

彦陽地域 梁山斷層 附近 斷裂의 幾何 分析

장태우* · 장천중** · 김영기*

The Geometric Analysis of Fractures near the Yangsan Fault in Eonyang Area

Tae Woo Chang*, Chun Joong Chang** and Young Ki Kim*

ABSTRACT: Lineaments in the Kyungsang basin most intensely develop in the East coast domain including the Yangsan fault, which dominantly run in NNE direction. The geometry of small fault population near or along the Yangsan fault represents the dominant strikes of N35E, high angle dips and shallowly plunging rakes with dextral movement sense. Stereographic solution on the Yangsan fault geometry gives the dip of 88SE, the slip direction of 17,024 and the slip rake of 18, which were determined from the strike (N23E) of the fault measured on map, and the average attitude (N35E, 84SE) and fault striation (16, 037) of small fault population considered as Riedel shears. It is judged from the geometry of small fault population to the main Yangsan fault and dragging features of bedding attitude near the fault that the Yangsan fault was produced from dextrally strike-slip movement.

The movement of the Yangsan and the adjacent parallel faults is thought to be taken place much later than the other fault sets in the Kyungsang basin. It might occur during the geologic age from Eocene to early Miocene according to the consideration of K-Ar ages of the igneous rocks near the fault. The estimated paleostress state indicates ENE shortening and NNW extension. The displacement of the Yangsan fault in the study area is not constant along the fault but decreases from the south to the north. Taking the northern end of the study area as a separating point the whole extension of the Yangsan fault may be divided into southern and northern segments.

序 言

1 : 50,000 圖幅地質調査와 더불어 梁山斷層은 梁山圖幅 조사시에 李旼成과 姜必鍾 (1964)에 의해 명명되었으며 남쪽으론 東萊, 加德圖幅에 이르고 북쪽으론 彦陽, 毛良, 杞溪圖幅으로 연장됨이 알려지게 되었다. 이보다도 훨씬 앞서 立岩巖 (1929)은 慶州圖幅地質 설명서 현재의 梁山斷層을 따른 線狀溪谷에 대해 큰 斷層일 가능성을 시사한 바 있다. 梁山斷層의 북쪽연장은 清河圖幅 부터는 地形的인 表出이 현저하지 않으므로 圖幅調査者들에 의해서는 언급이 없으나 金鐘煥의 (1976), 元鍾寬의 (1978), Kang (1979), 金鐘烈 (1988), Chang et al. (1990) 등에 의해서는 盈德地方으로까지 연장되는 것으로 보고하고 있다. 梁山斷層에 대한 地球物理探查는 1980년대에 들어와서 많이

이루어져 斷層의 확인, 斷層과쇄대의 幅, 風化岩의 깊이 등이 推定되어 梁山斷層의 實體를 밝히는 데 기여하였다 (Lee, et al., 1984; Kim and Lee, 1987; Kim and Lee, 1988; Lee et al., 1986).

梁山斷層의 運動性質에 대해서는 走向移動運動의 產物이라는 주장 (嚴相鎬外, 1983; Sillitoe, 1977; Lee et al., 1986)과 傾斜移動 運動의 產物이란 주장 (李旼成과 姜必鍾, 1964; 李倫鐘과 李仁基, 1972; 孫致武외, 1985; 崔現日과 朴官淳, 1985; 金鐘烈, 1988)이 있다. 走向移動 運動으로 생각하는 사람들은 공히 右手向 移動으로 統一된 見解를 보이나, 傾斜移動運動으로 보는 이들은 斷層을 境界로 東側地塊가 下落하고 西側地塊가 上昇했다는 견해와 그 반대인 견해를 보이고 있다.

上記와 같이 梁山斷層의 運動性質에 대해서 의견이 다양한 것은 이들 견해의 소지자들이 단순히 平面的인 地質分布 狀況에만 근거하여 斷層 運動의 性質을 언급한 데서 기인하는 것 같다. 本 研究에서는 순수 구조지질학적 측면에서 彦陽-慶州 사이에서 梁山斷層에 수반되어 발달된 二次斷裂 (혹은 剪斷斷裂)을 중심으로 幾何分析을 통해

* 경북대학교 자연과학대학 지질학과 (Department of Geology, Kyungpook National University, Taegu 702-701, Korea)

** 한국 원자력 연구소 지반공학실 (Geotechnical Engineering Department, Korea Atomic Energy Research Institute, P.O.Box 7, Taeduk-Danji, Taejeon 305-606, Korea)

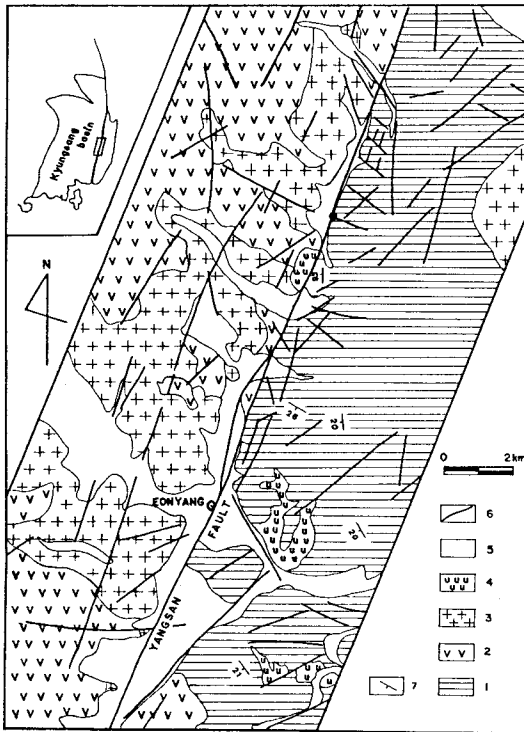


Fig. 1. Geologic map of study area. 1; Hayang Group, 2; Yucheon Group, 3; Bulgooksa plutonic rocks, 4; dike rocks, 5; alluvium, 6; faults and lineaments, and 7; strike and dip direction of bedding plane. A closed circle along Yangsan fault marks 43 outcrop locality.

斷層運動에 관련된 문제들을 풀어보고자 한다. 이와같은 시도는梁山斷層이大斷層으로서 넓은斷層帶를 형성하고 있고 단층대의破砕物質들은 쉽게 침식되어 계곡을 형성하고 있어 단층면을 직접 관찰하기가 거의 어렵기 때문에 바람직한 접근 방법일 수 있을 것이다.

