8의 △표시)들도 이 북서경계단층의 방향과 일치함이 주목된다. 이와같이 남서경계단층지역에서 함께 나타나는 북서경계 단층방향의 파쇄 및 인장구조는 후자가 전자의 운동에

(B)



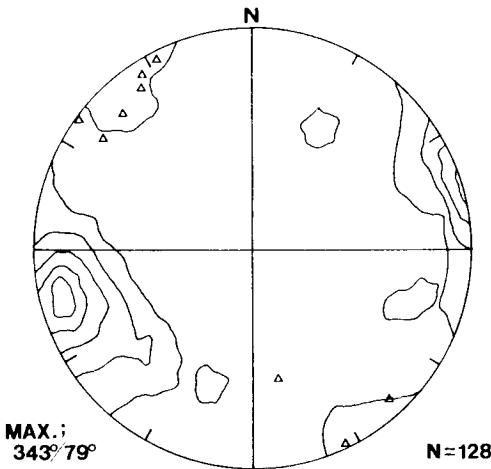


Fig. 8. Contoured π -diagram of the microfault planes observed in the area through which the southern half of the southwestern boundary-fault passes (see Fig. 1). The microfaults there cut the Cretaceous Ulsan Formation and Cretaceous-Eocene (?) granitic rocks (see Fig. 1). Contours: 1, 3, 6, 9, 12%. Poles ($n=128$) are omitted for the sake of simplicity. Open triangles represent poles to the intrusion planes of andesitic dykes in the same area. Note the fact that the microfaults are parallel to the southwestern boundary-fault of strike-slip nature, and that the andesitic dykes have the trend of the extensional northwestern boundary-fault of the Chongia basin. Equal-area projection onto the lower hemisphere.

수반된 伸張裂隙 (extensional fissure: Willcox et al., 1973)임을 지시한다.

본 단층의 남서편에 연접 분포된 소규모의 쇄기상 역암 (Fig. 1)은 그 존재가 기존조사자들 (박양대, 윤형대 1968; Yoon, 1976)에 의해서도 알려진 바 있다. 이 미고결 퇴적물의 노두는 약 N30°E 방향으로 뻗으며 북동으로 대소 넓어지는 쇄기모양의 분포 형태를 이루고 있다. Yoon (1976)은 이를 江東層으로 기재하였다. 그러나 본 연구를 통하여 새롭게 밝혀진 사실은 이 역암의 암상이 주 퇴적분지내 명층 (Fig. 1A의 L7)이나 정자리 (Fig. 1 및 1A의 C) 일대에서 관찰되는 전형적인 강동층과는 매우 다른 각력질이며, 또한 분포의 북서 및 남동경계가 기반암인 울산층과 정단층관계를 이루고 있다는 것이다 (Fig. 9). 이 양 경계단층은 약 N30°E의 주향을 가지며 서로를 향하여 각기 45°가량 경사진 정단층의 쌍을 이루고 있다 (Fig. 1). 단층면에서 멀어짐에 따라 각력암층은 쇄기상으로 소멸 (pinch-out)되며 조립질 사암과의 호층으로 전이된다. 단층각력들에는 마모를 지시하는 斷層條線들이 발달되어 있다. 따라서 본 역암은 정자분지의 북서경계단층과 동일

