

## 부산지역에서 옥천변성대의 지질구조: 하트상 부산 편마암복합체에 대한 새로운 지구구조모델

강 지 훈

안동대학교 지구환경과학과

## Geological structure of the Ogcheon metamorphic zone in the Busan area, Korea: a new geodynamic model to the Heart-shaped Busan gneiss complex

Ji-Hoon Kang

Department of Earth and Environmental Sciences, College of Natural Science,  
Andong National University, Andong 760-749, Korea

**요약:** 옥천변성대의 북동부에 위치하는 부산지역은 주로 선캄브리아대 부산 및 박달령 편마암복합체와 옥천변성암류 그리고 중생대 화강암류 등으로 구성되어 있다. 부산지역의 중앙부에 위치하고 주변부가 옥천변성암류에 의해 둘러싸여 있는 부산 편마암복합체는 마치 동쪽으로 누운 하트상 분포를 하고 있다. 본 연구는 부산지역에서 옥천변성대의 지질구조를 규명하기 위하여 부산지역의 주요 구성암류인 부산 편마암복합체와 옥천변성암류에 대한 변형단계별 암석구조와 변형단계별 구조요소들의 영역별 방향성 변화와 발달정도를 연구하였다. 그 결과, 부산지역에서 옥천변성대의 지질구조는 적어도 세 번의 변형단계를 거쳐 형성되었음을 알게 되었다. (1) D1 변형: 북북동-남남서 방향의 압축작용과 관련된 압쇄면과 서북서 방향의 지구조단위들(산저터, 부산-II, 부산-I, 충주 나팔들)의 형성기, (2) D2 변형: 동서 내지 서북서-동남동 방향의 압축작용과 관련된 서북서 방향의 지구조단위들의 차별적인 동서-수축기와 남북-신장기, (3) D3 변형: D2 변형에 의해 남북 내지 북북동 방향으로 재배열된 부산지역 동부와 남부 지구조단위들의 남북 방향의 압축작용과 관련된 동서 방향의 킥 및 개방습곡 형성기. 이러한 세 번의 변형작용은 부산지역에서 옥천변성대의 지구조단위들과 동쪽으로 누운 하트상 부산 편마암복합체의 분포와 밀접한 연관성이 있으며, 본 논문에서는 이와 관련된 새로운 지구구조모델을 제시한다: D1 변형-일정한 폭을 갖는 서북서 방향의 대상분포, D2 변형-북동향과 남향의 불룩한 썩기모양 형성, D3 변형-서향의 오목한 썩기모양 형성.

**핵심어:** 옥천변성대, 지질구조, 차별적인 동서-수축기, 하트상 부산편마암 복합체, 지구구조모델

**Abstract:** The Busan area in the northeastern part of the Ogcheon metamorphic zone, Korea, consists mainly of Precambrian Busan and Bakdallyeong gneiss complexes, Ogcheon metamorphic rocks and Mesozoic granitoids. The Busan gneiss complex shows Heart-shaped distribution laying down eastward, and is surrounded by the Ogcheon metamorphic rocks in the central part of the Busan area. In this study structural examination on the main constituent rocks (Busan gneiss complex and Ogcheon metamorphic rocks) was conducted to clarify the geological structure of the Ogcheon metamorphic zone in the Busan area. It indicates that the geological structure was formed at least by three phases of deformation. (1) D1 deformation: the formative period of the structural units of WNW trend (Sanjeoteo, Busan-II, Busan-I, and Chungju nappes) and the mylonitic foliations related to the compression of NNE-SSW direction, (2) D2 deformation: the differential E-W shortening and N-S extension period of the structural units of WNW trend related to the compression of E-W or WNW-ESE directions, (3) D3 deformation: the formative period of the kink or open folds of E-W trend related to the compression of N-S direction in the eastern and southern parts of Busan area where the structural units of N-S or NNE trends reoriented owing to the intense D2 deformation were developed. These three phases of deformation are closely connected with the distribution of the structural units and the Heart-shaped Busan gneiss complex laying down eastward, and in this paper a new geodynamic model to the Heart-shaped Busan gneiss complex is suggested: D1 defor-

mation-the zonal distribution of WNW trend with a constant width, D2 deformation-the formation of convex wedges northeastward and southward, D3 deformation - the formation of concave wedge westward.

**Key words:** Ogcheon metamorphic zone, geological structure, differential E-W shortening, Heart-shaped Busan gneiss complex, geodynamic model

서론

옥천변성대의 북동 선단부에 해당하고 충청북도 중원군과 제천군에 위치하고 있는 부산지역은 북부와 동부에 경기육괴형 박달령 편마암복합체(이하, 박달령 편마암체)(김기완 외, 1967; Reedman and Um, 1975; Lee, 1987)와 조선누층군이, 중앙부와 남부에는 경기육괴형 부산 편마암복합체(이하, 부산 편마암체)(나기창, 1987; Kang, 1994; Sagong and Kwon, 1998)와 옥천누층군이 각각 분포하고 있으며, 북동부와 서부에는 중생대 화강암류가 분포한다(Fig. 1). 부산지역에는 이러한 옥천변성대의 주요 구성암류들이 분포하고 있으며 이들 사이의 지질학적인 관계를 직접 조사할 수 있기

때문에 옥천변성대의 지구조 발달과정을 연구하는데 있어 매우 중요한 지역이다. 따라서, 부산지역에서 옥천변성대의 지구조 발달과정에 관한 연구는 지금까지 다수의 연구자들에 의해 수행된 바가 있다. 그 연구결과는 크게 습곡론(Reedman *et al.*, 1973; 임명혁과 장태우, 1993)과 층상단층론(최위찬과 김동학, 1981; Cluzel *et al.*, 1990, 1991; Kang, 1994)으로 구분되나, 이들 연구결과에 따른 부산지역의 지질구조 영역은 매우 다양하다.

부산 편마암체는 부산지역의 중앙부에 위치하며 주변부가 옥천변성암류에 의해 둘러싸여 있다. 서부에서는 서북서 방향의 대상분포를 보이며 일정한 폭을 갖고 있으나 동부로 갈수록 점차적인 폭의 증가를 보인

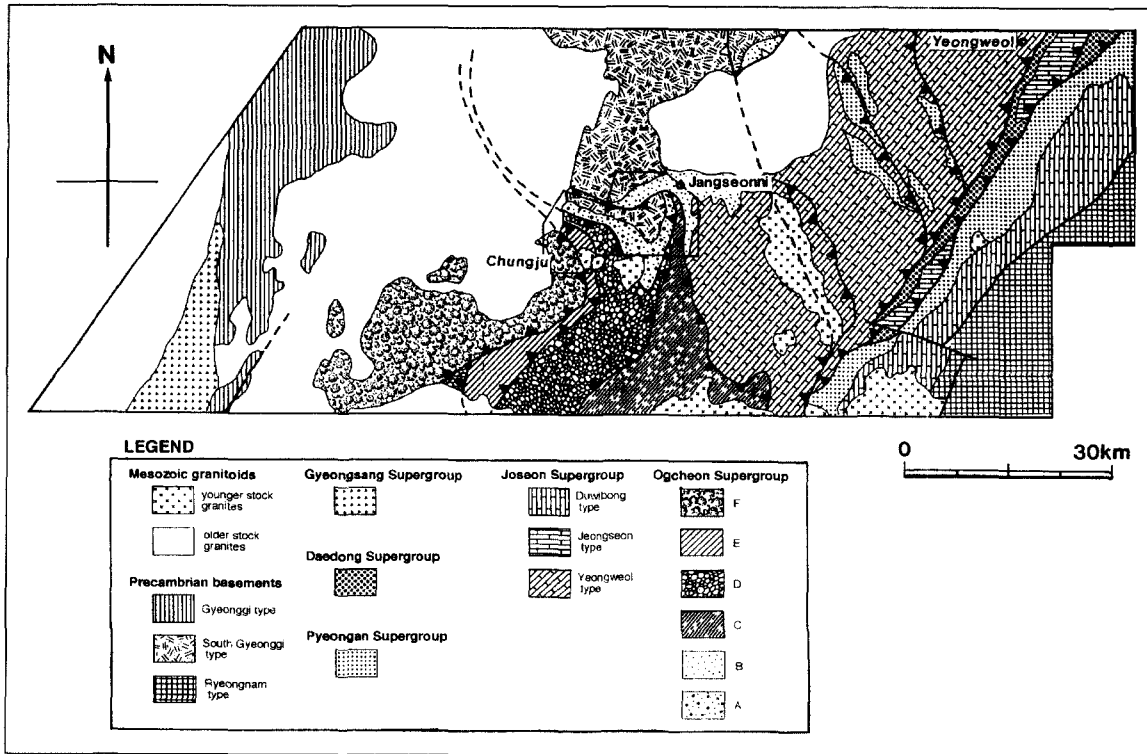


Fig. 1. Geological map showing the locality of the Ogcheon zone of the Busan area [adapted from Kang(1994)]. A: cover rocks of the Busan gneiss complex (South Gyeonggi type of Precambrian basement), B: cover rocks of the Bakdallyeong gneiss complex (South Gyeonggi type of Precambrian basement), C: Sanjeoteo nappe, D-E: Chungju nappe (D: Jori subnappe, E: Jideungsan subnappe), F: Gyemyeongsan nappe.

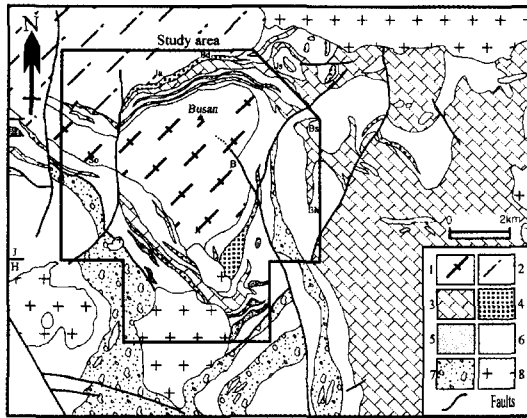


Fig. 2. Geological map of the Busan area and its extension in the eastern and southern areas [compiled from Jecheon (J) and Hwanggangni (H) sheets (1: 50,000)]. 1: Precambrian Busan gneiss complex, 2: Precambrian Bakdallyeong gneiss complex, 3-7: Ogcheon Supergroup (3: calcareous rocks, 4: quartzites, 5: basic rocks, 6: Munjuri, Myeongori and Seochangni Formations, 7: Hwanggangni and Bungnori Formations), 8: Mesozoic granite. B: Baekseok, Bd: Bangdae, Bh: Bangheungni, Bs: Busanni, Ja: Jeongam, Ji: Jiri, Js: Jangseonni, So: Sonni.