地 質

梁山斷層이 통과하는 全地域을 두고 볼 때 (國立地質鑛物研究所, 1:250,000 地質圖) 이斷層은白堊紀의諸岩層(河陽層群, 榆川層群, 佛國寺貫入岩群) 分布地域에서 이들을切斷하며發達하고 있는 데本調査研究地域에서도 마찬가지로 세層群이斷層에 의해切斷되며附近地質을 형성하고 있다 (Fig. 1).

이地域에서河陽層群은梁山斷層東部に分布하며斷層에서 먼 곳에서는綠色, 灰色, 綠灰色, 褐色의砂岩 및 실트스톤이優勢하게分布되고斷層接觸部에서는赤色, 綠色, 灰色의세일, 실트스톤, 砂岩이 풍부히分布되고

있다. 이들의 대체적인走向은北西方向을 기리키고 15° 내외의南西傾斜를 보여준다. 그러나斷層附近에선走向이斷層에 거의平行하게配向하며傾斜도急해서南西向으로線傾斜(plunge)하는非對稱褶曲을形成한다. 이地域의河陽層群은李倫鐘과李仁基(1972), 金南長의(1971)에 의해서는大邱層으로 기재되어 있으나崔現日의(1980) 및嚴相鎬의(1983)에 의해서는泗淵里層으로命名되어 鎮東層을除外한河陽層群에對比하였다.張旻重(1986)은泗淵里層의下部層員은松內洞層에上部層員은採藥山層에 각각對比된다고 하였다.

榆川層群은 주로梁山斷層西部에分布하며火山角礫岩, 레필리凝灰岩, 凝灰岩, 非顯晶質의 치밀安山岩, 斑狀安山岩 등으로構成된다. 凝灰質岩類는 모두安山岩質岩의岩片을多量含有한다. 花崗岩質岩接觸部에서榆川層群은곳에 따라熱變成作用 및 硅化作用을 받았다.

佛國寺貫入岩類도 주로梁山斷層西部에分布하며河陽層群과榆川層群의岩層을貫入하여 그接觸部를 따라熱變成作用을 수반하였다. 本岩類는 주로黑雲母花崗岩으로 이루어지나斑狀花崗岩, 花崗閃綠岩, 花崗斑岩의岩相을形成하기도 한다. 李倫鐘(1976)에 의한本岩類의 K-Ar 年代測定結果는本域에 포함되는試料로서梁山斷層에 매우 가까운本域北쪽仁甫里花崗閃綠岩이 63 m.y., 彦陽邑火藏山石英斑岩이 62 m.y.를 각각 보여주고 있으며梁山斷層東便岩株狀의泥田里花崗閃綠岩이 87 m.y.를 나타냄으로서 이들이後期白堊紀 내지古第三期初의貫入產物임을 지시한다.

梁山斷層은前述한河陽層群, 榆川層群, 佛國寺貫入岩類가斷裂破砕되어 이루어진斷層비지(fault gouge) (Marrett and Allmendinger (1990)의 정의를 따름) 가 넓은斷層帶를 채우고 있다. 이러한斷層帶를 따라侵蝕이活發이 이루어진 데 연유하여斷層線溪谷(fault-line valley) 이形成되었고沖積層이 이를 피복하여 여러종류의 지질 조사에서推定斷層으로 기재된 경우가 많았다. 그러나本域에서는 비교적斷層溪谷이狹小함에 따라斷層帶의露頭가 왕왕觀察된다. 斷層帶에서斷層비지를 구성하는岩片의 크기는周邊部에서中心을 향해減少하고 모양은 보다 rounded 해지는 경향을 보인다.

線狀構造 (Lineaments)

慶尚盆地的線狀構造

먼저慶尚盆地와 선캠브리아기 및 쥐라기의 기반암과의境界가線狀構造를 이룬다는 점이다 (Fig. 2). 慶尚盆地

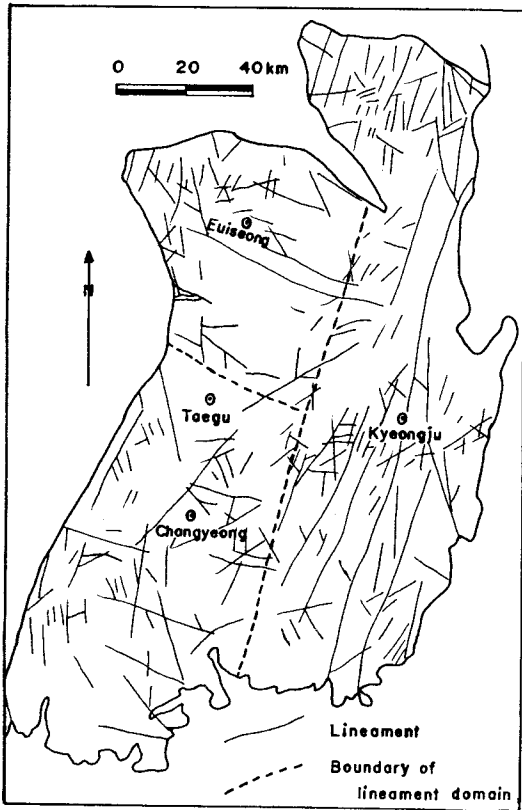


Fig. 2. Lineament map of Kyungsang basin (from Kang, 1979).

北側境界인 安東附近과 日月山附近 N70W의 線狀構造는 安東斷層과 日月山斷層으로서 基盤岩이 慶尙累層群 堆積岩을 衝上하고 있는 경우이다. 이에 반해 慶尙盆地 西側境界는 尚州-倭館사이의 N25W 方向과 倭館-南海 사이에서 N25E 方向의 선상구조로 이루어지는데 이들은 아마도 慶尙盆地 發達과 關聯된 古期 斷層일 可能性을 시사한다. 盆地內의 線狀構造는 얼핏보아도 NNE方向이 優勢한 것으로 보이는 데 이를 統計的으로 分析하여 보면 N10~30E에 가장 집중되고 이방향 線上構造들의 전체 길이도 다른 方向에 비해 월등히 긴 것들임을 알 수 있다 (Fig. 3). 이에 비해 다른 방향의 것들은 優勢方向이 현저하지 않은 편이다. 그러나 慶尙盆地 전체의 線狀構造分布를 線狀構造圖에서 자세히 들여다 보면 地域別로 地質分布와 關聯하여 다른 配向性을 보임을 알 수 있다. 義城領域과 昌寧領域은 東海岸領域에 비해 楡川層群의 火山岩類와 佛國寺貫入岩類가 많이 分布하지 않으며 義城領域과 昌寧領域은 八公山線을 境界로 한다. 義城領域의 線狀構造는 八公山線과 安東斷層에 거의 平行한 N60~70W 方向이 가장 優勢하고