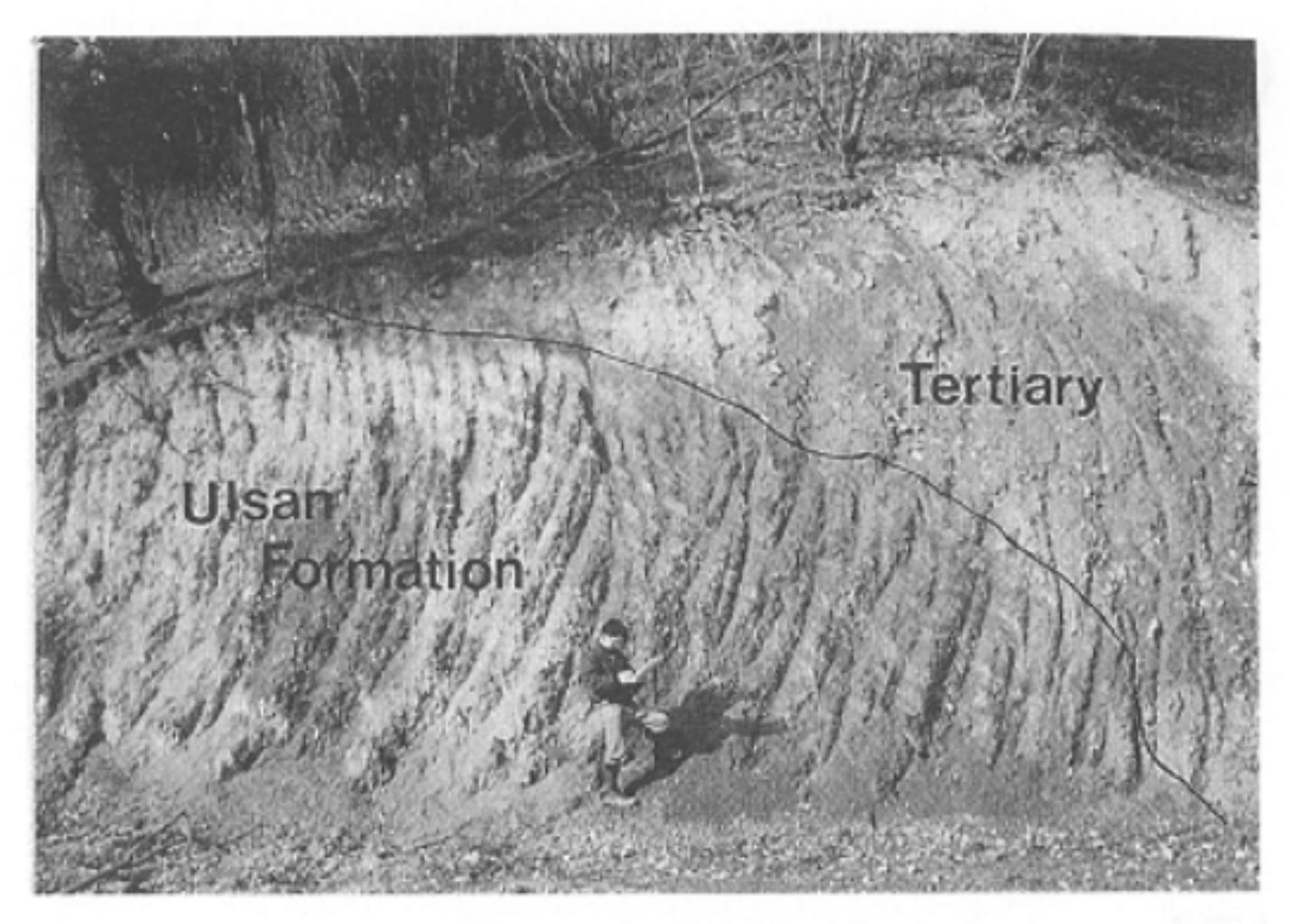


Fig. 9. An outcrop photo showing a fault-contact (fine line-drawing) between Cretaceous Ulsan Formation and Tertiary conglomerates. See Figure 1 for the location. Bedding of the Ulsan Formation (barely seen in the photo) is dipping moderately toward the lower right of the picture. Subvertical grooves (approximately perpendicular to the bedding) are artificial effects of bulldozer works. Small extensional graben (right side of the fault-line) has been filled by angular chaotic Tertiary conglomerates. The fault-plane has a contorted shape owing to frictional sliding of angular conglomerates into the graben. Tertiary conglomerates in the graben have been also severely fractured and striated. The graben was generated by dextral shearing along the southwestern boundary-fault of the Chongia basin proper (see Fig. 14).

주향인 N30°E 방향의 正斷層組로 구성된 소규모 地溝 (graben)내에 주변 단층각력들이 집적된 斷層각력암층인 것이다. 단층각력들은 地溝가 성장하는 동안 地溝의 중심부로 흘러내리며 단층면을 마모시켜 울퉁불퉁하게 만들었다 (Fig. 9). 이 小地溝의 주향이 남서경계단층과 약 50°의 각을 이루는 것으로 보아, 그 成因은 정자분지의 북서경계단층이 서가/점화식 정단층으로 引張되며 탄생됨과 아울러 남서경계단층이 右向으로 주향이동함으로서 유도된, 정자 주분지외곽 울산층지역에서의 2차적 신장열곡작용에 있는 것으로 해석된다 (Fig. 10).

퇴적분지내의 소규모 단층들

분지를 채우고 있는 강동층과 신현층내에는 소규모 단층들이 다수 발달되어 있다. 이 지층들은 미고결이며 단층면을 따라 유동되는 지하수 등의 영향을 받은 관계로 斷層條線 (slickenside)의 인자가 곤란하여 단층의 수평적 變位상황은 알아낼 수가 없었다. 그러나 수직단면 노두에서는 정단층임을 지시하는 지층면의 수직변위 (offset)가 잘 관찰된다. Fig. 11은 이들 중 대표적인 예로서 아래주령의 신현층 노두 (Fig. 1A의 L8)에서 관찰된 소규모의



Ulsan
Formation

Tertiary

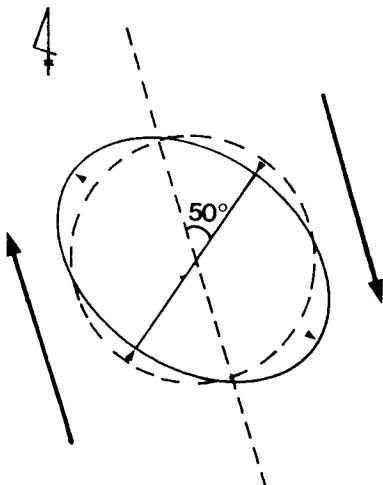


Fig. 10. Strain condition and concomitant extension fracture as a result of dextral simple shear (e.g. Christie-Blick and Biddle, 1985). This picture serves as a genesis model of the Chóngja basin. The dextral shear was caused by NNW-SSE spreading of the East Sea (Kim, 1992), and the extension fracture (along the short diameter in the strain-ellipse) became the northwestern boundary-fault of the Chóngja basin (see Fig. 14).