다(Fig. 2). 이러한 폭의 증가는 부산 편마암체의 북부보다는 남부에서 뚜렷하게 나타난다. 부산 편마암체의 북부 경계선은 박달령 편마암체의 동쪽 경계선에 해당하는 장선리지역에서 북동 방향으로 불록한 썬기형을 이루고, 옥천변성암류와 접하고 있는 남부 경계선은 지리지역에서 남쪽 방향으로 불록한 썬기형을 이루며 각각 백석지역으로 향해 합입한다(Fig. 2). 이러한 부산 편마암체의 분포양상은 마치 일정한 폭을 보이는 서부 영역(손리 일대)을 꼬리로 하고 북동부 영역(장선리 일대)과 남부 영역(지리 일대)을 각각 북동향과 남향의 불록썬기형으로 하며 동부 영역(백석-단둔리-방흥리 일대)을 서향의 오목썬기형으로 하는 동쪽으로 누운 하트 모양을 연상하게 한다. 본 연구결과, 부산 편마암체의 이러한 하트상 분포양상은 부산지역의 변형단계별 지질구조와 밀접한 연관성이 있음을 알게 되었다.

따라서, 이 논문에서는 부산 주변의 순환도로를 따라 노출된 부산 편마암체와 옥천변성암류를 중심으로 상세히 조사된 암석구조의 특성 및 선후관계로부터 변형단계별 암석 및 지질구조를 규명하고, 이들 변형단계별 구조요소의 영역별 방향성 변화와 상대적인 발달 정도로부터 부산 편마암체의 하트상 분포와 관련된 새로운 지구구조모형을 제시하여 그 결과를 기존 연구결과와 비교 검토해 보고자 한다.

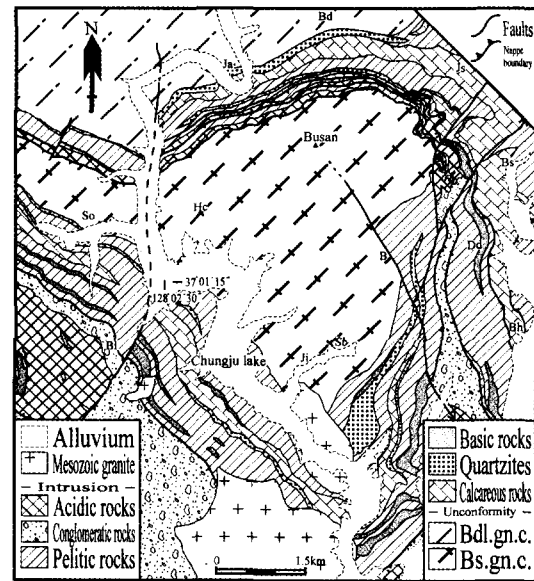


Fig. 3. Geological map of the Busan area. Bs.gn.c.: Precambrian Busan gneiss complex, Bdl.gn.c.: Precambrian Bakdallyeong gneiss complex. B: Baekseok, Bd: Bangdae, Bh: Bangheungni, Bl: Ballakdong, Bs: Busanni, Dd: Dandongni, Hc: Hacheonni, Ja: Jeongam, Ji: Jiri, Js: Jangseonni, Sb: Sabang, So: Sonni. Fault with arrows at both ends: boundary fault of Boeun unit and Iwharyeong unit (Cluzel *et al.*, 1990, 1991).

### 지질개요

제천 지질도폭(김기완 외, 1967)의 남서부와 황강리 지질도폭(이민성과 박봉순, 1965)의 북서부 일부를 접하고 있는 부산지역(Fig. 2)은 주로 선캄브리아대 부산 및 박달령 편마암체와 탄산염질암, 이질암, 석영질사암, 염기성질암, 역질암, 산성질암 기원의 옥천변성암류로 구성되어 있으며, 이들 변성암류는 본 역의 남부에 분포하는 중생대 화강암류에 의해 관입되어 있다(Fig. 3).

본 역의 북부에 분포하는 박달령 편마암체는 제천 지질도폭(김기완 외, 1967)에서 선캄브리아대 박달령 변성암으로 기재되어 있는 암체로써 주로 미그마타이트질 호상편마암, 화강암질 편마암, 안구상 편마암 등으로 구성되어 있으며, 이들 편마암류의 암상경계는 상호 점이적인 관계를 보인다(나기창, 1987). 박달령 편마암체를 부정합으로 피복하고 있는(김기완 외, 1967; 나기창, 1987) 덮개암류는 주로 탄산염질암, 이질암, 석영질사암, 염기성질암 기원의 변성암류로 구성되어 있다(Figs. 3 and 4).

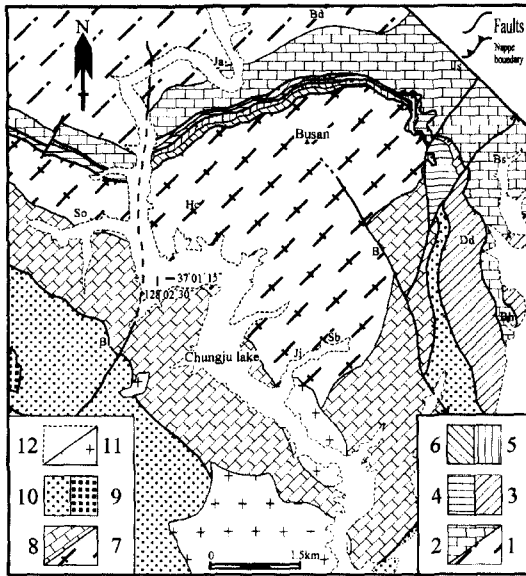


Fig. 4. Geological units of the Ogcheon metamorphic zone in the Busan area [modified from Kang(1994)]. 1-2: Bakdallyeong gneiss complex (1) and its cover rocks (2), 3-4: lower unit (3) and upper unit (4) of the Sanjeoteo nappe, 5-6: lower unit (5) and upper unit (6) of the Busan-II nappe, 7-8: Busan-I nappe [Busan gneiss complex (7) and its cover rocks (8)], 9-10: lower unit (9) and upper unit (10) of the Chungju nappe, 11: Mesozoic granites, 12: alluvium.

본 역의 중앙부에 분포하는 하트상 부산 편마암체는 제천 지질도폭(김기완 외, 1967)에서 부산 혼성변성암으로 기재되어 있는 암체로써 주로 호상 편마암, 화강암질 편마암, 이질 내지 사질 편마암, 그리고 백석과 사방 일대에 주로 산출되는 안구상 편마암 등으로 구성되어 있다. 부산 편마암체의 덮개암류는 주로 이질암, 염기성질암, 탄산염질암, 석영질사암 기원의 변성암류로 구성되어 있고, 이들 구성암류는 상기된 박달령 편마암체의 덮개암류의 구성암류와 본질적으로 같다(Figs. 3 and 4).

부산 및 박달령 편마암체의 Rb/Sr 전암연대는 각각 2100Ma와 1810Ma로 나타나고(최위찬과 김동학, 1981), 이들 두 편마암체가 동일기원의 옥천변성대 기반암류임은 암석화학적 연구를 통하여 나기창(1987)에 의해 지적된 바가 있다. Kang(1994)은 Rb/Sr 전암연대와 암석화학적 특성이 유사한 이들 두 편마암체를 남부형 경기육괴로 분류한 바가 있으며(Fig. 1), Sagong and Kwon(1998)은 전암과 장석의 Pb 연대측정치(1932±65 Ma)와 Pb 동위원소 자료의 Th/U 값으로부터 이들 두 편마암체는 원래 하나의 연속 암체로써 전기 원생대

이후 동일 지질사를 겪었고 부산 편마암체는 경기육괴 기반암의 연장 내지 구조적으로 옥천대로 돌출된 경기육괴의 조각이었음을 제안한 바가 있다.

부산지역의 주요 지질구조는 박달령 편마암체와 그 덮개암류를 구조적 최하위 지질체로 하여 북동 내지 북쪽으로 충상하는 D1 변형과 관련되어 형성된 산저터, 소규모 시트상 부산 편마암체를 포함하는 부산-II, 부산 편마암체와 그 덮개암류로 구성된 부산-I, 그리고 충주 등 4개의 지구조단위들의 발달로 특징지워진다(Kang, 1994)(Fig. 4). 산저터, 부산-II, 그리고 충주 지구조단위들을 구성하는 옥천누층군은 주로 탄산염질암, 이질암, 석영질사암, 염기성질암 기원의 변성암류로 구성된 하부층군과 주로 역질암, 산성질암, 이질암 기원의 변성암류로 구성된 상부층군으로 구분되며, 이들 지구조단위에서 하위층군의 구성암류는 이미 언급된 부산 및 박달령 편마암체의 덮개암류의 구성암류와 본질적으로 동일하다(Figs. 3 and 4). 지질도상에서 인지될 수 있는 주요 단층으로는 Cluzel *et al.*(1990, 1991)의 보은 지구조단위와 이화령 지구조단위를 구분하는 경계단층이 연구지역의 동부에 활형처럼 발달하고 있으며, 그 밖에 남북 내지 북동 그리고 북서부 방향의 몇몇 취성 단층들이 발달하고 있다(Figs. 3 and 4).

