

榆川盆地 北東部 白堊紀 火山岩類의 火山岩石學 및 地質構造

金 相 旭*, 李 永 吉*

Petrology and Structural Geology of the Late Cretaceous Volcanic Rocks in the Northeastern Part of Yucheon Basin

Sang Wook Kim, Young Gil Lee

Abstract: The studied area is largely occupied by thick piles of the late Cretaceous volcanic rocks of the Yucheon group, which is northeastern border part of the vast volcanic region in the Yucheon basin.

The Yucheon group overlies the Geoncheonri Formation and is intruded by granitic and dioritic stocks and dykes. The group can be divided into two parts; the lower is Jusasan andesitic rocks which was called as Jusasan Porphyrite Formation by Tadeiwa in 1929, and the upper is Unmunsa rhyolitic rocks. The volcanic pile consists mainly of various tuffs such as tuff breccia, lapilli tuff, coarse to fine tuff and tuffaceous sediments, and interlayered flows, which range from basaltic andesite to rhyolite in their lithology.

The results of petrochemical and volcanostratigraphic studies on the Jusasan andesitic socks suggest that the volcanic rocks were derived from two cyclic evolutions of magmatic fractionation.

Systematic study of 5226 joints from the area reveals two sets of steep joints striking N20°-40°E and N40°-70°W, are dominant and coincide with the fault pattern developed in the area. Three different maximum principal stress axes were recognized from conjugate shear joints, which are trending east-west, north-northwest, and north-northeast.

1. 序 言

本 論文은 所謂 榆川盆地 北端部 地域에 分布하는 白堊紀末 火山岩類를 對象으로 하여 그 構成岩層, 産出狀態, 火山岩類의 化學的 性質, 및 地質構造의 解釋의 要略을 內容으로 한다.

本域의 火山岩類는 火山層序上 縱的 및 橫的인 岩相 및 岩質의 變化가 顯著하여 이들에 關한 野外觀察 및 記載를 통해 이들 火山岩類의 噴出樣相等 白堊紀末 火山活動의 特徵을 밝히는데 그 目的을 두었다. 이를 爲하여 火山層序로보아 下部로부터 上部에 이르는 大部分의 地質이 잘 露出되어있는 榆川盆地 北端部の 慶州, 毛良,

永川 및 慈仁 1/5만 圖幅地域이 本 研究對象地로 選定 되었다.

本域의 地質에 關해서는 慶州·永川圖幅(立岩巖 1929), 毛良圖幅(金南長等, 1971), 및 慈仁圖幅(朴奉淳 1973)等 圖幅地質圖 및 설명서가 發刊되었고 孫致武(1968), 孫致武等(1969), 元鍾寬(1968)等 數編의 論文이 發表된바 있다. 또한 本域의 構造研究論文으로서는 姜必鍾(1979), 姜必鍾等(1976), 및 元鍾寬等(1978)等 이 있다.

本域에 分布하는 榆川層群의 火山岩類의 構成岩層과 이들의 火山層序, 産出狀態를 밝히기 爲해서 精密野外 踏査를 遂行하였다. 各 火山岩層을 代表하는 岩石試料는 化學分析되어 岩石化學的인 檢討가 수행되어 마그마 分化현상과 火山活動의 特徵等이 考慮되었고 野外에서

*慶北大學校 自然大 地質學科

測定된 節理發達狀況은 地質構造解釋에 適用되었다. 本域의 安山岩質岩類의 産出狀態에 關하여 그 大部分이 貫入岩으로 解釋되기도 하여 많은 問題點을 안고 있었으나 凝灰岩類와 용암流의 互層으로 構成되는 噴出岩으로서 그 化學組成도 火山層序와 함께 體係있게 變化하는 分化樣相을 보여주고 있음을 알수 있다.

本 研究를 遂行할 수 있게 한 峨山社會福祉事業財團의 研究費提供에 甚深한 謹意를 表하는 바이다.

2. 楡川盆地 및 楡川層群

慶尙盆地가 構造的으로 三大分되는 것은 널리 認識되어 왔다. 章基弘(1977)은 安東斷層 및 八公山斷層을 境界로 하여 英陽, 義城, 및 密陽地塊로 區分한 바 있으며 元鍾寬(1978)은 靑松嶺 및 八公山隆起帶를 基準으로 하여 英陽, 義城, 및 楡川小盆地로 區分한 바 있다. 密陽地塊에 發達된 楡川盆地의 中央部에 白堊紀末 火山岩類가 集中的으로 分布하고 있으며 이 火山岩類 分布地域의 北端部가 本 研究對象地域인 것이다. 本 論文에서 楡川層群이라는 用語를 使用하게 된 것은 本域의 火山岩類가 數個의 層으로 區分될수 있는 火山層序

를 보이고 있으며 이미 章基弘(1977)에 依해 適切히 使用된 바도 있기 때문이다.

楡川層群은 下部의 安山岩質岩類와 上部의 流紋岩質岩類로 構成된다. 本 論文에서는 前者를 朱砂山安山岩質岩類, 後者를 雲門寺流紋岩質岩類라 稱하기로 한다. 本域에 있어서 立岩(1929)은 朱砂山安山岩質岩類에 對하여 朱砂山玢岩層이라 命名한바 있으며 山城(1924)은 密陽·楡川圖幅을 通하여 上部 朱砂山安山岩質岩類 및 雲門寺流紋岩質岩類를 構成岩層에 따라 細分한바 있다. 本域에 있어서 立岩은 白堊紀末 火山岩類를 下部의 探藥山玢岩層 및 上部의 朱砂山玢岩層으로 區分하고 이들 사이에 놓이는 灰色乃至 暗灰色세일을 乾川里層이라 命名한바 있는데 探藥山玢岩層은 玄武岩質安山岩流 및 그의 角礫岩, 래피리凝灰岩, 凝灰質砂岩等으로 構成되어 있어서 探藥山安山岩質岩層이라 改稱되는 것이 妥當할 것이며 朱砂山玢岩層 亦是 그 構成岩石으로 보아 安山岩流, 安山岩質角礫岩, 래피리凝灰岩, 凝灰質砂岩, 알코즈砂岩等의 互層으로 되어 있어 이를 朱砂山安山岩質岩類 或은 數個의 層으로 細分되는 境遇 朱砂山亞層群으로 改稱되어야 할 것으로 思料된다. 主로

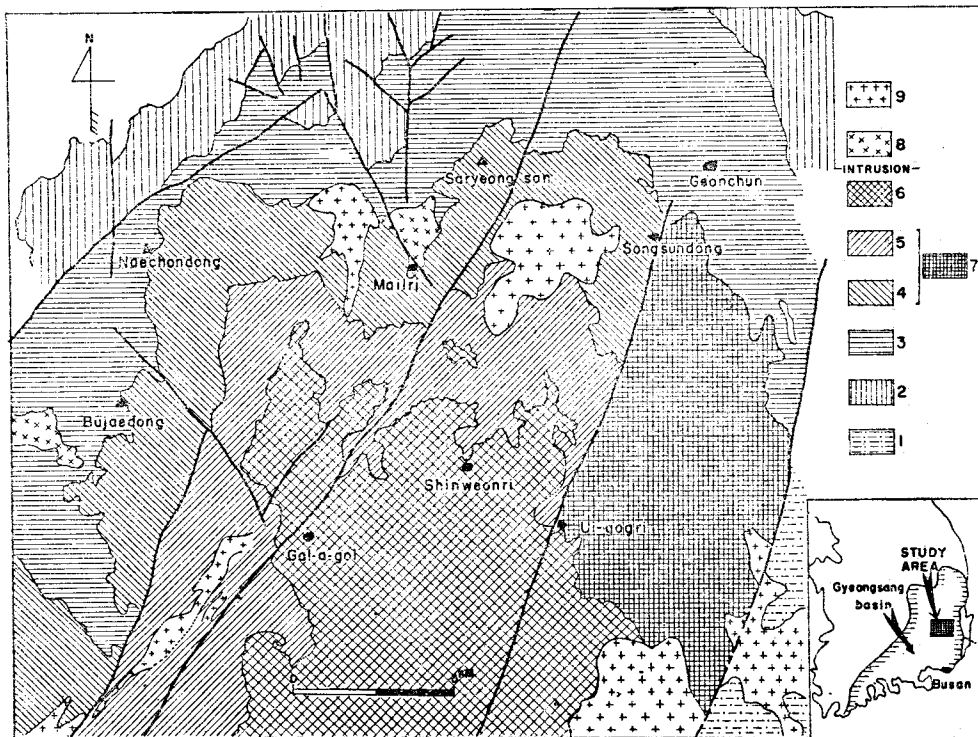


Fig. 1 Geologic map of the area: Undifferentiated Daegu Formation(1); Chaeyaksan andesitic rock(2); Geoncheonri Formation(3); Lower(4), Upper (5) and Undifferentiated(7) Jusan andesitic rocks; Unmunsa rhyolitic rocks(6); dioritic rock (8); and granitic intrusives(9).