성장단층이다. 이는 사암과 역암의 미고결 호층을 자르고 있는데 단층면의 주향은 북동이다. 강동층과 신현층에서 관찰된 이와 같은 소단층들의 자세들을 투영해보면 단층면의 평균주향이 N34°E인 것으로 나타난다 (Fig. 12). 이는 북서경계단층의 주향과 일치하는 것으로서 강동층과 신현층의 퇴적기간에도 분지지역에 북서-남동방향의 伸張작용이 지속되고 있었음을 의미한다.

Fig. 13은 북서경계단층 인접부인 달곡에서 조사된 노두 (Fig. 1A의 L9)로서 신현층의 최상부에 해당되는 곳이다. 본 노두에는 작은 규모의 地溝(graben)가 나타나 있는데 이 小地溝 역시 북동주향을 갖는 한 쌍(conjugate)의 작은 정단층으로 경계되어 있다. 이는 북서-남동 방향으로 장력이 주어졌음을 뜻한다. 소지구내의 지층두께가 바깥쪽의 것보다 두꺼운 것은 이 정단층의 쌍이 퇴적 동시기성의 成長斷層(growth fault)이었음을 뜻한다. 또 하나 주목하여야 할 사실은 이 小地溝를 이루는 단층들이 상위의 사암층을 자르며 상부로 계속되지 못한다는 것이다. 이는 이 小地溝의 형성직후 신현층의 퇴적완료 이전에 장력작용이 종식되었음을 뜻한다. 정자분지내 퇴적층의 최상부에서는 이러한 소규모의 성장단층들이 다수 발견된다. 결국 본 분지는 신현층의 퇴적말기 직전까지 퇴적동시기적으로 북서-남동 방향으로 작용하는 장력장의 지배하에 있었으나 그 이후 이 장력작용은 곧 소멸되었음을 알 수



Fig. 11. An example from a number of syndepositional normal faults observed in the early Middle Miocene Sinyón Formation. Profile view. See Fig. 1 for the location of this photo. The straight line across the photo is fault. The fault strikes northeast. Note the slight dragging in the footwall and slight roll-over in the hanging wall. SS; sandstone and CO; conglomerate. These kinds of normal fault testify an ongoing extension during deposition of the Tertiary sedimentary strata.

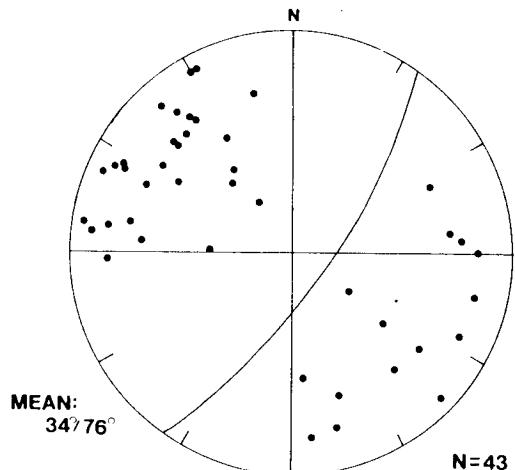


Fig. 12. Mean attitude of and π -poles to the fault planes of small-scale syndepositional normal faults observed in the Tertiary sedimentary strata in the Chóngja basin proper, those as in Fig. 11. Note that these small-scale normal faults have the same trend as the extensinal northwestern boundary-fault of the Chóngja basin. Equal-area projection onto the lower hemisphere.

있다.

분지의 생성발달에 대한 종합고찰과 토론

이상까지 고찰한 정자분지 지역에서의 지질구조와 층



SS

CO

SS

CO

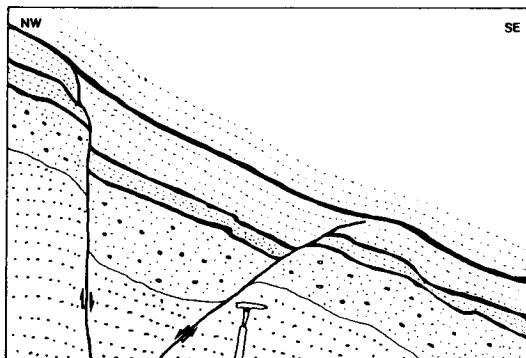


Fig. 13. An example from a number of syndepositional small grabens observed in the upper part of the early Middle Miocene Sinhyeon Formation. Drawn from a photo. See Figure 1 for the location. Note that the syndepositional normal faults can not cut through the uppermost portion of the stratum. It suggests that tensional force became inactive during the last phase of Sinhyeon Formation deposition (at the end of the early Middle Miocene). This date is coinciding well with the termination time (15 Ma) of the East Sea opening (Kim, 1992).