### 지질구조

#### 변형단계별 암석구조

**D1 변형:** D1 변형구조는 옥천변성암류에서 층리면과 평행 내지 저각으로 사교하는 벽개면(S1)(Fig. 5a), 부산 편마암체에서의 압쇄면(S1)(Fig. 5b), S1 엽리면에 신장된 광물과 역들의 정향배열에 의해 정의되는 신장선구조(L1)(Fig. 5c), 부산 편마암체의 편마면과 옥천변성암류의 층리면이 습곡되어 형성된 신장선구조 L1과 평행한 습곡축을 갖는 닫힌 납작 타원 형태의 칼집형 습곡(Fig. 5d) 내지 열린 납작 타원 형태의 A-형 동사습곡(Fig. 5e) 등이 있다. 이러한 D1 변형구조는 부산지역의 전영역에서 우세하게 나타난다.

부산 편마암체의 압쇄면의 방향성 변화는 옥천변성암류의 벽개면의 방향성 변화와 일치하고(Fig. 6a), 압쇄면 형성과 관련된 신장선구조의 방향성은 역시 옥천변성암류에서의 신장선구조와 일치한다(Fig. 6b). 이는, 부산 편마암체의 압쇄암화작용은 옥천누층군의 D1 변형과 밀접한 관련성이 있으며(최위찬과 김동학, 1981; Cluzel *et al.*, 1991; Kang, 1994). 부산 편마암체는 압쇄암화작용 이후 옥천누층군과 동일한 변형작용사를 경험하였음을 의미한다. 부산지역에서 S1 엽리면은 부

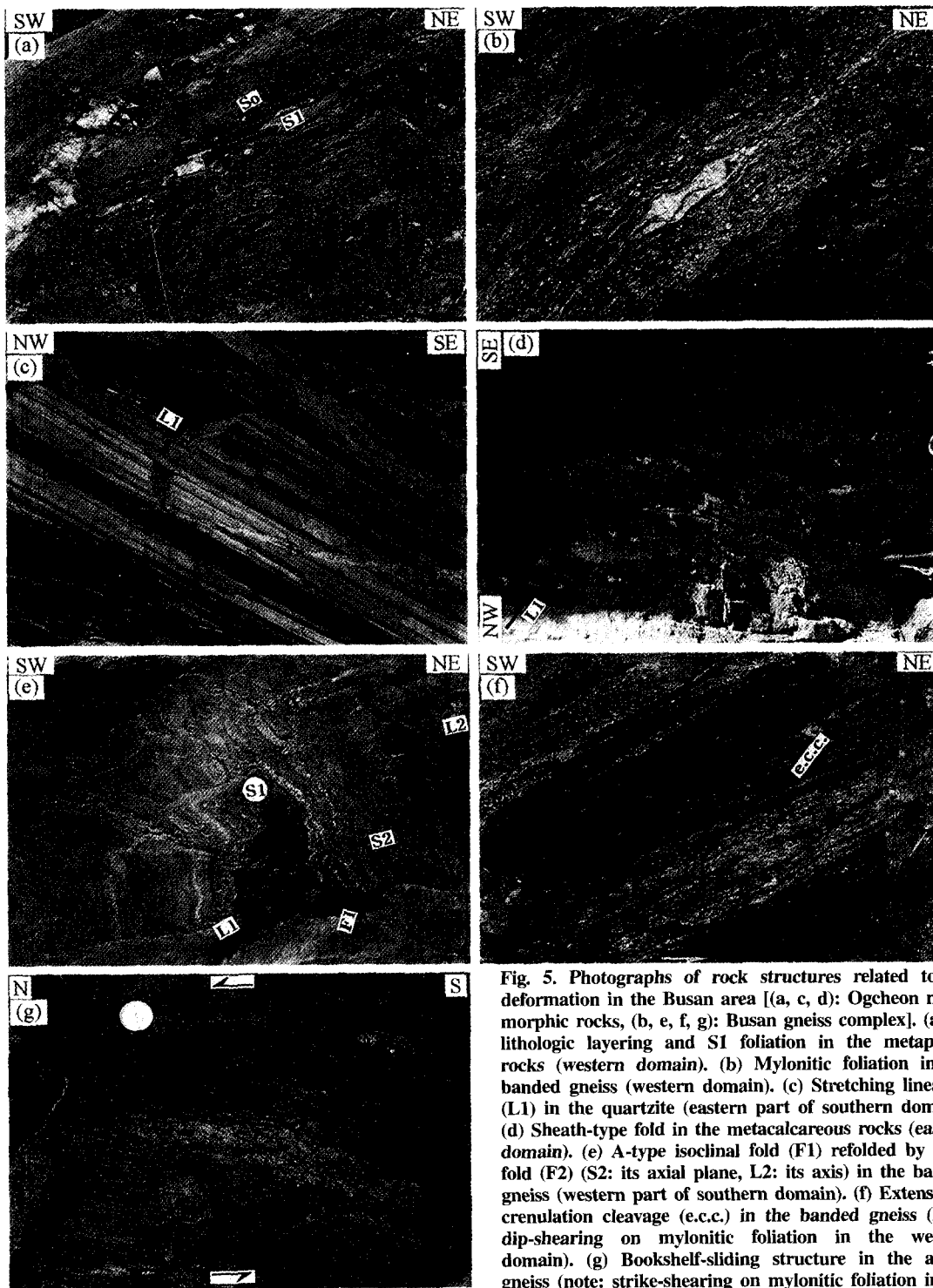
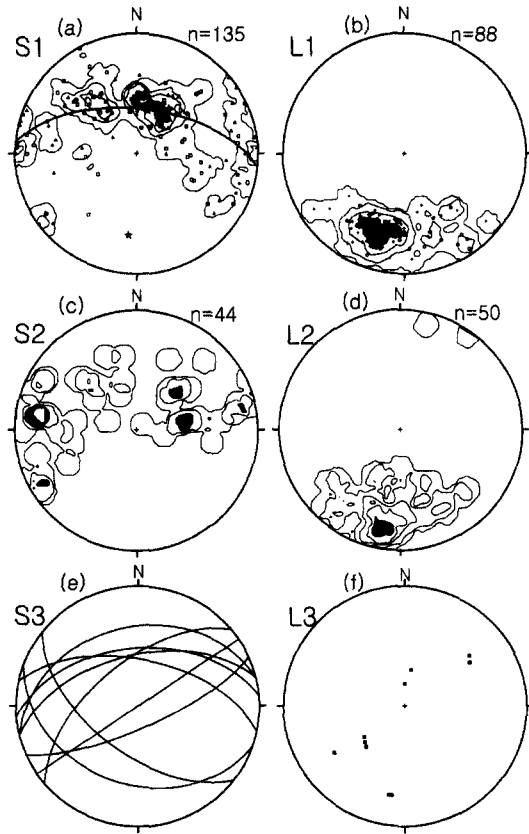


Fig. 5. Photographs of rock structures related to D1 deformation in the Busan area [(a, c, d): Ogcheon metamorphic rocks, (b, e, f, g): Busan gneiss complex]. (a) S0 lithologic layering and S1 foliation in the metapelitic rocks (western domain). (b) Mylonitic foliation in the banded gneiss (western domain). (c) Stretching lineation (L1) in the quartzite (eastern part of southern domain). (d) Sheath-type fold in the metacalcareous rocks (eastern domain). (e) A-type isoclinal fold (F1) refolded by open fold (F2) (S2: its axial plane, L2: its axis) in the banded gneiss (western part of southern domain). (f) Extensional crenulation cleavage (e.c.c.) in the banded gneiss (note: dip-shearing on mylonitic foliation in the western domain). (g) Bookshelf-sliding structure in the augen gneiss (note: strike-shearing on mylonitic foliation in the southern domain).



**Fig. 6.** Stereoplots of structural elements related to D1 (a-b), D2 (c-d) and D3 (e-f) deformations in the Busan area. (a) Poles to S1 foliation (triangles: Busan and Bakdallyeong gneiss complexes, squares: Ogcheon metamorphic rocks, great circle:  $\pi$ -circle, star:  $\pi$ -axis, and contours: 1-3-5-7-9% per 1% of area). (b) L1 lineation (circles: Busan and Bakdallyeong gneiss complexes, crosses: Ogcheon metamorphic rocks, and contours: 1-3-9-15%). (c) Poles to S2 foliation (contours: 1-3-6-9%). (d) L2 lineation (contours: 1-3-6-9-15%). (e) S3 foliation. (f) L3 lineation. Equal-area, lower-hemisphere projection.

산 편마암체 서부 영역의 대상분포 방향과 일치하는 서북서 주향에 남쪽으로 경사하는 집중된 방향성을 보인다. 분산된 이들의 극점 배열은 25-35°/180-200° 방향의  $\pi$ -축을 갖는 하나의 탁월한  $\pi$ -원을 형성한다(Fig. 6a). 신장선구조 L1은 30-40°/180-210° 방향에 집중되어 나타나고(Fig. 6b), L1의 우세한 방향성은 후술할 L2 파랑선구조의 방향성과 거의 일치한다.

신장선구조에 평행하고 S1 엽리면에 수직한 단면상에서는 신장선구조가 연성전단변형과 관련되어 형성된 증거들과 연성전단변형 동안의 전단운동감각을 지시하

는 증거들이 부산 편마암체와 옥천변성암류에서 일반적으로 관찰된다. 대표적인 전단운동감각 지시자들로서는 형 비대칭 압영구조(Simpson and Schmid, 1983), 책시링 미끄럼구조(Malavieille, 1989), 신장성 파랑엽리(Platt and Vissers, 1980) 등이 있다(Figs. 5f and 5g).

**D2 변형:** S1 엽리면과 F1 습곡을 재습곡시키는 F2 습곡은 동서 압축작용에 의해 형성된 남북 방향의 비대칭 습곡형태로 나타난다. F2 습곡은 변형강도에 좌우되어 개방형(Figs. 5e and 7c) 내지 밀착형(Figs. 7d and 7e) 등으로 인지되고, S1 엽리면이 주름져 형성된 파랑습곡을 수반한다(Fig. 7a). F2 파랑습곡의 축에 해당하는 L2 파랑선구조는 L1 신장선구조와 평행 내지 저각으로 사교하는 관계(Fig. 7b)로 이들 구조요소를 야외에서 구분하기 위해서는 매우 신중한 관찰이 요구된다.