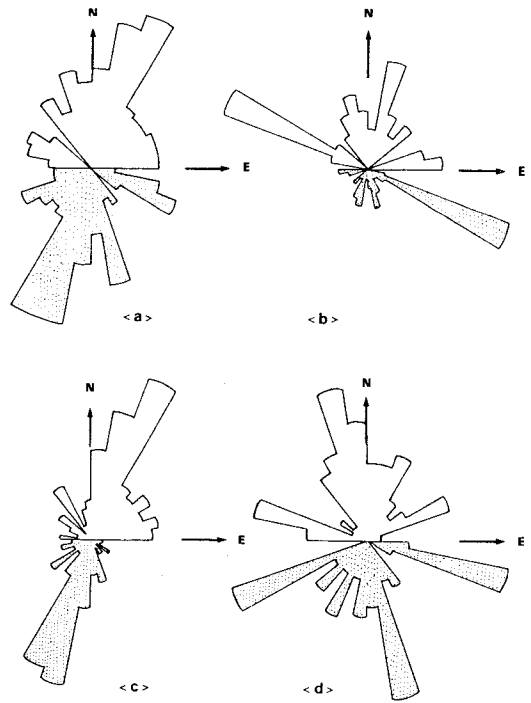


Fig. 3. Rose diagrams of lineaments recognized in the Kyungsang basin. Lower half represents total length of lineaments in each direction. (a); Whole area, (b); Euisong domain, (c); East coast domain, and (d); Changyeong domain.

그 길이도 긴 것들이다. 그의 N10~30E와 N00~30W의 것들은 빈도도 낮고 소규모의 것들이다. 昌寧領域의 線狀構造들은 N00~30W의 것들이 가장 優勢하고 N60~70E와 N70~80W의 것들도 比較的 현저히 발달되며 N10~30E는 미약한 편이다. 앞 두 領域에 비해 海岸에 接해 있고 慶尙盆地 最上部 地層 및 火山岩類가 풍부한 東海岸領域은 앞의 두 領域의 線狀構造들의 配向과는 현저히 다른데 N00~30E가 壓倒的으로 優勢하고 기타의 方向은 아주 微弱한 發達頻도를 보여준다. 이렇게 볼 때 義城領域과 昌寧領域은 각각의 優勢方向들이 頻度の 차이는 있을지라도 서로 類似한 配向을 보이는 경향이 있다. 또 兩者의 優勢方向들을 結合하면 N00~30W와 N60~80W의 것들이 가장 優勢方向이 되는데, 이 두 조의 優勢方向 線狀構造들 중에는 成人的 (應力場 및 發達時期 등)으로 密接히 關聯되어 있을 可能性이 있다. 즉 양자는 共軛 관계의 단 얼들일 수도 있다. 그러나 東海岸領域은 前記 兩 領域의 優勢方向들이 조금도 인지되지 않고 (Fig. 3c) 앞의 두 領域에 비해 優勢方向이 다르고 훨씬 강렬하다. 이 方向의 線狀構造들은 다른 조의 優勢構造들을 切斷하는 形態를

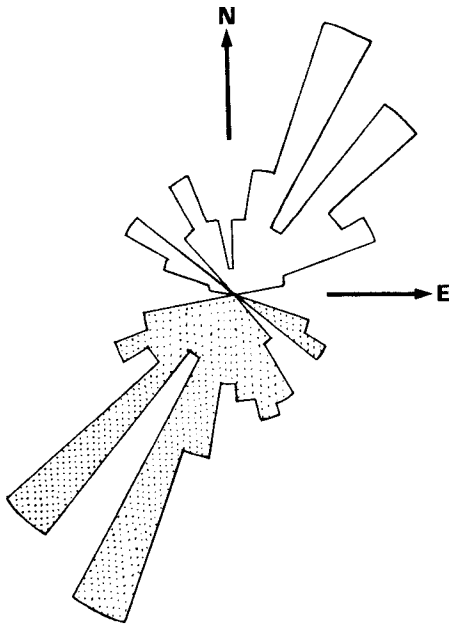


Fig. 4. Rose diagram of lineaments in the study area.

보이며 여기엔梁山斷層 이외에도毛良斷層, 密陽斷層, 東萊斷層 등의 큰 단층들이 포함된다. 그리고 野外調査를 통해서나 既發刊된 地質圖를 參考할 때 慶尙盆地 地層의 斷裂 및 斷層作用은 盆地의 西側에 비해 東側에서 심하게 일어났음을 알 수 있다. 이러한 사실들을 두고 볼 때 東海岸 地域의 線狀構造들은 대개 內陸領域의 것들에 비해 後期에 東海의 發達과 密接히 수반되어진 것들로 생각할 수 있다.

本域의 線狀構造

本域의 線狀構造 判讀은 航空寫眞을 이용하여 이루어졌다. 線狀構造圖 (Fig. 4)를 보면 알 수 있는 바와 같이 가장 優勢方向은 N20~30E를 가리키고 이 方向 線狀構造들의 전체 길이도 다른 方向에 비해 가장 길다. 여기에 포함될梁山斷層의 거대 線狀構造는 Fig. 4에 포함되어 있지 않다. 그러니까 이 線狀構造들은 前記 人工衛星映像을 이용한 慶尙盆地 線狀構造圖 (Fig. 2)엔 判讀되어 수록될 수 없을 정도의 小規模의 것들이다. 이 方向은 慶尙盆地 線狀構造 分析에서 本域이 包含된 東海岸 領域의 가장 優勢方向과 일치한다.梁山斷層에 平行한 이 方向의 線狀構造들은 火成岩類가 주로 分布하는梁山斷層 西側에서 많이 觀察된다. N20~30E 다음으로 優勢한 方向은 N40~70E 方向으로梁山斷層 東側 堆積岩 分布地域에 더 많이

發達되는 경향이 있다.梁山斷層에 平行한 線狀構造들을 除外한 NE方向의 線狀構造들 중에는梁山斷層운동에 수반되어 發達한 각종 二次 斷裂 혹은 Riedel剪斷斷裂들이 포함되어 있을 것으로 생각된다.