서적 특성, 그리고 그들의 형성 메카니즘은 東海 확장의 영향 (김인수, 1992)에 따른 이 지역에서의 지구조운동의 맥락에서 파악되어야 할 것 같다. 어떤 지역에 주향이동 (strike-slip) 성 전단력 (simple shear)이 작용되면 이 작용방향에 약 45°내지 50°의 각도로 伸張龜裂 (tension gash 혹은 extension fissure)이 생성되는 널리 알려진 사실이다 (Ramsay, 1980; Ramsay and Huber, 1983; Sanderson and Marchini, 1984; Christie-Blick and Biddle, 1985; Harding et al., 1985) (Fig. 10). 광역적 규모의 신장균열은 정단층에 의하여 경계된 裂開盆地를 이룬다 (Koide and Bhattacharji, 1977; Reading, 1980, 1986; Miall, 1990). 한반도에서 동해연변을 따라 발달되어 있는 제3기 분지들은 이러한 예들처럼 동해의 확장운동에 수반된 右向전단력의 결과로 열려진 裂開盆地들인 바 (김인수, 1990a, b). 금번 연구를 통하여 정자분지가 그 대표적 예임이 나타났다. 즉, 동해지각의 북북서-남남동 방향의 확장과 이에 수반된 이 방향의 右向전단력의 영향으로 해안지역에 북서-남동 방향의 장력이 유도되었고 그 결과 백악기 울산층의 地盤이 N30°E의 선 (결국 분지의 북서경계단층으로 발전됨)으로 신장균열 (裂開)되며 정자분지가 탄생된 것이다 (Fig. 14). 분지의 최초 충전물 (이 경우 아래에서 위를 향한)인 안산암질화산암류의 방사능연령이 22~16 Ma로 나타나는 것으로 볼 때 본 분지는 Early Miocene인 22 Ma경 혹은 다소 그 이전부터 본격적인 북서-남동 방향 張力의 영향을 받기 시작하였

음을 알 수 있다. 한편, 堆積同時期性의 正斷層구조가 분지의 최종 충전물이자 early Middle Miocene 화석을 산출하는 신현층의 최상부 적하까지만 발달된 사실로부터 분지의 생성과 성장 과정을 통하여 지속되었던 張力作用이 early Middle Miocene의 어느 시점에 이르러 종료되었음을 알 수 있다. 이는 early Middle Miocene인 15 Ma에 동해의 확장이 완료되었다는 가설 (김인수, 1992)에 잘 부합되고 있다.

북서-남동 방향의 장력에 따른 울산층지반의 裂開는 현정자분지 북서경계단층선과 남서경계단층선을 따르며 일어났다. 이때 前者は 끊김작용 (detachment)에 의한 심한 파쇄를 수반하는 정단층 (normal fault)으로서, 後자는 단층선 북동쪽의 지괴 (현 정자분지)가 남동으로 이동되는 右向주향이동단층 (dextral strike-slip fault)으로서 작용하였다. 즉 후자는 Gibbs (1984)의 전이단층 (transfer fault)으로서의 역할을 한 것이다. 남동으로 밀려나는 분지지괴는 다시금 분지 남서경계단층선에 평행하게 단층선너머 남서편의 울산층지괴에 우향 전단력을 작용하는 결과가 되어, 단층선에 연접한 이 울산층지괴내에 정자분지 본체와 相似形인 N30°E 방향의 보다 작은 2차적 아들열개분지를 탄생시켰다 (Figs. 1, 14).

裂開된 공간 (현 정자분지)은 우선 Early Miocene 안산암질화산암류의 분출에 의하여 충전되었으며, 분지지역이 계속 확장력을 받음에 따라 이 제3기 기반암 地塊는 남동으로 밀려남과 동시에 북서로 傾動되었다 (Fig. 5). Early-Middle Miocene동안 분지 북서부 퇴적분지에서는 강동층과 신현층이 분지기반을 이루는 안산암질화산암류를 부정합으로 피복하며 퇴적되었다. 江東層은 분지 북서경계단층의 斷層崖를 따라서 발달된 주향하천 (strike river: Boulter, 1989)에 퇴적된 단층각력암 위주의 인접돌시령 선상지 퇴적물 (proximal talus fan deposits)로서, 河川의 再動作用 (reworking)에 의하여 2차적으로 원마된 역암층이다. 역의 주 구성암석이 울산층 호온펠스인 것으로 보아 퇴적물의 원공급지는 분지의 북서 외각이었다.

분지가 더욱 확장되고 깊어지면서 海浸이 일어나고 내만성 新峴層의 퇴적이 이어졌다. 신현층의 퇴적 무렵에는 경동에 수반하여 안산암질화산암 지괴의 남동쪽 고도가 북서에 비하여 높았을 것이고 (Figs. 3, 5) 그 결과 신현층은 하위의 강동층을 점진부정합 (onlap) 관계로 덮었을 것임을 유추할 수 있다. 경동에 따르는 고도증가의 효과로 남동쪽으로부터의 퇴적물 유입도 증대되었을 것이다. 퇴적분지의 남동부가 굴름배사 (rollover anticline)를 이루고 있었다면 이러한 퇴적물 공급하천을 굴름배사하천 (rollover river: Boulter, 1989)이라 부를 수 있다.