F2 습곡축면에 해당하는 S2 엽리면은 주로 남북 주향에 동서 방향으로 경사하는 집중된 방향성과 부분적으로 북동 내지 북서 주향에 남쪽 방향으로 경사하는 분산된 방향성을 보인다(Fig. 6c). F2 습곡축에 해당하는 L2 선구조는 20-30°/180-200° 방향에 집중된 방향성을 보인다(Fig. 6d). 이러한 L2 선구조의 집중된 방향성은 S1 엽리면의 극점 배열로부터 인지된  $\pi$ -축의 방향성과 일치한다(Fig. 6a). 이는, 부산지역에서의 S1 엽리면은 주로 20-30°/180-200° 방향의 습곡축을 갖는 F2 습곡작용에 의해 재배열 내지 분산되었음을 의미한다.

F2 습곡작용에 의한 D1 변형 구조요소의 자세 변화는 노두규모에서 다음과 같이 인지된다(Figs. 7c-7e). F2 습곡의 축부에서 S1 엽리면의 방향성은 S1 엽리면의 집중된 방향성(Fig. 6a)과 일치하는 동서 주향에 남쪽 경사를 보이며 S2 엽리면과 고각으로 사교한다. L1 선구조는 L2 선구조와 거의 평행한 남북 선주향에 S1 엽리면의 경사 방향으로 침강한다. F2 습곡의 날개부에서 S1 엽리면의 방향성은 S1 엽리면의 분산된 방향성(Fig. 6a)과 일치하는 남북 주향에 동서 경사를 보이며 S2 엽리면과 거의 평행하게 나타난다. L1 선구조는 L2 선구조와 거의 평행한 남북 선주향에 S1 엽리면의 주향 방향으로 침강한다.

**D3 변형:** S1 엽리면과 F2 습곡을 재습곡시키는 F3 습곡은 남북 압축작용에 의해 형성된 동서 방향의 공역성 키크 및 개방습곡으로 나타난다(Fig. 8). F3 습곡축면에 해당하는 S3 엽리면은 일반적으로 동서 주향에 남북 방향으로 중각 경사를 보인다(Fig. 6e). F3 습곡축에 해당하는 L3 선구조는 북동과 남서 선주향에 중각 내지 고각으로 침강한다(Fig. 6f). 그리고 F3 습곡은 F2 습곡이 보다 개방형으로 나타나고 S1 엽리면이

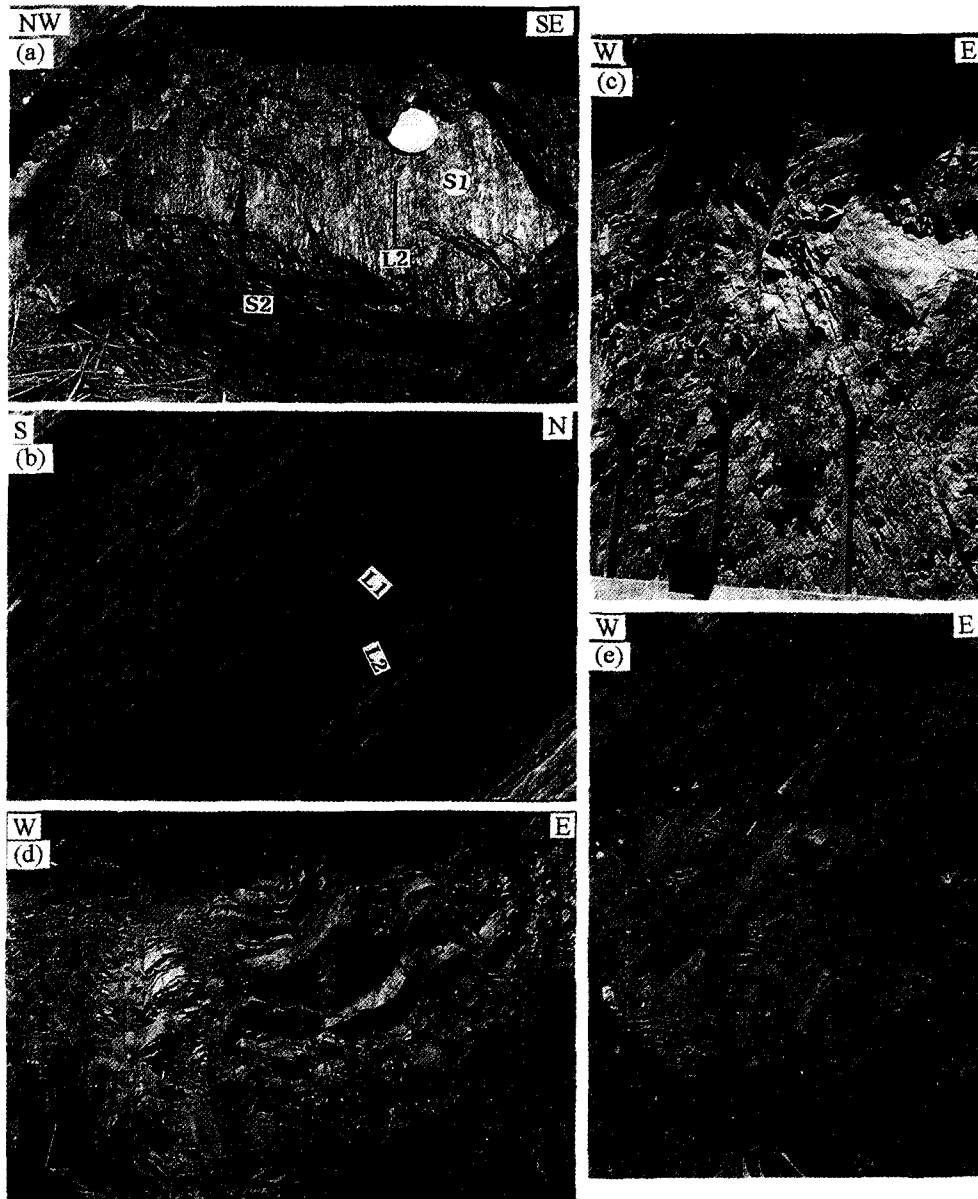


Fig. 7. Photographs of rock structures related to D2 deformation in the Busan area [(a, b, d, e): Ogcheon metamorphic rocks, (c): Busan gneiss complex]. (a) Crenulation cleavage (S2) and crenulation lineation (L2) overlapped on the S1 foliation of the metapelitic rocks (western domain). (b) Intersecting relation of stretching lineation (L1) and crenulation lineation (L2) in the metapelitic rocks. (c) F2 open fold in the metapsammite gneisses (western part of southern domain). (d-e) F2 tight fold in the quartzites (eastern part of southern domain).

동서 방향을 보이는 서부보다는 F2 습곡이 보다 밀착형으로 나타나고 S1 엽리면이 남북 방향을 보이는 동부에서 우세하게 나타난다.

F3 습곡작용에 의한 D2 변형 구조요소의 자세 변화

는 노두규모에서 다음과 같이 인지된다(Fig. 8). F3 습곡의 축부에서 S2 엽리면의 방향성은 S2 엽리면의 집중된 방향성(Fig. 6c)과 일치하는 남북 주향에 동서 경사를 보이고 L2 선구조는 남쪽으로 침강한다. 반면에

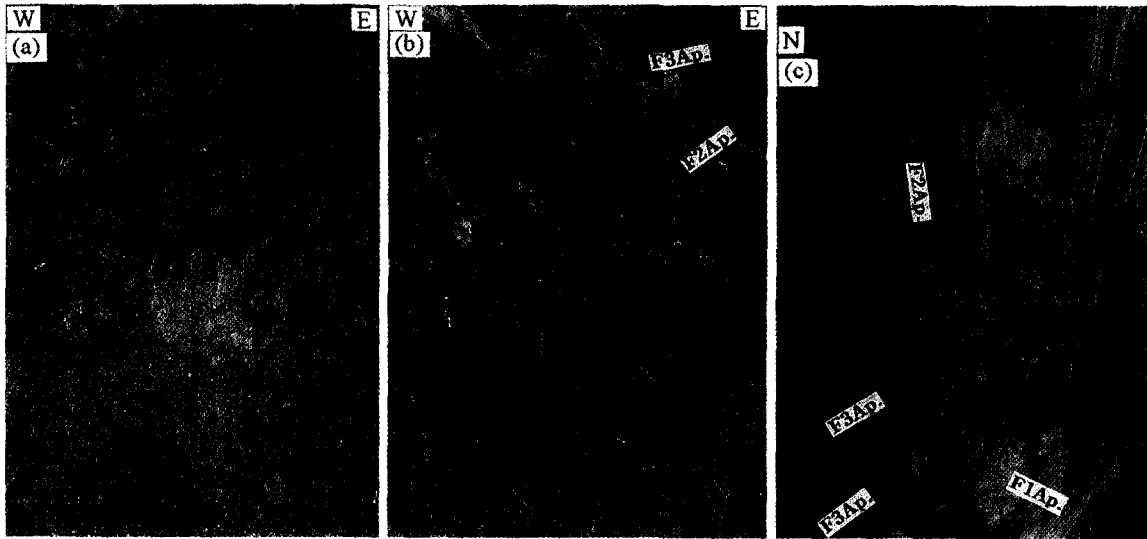


Fig. 8. Photographs of rock structures related to D3 deformation in the Ogcheon metamorphic rocks of Busan area. (a) F3 kink fold in the metapelitic rocks (eastern domain). (b-c) F3 open fold refolding F2 tight fold in the metacalcareous rocks (eastern part of southern domain) (F1Ap., F2Ap., and F3Ap. are the axial planes of F1, F2, and F3 folds, respectively).