流紋石英安山岩質 乃至 流紋岩質岩類로 構成되는 上部 楡川層群도 雲門寺流紋岩質岩類 或은 雲門寺亞層群으로 稱하는 것이 妥當할 것이다.

2.1. 朱砂山安山岩質岩類

本域에 分布하는 火山岩類는 이들을 가져온 火山活動을 基準으로 해서 考慮해 볼 때 火山活動이 開始된 것은 採藥山安山岩質岩層의 形成때부터 이므로 採藥山安山岩質岩層은 朱砂山安山岩質岩層의 最下部가 되어야 할 것이나 立岩(1929)이 現 朱砂山安山岩質岩層의 主體가 되는 朱砂山玢岩層과 別途로 分離하여 記載 하였으며 또 이 採藥山安山岩質岩層이 慈仁 以西地域에서는 産出되지 않는 局限된 分布를 보이고 있어서 地層分類의 便宜上 立岩의 案을 따르는 것이 妥當할 것으로 思料된다. 따라서 玄武岩質安山岩流와 그의 凝灰質岩類의 互層으로 構成되는 採藥山安山岩質岩層은 慈仁層을 貫入한 것(孫致武, 1969, 孫致武等, 1968)이라고는 할 수 없을 것이며 이는 乾川里層을 사이에 두고 朱砂山安山岩質岩類의 下位에 놓이는 것이 事實이나 慶州—慈仁地域에 局限되는 局地的인 火山噴出活動의 産

物에 不過하므로 楡川層群에서 除外시키기로 한다. 따라서 朱砂山安山岩質岩類의 基底는 乾川里層을 덮고 있는 安山岩質凝灰岩 및 角礫岩層이 될 것이며 (Fig 2의 c帶 下限), 이들의 境界는 多樣하여 漸移的인 경우(Fig. 2의 d 및 e)와 比較的 뚜렷한 경우(b 및 c) 或은 乾川里層의 세일內에 角礫岩 및 래퍼리凝灰岩렌즈가 介在되는 경우(a의 경우)가 있으며 同時에 柱狀圖의 경우와 같이 安山岩質火山碎屑物質의 集積이 가장 늦은 地域이 있어서 層位 或은 時間單位에 依한 區分은 不可能하며 다만 火山碎屑物의 含有程度를 基準으로 하는 岩質에 依한 地層區分이 適用될 수 있을 뿐이다. 한편 朱砂山安山岩質岩類의 最上部는 安山岩質角礫岩(柱狀圖 c), 凝灰岩(d 및 e), 或은 凝灰質砂岩 및 세일(a 및 b) 등으로 構成되어 그 橫的인 岩相의 變化가 顯著하게 나타난다. 이와 같이 朱砂山安山岩質岩類는 그 構成岩層으로 보아 垂直 및 水平的으로 岩相의 變化가 크게 나타나는데 地域에 따르는 水平的인 岩相의 急變은 層序的으로 細分하는 것을 困難하게 하는 要素가 된다. 安山岩質凝灰岩類를 主構成으로 하는 朱砂山安山岩質岩類에는 이를 細分하는데 매우 妥當한 鍵層이 될

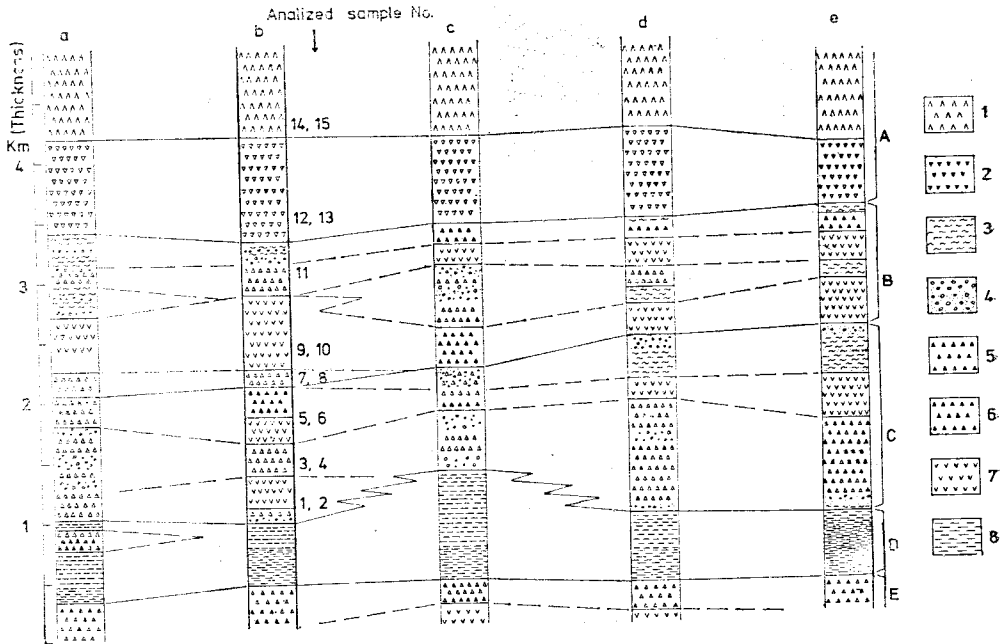


Fig. 2 Columnar sections along Bujaedong~Galagol line (a), Naechondong~Galagol line (b), Mailri~Shinwonri line (c), Saryeongsan~Shinweonri line (d), and Geoncheon~Uigogri line (e). Symbols are rhyolitic flows (1), rhyolitic agglomerate, lapilli tuff (2), andesitic fine tuff (3), andesitic medium to coarse tuff, tuffaceous sediments (4), andesitic lapilli tuff, agglomerate (5), andesitic breccia (6), andesite, basaltic andesite (7), and black shale of Geoncheonri Formation (8).

단한 岩層이 發見되지 않는다. 다만 本岩類의 中部에 자리잡은 緻密質安山岩熔岩層이 있어 그 橫的인 延長이 比較的 良好하여 本域에서부터 西側으로 淸道郡 伊西面에 이르며 그의 岩相이 特徵的으로 매우 緻密하여 이를 基底로 하는 上部와 그 下位에 놓이는 本岩類로 兩分할 수 있다. 그러나 이 緻密質安山岩도 本域의 馬日洞斷面(Fig.2의 c)에서는 熔岩이 發見되지 않고 同一層準에는 安山岩質 角礫岩, 集塊岩 및 塊狀凝灰岩 등이 자리잡고 있어 上, 下部의 境界線은 明確하게 나타나지 않는다. 이 以外의 各 單位岩層은 水平的인 岩相의 變化가 더욱 甚하여 이들 岩類의 噴出當時 火口로부터의 距離 및 地形等 環境的인 條件을 反映해 주는 듯하다.

2.2. 雲門寺流紋岩質岩類

雲門寺流紋岩質岩類는 朱砂山安山岩質岩類의 上位에 놓이는데 下位에 놓이는 安山岩質岩類와는 顯著한 成分의 差異를 보여준다. 이들 두 岩類間的 關係는 下位에 놓이는 安山岩質岩類의 最上位部 岩層의 岩相이 極甚한 變化를 보이고 있어서 不整合的인 關係를 갖는 것으로 解釋 될수도 있겠으나 本域에 있어서는 下位の 安山岩質凝灰岩(Fig. 2의 d 및 e), 安山岩質角礫岩(c) 또는 安山岩質凝灰質砂岩 및 세일(a 및 b) 등과 接하고 있어서 이들 兩者를 廣域的인 不整合關係인 것으로 解釋하기 보다는 이들 사이에는 噴出活動의 休息期間이 存在했으며 地域的인 削磨作用이 일어나고(c, d, 및 e) 同時에 他域에서는 水中堆積作用이 일어났던것(a 및 b)으로 解釋하는 것이 더욱 妥當할 것이다. 따라서 局地的인 不整合關係는 여러곳에서 認識될수 있을 것이다.