小斷層群의 幾何

梁山斷層은 거의 대부분 破碎物質로 이루어진 斷層帶를 形成하고 있기 때문에 主 斷層面의 觀察이 아주 어렵다. 그럼으로 본 研究에서는 斷層運動에 關聯된 情報를 수집 解釋하기 위해 野外調査를 斷層帶를 基準으로 兩側 약 5 Km이내의 地域에서 수행하여 小規模 (露頭크기)의 각종 斷層 및 斷裂을 약 150여개 測定하였다. 각 斷層의 測定은 斷層의 자세와 斷層條線의 配向을 包含하고, 斷層移動의 感覺은 가능한 範圍에서만 결정되었는데 Angelier et al. (1985) 및 Davis (1984)에 의해 제시된 기준들이 사용되었다.

대부분의 資料들이 下半球 等面積網에 投影되었고 이때 斷層面의 pole과 그 面上 斷層條線을 연결하여 同要素線 (homoelement line) (朴奉淳, 1977)을 그려보았다 (Fig. 5). 그림에서 볼 때 斷層群의 走向은 약 N30E의 높은 優勢方向 하나를 除外하고는 各方位에 대해 走向들이 고르게 分布한다. 斷層群에서 傾斜는 거의 모두 45° 以上이고 70° 以上으로 急한 傾斜를 보이는 斷層도 전체 65% 以上에 달한다. 斷層條線도 斷層의 走向과 마찬가지로 가장 優勢方向 하나가 NE方向으로 알계 線傾斜함을 알 수 있다. 斷層群의 同要素線을 보면 얼핏보아 系列性이 있을 듯 하나 자세히 보면 같은 空間性을 갖는 것들의 묶음이 NE斷層-NE條線의 경우를 除外하고는 뚜렷이 認知되지 않고 전체적으로 立體網 주변에서 多角形을 이룬다. 이와 같은 사실들은 本域의 廣域의 斷層運動이 數회에 걸쳐 일어나 複雜하게 重疊되어 無秩序하게 된 것으로 짐작할 수 있다. 그러나 同要素線 그림으로부터 알 수 있는 한가지 確實한 事實은 測定된 斷層들이 산만한 走向을 보일지라도 이들의 대부분이 走向移動性 運動의 產物이란 점이다. 이러한 사실은 全斷層에 대한 rake 分布를 보더라도 (Fig. 5b) 45° 以下の 斜은 斷層이 70%가 넘는 점으로도 알 수 있다. 이들 분석에서 단층 크기 및 변위량에 따른 weighting은 斷層面의 자세 및 rake 分布에 큰 영향을 주지 않은 것으로 알려져 (Angelier et al., 1985; Frizzel and Zoback, 1987) 고려되지 않았다.

앞에서 살펴볼 때 本域 全域에서 測定한 資料중엔梁山斷層運動과 成人的으로 直接 關係없는 斷層들이 無數히 包含되어 있는 것 같다. 그래서 가급적이면梁山斷層運動

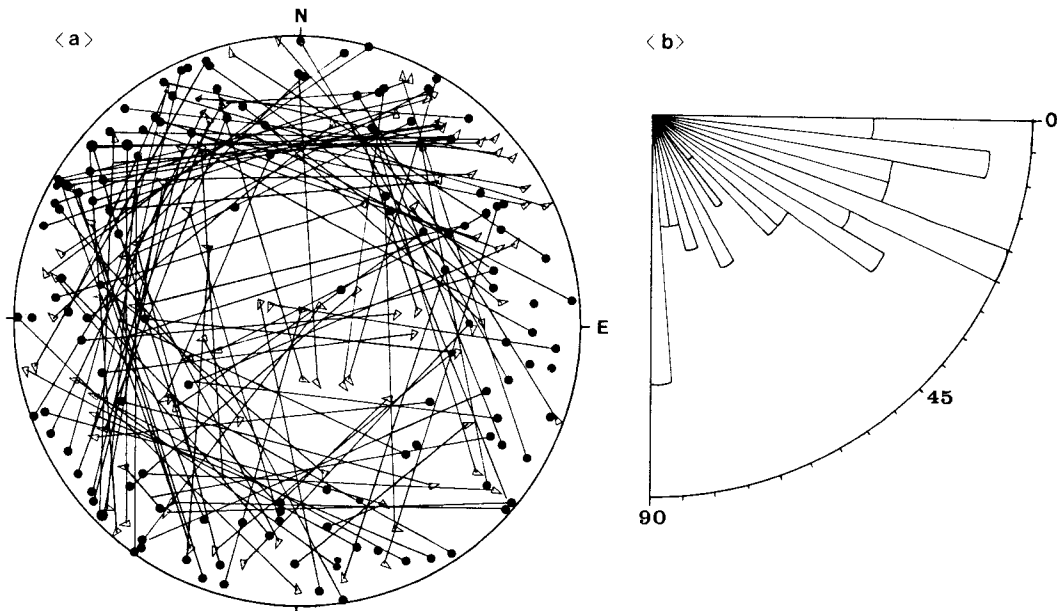


Fig. 5. (a) Homoclement lines for entire faults (n=143) of the study area, connecting pole (closed circle) to fault plane to striation (open triangle) on the plane, which are projected on the lower hemisphere equal area stereonet. (b) Distribution of rakes (n=121) for entire faults.

과 直接 關聯있는 斷層들의 性質을 알아 볼려는 시도로 앞의 資料중 梁山斷層帶내 혹은 斷層 壁岩중에서 測定한 資料만 分離하여 다시 同要素線 그림을 그려보았다 (Fig. 6). 범위를 이렇게 좁게 잡아 고찰해 보는 근거는 이들 小斷層들이 梁山斷層에 수반된 Riedel 剪斷斷裂 및 各種 二次斷裂로 간주할 때 이들의 發達범위는 일반적으로 大斷層에서 그렇게 멀리 연장되어지지 않는다는 점이다. 실제 梁山-蔚山間 도수터널 속을 들어가보면 斷層壁 岩盤이 크게 斷裂되어 있는 범위는 斷層帶 境界에서 약 1Km 以内임을 알 수 있다. 그림에서 同要素線을 보면 Fig. 5a의 NE斷層-NE條線의 묶음만이 현저히 살아있음을 알 수 있고 이는 대부분 梁山斷層 發達과 密接히 關聯된 斷裂들로 생각할 수 있을 것이다. 斷層帶와 壁岩에서 斷層群들의 rake分佈를 보면 45° 이하가 73%를 나타낸다. Rake가 45° 以下인 斷層들과 45° 이상인 斷層들을 보다 자세히 分析하여 보면 (Fig. 7) 45° 以下인 것들의 走向은 NE方向이 壓倒的으로 優勢한 데 N28-43E가 36%로 가장 優勢하고 N53-63E가 그 다음 15%이며, 이들의 傾斜는 매우 急하여 70° 以上인 것이 76%에 해당한다. Rake 45° 以上인 斷層들은 수 (27%)도 적고 집중도도 약한 데 대부분 65° 内外의 傾斜를 나타내며 傾斜移動 斷層들이다. 이번엔 경사를 기준으로 한 rake의 분포를 알아 보면 (Fig. 8) 경사 70° 이상인 것 86%가 45° 이하의 rake를 보이고,

70° 이하 단층들은 45° 이상과 이하의 것들이 반반을 나타낸다. 이점에 대해서는 뒤의 考察에서 재론하게 된다.