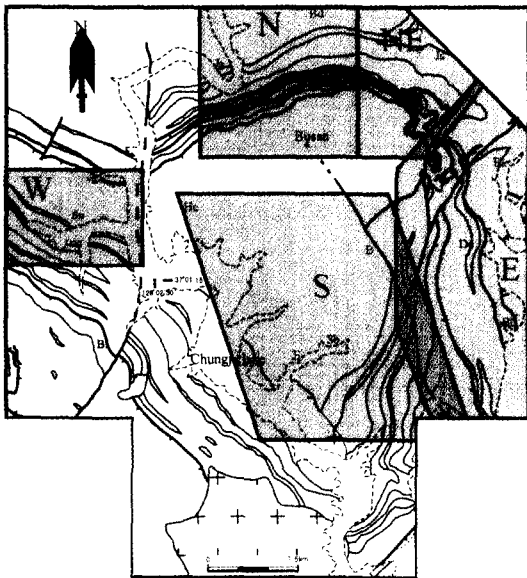


Fig. 9. Diagram of the division of structural domains in the Busan area. W: western domain (Fig. 10), S: southern domain (Fig. 11), E: eastern domain (Fig. 12), N: northern domain (Fig. 13), NE: northeastern domain (Fig. 14).

F3 습곡의 날개부에서 S2 엽리면의 방향성은 S2 엽리면의 분산된 방향성(Fig. 6c)과 일치하는 북동 내지 북서 주향에 동서 경사를 보이고 L2 선구조는 남동쪽 내

지 남서쪽으로 침강한다. 이는, 부산지역에서 S2 엽리면의 집중된 방향성은 D3 변형 이전의 S2 엽리면의 방향성이었음을 의미하고 남북 방향의 S2 엽리면은 남북 압축에 의한 F3 습곡작용에 의해 북동 내지 북서 방향으로 재배열되었음을 지시한다.

**변형단계별 구조요소의 영역별 방향성과 발달정도**

부산 편마암체의 형상과 주요 취성 단층들을 경계로 부산지역은 5개의 구조영역으로 구분된다(Fig. 9). 일정한 폭과 서북서 방향의 대상분포를 보이는 서부 영역(손리 일대), 동쪽으로 갈수록 부산 편마암체의 폭이 점차적으로 증가하고 남쪽으로 향해 볼록한 췌기형을 하고 있는 남부 영역(하천리-지리 일대), 서쪽으로 향해 오목한 췌기형을 하고 있는 동부 영역(백석-단돈리-방흥리 일대), 북동 방향으로 볼록한 췌기형을 하고 있는 북동부 영역(장선리 일대), 서쪽으로 갈수록 부산 편마암체의 폭이 점차적으로 감소하고 동북동 방향의 대상분포를 보이는 북부 영역(방대-정암 일대). 전술된 D1-D3 변형 구조요소의 영역별 방향성과 상대적인 발달정도는 다음과 같다.

**서부 영역:** S1 엽리면은 탁월한 엽리면으로 인지된다(Figs. 5a and 5b). L1 선구조는 S1 엽리면의 경사 방향으로 발달하고 L1에 평행하고 S1에 수직인 단면상에서는 경사-이동의 전단운동을 지시하는 구조요소들이 빈번히 관찰된다(Fig. 5f). S2 엽리면은 S1 엽리



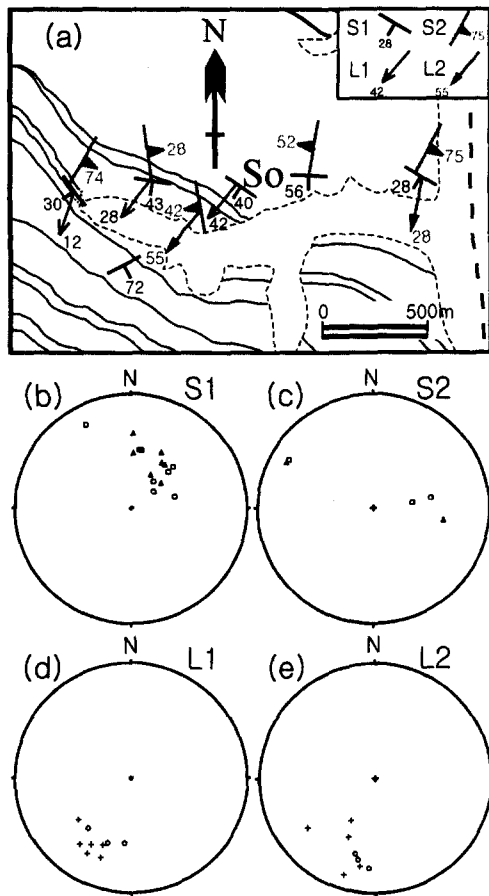


Fig. 10. Orientation (a) and stereoplots (equal-area, lower-hemisphere projections) (b-d) of D1-D2 structural elements in the western domain of Busan area. Triangles and circles: Busan gneiss complex. Squares and crosses: Ogcheon metamorphic rocks.

면과 고각으로 사교한다(Fig. 7a). F2 습곡은 개방형으로 더물게 나타나며, F3 습곡은 거의 관찰되지 않는다. S1 엽리면의 방향성은 주로 동서 내지 서북서 주향에 남쪽 경사를 보인다(Figs. 10a and 10b). S2 엽리면의 방향성은 주로 남북 주향에 동서 경사를 보인다(Figs. 10a and 10c). L1 선구조(Fig. 10d)와 L2 선구조(Fig. 10e)는 거의 평행한 방향성을 보이며 S1 엽리면의 경사 방향에 가까운 남남서 방향으로 침강한다(Fig. 10a). 서부 영역에서 D1 변형과 D2 변형 구조요소의 방향성(Fig. 10)은 부산지역에서 D1 변형과 D2 변형 구조요소의 집중된 방향성과 일치한다(Fig. 6). 이는, 부산지역 서부 영역에서 D1 변형은 강력하였으나, 동서 압축의 D2 변형과 남북 압축의 D3 변형은 각

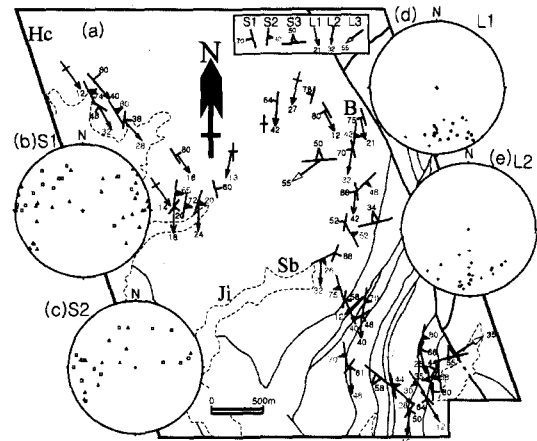


Fig. 11. Orientation of D1-D3 structural elements (a) and stereoplots (equal-area, lower-hemisphere projections) of D1-D2 structural elements (b-d) in the southern domain of Busan area. Triangles and circles: Busan gneiss complex. Squares and crosses: Ogcheon metamorphic rocks.

각 S1 엽리면과 S2 엽리면을 분산시킬 정도로 강력하지 못하였음을 지시한다.

**남부 영역:** F1 습곡은 매우 밀착된 등사습곡 형태로 나타난다(Fig. 5e). L1 선구조는 S1 엽리면의 주향 방향으로 발달하고 L1에 평행하고 S1에 수직인 단면상에서는 주향-이동의 전단운동을 지시하는 구조요소가 빈번히 관찰된다(Fig. 5g). F2 습곡은 남부 영역의 서부에 해당하는 하천리 일대에서는 개방형(Figs. 5e and 7c)으로 나타나는 반면에 남부 영역의 동부에 해당하는 지리 일대에서는 밀착형(Figs. 7d and 7e)으로 빈번히 관찰된다. L1 선구조와 L2 선구조의 유사한 방향성과 탁월하게 발달된 S1 엽리면과 S2 엽리면의 중첩구조로 인해 남부 영역의 동부에서의 구조암은 거의 L-구조암으로 나타난다(Fig. 5c). F3 습곡은 F2 습곡이 밀착형으로 나타나는 남부 영역의 동부(Figs. 8b and 8c)에서 빈번히 관찰된다(Fig. 11a). 이는, 부산지역 남부 영역에서 D1 변형은 역시 우세하였으며, D2 변형과 D3 변형의 강도는 하천리 일대에서 부산 편마암체가 남향으로 블록한 췌기형을 하고 있는 지리 일대로 갈수록 증대하였음을 지시한다.

S1 엽리면과 S2 엽리면은 고각으로 사교하는 서부 영역과 달리 거의 평행한 방향성을 보여주며(Fig. 11a) 남북 주향에 동서 경사, 북동 내지 북서 주향에 남쪽 경사, 동서 주향에 남쪽 경사 등 다소 분산된 방향성을 보여준다(Figs. 11b and 11c). L1 선구조(Fig. 11d)와 L2 선구조(Fig. 11e)는 S1 엽리면과 S2 엽리면의

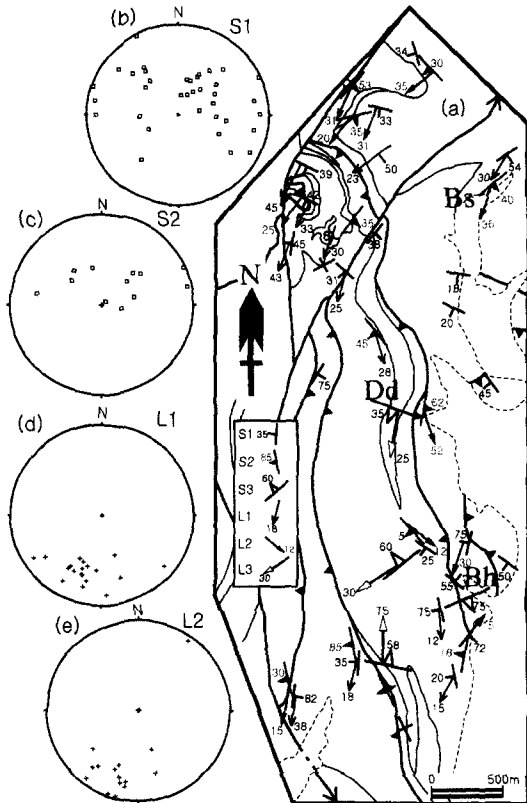


Fig. 12. Orientation of D1-D3 structural elements (a) and stereoplots (equal-area, lower-hemisphere projections) of D1-D2 structural elements (b-d) in the eastern domain of Busan area.