本域에 있어서의 流紋岩質岩類는 下部의 流紋岩質凝

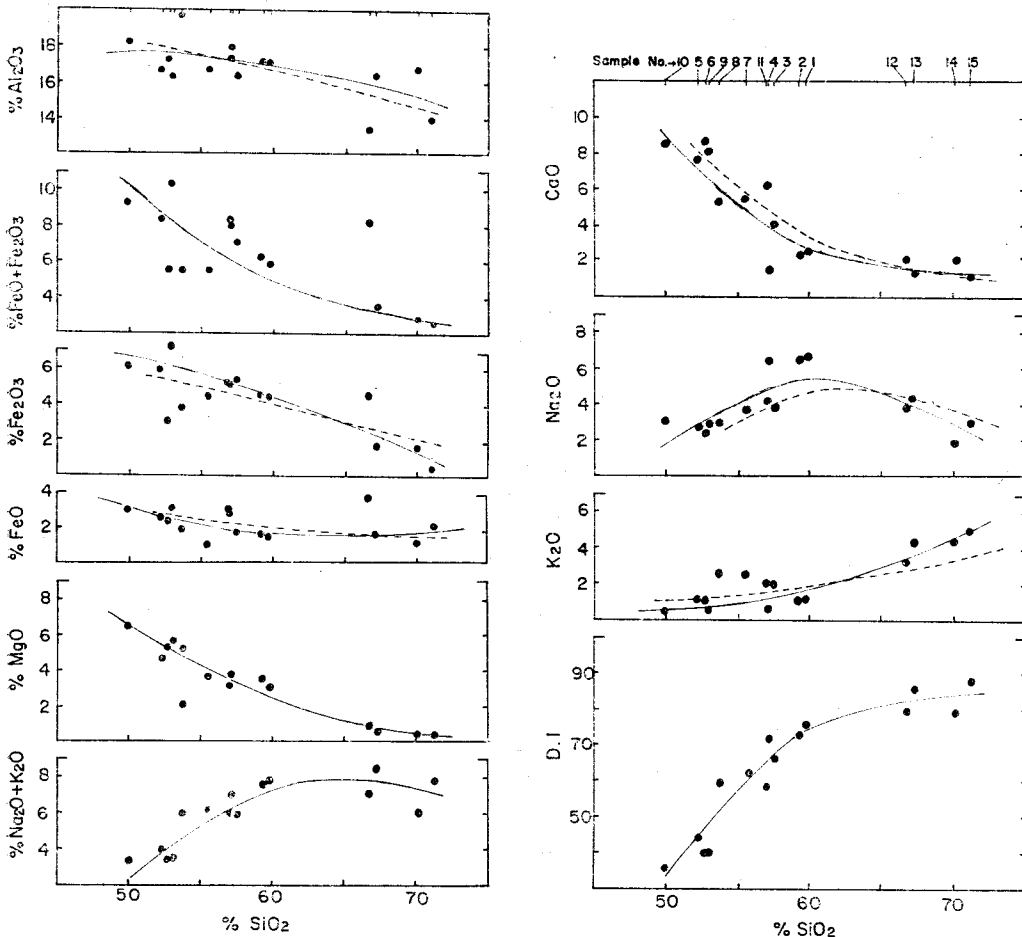


Fig. 3 Variation diagram of major oxides and differentiation index of the analyzed rocks. Broken lines indicate those changes of San-In type volcanics.

Table 1 Results of chemical analysis and norm calculation from the volcanic rocks.

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|--------------------------------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|-------|
| SiO ₂ | 59.81 | 59.35 | 57.98 | 57.15 | 52.31 | 52.82 | 55.62 | 53.74 | 53.08 | 50.06 | 57.15 | 66.73 | 67.30 | 70.23 | 72.24 |
| TiO ₂ | 0.34 | 0.74 | 1.11 | 0.53 | 1.09 | 1.13 | 0.72 | 0.31 | 1.58 | 1.02 | 1.00 | 0.46 | 0.25 | 0.22 | 0.25 |
| Al ₂ O ₃ | 17.01 | 17.01 | 16.34 | 17.96 | 16.59 | 17.23 | 16.64 | 21.05 | 16.25 | 18.23 | 17.26 | 13.26 | 16.30 | 16.77 | 13.86 |
| Fe ₂ O ₃ | 4.45 | 4.55 | 5.42 | 5.19 | 5.93 | 3.02 | 4.53 | 3.77 | 7.37 | 6.18 | 5.27 | 4.61 | 1.76 | 1.64 | 0.45 |
| FeO | 1.44 | 1.70 | 1.74 | 2.88 | 2.64 | 2.40 | 1.02 | 1.88 | 3.01 | 3.00 | 3.12 | 3.72 | 1.73 | 1.16 | 2.08 |
| MnO | 0.07 | 0.05 | 0.15 | 0.04 | 0.15 | 0.12 | 0.16 | 0.12 | 0.24 | 0.21 | 0.13 | 0.15 | 0.08 | 0.09 | 0.20 |
| MgO | 3.07 | 3.65 | 2.00 | 3.88 | 4.65 | 5.28 | 2.73 | 2.07 | 5.56 | 6.45 | 3.18 | 0.98 | 0.67 | 0.46 | 0.40 |
| CaO | 2.14 | 2.20 | 4.03 | 1.37 | 7.63 | 8.77 | 5.43 | 5.20 | 8.50 | 8.42 | 6.19 | 2.10 | 1.30 | 2.17 | 1.13 |
| Na ₂ O | 6.75 | 6.54 | 3.75 | 6.55 | 2.65 | 2.25 | 3.65 | 3.65 | 2.85 | 3.05 | 4.05 | 3.75 | 4.30 | 1.51 | 2.90 |
| K ₂ O | 1.15 | 1.02 | 2.05 | 0.55 | 1.15 | 1.14 | 2.57 | 2.55 | 0.55 | 0.43 | 2.00 | 3.25 | 4.27 | 4.30 | 4.94 |
| P ₂ O ₅ | 0.19 | 0.16 | 0.29 | 0.20 | 0.33 | 0.22 | 0.18 | 0.18 | 0.29 | 0.18 | 0.22 | 0.14 | 0.10 | 0.16 | 0.16 |
| H ₂ O | 0.26 | 0.21 | 0.43 | 0.35 | 0.31 | 0.19 | 0.50 | 0.31 | 0.16 | 0.24 | 0.18 | 0.34 | 0.12 | 0.16 | 0.16 |
| lg. loss | 3.11 | 2.76 | 5.13 | 3.02 | 4.24 | 5.16 | 5.98 | 5.16 | 0.39 | 2.22 | 0.15 | 0.55 | 1.55 | 1.40 | 0.74 |
| Total | 99.79 | 99.94 | 100.02 | 99.67 | 99.67 | 99.74 | 99.73 | 99.99 | 99.83 | 99.41 | 99.88 | 100.04 | 99.73 | 100.20 | 99.60 |
| D. I. | 75.50 | 72.72 | 65.92 | 71.64 | 43.65 | 39.50 | 61.61 | 59.17 | 39.72 | 35.13 | 57.87 | 79.13 | 85.65 | 78.75 | 87.57 |
| q | 6.90 | 7.07 | 16.77 | 8.19 | 11.05 | 10.85 | 10.06 | 8.67 | 10.12 | 4.28 | 9.07 | 24.53 | 20.45 | 38.20 | 30.73 |
| Or | 6.90 | 6.10 | 12.95 | 3.30 | 7.20 | 7.15 | 16.30 | 15.85 | 3.35 | 2.60 | 11.95 | 19.80 | 25.78 | 26.40 | 30.12 |
| Ab | 61.70 | 59.55 | 36.20 | 60.15 | 25.40 | 21.50 | 35.25 | 34.65 | 26.25 | 28.25 | 36.85 | 34.85 | 39.42 | 14.15 | 26.72 |
| An | 9.55 | 9.95 | 19.45 | 5.40 | 31.89 | 35.65 | 22.99 | 25.95 | 30.55 | 35.79 | 23.19 | 9.85 | 5.80 | 10.25 | 5.08 |
| c | 1.31 | 1.66 | 1.50 | 5.13 | - | - | - | 3.74 | - | - | - | 0.06 | 2.91 | 6.81 | 2.21 |
| Wo | - | - | - | - | 2.46 | 3.62 | 1.86 | - | 4.28 | 2.42 | 2.58 | - | - | - | - |
| En | 8.60 | 10.18 | 5.92 | 10.92 | 13.66 | 15.48 | 8.08 | 6.02 | 15.70 | 18.32 | 8.86 | 2.78 | 2.02 | 1.32 | 1.40 |
| Fs | 0.12 | 0.08 | 0.26 | 0.16 | 0.24 | 0.24 | 0.28 | 0.20 | 0.38 | 0.34 | 0.20 | 2.20 | 1.12 | 0.54 | 2.58 |
| Il | 0.48 | 1.04 | 1.66 | 0.74 | 1.62 | 1.66 | 1.08 | 0.46 | 2.26 | 1.46 | 1.40 | 0.66 | 0.38 | 0.32 | 0.42 |
| Mt | 2.67 | 2.43 | 1.83 | 5.55 | 4.08 | 3.35 | 0.93 | 3.93 | 3.75 | 4.98 | 5.22 | 4.97 | 1.91 | 1.77 | 0.51 |
| hm | 1.37 | 1.59 | 2.83 | - | 1.68 | - | 2.77 | 0.15 | 2.75 | 1.11 | 0.23 | - | - | - | - |
| Ap | 0.40 | 0.35 | 0.64 | 0.46 | 0.72 | 0.48 | 0.40 | 0.40 | 0.61 | 0.37 | 0.45 | 0.29 | 0.21 | 0.24 | 0.23 |