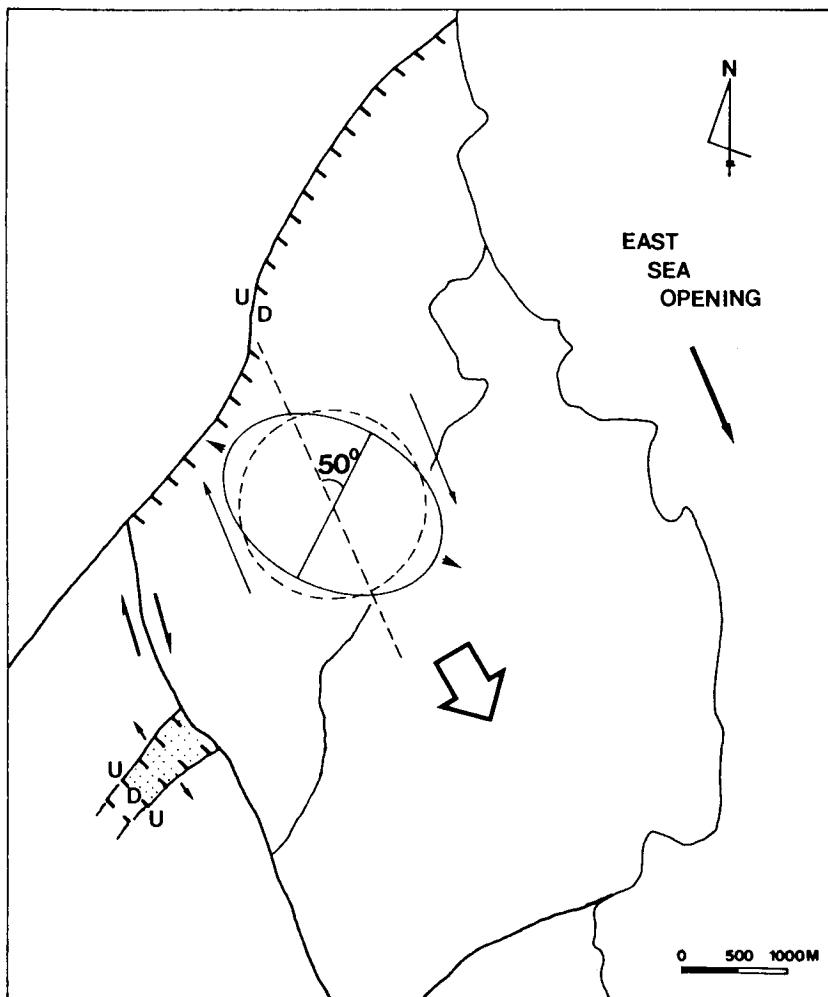


Fig. 14. Tectonic situations during the evolution of the Chongja basin. Through the NNW-SSE opening of the East Sea since earlier than the Early Miocene, a NNW-SSE dextral simple shear (black arrow in the East Sea) was originated and acting on the coastal region. This caused opening of the Chongja basin along the NE-trending extension fracture (a tension gash). Basement of the Chongja basin was translated southeastward (fat white arrow), gliding along the southwestern boundary-fault. This process set up a second dextral simple shear (half arrow pair along the southwestern boundary-fault) and opened a small daughter pull-apart (stippled in the figure) outside of the main Chongja basin.

이와같이 지속되는 분지확장과 이에 수반된 지괴경동의 결과로서, 현재의 분지내에는 남동부에 가장古期의 지층이 노출되고 북서쪽을 향하여 단층에 접근될수록新期의 지층으로轉移되는帶狀分布의 양상이 이루어졌다 (Fig. 3). 수직적으로 볼 때에는 이로서 북서경계단층을 향하여 퇴적층의 두께와 분지의 심도가 증가하는半地溝型(half-graben type) 분지형태가 이루어진 것이다. 상기와 같은 퇴적동시기성 점진부정합(onlap)과 측방으로의 급격한 퇴적상 변화, 그리고 병열帶狀분포의 현상은 세계 여러 곳의半地溝型 열개분지에서 흔히 관찰되는 특징이다

(Reading, 1986; Miall, 1990 Schlische, 1992 등).

분지의 형성에서 중요한 역할을 하였으며 현재 분지의 경계를 이루고 있는 북서경계단층은 단순한 정단층이기보다地塊傾動性의書架斷層(domino fault, bookshelf fault)이거나 지하로 단층면의 경사가 낮아지는漸緩斷層(listric fault)일 것이라는 것은 앞서에서 지적한 바 있다. 이런 종류의 정단층들은 장력장의 지구조적 환경에서 특징적으로 나타난다 (Ramsay and Huber, 1987; Price and Cosgrove, 1990; Doutsos and Piper, 1990). 그러나 본 단층이 정확히 이를 둘 중의 어느 형에 해당되는지는 지

표지질조사의 결과만으로 단언하기가 어렵다. 앞서에서 기재하였던 바 안산암질화산암체가 분지의 남서부경계단층에 의하여 右向으로 변위된 사실은 漸緩斷層에 의한 것이라는 해석과 보다 합치된다. 아울러 분지내 신현층의 북서향 경사가 북서경계단층으로 접근할수록 증가되는 현상 역시 점원단층에 수반된 굴름배사 (rollover anticline) 현상으로 해석하게 한다.