이상의 分析은 이 地域 대부분 斷層들에서 rake가 알 으면 경사가 急해지고 그 反對도 성립하는 rake와 傾斜 間엔 相互 反比例 關係를 보여주고 있고 이는 Anderson의 斷層理論을 따르는 것이다. 이들 急傾斜 斷層들은 野外 露頭調査에서 거의 모두 右手 運動 感覺을 보여줌으로서 右手 走向移動 斷層群들이다.

古應力 配向 推定

梁山斷層 運動에 關聯된 主應力 配向을 推定해 보기 위해 Fig. 7에 포함된 資料로서, 斷層帶와 斷層壁의 露頭가 공히 잘 露出된 Fig. 1의 43번 지점에서 13개의 小規模 斷層이 測定되었다. 여기서도 優勢配向이 두群 (N30E와 N60E)으로 나누어질 수 있는 데 이는 Fig. 7의 rake 45° 以下의 走向 그림에서 두 群의 優勢配向과 잘 일치한다. 兩配向은 幾何 및 동일한 右手의 運動感覺을 나타냄을 볼 때 서로 다른 變形 event의 產物로 간주되며 실제 野外 露頭에서 N30E 配向이 N60E 配向을 切斷하고 있는 關係를 認知할 수 있다. 이들 資料들에 의한 應力텐서의 계산은 Angerlier (1990)의 修正프로그램인 direct inversion방법에 의해 이루어졌다. 그 결과 N60E의 것들은 σ_1 :

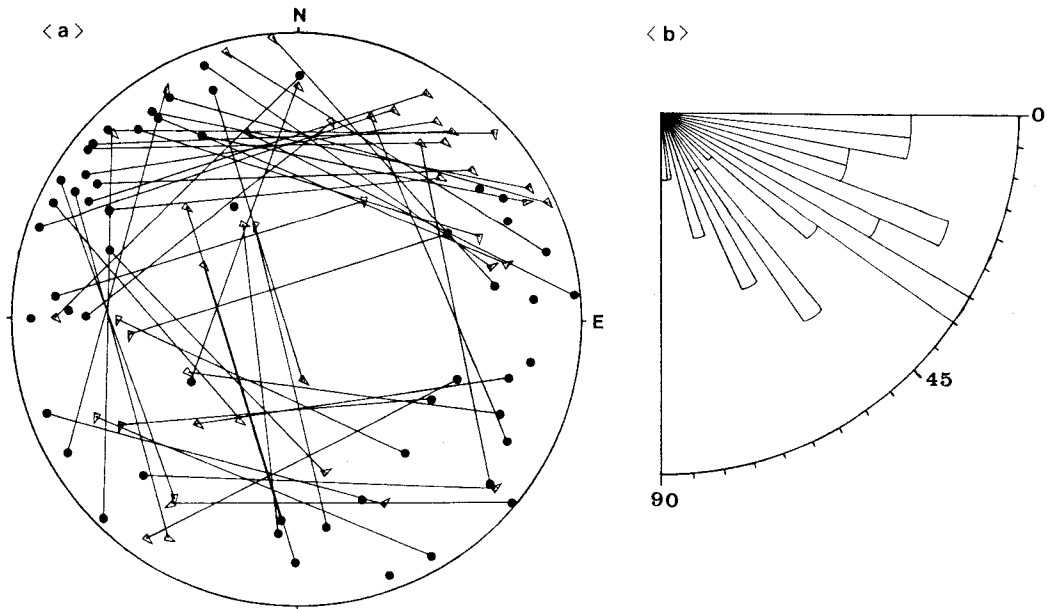


Fig. 6. (a) Homoelement lines for fault data (n=58) collected near or along the Yangsan fault zone. (b) Distribution of rakes (n=45) for the faults.

43,115, σ_2 : 43,268, σ_3 : 14,011를 나타내나, N30E의 것들은 σ_1 : 09,076, σ_2 : 79,289, σ_3 : 09,167로서 전형적인 走向移動 斷層作用의 應力상태를 보여준다. 이경우 前者의 stress regime은 梁山斷層 運動과 直接 關聯없는 前期의 것으로 생각되나 斷層運動이 본격적으로 진행됨에 따라 stress regime은 後者の 狀態로 轉移되었을 것으로 생각된다.

考 察

梁山斷層의 運動性質에 대해서는 序言에서 言及했듯이 크게 보아 走向移動運動이라는 見解와 傾斜移動運動이란 주장이 있다. 本研究에 의하면, 本域에서 平面地質圖에서 測定한 梁山斷層의 走向이 약 N23E를 가리키는 데 각종 斷裂 分析에서 보면 이들의 優勢方向이 항상 N23E의 오른쪽에 있다 (Figs.4, 5, 6, 7). 특히 자세히 分析한 梁山斷層帶내와 壁岩의 斷裂들을 보면 走向의 最大 優勢 方向이 약 N35E로 大斷層과 저각으로 교차하며 이들의 傾斜는 70° 以上으로 急하고 斷層條線의 rake는 얕다. 또 거의 모두 右手 運動 感覺을 나타낸다. 이러한 사실들이 이들이 梁山斷層에 수반되어 發達한 Riedel 剪斷斷裂로 간주함에 무리가 없을 것이며, 梁山斷層은 右手走向移動 運動의 產物이라 判斷 할수 있다. Fig. 1의 43번 露頭地點은 本域중 唯一하게 斷層帶와 斷層壁岩이 接觸하여 露出되어

있는 곳이다 (Fig. 9). Fig. 9의 오른쪽 壁岩에는 典型的인 Riedel 剪斷斷裂이 발달되며 이들은 急한 傾斜에 얕은 rake로 右手運動感覺을 보여 주고 있다. 그러므로 大斷層은 右手走向移動 斷層이 될 수 밖에 없다. 또 層理面의 traces가 斷層 附近에서 屈曲되는 樣相으로부터 Lee et al. (1986)에 의해 右手走向移動斷層으로 해석되기도 있지만 이번 연구에서도 地質에서 언급된 바와 같이 斷層附近에서 層理面의 자세를 잘 追跡해보면 南西向으로 線傾斜하는 非對稱 曳引褶曲을 認知할 수 있는 데 이는 南西向으로 傾斜하는 層理面이 右手走向移動 斷層運動으로 인하여 예인된 결과로 해석되어 진다.