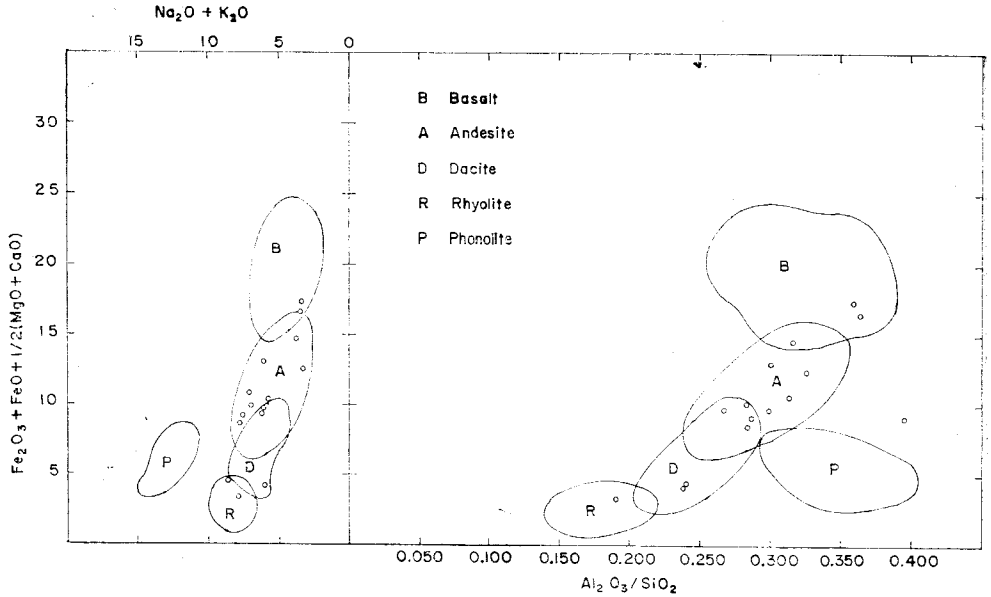


Fig. 4 Triaxial plot showing compositional variation of the analyzed rocks in the area (after Church B. N., 1975).

灰岩類 및 上部의 流紋岩質 熔岩類로 크게 區分되는데 下部의 凝灰岩類는 全體적으로 ash-flow로서 代表될 수 있겠으며 이의 下部는 熔結되지 않았으나 上位로 가면서 熔結되어 있고 또 래피리의 含量이 많아서 ignimbrite로 産出되는 것이 普通이다. 流紋岩質熔岩類는 이를 凝灰岩類를 덮고 있는데 이 熔岩類의 上位에는 流紋岩質 래피리凝灰岩 및 結晶熔結凝灰岩 등이 놓여 있음을 雲門山頂部 및 天皇山頂部에서 各기 볼수 있다. 下部 岩質 凝灰岩類에는 처트 團塊가 包含되는 境遇가 있는데 이는 本域에서나 東萊圖幅의 壯山等地에서도 露出됨을 볼 수 있다.

3. 化學組成

本域에 産出되는 楡川層群의 火山岩類는 그 化學組成上 玄武岩質安山岩으로부터 流紋岩에 이르는 成分分布를 보이는데 (Table 1, Fig. 3 및 4), 朱砂山安山岩質 岩類와 雲門寺流紋岩質岩類사이에는 成分의 不連續性이 어느程度 나타난다. 이것은 分析資料의 不充分에 起因하는데 域은 火成活動機構의 特性에 그 原因이 있는지는 確實치 않다.

本岩類를 가져온 마그마의 系列을 規定짓기 爲하여 우선 알카리 및 칼크알카리系列의 區分이 比較的 分明하게 나타나는 成分變化圖(Fig. 4,5,6 및 7)를 使用하였다. SiO₂ 含量에 따르는 log(K₂O/MgO)의 變化圖(Fig. 5)에 依하면 本岩類는 多少 分散되기는 하나 알카리系

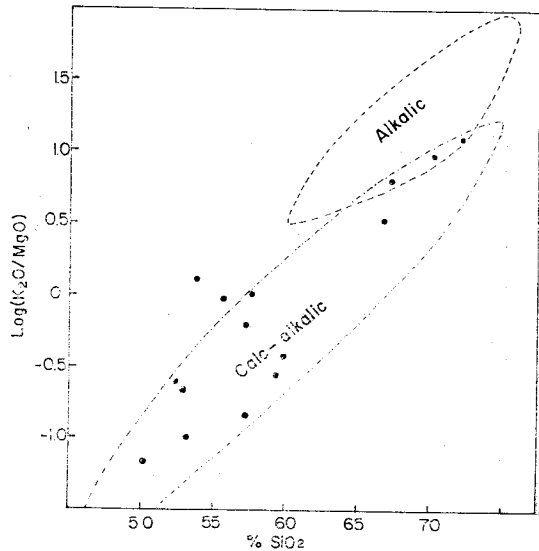


Fig. 5 Chemical plots showing ratios of Log (K₂O/MgO) and SiO₂ content of the analyzed rocks, form a fractionation trend in the field of calc-alkalic series. (J.J.W. Rogers et al. 1981)

列에 치우친 칼크알카리系列領域에 優勢하게 分布하고 있어서 high-K calc-alkalic 系列에 屬함을 示唆해 준다. Fig. 5는 元來 Rogers(1981)가 深成岩類의 岩石系列 區分에 使用하였던것인데 本域의 火山岩類에 對해서도 잘 適用될 수 있는 것으로 判斷된다. 또한 SiO₂ 含

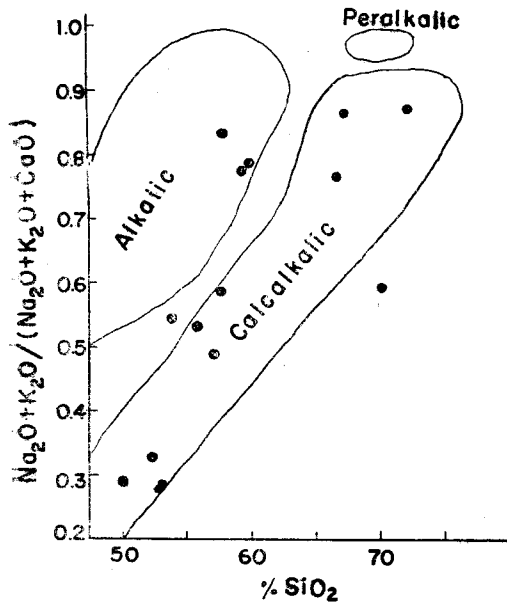


Fig. 6 Changes in ratios of alkali to calcium

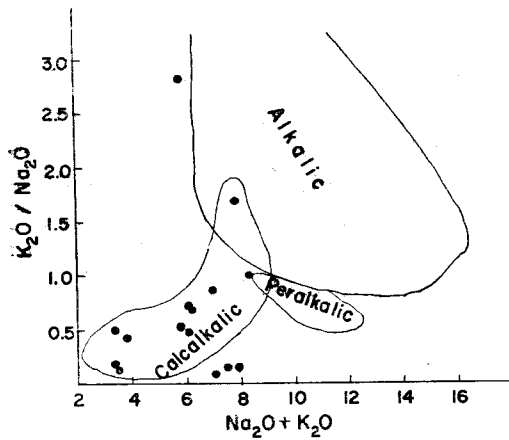


Fig. 7 Changes in ratios of potassium to sodium oxide.

量에 對한 $Na_2O+K_2O/(Na_2O+K_2O+CaO)$ 比의 變化樣相(Fig. 6)은 매우 分散되어 알카리系列 領域에 包含되는 것도 나타나나 大體로 칼크알카리系列 領域에 包含된다. 알카리成分變化圖(Fig. 7)에서도 칼크알카리系列 領域에 密集分布하고 Fig. 4에서도 phonolite를 包含하는 알카리系列 領域에서 벗어나며 alkali-lime index가 56.7로 나타나고 있어서 本岩類가 非알카리系列의 것임에는 틀림없다.