한편, 정자분지를 포함한 東海沿邊 全域이 Middle Miocene인 15 Ma에 서북서-동남동의 횡압력을 받았음 (Chough and Barg, 1987; 김인수, 1990a, 1992)을 고려한다면 이 배사구조가 횡압력에 의한 半地溝形에서의 응력장 反轉 (tectonic inversion: Price and Cosgrove, 1990)의 한 표현인 것으로 생각해 볼 수도 있을 것이다. 그러나 다른 한편으로, 퇴적암에 비교하여 정자분지내의 기반인 안산암질암의 강도가 굴름배사형으로 만곡되기 어려울 것이라는 점, 그리고 이 안산암질암체가 북서로 경사된 층리를 보이며 분지의 남동부에서 高地를 이루고 있는 사실 등을 이 분지基盤岩이 통채로 북서로 기울어진 書架型 지층경동의 가능성은 보다 지지하는 것으로 보인다. 또한 분지복판에 나타나고 있는 울산층의 소노두 (Fig. 1) 도 書架斷層구조로 설명함이 합리적이다. 최근 북서경계 단층 인접부의 화암마을 (Fig. 1A의 L10)에서의 시추 (주식회사 IM, 경주)결과에 의하면 지표에 노출된 신현층의 아래에 강동층이 나타나고 보다 하부에는 현무암체가 존재하고 있음이 알려지고 있다 (이상현, 1993 개인적 의견교환). 만약 이 현무암의 연령이 분지내 안산암질암의 연령보다 더 짧은 것으로 확인된다면 이는 관입체로서 서가단층의 모델에 더 잘 들어맞는 것이 된다.

금번 연구의 범위로서는 문제의 북서변 경계단층이 어떠한 메카니즘에 의해서 생성된 것인지 택일적으로 확인할 수가 없다. 실제로는 서가단층과 점원단층 양자 중의 하나라기보다 두 메카니즘이 동시에 복합적으로 작용되었을 가능성이 (Wernicke, 1981; Wernicke and Burchfiel, 1982) 도 있다. 분지 지하구조에 대한 훗날의 지구물리탐사가 이 문제의 해결에 도움을 줄 것으로 기대한다.

결 론

연구지역의 제3기분지는 백악기 울산층에 의하여 다른 분지들과 격리되어 있는 별개의 독립분지이다. 따라서 亭子盆地라는 새로운 분지명을 부여하기로 한다.

이 제3기 정자분지의 북서변과 남서변은 단층으로 경계되어 있다. 전자는 書架/漸緩斷層 (domino/listric fault) 형의 정단층 (normal fault)이며 후자는 약 1 km의 변위를

갖는 右向走向移動斷層 (dextral strike-slip fault)이다.

분지의 남동부에는 Early Miocene의 분출성 안산암질화산암류가 분포되어 있으며, 분지의 북서부는 보다 후기인 Early-Middle Miocene 화석연령의 미고결 강동층과 신현층에 의하여 帶狀으로 채워져 있다. 분지내에서 퇴적층과 안산암질화산암류의 관계는 부정합으로서 전자가 후자를 덮는 관계이다. 분지내의 모든 지층들은 분지 북서경계단층을 향하여 경사되어 있는 바 古期의 지층일수록 경사각이 크다.

이와같은 특징들은 정자분지가 서가/점원단층작용에 의하여 형성된 半地溝形 (half-graben type)의 裂開盆地 (strike-slip basin)임을 말하여 준다. 분지의 생성과 발달을 지배하였던 근본營力은 Early-Middle Miocene 동안 동해지각의 북북서-남남동 방향의 확장에 수반된 右向전단력 (dextral simple shear)에서 찾을 수 있다. 이러한 전단력은 동해안지역에 북서-남동 방향의 장력을 유도시켰으며 그 결과 백악기 울산층의 지반이 약 N30°E의 선을 따라서 정단층으로 벌어지면서 정자분지가 탄생되었다.

울산층지반의 伸張에 따른 정자분지의 탄생은 북서경계단층에서의 정단층운동과 이에 수반된 남서경계단층에서의 우향주향이동운동에 의하여 실현되었다. 裂開된 공간은 일차적으로 Early Miocene의 안산암질화산암류의 분출에 의하여 충전되었다. 계속되는 서가/점원단층작용에 의하여 제3기 기반암은 지속적으로 裂開 및 북서향 傾動되었고 Early-Middle Miocene의 강동층과 신현층이 그 위를 부정합으로 퇴적 피복하였다. 따라서 제3기 정자분지의 범위로서는 퇴적층 분포지역 (퇴적분지) 뿐만 아니라 보다 앞선 시기의 제3기 안산암질화산암류의 분출지역까지도 포함되어야 한다.