거의 주향 방향에 해당하는 남남서 방향에서 남남동 방향으로 침강한다(Fig. 11a). D1 변형 구조요소의 방향성(Figs. 11b and 11d)은 부산지역 전영역에서 도시된 D1 변형 구조요소의 분산된 방향영역(Figs. 6a and 6b)과 일치하고, D2 변형 구조요소의 방향성(Figs. 11c and 11e)은 부산지역 전영역에서 D2 변형 구조요소의 방향성(Figs. 6c and 6d)과 일치한다. 이는, 부산지역 남부 영역에서 동서 압축의 D2 변형은 S1 엽리면을 재배열시킬 정도로 강력하였으며, 동서 압축에 의해 형성된 남북 방향의 S2 엽리면은 남북 압축과 관련된 D3 변형에 의해 부분적으로 재배열되었음을 의미한다.

**동부 영역:** 옥천변성암류로 구성된 동부 영역에서 F1 습곡은 열린 납작 타원 형태의 A-형 등사습곡 내지 닫힌 납작 타원 형태의 칼집형 습곡으로 빈번히 관찰된다(Fig. 5d). F2 습곡의 발달정도는 남부 영역의 동부와 거의 유사하며, F3 습곡은 빈번히 관찰된다(Fig. 12a).

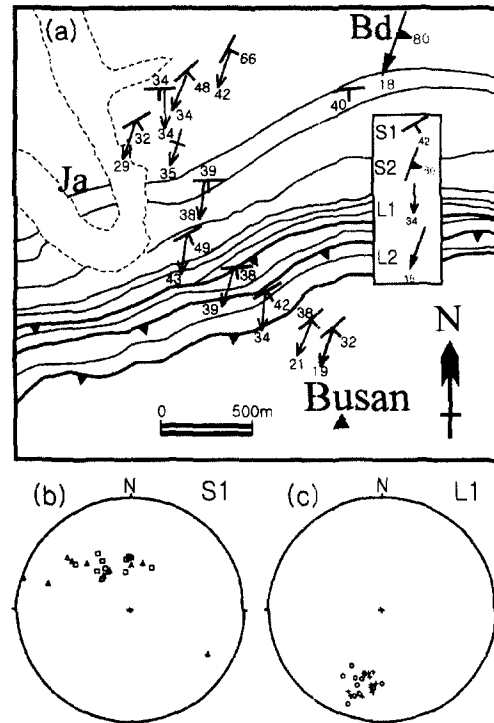


Fig. 13. Orientation of D1-D2 structural elements (a) and stereoplots (equal-area, lower-hemisphere projections) of D1 structural elements (b-c) in the northern domain of Busan area. Triangles and circles: Busan and Bakdallyeong gneiss complexes. Squares and crosses: Ogcheon metamorphic rocks.

S1 엽리면과 S2 엽리면은 남부 영역과 같이 거의 평행한 방향성을 보여준다(Fig. 12a). L1 선구조와 L2 선구조는 역시 거의 평행한 방향성을 보이며 남남서에서 남남동 방향으로 침강한다(Figs. 12a, 12d and 12e). S1 엽리면은 남북 주향에 동서 경사와 북서, 북동, 동서 주향에 남쪽 경사를 보이며 매우 분산되어 있다. 동부 영역에서 이러한 S1 엽리면의 방향성은 부산지역 전영역에서 S1 엽리면의 방향성과 일치한다(Figs. 6a and 12a). S2 엽리면은 북동과 남서 주향에 남쪽으로 경사하는 방향성을 보이는데, 이러한 S2 엽리면의 방향성은 부산지역 전영역에서 도시된 S2 엽리면의 분산된 방향영역과 일치한다(Figs. 6c and 12c). 이는, 부산지역 동부 영역에서 D2 변형은 S1 엽리면을 재배열시킬 정도로 강력하였으며, 동서 압축에 의해 형성된 남북 방향의 S2 엽리면은 남북 압축과 관련된 D3 변형에 의해 재배열되었음을 의미한다.

**북부 영역과 북동부 영역:** 북부 영역에서 S1 엽리면

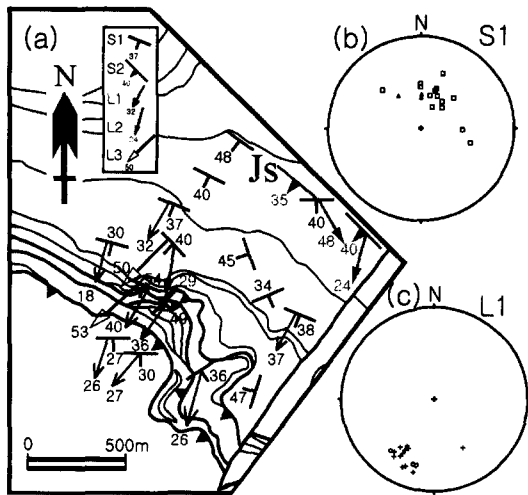


Fig. 14. Orientation of D1-D3 structural elements (a) and stereoplots (equal-area, lower-hemisphere projections) of D1 structural elements (b-c) in the northeastern domain of Busan area. Triangles and circles: Busan and Bakdallyeong gneiss complexes. Squares and crosses: Ogcheon metamorphic rocks.

은 탁월한 엽리면으로 인지되고, F2 습곡은 개방형으로 더물게 관찰된다. S1 엽리면은 부산 편마암체의 북부 경계선의 방향성과 일치하는 동서 내지 동북동 주향에 남쪽으로 경사한다(Figs. 13a and 13b). L1 선구조는 남남서 방향으로 침강하는 집중된 방향성을 보인다(Figs. 13a and 13c).

북동부 영역에서 S1 엽리면은 역시 탁월한 엽리면으로 인지된다. F2 습곡은 개방형 내지 준 밀착형으로써 본 영역의 동부로 갈수록 빈번히 관찰된다. S1 엽리면은 북부에 분포하는 박달령 편마암체의 동쪽 경계선을 중심으로 서부에서는 일정한 방향성을 보이는 반면에 동부에서는 분산된 방향성을 보인다(Fig. 14a). S1 엽리면은 주로 동서 내지 서북서 주향에 남쪽으로 경사하며 부분적으로 남북 주향에 서쪽 경사와 북동 주향에 남쪽 경사를 보인다(Fig. 14b). L1 선구조는 S1 엽리면의 경사 방향에 가까운 남남서 방향으로 침강한다(Fig. 14c).

### 고 찰

#### 변형단계별 지질구조

지금까지 언급된 변형단계별 구조요소들의 영역별 방향성과 발달정도로부터는 부산지역에서 D1 변형은 전영역에서 우세하게 나타남을 알 수 있고, D2 변형과

D3 변형은 부산지역의 서부에서 동부로 갈수록 강력하게 작용하였음을 알게 되었다. 각 변형작용 동안에 형성된 습곡들의 측면엽리 S1 엽리면, S2 엽리면, S3 엽리면에 대한 연결도를 작성하여 변형단계별 구조요소들의 영역별 방향성 변화를 종합적으로 살펴보면 다음과 같다(Fig. 15).

D1 변형에 의해 형성된 S1 엽리면은 부산지역 북부 영역에서 동북동 방향의 일정한 방향성을 보이고, 이러한 일정한 방향성은 부산지역 북동부 영역에서 박달령 편마암체를 경계로 D2 변형에 의해 분산된다. 서부 영역에서 S1 엽리면은 부산 편마암체의 대상분포 방향과 일치하는 서북서 방향의 일정한 방향성을 보인다. 이러한 일정한 방향성은 남부 영역의 하천리에서 동부로 갈수록 부산 편마암체의 폭의 증가와 함께 D2 변형에 의해 분산·재배열되어 지리·사방 일대에서 남북 방향의 S2 엽리면과 거의 평행하게 나타난다. 이러한 S1 엽리면의 방향성 변화와 부산 편마암체의 폭의 변화는 동서 압축의 D2 변형의 결과로 해석되며, 부산지역의 서부에서 동부로 갈수록 부산 편마암체의 폭이 점차적으로 증가함과 서북서 방향의 S1 엽리면의 방향성이 남북 방향으로 점차적으로 변화함은 동서 압축의 F2 습곡의 밀착도(D2 변형강도)의 증가와 밀접한 관련성이 있는 것으로 해석된다. 이는, D2 변형 이전의 S1 엽리면의 방향성과 부산 편마암체의 폭은 D2 변형이 아주 미약한 현재 서부 영역에서의 S1 엽리면의 서북서 방향성과 부산 편마암체의 폭과 일치하였음을 지지하고, 이러한 S1 엽리면의 방향성은 부산지역에서의 S1 엽리면의 집중된 방향성과 일치한다(Fig. 6a).