한편 tholeiitic과 calc-alkalic series가 比較될수 있는 成分變化圖에 依한 本域 火山岩類의 化學組成分布는 이

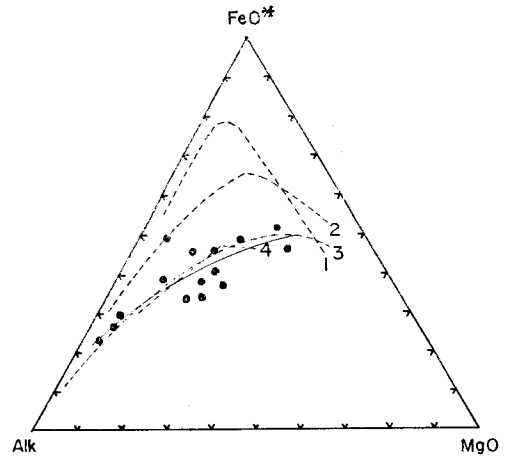


Fig. 8. Triangular diagram showing ratios of MgO, total Fe as FeO(FeO*), and alkalis(Na_2O+K_2O) of analyzed rocks in the area. Arrow, fractionation trend of rocks in the area; broken lines 1, 2, 3, and 4, Skaergaard layered intrusives, average TH, average CA, and Asama volcanics, respectively.

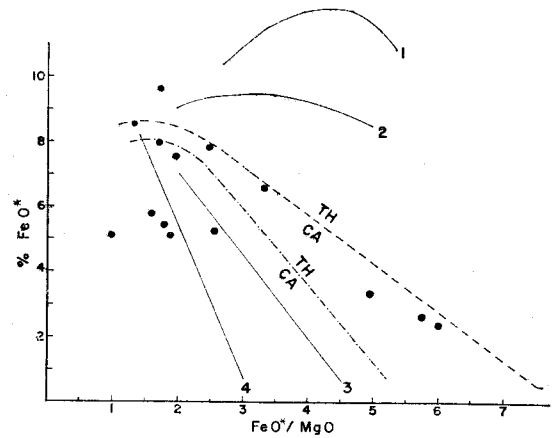


Fig. 9. Changes in ratios of FeO^*/MgO and FeO^* (total iron as FeO) content of the volcanic rocks in the area. Trends of 1, 2, 3 and 4 are those of volcanics of Miyakejima(TH), Tofue(TH), Asama(CA), and Amagi(CA), respectively. Dot and dash line is boundary of tholeiitic and calc-alkalic magma series of Miyashiro(1974) and broken line is proposed as the boundary in this paper.

들이 calc-alkalic series의 마그마로부터 由來되었음을 示唆해 준다. $MgO-FeO^*-(Na_2O+K_2O)$ 三角圖(Fig. 8)에서 本域의 火山岩類는 多少 分散되기는 하나 方向性 있는 成分變化를 보이고 있어서 화살표로 代表될수 있는 分化傾向을 나타내어 calc-alkalic series의 平均値에

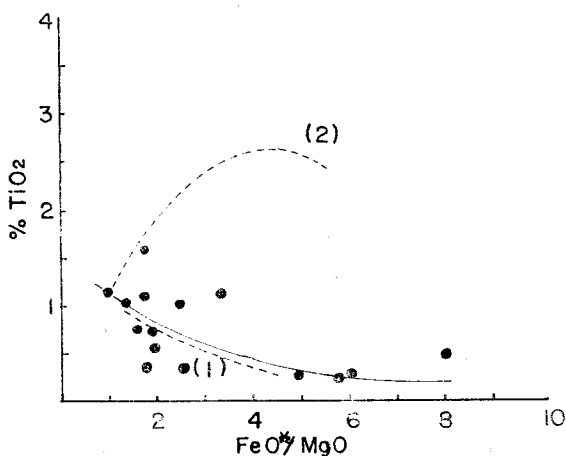


Fig. 10 Changes in relationship between FeO^*/MgO and TiO_2 content of the analyzed rocks in the area. Brocken(1) and (2) represent Asama volcanics (calc-alkalic) and Skaergaard layered intrusives, respectively

매우 近似한 값을 가진다. 한편 Miyashiro의 FeO^* 와 FeO^*/MgO 의 關係圖(Fig. 9)에 依하면 本火山岩類는 몹시 分散되어 安山岩質岩類는 tholeiitic 및 calc-alkalic 系列領域의 境界部에 散在하고 流紋岩質岩類는 tholeiitic 마그마領域에 點示되고 있어서 Fig. 8에서 볼 수 있는 것과는 對照的이다. 實際로 後期分化物로 가면서 全鐵의 減少率과 MgO의 減少率의 相對的인 變化傾向으로 보아 Fig. 9의 破線으로 表示되는 境界線이 보다 妥當할 것으로 思料된다. 또한 TiO_2 含量과 FeO^*/MgO 比의 關係는 Fig. 10에서 나타나는데 tholeiitic series의

경우 後期分化物로 가면서 TiO_2 의 含量은 前期에 增加하다가 後期에 多少 減少하는 分結過程을 나타내는데 比해 calc-alkalic series의 경우 繼續減少하지만 前期에는 顯著한 減少를, 後期로 가면서 매우 緩慢한 減少傾向을 보여서 對照的이다. 이와같이 本域의 火山岩類는 化學組成上의 特徵으로보아 非알카리系列의 것이며 calc-alkalic series의 마그마를 起源으로 하는 分化産物인 것으로 解釋된다.

4. 分化經路

本域 火山岩類의 分化經路의 特徵을 알아보기 爲하여 化學組成上의 變化를 土臺로 하여 考慮해 보면 大體로 連續的인 變化를 보여 주어 同一系列의 마그마로부터 分化되었을 可能性이 높으며 日本의 上部 中生代의 山陰型 火山岩類와 매우 類似한 分化經路를 보여 준다 (Fig. 3).

또한 火山層序와 分化經路와의 關係把握을 爲하여 各 火山岩層單位에서 2個의 岩石試料가 採取되어 分析되어졌다(Fig. 2 및 Table 1). SiO_2 含量에 따르는 各 酸化物의 含量 變化圖(Fig. 3)에 依하면 SiO_2 , 알카리, 및 D.I.는 朱砂山安山岩質岩類의 下部에 있어서는 層序의 上으로 上部로 가면서 漸次 減少하는 傾向을 보이며 上部 朱砂山安山岩質岩類 및 그 上部에서는 漸增하는 傾向을 보이나 上部 朱砂山安山岩質岩類와 雲門寺流紋岩質岩類의 境界部에서는 多少의 不連續性이 나타난다. 또한 CaO , MgO , Al_2O_3 , FeO , Fe_2O_3 등은 前述한 成分과는 달리 그들에 逆行하는 變化를 보여 주는데 火山層序에 따르는 이러한 成分의 變化特性은 이들의 起源마

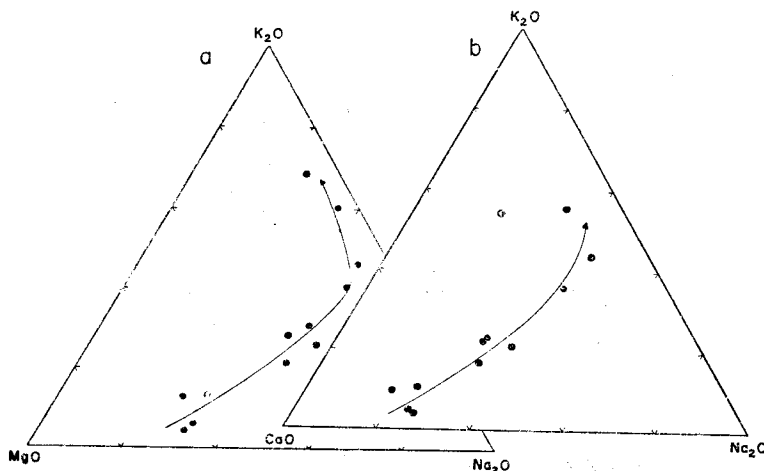


Fig. 11 Triangular diagrams showing ratios of MgO , Na_2O and K_2O (a), and CaO , Na_2O and K_2O (b)

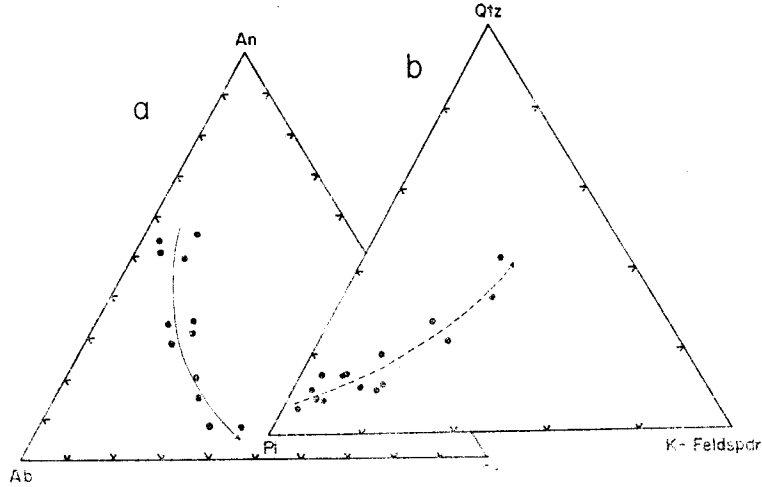


Fig. 12 Triangular plots of norms. Fractionation trend might be represented by the arrows.