북서-남동의 張力場은 분지형성 초기에서부터 말기까지 지속적이며 퇴적동시기적으로 작용하였다. 본 분지 전역에 나타나고 있는 모든 대소규모의 정단층구조들, 즉 분지 북서경계단층, 분지 남서경계단층에 연접한 울산층지역내의 소규모 2차적 地溝구조, 안산암질 암맥들의 관입면 방향, 그리고 퇴적층내에서의 정단층들과 이에 연관된 小地溝구조 등 모두가 공통적으로 분지의 축방향에 일치하는 N30°E의 주향을 가지고 있는 것은 북서-남동 방향의 장력장이 분지의 생성과 발달의 전과정에 걸쳐서 지속적이고 광역적으로 작용하고 있었다는 증거이다. 그러나 퇴적층내의 소규모 정단층들이 퇴적층의 최상위까지 관통하지 못하는 것은 장력작용이 퇴적말기인 early Middle Miocene에 이르러서 종료되었다는 것을 의미한다. 이 장력작용의 종료시기는 동해화장의 종료시기인 15 Ma와 잘 일치되고 있다.

결국, 본 정자분지는 동해의 확장에 관련된 북북서-남남동 방향의 해저 右向주향이동 단층활동과 이에 따른 북서-남동방향의 장력장에 의해서 형성된 半地溝 (half-graben) 형태의 전형적인 裂開盆地 (당겨열림분지, strike-slip basin)이다.

사 사

본 연구는 부산대학교의 학술연구조성비에 의하여 이루어졌다. 연구를 수행하는 과정에서 토론에 참여해준 부산대학교 지질학과 지구조학 연구그룹의 여러분들께 감사한다. 이를 중 특히 김봉용과 강희철은 초기 야외조사 단계에서 큰 힘이 되어 주었다. 끝으로 논문의 심사과정에서 영문오류와 용어사용에 대해서 좋은 의견을 제시해주신 서울대학교 해양학과의 조성권교수께도 감사를 드리고자 한다.