D2 변형에 의해 형성된 S2 엽리면은 부산지역 북부 영역에서 북북동 방향의 일정한 방향성을 보이고, 이러한 일정한 방향성은 부산지역 북동부 영역에서 박달령 편마암체를 경계로 D3 변형에 의해 북서 내지 북동 방향으로 분산된다. 서부 영역에서 S2 엽리면은 일정한 폭을 갖는 부산 편마암체의 대상분포 방향에 거의 수직하는 북북동 내지 남북 방향의 일정한 방향성을 보인다. 이러한 일정한 방향성은 S1 엽리면이 남북 방향으로 변화하는 남부 영역의 하천리에서 S1 엽리면과 S2 엽리면이 거의 평행하게 나타나는 지리·사방 일대와 동부 영역으로 갈수록 F3 습곡의 산출빈도의 증가와 함께 북서 내지 북동 방향으로 변화한다. 이러한 S2 엽리면의 방향성 변화는 남북 압축의 D3 변형의 결과로 해석되며, 부산지역의 서부에서 동부로 갈수록 남북 압축의 F3 습곡의 산출빈도와 S2 엽리면의 방향성 변화가 현저함은 부산지역의 동부에는 D3 변형 이전의 S1 엽리면과 S2 엽리면이 남북 압축의 D3

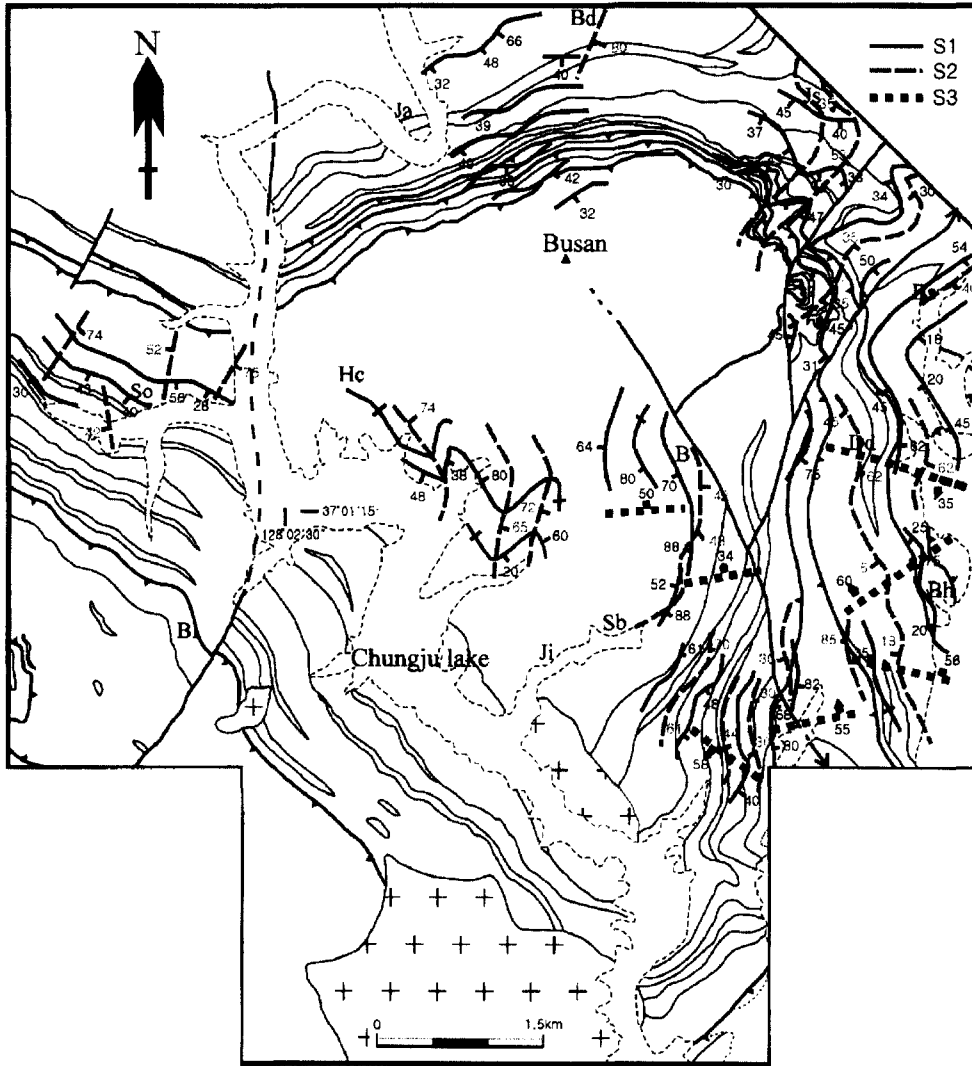


Fig. 15. Trajectories of S1-S3 foliations in the Busan area (based on the data of Fig. 10 to Fig. 14).

변형을 받기에 적합한 남북 방향으로 각각 재배열 내지 탁월하게 발달되어 있었기 때문인 것으로 해석된다.

따라서, 변형단계별 구조요소들의 영역별 방향성 변화를 통한 부산지역 옥천변성대의 변형단계별 지질구조는 다음과 같이 고찰된다. (1) 벽개면, 압쇄면, 신장선 구조, 층리면과 편마면이 습곡되어 형성된 A-형 등시습곡과 칼집형 습곡 형성과 관련된 부산지역의 D1 변형은 북북동-남남서 방향의 압축작용으로 인지되고, 집중된 L1 신장선구조의 방향성(Fig. 6b)으로부터 D1 변형 작용 동안의 북북동-남남서의 운동방향이 인지된다. D1 변형 이후, 부산 편마암체는 현재의 서부 영역과 같이

일정한 폭을 갖고 서북서 방향의 대상분포를 보였으며, S1 엽리면은 동서 내지 서북서 주향에 남쪽으로 경사하였다. (2) S1 엽리면과 F1 습곡을 재습곡시키는 남북 방향의 개방형 내지 밀착형 비대칭 습곡 형성과 관련된 D2 변형은 동서 내지 서북서 방향의 압축작용으로 인지된다. 부산지역에서 D2 변형 강도는 서부에서 동부로 갈수록 증가하고, 이러한 D2 변형작용은 서부에서 동부로 갈수록 부산 편마암체의 폭을 증가시켰다. (3) S2 엽리면과 F2 습곡을 재습곡시키는 동서 방향의 킹크 및 개방습곡 형성과 관련된 D3 변형은 남북 방향의 압축작용으로 인지되고, 부산지역에서 D3 변형

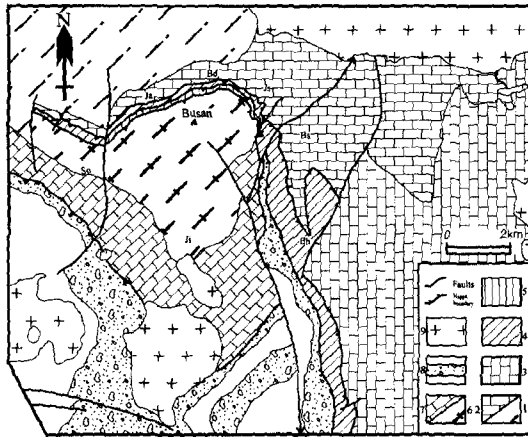


Fig. 16. Geological units of the Ogcheon metamorphic zone in the Busan area and its extension in the eastern and southern areas [based on the data of Lee and Park (1965), Kim *et al.* (1967), Kang(1994)]. 1-2: Bakdallyeong gneiss complex (1) and its cover rocks (2), 3: Joseon supergroup, 4: Sanjeoteo nappe, 5: Busan-II nappe, 6-7: Busan-I nappe [Busan gneiss complex (6) and its cover rocks (7)], 8: Chungju nappe, 9: Mesozoic granites.

의 영향은 S1 엽리면과 S2 엽리면이 남북 방향성을 보이는 동부 영역으로 갈수록 크게 나타난다.

**하트상 부산 편마암체의 혈상**

채천(김기완 외, 1967)과 황강리(이민성과 박봉순,

1965) 도폭자료와 충주-장선리 지역의 연구결과(Kang, 1994) 그리고 본 연구결과를 바탕으로 부산지역의 남부 및 동부의 연장지역에 대한 지구조단위 구분도를 작성해 보면 Fig. 16과 같다. 북부와 서부에는 보다 변형받기 어려운 박달령 편마암체가 분포하고, 동부에는 그의 덮개암류와 접이적인 관계를 보이며 보다 변형받기 쉬운 탄산염질암으로 주로 구성된 영월형 조선누층군(Reedman and Um, 1975)이 광범위하게 분포한다. 중앙부와 남부에는 하트상 부산 편마암체와 덮개암류 그리고 옥천누층군으로 구성된 4개의 지구조단위가 발달한다. Cluzel *et al.*(1990, 1991)의 보은 지구조단위와 이화령 지구조단위를 구분하는 경계단층은 활형으로 발달하고 있다. 본 연구결과, 부산지역을 포함한 연장 지역에서 4개의 지구조단위 분포와 부산 편마암체의 하트상 분포는 상기된 부산지역의 변형단계별 지질구조와 밀접한 관련성이 있다. 이러한 관련성을 모식도로 작성하여 설명하면 다음과 같다.

(1) D1 변형(Fig. 17a): 북북동-남남서 방향의 압축작용과 관련되어 박달령 편마암체와 덮개암류 그리고 조선누층군을 구조적 최하위 지질체로 하여 부산 편마암체와 덮개암류 그리고 옥천누층군으로 구성된 산지터, 부산-II, 부산-I, 충주 등 4개의 지구조단위들의 형성기이다. D1 변형 이후 이들 4개 지구조단위와 부산 편마암체는 현재 부산 편마암체의 서부와 같은 일정한 폭을 갖고 서북서 방향의 대상분포를 보이는 형상이었으며 S1 엽리면은 현재 옥천변성대의 일반적인 북동-

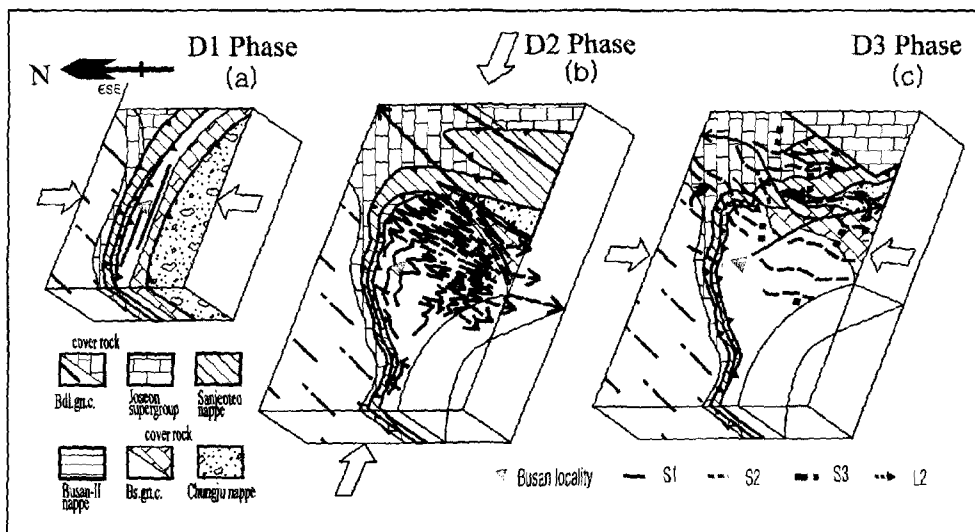


Fig. 17. Schematic diagram illustrating the deformation history of the constituent rocks in the Busan area and its extension in the eastern and southern areas.