그마의 分化樣相 및 그 經路上의 特徵을 示唆해 주는 것으로 思料된다. 下部 朱砂山安山岩質岩類에 있어서 層序上 上位로 가면서 漸次 早期分化物의 化學組成을 갖고 있음은 安山岩質의 것으로 생각되는 마그마의 上昇途中 分化가 잘 이루어진 다음에 噴出이 繼續된 것으로 解釋될 수 있으며 上部 朱砂山安山岩質岩類 亦是 返覆되는 分化傾向을 보이고 있어 매우 類似한 分化環境을 거쳤다는 說明이 可能할 것이다. 따라서 下部 및 上部 朱砂山安山岩質岩類는 供給時期를 달리하는 別個의 마그마에서 起源되었거나 同源마그마에 起源되었다고 한다면 分化途中 一連의 噴出作用이 下部 安山岩質岩類를 構成하고난 후 時間的 間隔을 두고 上部를 형성케한 一連의 분출작용을 考慮할 수 있는 火山活動의 機構를 假想할 수 있을 것이다.

한편 本域의 火山岩類의 分化方向은 Fig. 11, a 및 b, 12, 및 13에서 볼 수 있다. MgO-Na₂O-K₂O 成分變化圖 (Fig. 11, a)에서 화살표로 代表될 수 있는 分化經路가 가르키듯이 朱砂山安山岩質岩類에서는 MgO 含量에 對해 알카리가 增加하는 傾向이 顯著하게 나타나며 榆川 流紋岩質岩類에 이르러서는 MgO의 減少率은 微弱해 지고 Na₂O에 비해 K₂O의 增加가 急激히 이루어진다. 또한 CaO-Na₂O-K₂O 成分變化圖(Fig. 11, b)에서도 後期分化物로 가면서 CaO가 減少하고 알카리가 增加하면서 Na₂O에 비해 K₂O의 增加率이 커지는 分化經路를 보여 준다. 이러한 關係는 노움成分圖에서도 나타나는데, 長石類의 노움值의 構成比(Fig. 12, a)에 있어서 後期分化物로 가면서 An 含量에 對해 알카리長石의 含量比가 增加하면서도 Or側으로 치우치는 分化經路를

보인다. 또 石英-斜長石-카리長石의 노움值變化圖 (Fig. 12, b)에서는 斜長石이 減少하고 카리長石 및 石英의 노움值가 增加하면서도 石英의 增加率이 보다 높은 分化經路를 보여 준다. 이와 같이 이들 火山岩類가 보여주는 化學的으로 一貫性있는 成分變化傾向은 적어도 이들의 根源마그마가 비록 上昇時期는 달리 했다 하더라도 同一系列의 것이며 一貫性있는 分化經路를 가질 수 있는 環境下에서 火山活動의 發展過程을 밝아왔던 것으로 思料된다.

5. 節理系와 地質構造

本域은 上述한바와 같이 榆川盆地의 北端에 해당되는 地域으로 地質構成員의 大部分이 榆川盆地의 中央部를 교란시킨 中性 및 酸性火山岩類와 深成貫入岩類로 되어있다. 따라서 構造運動도 噴出作用과 本域에 發達된 N15~25°E 走向의 平行斷層系 및 N50~70°W 方向의 斷層들을 生成시킨 斷層作用에 의해 支配된다. 본역 외각부에 分布하고 있는 堆積岩類는 斷層作用과 火山岩類 및 火成岩類의 貫入·噴出作用의 影響에 의해 다소 交란을 받았지만 本域의 構造를 支配할 만큼 심하게 交란作用을 받지는 않았다. 따라서 지질구조에 관한 研究도 主로 火山岩類內에서 발달된 構造들에 대해 調査했는데 本域을 支配하는 構造중 斷層과 節理系에 관한 特徵을 기재하면 다음과 같다.

1) 斷層系

本域에는 다소 현저한 變位를 나타내는 古銀斷層, 慈仁斷層, 毛良斷層, 密陽斷層이 N15~25°E 走向을 가지며 平行斷層群의 양상으로 發達되어 있고 또 대략 이

의 直交 혹은 80~70°각도로 斜交하는 方向, 즉 北西西~北西 方向의 斷層들이 發達되어 있다. 이들은 楡川盆地的 構造發達史와 楡川盆地를 교란시킨 火成活動과 밀접한 關係를 가지는 것으로 생각되는데 이들 斷層들중 중요한 몇몇 斷層의 特徵을 西側으로부터 기재하면 다음과 같다.

i) 古銀斷層: 本斷層은 古銀洞(慈仁東側 4Km 지점에 위치)을 지나 永川圖幅까지 이르는 總延長 15~20Km 정도인 斷層으로(박봉순, 1973) N20~30°E 走向을 가진다. 野外에서 관찰된바에 의하면 本斷層은 strike-slip 量이 극히 미세하며 落差정도도 잘 확인할수가 없는 傾斜角 60°以外的 高角度斷層인데 古銀洞부근과 본역 北西部에 分布하는 採藥安山岩質層에서 本斷層의 증거가 관찰된다.

ii) 慈仁斷層: 本斷層은 野外에서는 단층의 증거가 잘 확인되지는 않았으나 地形과 岩石의 分布樣相을 참조하여 慈仁圖幅에서 推定한 斷層으로 走向은 N20~30°E 方向이다. 慈仁圖幅의 북쪽 延長은 永川圖幅과 慶州圖幅까지 이르며 南쪽 延長은 楡川도쪽까지 이르는 것으로 推定된다.

iii) 毛良斷層: 本斷層은 毛良·彥陽 및 密陽圖幅地域에서 확인된 斷層인데 地形上的 특징도 本斷層의 存在를 뚜렷하게 指示해주고 있다. 走向은 N15~25°E 方向인데 斷層周邊部の 岩相分布로보아 斷層의 東側地塊가 침강한후 斷層面을 따라 斷層의 東側部가 NNE 方向으로, 그리고 西側部가 SSW 方向으로 水平移動한 變位가 있었던 것으로 推定된다. 斷層線을 따라 地域적으로 破碎帶가 발달된 地域도 있으며 곳에따라 同一 方向의 石英脈이나 岩脈에 연한 小斷層도 간혹 확인된다. 本斷層의 南·北延長部의 추적은 不可能하다.

iv) 密陽斷層: 本斷層은 毛良圖幅으로부터 시작하여 南쪽의 楡川 및 密陽圖幅까지 確認된 斷層이다. 그러나 地形的으로나 推定斷層部位가 火成岩體가 點하고있는 部分에서는 斷層의 存在를 確認할수 없는 地域도 있다. 本斷層의 走向은 前記한 斷層들과 平行하며 岩相分布로보아 東側地塊가 침강한 것으로 생각된다. 本斷層의 北쪽 延長部는 확인되지는 않지만 兪陽도쪽을 지나 毛良圖幅에서 本斷層延長部의 一部가 다시 확인된다.

v) NWW~NW 方向의 斷層: 本方向의 斷層은 매일리부근과 갈아골-부제동부근에서 岩石分布상 인식되는 斷層으로 낙차정도는 크지 않지만 모두 동북側이 침강한것으로 推定된다.

2) 節理系

慶尙盆地내의 鑛床賦存상황은 地質構造的인 규제를

크게 받고 있음이 지금까지 調査된 資料에의해 報告되어졌다(李在英, 1976; 李商萬, 1972). 즉 慶尙盆地內에는 크게 NNE 方向, NS 方向 및 NWW 方向의 斷裂들이 支配적으로 發達되어 있는데 이 斷裂들과 연관하여 鑛化作用의 特性을 달리하면서 各種 鑛床들이 分布하고 있음을 보여주고 있다. 筆者들은 이와같은 結果를 기초로하여 本域 火山岩類 分布地 내 26個地點에서 總 5226個의 節理面을 測定하여 本域에 발달된 斷裂構造들의 特徵을 調査해 보았다. 節理의 測定은 露頭에 연한 方向의 測線을 가정하고 이것과 교차하는 節理面의 走向과 傾斜를 測定하였다. 測定간격은 一定한 기준없이 良好한 節理發達地域을 찾아 集中的으로 測定하였다. 測定된 절리면은 各地點別로 equal area net(Schmidt net)에 plot 한후 contour diagram을 作成하였으며 또 節理의 代表的인 方向을 찾기위해 Rose diagram(方位頻度圖)를 作成하여 그 特徵을 分析·研究하였다. 그 結果가 Fig. 13 및 14에 圖示되어 있다.