梁山斷層의 走向은 走向移動性 斷層帶의 일반적인 특징으로서 거의 直線의으로 달리는 斷層溪谷을 따라 平面地形圖 및 항공사진에서 쉽게 알아 볼 수 있지만 傾斜는 이 斷層이 大斷層인데다 單一分離面으로 나타나는 것이 아니고 斷層帶를 형성하고 있으며 이를 따라 심한 風化侵蝕으로 露出이 不良하고 Fig. 9처럼 露出이 되더라도 斷層面이 울퉁불퉁하여 傾斜를 測定하기가 어렵다. 그러므로 이 경우엔 直接測定이 아닌 間接的인 方法으로 傾斜를 구할 수 밖에 없는데 이미 地電氣學的 方法으로 傾斜를 推定한 바는 있다 (Kim and Lee, 1988). 本研究에서는 斷層帶의 走向, 斷層帶와 斷層壁에서 測定한 斷裂들의 走向과 傾斜(약 N35E, 84SE) 및 斷層條線 (16.037)을

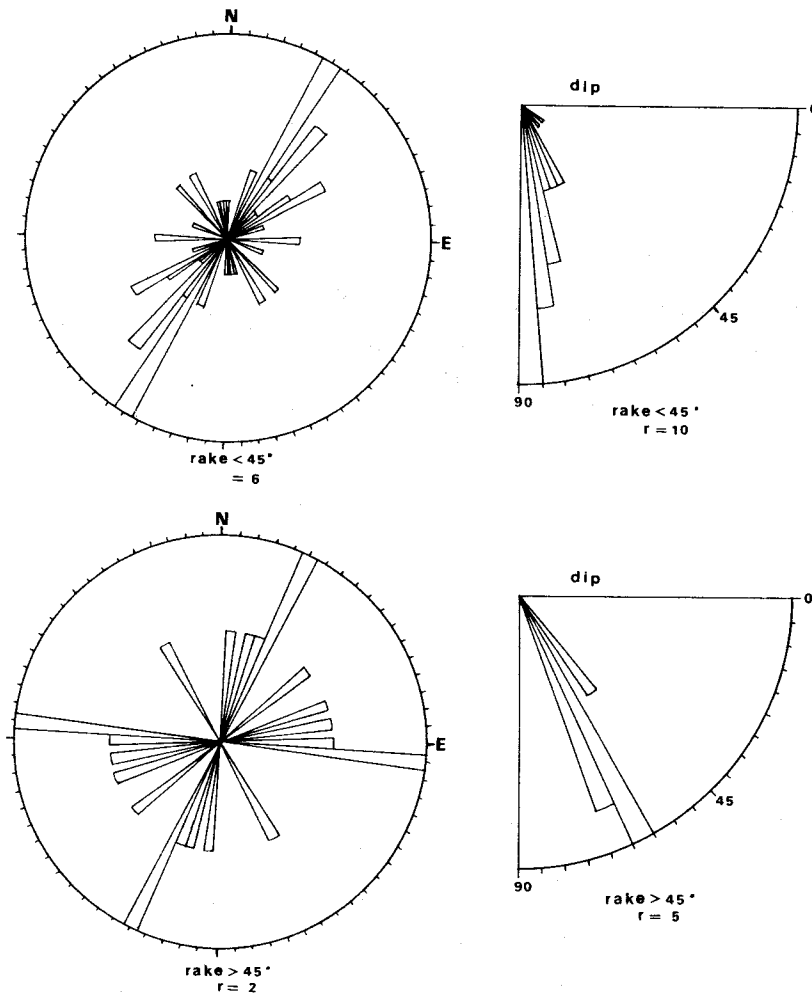


Fig. 7. Distributions of strike and dip for fault data sets ($n=45$) collected near or along the Yangsan fault zone.

가지고, 일반적으로 斷層條線은 主斷層-Riedel 剪斷 交叉線에 수직관계인 점에 착안하여, 等面積網을 利用하여 梁山斷層의 傾斜 (88SE), 斷層條線 (17,024) 및 斷層條線의 rake (18°)를 구하였다 (Fig. 10). 결과적으로 볼 때 보다 嚴密히 말한다면 梁山斷層은 逆移動 變位成分을 少量 내포하는 右手走向移動 斷層이 되는 것이다.

梁山斷層의 運動時期에 대해 考察해보면, 먼저 線狀構造 分析에서 (Figs. 2, 3, 4) 이 斷層이 包含되는 NNE方向이 다른條의 線狀構造들을 切斷하는 경향이 있다. 그리고 Fig. 7의 rake 45° 以下인 斷層들로서 走向이 NW로 산만한 것들은 Fig. 8의 傾斜 70° 以下중 rake 45° 以下인 斷層들인 데 이들은 아마도 傾斜移動 斷層으로 發達하여 走向移動 斷層시 再活動한 것으로 짐작된다. Fig. 7의 rake

45° 以上이며 低傾斜인 斷層과 앞의 낮은 rake이면서 低 傾斜인 斷層들을 묶어 이들 대부분을 傾斜移動 斷層으로 간주한다면, 이들은 高傾斜이면서 낮은 rake를 보이는 斷層들이 NE의 走向分布만을 보이는 데 비해 아주 산만한 走向을 나타낸다. 또 Fig. 8의 高傾斜斷層들은 低傾斜斷層들과는 對照적으로 거의 모두 낮은 rake를 보인다. 그러므로 낮은 rake의 高傾斜斷層 (走向移動斷層)들을 산만한 走向의 경사 이동단층들 보다 後期 產物로 생각할 수 있는 것이다. 高傾斜의 NE斷層들 중에서도 梁山斷層 發達과 直接關聯있는 N35E의 斷層들이 앞에서 언급한 것처럼 더 후기이다. 이러한 사실들을 綜合할 때 梁山斷層 및 이 계열의 斷層運動이 慶尙盆地에서 다른 계열들에 비해 相對적으로 아주 後期에 일어난 것으로 생각해 볼 수 있다.