남서 방향성과 달리하는 동서 내지 서북서 방향성을 보였다.

(2) D2 변형(Fig. 17b): 부산 및 박달령 편마암체를 포함한 부산지역 4개의 지구조단위들이 동서 내지 서북서-동남동 방향의 압축작용과 관련하여 동서-수축과 남북-신장을 경험하는 변형단계이다. D2 변형 이전 부산 편마암체 주변부의 물성 차이[서부와 북부: 박달령 편마암체(강체), 남부: 옥천누층군(비강체), 동부: 조선누층군(약체)](Figs. 1 and 16)로 인해 부산 편마암체의 남부와 동부는 북부와 서부보다 동서-압축작용과 관련된 F2 습곡작용으로 매우 심한 동서-수축과정과 남북-신장과정을 경험하게 된다. 그 결과, 부산 편마암체의 폭은 서부에서 동부로 갈수록 증가하게 되었고, 서부에서 동부로 그리고 북부에서 남부로 갈수록 보다 밀착된 F2 습곡이 형성되었다. 남부와 동부에서 이러한 밀착된 F2 습곡작용은 동서 주향에 남쪽으로 경사하는 D2 변형 이전의 S1 엽리면을 S2 엽리면과 거의 평행한 남북-주향에 동서-경사로 재배열시켰다. 그 결과, 부산 편마암체의 북부와 서부에서는 동서 방향의 엽리면이 남부와 동부에서는 남북 방향의 엽리면이 각각 우세하게 나타나게 되었다. Cluzel *et al.*(1990, 1991)의 경계단층은 동서 수축과정이 상당히 진행되는 과정에서 발달한 것으로 추정된다.

(3) D3 변형(Fig. 17c): 남북 압축작용과 관련된 동서 방향의 킹크 및 개방습곡 형성기이다. D3 변형은 D2 변형에 의해 S1 엽리면이 남북 방향으로 재배열되어 있고 남북 방향의 S2 엽리면이 탁월하게 발달된 동부와 남부에 우세하게 작용하였다. 동부와 남부의 지구조단위들은 남북 압축의 수용으로 동서 방향의 킹크 및 개방습곡을 형성하게 된다. D2 변형에 의해 형성된 부산 편마암체의 남서향 볼록 췌기형의 남부 영역(지리-사방 일대)과 박달령 편마암체를 경계로 동부에 발달한 북동향 볼록 췌기형의 북동부 영역(장선리 일대)은 남북 압축의 D3 변형에 의해 부분적으로 상대적인 회전을 경험하게 된다. 그 결과, 동부 영역(백석-단돈리-방흥리 일대)에는 서쪽으로 향해 오목해지는 췌기형이 형성하게 된다. Cluzel *et al.*(1990, 1991)의 경계단층은 D3 남북 압축과 관련하여 활형으로 발달한다.

부산지역에서 옥천변성대의 지질구조는 지금까지 다수의 연구자들에 의해 수행된 바가 있다(Reedman *et al.*, 1973; 최위찬과 김동학, 1981; Cluzel *et al.*, 1990, 1991; 임명혁과 장태우, 1993; Kang, 1994). 이들 연구 결과에 따른 부산지역의 지질구조 영역은 다음과 같다: (1) F1 횡와습곡의 상위 날개부와 F2 개방습곡의 향사축부(Reedman *et al.*, 1973), (2) 북동 방향으로 역

전된 F1 습곡의 향사축부로 부산 편마암체가 충상된 기와상 드러스트대(imbricate thrust zone)(최위찬과 김동학, 1981), (3) 옥천열곡분지의 단힘운동(D1-2 변형)과 관련되어 형성된 보은 지구조단위내에 F3 습곡과 F4 습곡의 간섭구조로 형성된 부산 편마암체 도움영역(Cluzel *et al.*, 1990, 1991), (4) F1 등사습곡에 의한 옥천누층군의 최하부층인 A층(부산 편마암체의 덮개암류)의 반복영역과 대규모 F2 습곡의 배사축부(임명혁과 장태우, 1993).

본 연구결과, 부산지역을 포함한 연장지역에서 지구조단위들의 분포와 서부 영역(손리 일대)을 서쪽 꼬리로 하고 동쪽으로 누운 하트 모양의 부산 편마암체의 형상은 부산지역의 D1-D3 변형작용과 밀접한 연관성이 있음을 알 수 있었다(Figs. 16 and 17). 이러한 변형단계별 지질구조 발달사는 기존 연구결과와 비교되며, 부산 편마암체의 이러한 하트상 지구구조모델은 부산 편마암체의 도움상 지구구조모델(Cluzel *et al.*, 1991)과 근본적으로 해석을 달리한다.

## 결 론

부산 편마암체와 이를 둘러싸고 있는 옥천변성암류에 대한 변형단계별 구조요소들의 영역별 방향성 변화와 상대적인 발달정도로부터 부산지역에서 옥천변성대의 지질구조는 적어도 세 번의 변형단계[(1) 북북동-남남서 방향의 압축작용과 관련된 D1 변형, (2) 동서 내지 서북서-동남동 방향의 차별적 압축작용과 관련된 D2 변형, (3) 남북 방향의 압축작용과 관련된 D3 변형]를 거쳐 형성되었음을 알게 되었다. 이러한 세 번의 변형작용은 부산지역에서의 지구조단위 분포와 서부 영역(손리 일대)을 꼬리로 하고 북동부 영역(장선리 일대)과 남부 영역(지리-사방 일대)을 각각 북동향과 남향의 볼록췌기형으로 하며 동부 영역(백석-단돈리-방흥리 일대)을 서향의 오목췌기형으로 하는 동쪽으로 누운 하트상의 부산 편마암체의 분포와 밀접한 관련성이 있다. 본 연구결과와 부산지역의 남쪽 연장부에 해당하는 황강리지역과 동쪽 연장부에 해당하는 영월형 조선누층군 분포지에서 옥천대의 지구조 발달과정을 해석하는데 매우 유용하게 활용될 것으로 기대된다.

## 사 사

본 연구는 1998년도 한국과학재단 특정기초연구(96-0703-07-01-3)에 의해 수행되었다. 본 논문의 심사를 맡아 유익한 의견과 의미있는 지적을 해 주신 부산대학

교 지질학과 손문 박사님과 익명의 심사자님께 깊은 감사를 드린다. 실내작업에서 안동대학교 구조지질학 실험실 이철규와 정현국 대학원생의 도움이 있었다. 이에 고마움을 표한다.

### 참고문헌

- 김기완, 박봉순, 이흥규, 1967, 한국지질도(1:50,000) 제천도폭 및 설명서. 국립지질조사소, 46p.
- 나기창, 1987, 옥천대 북동변에 분포하는 부산혼성편마암에 대한 암석학적 연구. 광산지질, 20, 235-246.
- 이민성, 박봉순, 1965, 한국지질도(1:50,000) 황강리도폭 및 설명서. 국립지질조사소, 43p.
- 임명혁, 장태우, 1993, 북동부 옥천구조대 부산지역의 지질 구조 및 변형작용사. 지질학회지, 29, 540-550.
- 최위찬, 김동학, 1981, 옥천지향사대 종합연구(I) (옥천대 동북부를 중심으로 하여). 한국동력자원연구소 조사연구보고, 11, 19-43.
- Cluzel, D., Cadet, J.P. and Lapierre, H., 1990, Geodynamics of Ogcheon belt (South Korea). Tectonophysics, 183, 41-56.
- Cluzel, D., Jolivet, L. and Cadet, J.P., 1991, Early middle Paleozoic intraplate orogeny in the Ogcheon belt (S. Korea): a new insight on the Paleozoic buildup of east Asia. Tectonics, 10, 1130-1151.
- Kang, J.H. 1994, Geological structure and tectonics of the Ogcheon zone in the Chungju-Jangseonri area, South Korea. J. Sci. Hiroshima Univ. Series C, 10, 11-23.
- Lee, D.S., 1987, Geology of Korea. Geol. Soc. Korea, Kyo-haksa, Seoul, 514p.
- Malavieille, J., 1987, Kinematics of compressional and extensional ductile shearing deformation in a metamorphic core complex of the northeastern Basin Range. J. Struct. Geol., 9, 541-554.
- Platt, J.P. and Vissers, R.L.M., 1980, Extensional structures in anisotropic rocks. J. Struct. Geol., 2, 397-410.
- Reedman, A.J., Fletcher, C.J.N., Evans, R.B., Workman, D.R., Yoon, K.S., Rhyu, H.S., Jeon, S.H. and Park, J.N., 1973, Geological, geophysical and geochemical investigations in the Hwanggangri area, Chungcheongbukdo. Geol. Min. Inst. Korea, Rept. Geol. Min. Explor., 1, pt2, 1-119.
- Reedman, A.J. and Um, S.H., 1975, The geology of Korea. Geol. Min. Inst. Korea, 139p.
- Sagong, H. and Kwon, S.T., 1998, Pb-Pb age and uplift history of the Busan gneiss complex in the Okchon Belt, Korea: a comparison with the Bagdalryeong gneiss complex in the Kyongki Massif. Geoscience J., 2, 99-106.
- Simpson, C. and Schmid, S., 1983, An evaluation of criteria to deduce the sense of movement in sheared rocks. Bull. Geol. Soc. Am., 94, 1281-1288.

(2001년 6월 18일 접수, 2001년 8월 14일 게재승인)