Fig. 13 및 14에 나타난것과 같이 本域 火山岩類내의 節理系는 地域에 따라서는 전혀 特異적인 方向性을 보여주지 않는 地域도 있는等(例; E. D 地域) 全城을 通해볼때 비교적 그 方向性이 다소 多樣함을 보여주고 있지만 크게 두方向의 節理系, 즉 N20~40°E 走向에 傾斜 50~80° 內外인 節理系와 N40~70°W 走向에 50~80° 내외의 傾斜를 가진 절리계가 가장 優勢하게 發達되어 있음을 보여주고 있다. 이외에도 N60~70°E, N80~88°E, N40~50°E, N70~80°W, N20~30°W 方向의 節理系도 비교적 우세하게 발달되어 있는데 간혹 單一面의 節理와 節理面사이에서 거의 水平에 가까운 水平 節理나 傾斜 30° 以下の 節理가 여러가지 方向을 보이며 不規則하게 發達되어 있는 경우도 있다. 특히 N20~40°E, N40~70°W 및 N60~70°E 등 Fig. 13 및 14에 나타난 本域 節理系중 優勢方向의 節理系는 Landsat-I 研究(姜必種, 1979)에 의해 나타난 慶尙盆地內에 線構造의 優勢方向과, 그리고 本域內에 발달된 酸性 및 中性岩脈의 우세방향과도 거의 一致함을 보여주고 있다. 특히 本域에서는 이들 方向의 열극을 따라 황철광, 方鉛鑛, 閃亞鉛鑛等 여러 종류의 鑛物들이 充填되어 金屬鑛山을 賦存시킨 경우가 있는데 그 하나의 例가 月城郡 內南面 朴達里 도진남석 및 亞鉛鑛山이다. N15°~25°E 方向의 節理系중에는 野外에서 큰 節理面을 보이는 경우가 많은데 이 方向의 節理系는 N-W 方向의 節理系보다는 頻度에 있어 優勢하며 本域 NNE 方向大斷層의 走向과 거의 一致한다. 大體로 N-E 方向의 節理系와 N-W 方向의 節理系는 규칙적인 節理配列을 보이는 單一面으로 나타나는 경우도 많지만(板狀節理

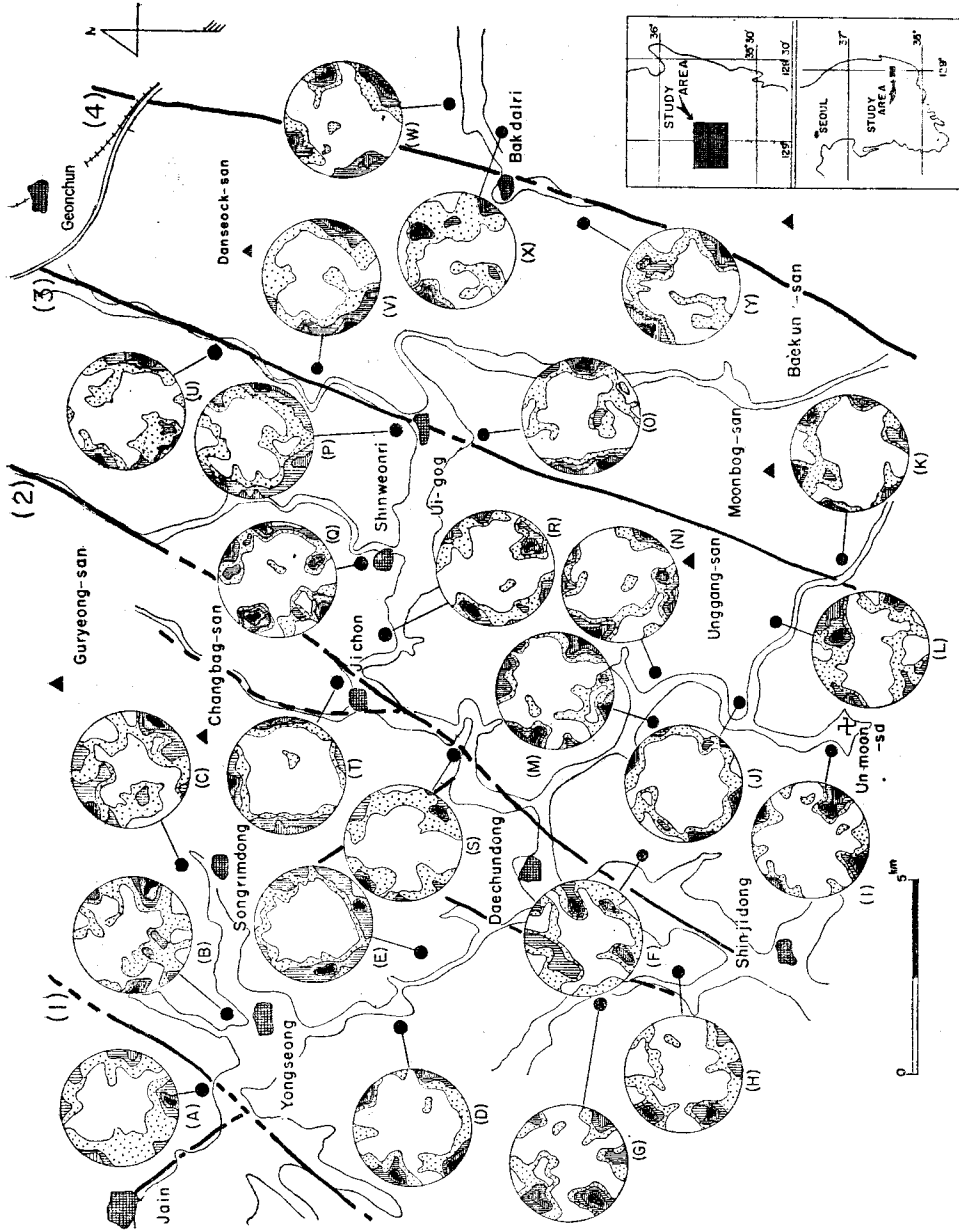


Fig. 13 Contour diagrams of joints in the area (8-5-3-1%), A; 366 points B; 130, C; 310, D; 158, E; 200, F; 177, G; 133, H; 192, I; 252, J; 135, K; 301, L; 262, M; 109, N; 197, O; 156, P; 261, Q; 135, R; 293, S; 362, T; 217, U; 218, V; 151, W; 160, X; 127, Y; 215.