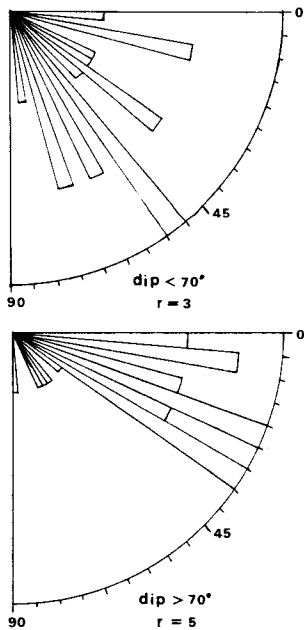


Fig. 8. Distributions of rakes (n=45) with respect to fault dips collected near or along the Yangsan fault zone.

斷層運動의 絶對的인 時期는 斷層運動에 수반하여 생성된 物質의 年代測定이 이루어지지 않은 關係로 확실히 언급할 수 없으나 斷層周邊 岩石에 대한 既 測定 資料로 考察해 보기로 한다. 梁山斷層에 의해 切斷되는 岩石으로 朱砂山 安山岩이 65 m.y. (陳明植 등, 1988), 本域의 仁甫里 花崗閃綠岩이 63 m.y. (李倫鐘, 1976), 毛良圖幅域 慶州 南山花崗岩體가 약 54 m.y. (陳明植 등, 1989), Chang et al. (1990)에 의해 梁山斷層에 의해 切斷된다고 주장되는 지경동 火山岩類가 약 47 m.y. (진명식 등, 1988)를 각각 보여준다. 또 月城 原子力 2호기 安全性 分析 報告書에 의하면 第三紀 地層의 基盤岩이고 第三紀에 比해 極甚히 斷裂되어져 있는 佛國寺 花崗岩 및 石英安山岩이 50 m.y. 와 52 m.y.의 年代값을 각각 보여주고 있다. 이와 같은 資料를 토대로 할 때 梁山斷層 運動을 包含하는 東海岸 지대의 심한 地殼攪亂은 第三紀의 埃奧신으로부터 마이오신初 (마이오신 地層 堆積 以前)의 地質時代동안 가장 활발히 일어난 것으로 판단된다.

梁山斷層의 變位量에 대해서 嚴相鎬等 (1983)은 25 km, Chang et al. (1990)에 의해서는 35 km 등으로 주장되고 있는 데 斷層의 變位量은 全體 연장선상에서 지점에 따라 일정하지 않고 斷層의 tip을 향해 減少하는 경향을 갖는다. 일반적으로 斷層帶에서 그 幅에 대한 變位の 比는 60~70 정도인 것으로 알려져 있다 (Marrett and Allmendinger,



Fig. 9. Contact between fault zone and wall rock on the 43 outcrop locality of Fig. 1 at the eastern margin of Yangsan fault in the study area, showing dextral movement sense with Riedel shear.

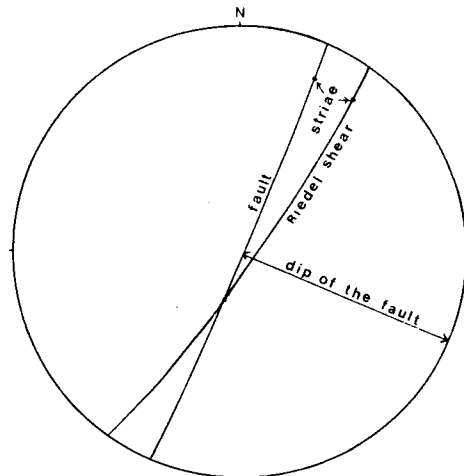


Fig. 10. Determination of the attitude of Yangsan fault from that of minor fault population.

1989). 이와 같은 사실에 입각할 때 本域 43번 露頭 附近 梁山斷層의 變位量은 약 15 km, 斷層帶의 幅이 比較的

일정한 1:50,000 梁山地質圖 地域이 약 30 km로 推算된다. 그러나 斷層帶의 幅도 斷層面上 垂直應力의 크기, 岩石의 굳기, 破碎作用의 性質 등에 규제되기도 한다 (Marrrett and Allmendinger, 1989). 梁山斷層의 전체 연장선 상에서 볼 때 斷層帶의 幅은 洛東江 河口에서 本域을 향해 減少하여 本域 北端에서 약 50 m 以下로 줄어든다. 그리고 그 北쪽 毛良, 慶州, 杞溪圖幅에선 다시 그幅이 넓은 듯 하며 浦項 清河圖幅으로 北進하면서 다시 減少하는 것 같다. 이와같은 事實은 앞으로 계속 研究되어야 겠지만 本域 北端을 境界로 그 南쪽과 北쪽의 區間이 서로 다른 分節 (segment)로 고려되어야 할 것으로 생각된다.

結 論

1. 慶尚盆地의 線狀構造는 東海岸領域이 가장 강렬하게 發達되고 梁山斷層이 포함되는 NNE가 현저한 優勢方向이다.
2. 梁山斷層 周邊 小斷層群의 幾何는 走向이 N35E가 가장 優勢하며 이들의 傾斜는 急하고 rake는 알다. 또 右手의 運動感覺을 보여준다.
3. 小斷層群의 幾何 및 梁山斷層 周邊 層理面의 예인 등으로 볼 때 梁山斷層은 右手 走向移動 斷層 運動의 產物이다.
4. 本域 梁山斷層의 平面地質圖에서 測定한 走向 (N23E) 과 上記 小斷層群의 자세 (N35E, 84SE) 및 斷層條線 (16, 037)을 利用하여 구한 梁山斷層의 傾斜는 88SE, slip 方向은 17,024, slip rake가 18°를 각각 보여주었다.
5. 慶尚盆地에서 梁山斷層 및 이계열의 斷層 運動은 다른 계열들에 비해 相對적으로 매우 后期에 일어난 것으로 볼 수 있으며, 周邊 岩石의 絶對 연령값을 利用하여 考察해 본 活動時期는 第三紀의 에오신으로부터 마이오신初 (즉 제 3기 地層 堆積以前)의 지질시대 동안인 것으로 판단된다.
6. 梁山斷層 運動時의 古應力場은 대략 $\sigma_1 : 09,076$, $\sigma_2 : 79,289$, $\sigma_3 : 09,167$ 의 應力상태였던 것으로 推定된다.
7. 梁山斷層의 變位量은 全體 延長線上에서 볼 때 지점에 따라 일정하지 않으며, 本域 北端을 境界로 그 南쪽과 北쪽의 구간이 서로 다른 分節 (segment)로 고려되어야 할 것으로 생각된다.