참고문헌

- 김봉균(1968) 감포, 울산부근에 발달하는 역암층의 지질시대에 관하여. *지질학회지*, 4권, p. 47-48.
- 김봉균(1970) 한국의 신제3기 퇴적층에 관한 연구. *지질학회지*, 6권, p. 77-96.
- 김인수(1985) 한반도 및 동아시아의 지질구조 발달과 판구 조이론(II): 한반도의 지체구조발달과 동해의 형성. *자연과학논문집*, 40집, 부산대학교, p. 311-315.
- 김인수(1990a) 포항이남 제3기분지암석의 자기 비등방성과 지구조적 응력장. *광산지질*, 23권, p. 59-71.
- 김인수(1990b) 裂開분지로서의 제3기분지와 양산단층계의 주향이동운동. *Geoyonsei News*, 4집, p. 94-103.
- 김인수(1992) 새운동 동해의 成因모델과 양산단층계의 주향이동운동. *지질학회지*, 28권, p. 84-109.
- 김학목, 권명미(1981) 울산지역 제3계의 층서 및 퇴적암석학적 연구. *지질학회지*, 17권, p. 297-298.
- 박양태, 윤형태(1968) 한국지질도 울산도록 (Sheet-7020-I) 및 설명서. 국립지질조사소.
- 윤 선(1979) 울산분지 제3기층의 대비. *지질학회지*, 15권, p. 101.
- 윤 선(1988) 한반도 남부의 제3기 층서. *한국과학재단 연구보고서*, 25p.
- 이현구, 문희수, 민경덕, 김인수, 윤혜수, 板谷徹丸(1992) 포항 및 장기분지에 대한 고지자기, 층서 및 구조연구; 화산암류의 K-Ar 연대. *광산지질*, 25권, p. 337-349.
- 진명식, 김성재, 신성천(1988) K-Ar 및 첫선트랙법에 의한 포항-감포 일대 화산암류의 암석연령 측정연구. *한국동력자원연구소 연구보고서*, KR-87-27, p. 51-88.
- 한종환, 곽영훈, 손진담, 손병국(1987) 한국 동남부지역 제3기 퇴적분지의 지체구조발달 및 퇴적환경 연구. *한국동력자원연구소 연구보고서*, KR-86-2-(B)-4, 109p.
- Bartlett, W. L., Friedman, M. and Logan, J. M. (1981) Experimental folding and faulting of rocks under confining pressure, Part IX. Wrench faults in limestone layers. *Tectonophys.*, v. 79, p. 255-277.
- Boulter, C. A. (1989) Four Dimensional Analysis of Geological Maps: Techniques of Interpretation. John Wiley & Sons, 296p.
- Chough, S. K. and Barg, E. (1987) Tectonic history of Ulleung Basin margin, East Sea (Sea of Japan). *Geology*, v. 15, p. 45-48.
- Christie-Blick, N. and Biddle, K. T. (1985) Deformation and basin formation along strike-slip faults. In: *Strike-slip Deformation, Basin Formation and Sedimentation* (Ed. by K. T. Biddle and N. Christie-Blick), Spec. Publ. Soc. Econ. Paleont. Mineral. No. 37, p. 1-34.
- Doutsos, T. and Piper, D. J. W. (1990) Listric faulting, sedimentation, and morphological evolution of the Quaternary eastern Corinth rift, Greece: First stages of continental rifting. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, v. 102, p. 812-829.
- Gibbs, A. D. (1984) Structural evolution of extensional basin margins. *J. Geol. Soc. London*, v. 141, p. 609-620.
- Hamblin, W. K. (1965) Origin of 'reverse drag' on the down-throw side of normal faults. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, v. 76, p. 1145-1164.
- Harding, T. P., Vierbuchen, R. C. and Christie-Blick, N. (1985) Structural styles, plate-tectonic settings and hydrocarbon traps of divergent (transtensional) wrench faults. In: *Strike-slip Deformation, Basin Formation and Sedimentation* (Ed. by K.T. Biddle and N. Christie-Blick), Spec. Publ. Soc. Econ. Paleont. Mineral., No. 37, p. 51-77.
- Koide, H. and Bhattacharji, S. (1977) Geometric patterns of active strike-slip faults and their significance as indicators of areas of energy release. In: *Energetics of Geological Processes* (Ed. by S. J. Saxena), Springer-Verlag, p. 46-66.
- Lee, D. Y. and Kim, J. Y. (1992) Geological Excursion for Quaternary Terrace Deposits and Their Stratigraphy along the East Coast of the Korean Peninsula. *Geol. Soc. Korea*, 28p.
- Miall, A. D. (1990) *Principles of Sedimentary Basin Analysis*, 2nd ed., Springer-Verlag, 668p.
- Price, N. J. and Cosgrove, J. W. (1990) *Analysis of Geological Structures*. Cambridge Univ. Press, 502p.
- Ramsay, J. G. (1980) Shear zone geometry: a review. *J. Struct. Geol.* v. 2, p. 83-89.
- Ramsay, J. G. and Huber, M. (1983) *The Techniques of Modern Structural Geology*, Vol. 1: Strain Analysis. Academic Press, 307p.
- Ramsay, J. G. and Huber, M. (1987) *The Techniques of Modern Structural Geology*, Vol. 2: Folds and Fractures. Academic Press, p. 308-700.
- Reading, H. G. (1980) Characteristics and recognition of strike-slip fault systems. In: *Sedimentation in Oblique-slip Mobile Zones* (Ed. by P. F. Wallace and H. G. Reading), Internat. Assoc. Sediment. Spec. Publ., v. 4, p. 7-26.
- Reading, H. G. (Ed.) (1986) *Sedimentary Environment and Facies*, 2nd. ed., Blackwell Sci. Publ., 615p.
- Sanderson, D. J. and Marchini, W. R. D. (1984) Transpression. *J. Struct. Geol.*, v. 6, p. 449-458.
- Schlische, R. W. (1992) Structural and stratigraphic development of the Newark extensional basin, eastern North America: Evidence for the growth of the basin and its bounding structures. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, v. 104, p. 1246-1263.
- Sylvester, A. G. (1988) Strike-slip faults. *Geol. Soc. Amer.*

- Bull., v. 100, p. 1666-1703.
- Wernicke, B. (1981) Low-angle normal faults in the Basin and Range province: nappe tectonics in an extending orogen. *Nature*, v. 291, p. 645-648.
- Wernicke, B. and Burchfiel, B. C. (1982) Modes of extensional tectonics. *J. Struct. Geol.*, v. 4, p. 105-115.
- Wilcox, R. E., Harding, T. P. and Seely, D. R. (1973) Basic wrench tectonics. *A. A. P. G. Bull.*, v. 57, p. 74-96.
- Yoon, S. (1976) The Tertiary deposits of the Ulsan Basin, No. 1. Tertiary deposits in the eastern block. *J. Coll. Lib. Arts and Sci., Pusan Nat. Univ.*, v. 15, p. 67-71.
- Yoon, S. (1979) The Tertiary deposits of the Ulsan Basin, No. 2. Molluscan fossils. *J. Geol. Soc. Korea*, v. 15, p. 1-36.
- Yoon, S. (1980) Additional notes on Miocene molluscs of the Tertiary Ulsan Basin, Korea. *Prof. S. Kanno Mem. Vol.*, p. 71-77.
- Yoon, S. (1991) Geologic events of the Tertiary Yangnam and Pohang basins, Korea: With a remark on the origin of the Yamato basin of the Japan Sea. *Saito Ho-on Kai Spec. Pub.*, 3, p. 303-309.
- Yoon, S. (1992) Paleoenvironmental change of the Tertiary Yangnam and Pohang basins of the southern Korean Peninsula. *Mem. Geol. Soc. Japan*, v. 37, p. 117-124.

1993년 10월 14일 원고접수