사 사

본 연구는 教育部의 대학부설 기초과학연구소 1991년도 학술연구조성비(BSRI-91-502)로 이루어졌으며 이에 감사

드리고, 자료처리를 도와 준 이미경 학사에게도 감사한다.

參考文獻

金南長, 陳明植, 權英一 (1971) 韓國地質圖 毛良圖幅 (1:50,000). 國立地質 調查所.
 金鐘烈 (1988) 梁山斷層의 產狀 및 運動史에 關한 研究. 釜山大學院 博士學位論文.
 金鐘煥, 姜必鐘, 林正雄 (1976) Landsat-1 映像에 의한 嶺南地域 地質 構造와 鑛床과의 關係研究. 地質學會誌, 12권, p. 79-89.
 朴奉淳 (1977) 小斷層群의 한 投影方法에 의한 廣域의 變位像의 解釋. 伏賢 地質, 3호, p. 21-23.
 孫致武, 鄭昌熙, 金鳳均, 李高萬 (1968) 中生代의 地殼變動 火成活動 및 鑛化作用의 時期에 關한 研究. 科學技術處.
 嚴相鎬, 崔現日, 孫晉澤, 吳在鎬, 郭英勳, 辛性天, 尹顯秀 (1983) 慶尚盆地의 慶尚梁層群에 대한 地質 및 地化學의 研究. 韓國動力資源研究所.
 禹炳榮 (1984) 梁山斷層의 地形學的 研究. 경북대 대학원 석사 학위 논문.
 元鐘寬, 姜必鐘, 李相憲 (1978) 慶尚盆地의 構造解釋과 Igneous pluton에 關한 研究. 地質學會誌, 14권, p. 79-92.
 李政成, 姜必鐘 (1964) 韓國地質圖 梁山圖幅 (1:50,000). 國立地質調查所.
 李倫鐘, 植田良夫 (1976) 韓國 慶尚南道 彥陽圖幅 및 北西部 蔚山 圖幅 地域産 花崗岩質岩의 K-Ar年代. 鑛山地質, 9권, p. 127-134.
 李倫鐘, 李仁基 (1972) 韓國地質圖 彥陽圖幅 (1:50,000). 國立地質調查所.
 立岩巖 (1929) 朝鮮地質圖 慶州圖幅 (1:50,000) 朝鮮總督府 地質調查所 제10호.
 張任重 (1986) 蔚山, 彥陽一帶 河陽層群의 層序 및 堆積. 慶北大學院 碩士學位 論文.
 陳明植, 辛性天, 金星載 (1989) K-Ar과 螢石年輪測定에 의해 韓國 東南部 地域 花崗岩類의 地熱史와 冷却史 研究. 韓國動力資源 研究所. 同位元素 地質研究, KR-89-1C.
 陳明植, 金星載, 辛性天, 李周娟 (1988) K/Ar 및 螢石年輪법에 의한 韓國 東南部 地域 花崗岩 및 火山岩의 岩石鑛物年輪測定 研究. 韓國動力資源研究所, KR-88-6D.
 崔現日, 吳在鎬, 辛性天, 楊文烈 (1980) 蔚山地域 慶尚系 地層의 地質 및 地化學的 研究. 資源開發研究所, 研究特報 20.
 Angelier, J., Colletta, B. and Anderson, R.E. (1985) Neogene paleostress changes in the Basin and Range: A case study at Hoover dam, Nevada Arizona. Geol. Soc. Am. Bull., v. 96, p. 347-361.
 Angelier, J. (1990) Inversion of field data in fault tectonics to obtain the regional stress, 3. A new rapid direct inversion method by analytical means. Geophys. J. Int., v. 103, p. 363-376.
 Chang, K.H., Woo, B.G., Lee, J.H., Park, S.O. and Yao, A. (1990) Cretaceous and early Cenozoic stratigraphy and history of eastern Kyongsang basin, S. Korea. Jour. Geol. Soc. Korea, v. 26, p. 471-487.
 Choi., H. and Park, K.S. (1985) Cretaceous/Neogene stratigraphic transition and post-Gyeongsang tectonic evolution along and off the southeast coast, Korea. Jour. Geol. Soc. Korea, v. 21, p. 281-296.
 Davis, G.H. (1984) Structural geology of rocks and regions. John Wiley and Sons.

- Frizzel, V.A. and Zoback, M.L. (1987) Stress orientation determined from fault slip data in Hampel Wash area, Nevada and its relation to contemporary regional stress field. *Tectonics*, v. 6, p. 89-98.
- Kang, P.C. (1979) Geological analysis of Landsat imagery of South Korea (II). *Jour. Geol. Soc. Korea*, v. 15, p. 181-191.
- Kim, Y. and Lee, K. (1987) A study on the structure of the Yangsan fault in the southern part of Kyeongju. *Jour. Korean Inst. Mining Geol.*, v. 20, p. 247-260.
- Kim, Y. and Lee, K. (1988) A geoelectric study on the structure of the Yangsan fault in the south of Kyeongju. *Jour. Geol. Soc. Korea*, v. 24, p. 47-61.
- Lee, K., Kim, K.H. and Chang, T.W. (1986) Seismicity of the Korean Peninsula (II): Seismicity of the northern part of the Yangsan fault. *Jour. Geol. Soc. Korea*, v. 22, p. 347-365.
- Lee, K., Jeong, B.I., Kim, Y.H. and Yang, S.J. (1984) A geophysical study of the Yangsan fault area. *Jour. Geol. Soc. Korea*, v. 20, p. 222-240.
- Marrett, R.A. and Allmendinger, R.W. (1989) Practical application of fault slip methods. Short course manual of Geological society of America 1989 annual meeting, p. 26-41.
- Marrett, R.A. and Allmendinger, R.W. (1990) Kinematic analysis of fault-slip data. *Jour. Struct. Geol.*, v. 12, p. 973-986.
- Sillitoe, R.H. (1977) Metallogeny of Andean-type continental margin in South Korea: Implication for opening of the Japan sea, in Talwani, M. and Pitman, W.C. (eds), *Island arcs, deep sea trenches and back-arc basins: Am. Geophys. Union, Maurice Ewing Ser.*, 1. p. 303-310.

1993년 2월 25일 원고접수