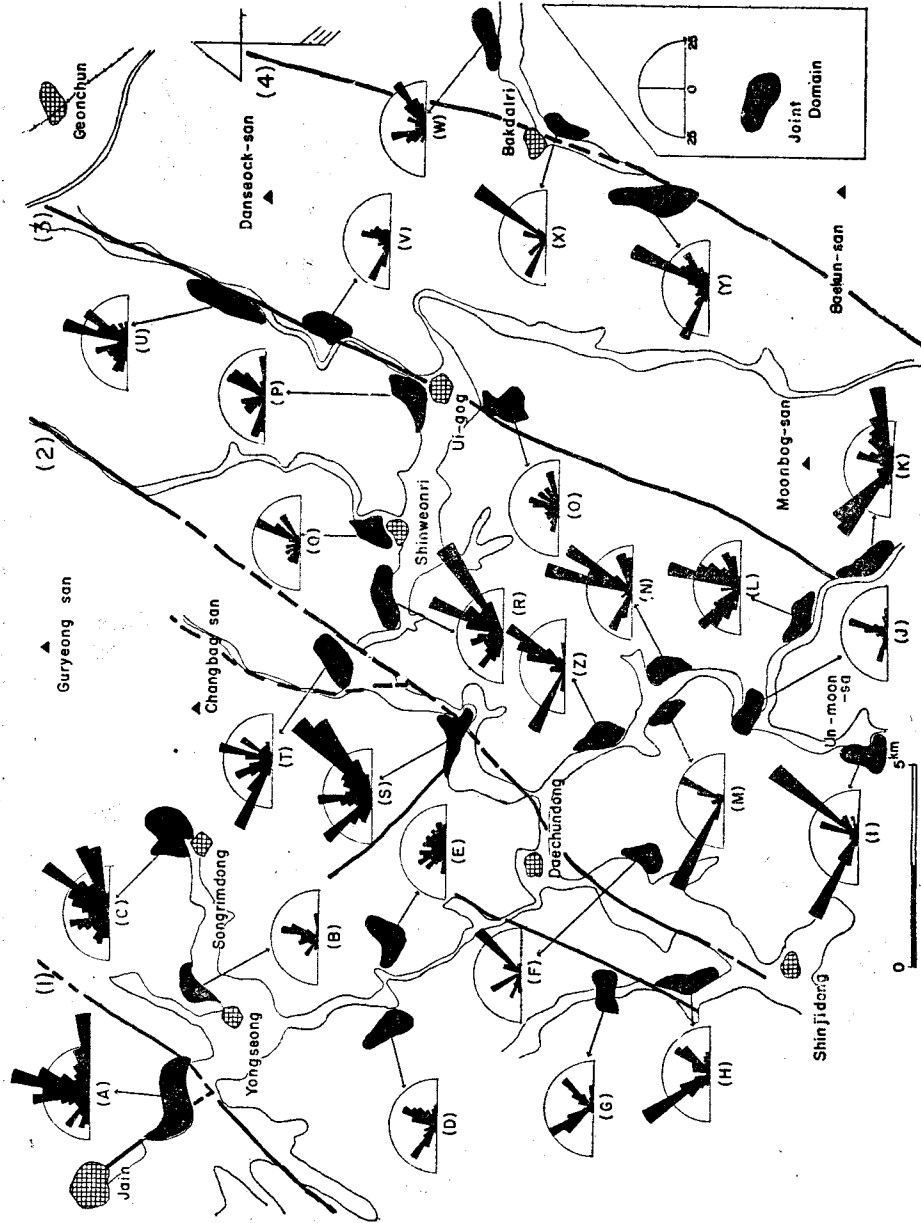


Fig. 14 Joint domain and strike-slip fault in the area

Table 2 Conjugate joints and their principal stress axes in the area
(本域에서 測定된 共軛節理와 主應力軸의 方向)

| No | 測定地點 | 共軛節理와 走向과 傾斜 | | σ_1 | σ_2 | σ_3 |
|----|-------------------|---------------|--------------|------------|------------|------------|
| 1 | Y 지역; 꾀전과 박달리 사이 | N58°W, 68°SW | N48°E, 82°NW | 17°N8°W | 70°S27°W | 12°N88°E |
| 2 | Y 지역; " | N34°E, 80°SE | N64°W, 70°SW | 19°N17°W | 70°S6°W | 8°N74°E |
| 3 | W 지역; 박달리와 청학동 사이 | N8°W, 74°NE | N74°E, 80°SE | 18°N56°W | 72°S72°E | 5°S33°W |
| 4 | W 지역; " | N18°W, 84°SE | N64°E, 80°SE | 12°N22°E | 78°S6°W | 4°N66°W |
| 5 | P 지역; 산내면 의곡리 부근 | N86°E, 78°SEE | N14°W, 80°SW | 14°N36°E | 76°S26°W | 3°N53°W |
| 6 | V 지역; 의곡리와 당고개 사이 | N18°E, 82°NW | N68°W, 82°NE | 12°S25°E | 78°N20°W | 2°S62°W |
| 7 | R 지역; 새원동 부근 | N44°W, 42°NE | N36°E, 76°SE | 38°N85°W | 41°N48°E | 26°S16°E |
| 8 | R 지역; " | N40°E, 80°NW | N44°W, 64°NE | 26°S6°E | 60°N22°E | 12°S85°W |
| 9 | S 지역; 서지동과 공암동 사이 | N46°W, 86°SW | N54°E, 80°NW | 11°S85°E | 8°N64°W | 4°S9°W |
| 10 | T 지역; 지촌동 부근 | N62°W, 78°SW | N20°E, 70°SE | 22°N21°W | 60°S20°E | 6°S67°W |
| 11 | U 지역; 당고개 부근 | N34°W, 72°SW | N40°E, 86°SE | 17°N2°E | 70°S26°W | 9°S88°E |
| 12 | N 지역; 동곡동 부근 | N6°E, 78°SE | N82°E, 74°NW | 20°S46°W | 68°N38°E | 3°S46°E |
| 13 | K 지역; 삼계리 부근 | N52°E, 46°SE | N50°W, 80°SW | 33°N8°E | 46°S42°E | 26°S80°W |
| 14 | L 지역; 삼계리—통점동 사이 | N10°E, 82°NW | N60°W, 64°SW | 20°N66°E | 64°S27°W | 15°N29°W |
| 15 | I 지역; 운문사 부근 | N26°E, 72°NW | N70°W, 82°NE | 16°S22°E | 70°N44°W | 8°N66°E |
| 16 | I 지역; " | N40°E, 54°NW | N60°W, 86°NE | 24°S5°E | 54°N50°E | 23°N73°E |
| 17 | C 지역; 송림동 부근 | N72°W, 70°SW | N17°E, 74°SE | 32°N26°W | 58°S36°E | 11°N65°E |
| 18 | U 지역; 당고개 부근 | N72°W, 68°SW | N16°E, 80°NW | 17°N65°E | 68°S30°W | 12°N38°W |
| 19 | H 지역; 동곡과 남전동 사이 | N10°E, 76°SE | N74°W, 82°NE | 14°S5°8W | 74°N76°E | 5°N31°W |

σ_1 : 최대주응력축

σ_3 : 최소주응력축

型) 많은 地域에서 兩方向의 節理들이 거의 直交에 가깝게 혹은 50~80度 이내로 서로 斜交하는 경우가 많다. 兩方向의 節理系가 共存·斜交하는 경우 共存域에서의 兩節理面간의 滑動現象은 잘 관찰되지 않지만 간혹 수 cm~20cm 정도의 slip 현상이나 石英脈을 絶斷하는 小變位(0.5cm~10cm)를 수반하는 경우가 관찰되기도 한다. 斜交하는 경우의 代表的인 兩方向은 N20°~40°E(傾斜; 60°~80°NW 혹은 SE)와 N60°~80°W(傾斜; 70°~80°NE 혹은 SW), N10°~20°W(傾斜; 70°~80°SW 및 NE)와 N70°~80°E(傾斜 70°~80°SE 혹은 NW), N10°~20°E(傾斜; 70°~80°SE 혹은 NW)와 N70°~80°W(傾斜; 60°~88°SW 혹은 NE) 등이다. 共存域에서 관찰되는 節理生成의 前後관계는 N-E走向의 節理系가 N-W走向의 節理系에 의해 絶斷되어 있는 경우가 종종 發見되는 것으로보아 N-E走向의 節理系가 N-W走向의 節理보다는 먼저 生成된 것으로 생각되거나 간혹 이와 反對가되는 경우도 發見되므로 前後關係를 分明하게 判定짓기는 매우 不明確하다. 일부 共軛의 性格을 띄며 斜交하는 兩方向의 交線부근에는 미세한 不連續인 斷裂들이 발달되어 있는 현상이 관찰되기도 한다.

일반적으로 節理는 壓縮力 혹은 遇力에 의해 生成되는 剪斷應力과 壓縮力과는 관계가 없는 引張應力에 의한 引張應力과 壓縮力과는 관계가 없는 引張應力에 의한 引張應力에 의한 破壞는 剪斷應力에 의한 破壞보다도 훨씬 작은 힘(약 1/20 以下)에 의해서도 破壞가 일어난다고 한다.

前述한바와 같이 本域 節理系는 그方向성이 다소 산만 多樣하나 그중 가장 優勢한 方向은 北北東方向과 北北西方向의 節理系이다. 이 중 北北東方向은 大斷層群의 方向과 거의 一致하는데 이는 이方向의 節理의 生成機構는 大斷層群의 生成機構 및 時期와 밀접한 關係를 가지고 있음을 말해주는 것이다. Table 2은 資料가 不足하지만 本域에서 測定한 共軛性節理 set을 利用하여 當時의 應力場을 復元해 본 것이다. Table 2에서 나타난 바와같이 最大主應力軸(σ_1)의 方向은 大體로 北北西—南東南方向내지 北西—南東(N10°W~N50°W)과 北北東—南西南方向 및 東北東—南西南方向임을 보여주고 있는데 이 중 북서—남동方向은 大斷層方向에 대체로 直交하며 北北東—南西南方向은 대체로 大斷層方向에 平行한 方向이다. 上述한 最大主應力軸의 方向分析

에 의하면 本域의 大斷層群과 優勢한 方向의 節理群들은 북북서—남동남 및 동북동—남서남方向의 翕압력에 의한 廣域的인 壓縮應力에 의한 剪斷應력과 北東東—南西南方向의 水平動力에 의해 生成되었을 것임을 推定케 해준다. 그러나 인근 彦陽一帶의 彦陽花崗岩體내의 節理系를 調査·研究한 資料에 의하면 彦陽花崗岩體내의 서로 直交하고 垂直인 節理系의 生成은 廣域的인 引張應력과 北北東—南西南方向의 水平移動力에 의한 應力場에 의해 生成되었을 可能性도 있음이 報告된바 있는데(李永吉, 1980) 次後 本域 節理系의 生成에 대해 이와같은 觀點에서도 廣域적으로 면밀히 조사 연구해볼 수도 유익할 줄 생각한다. 北北東과 西北西方向의 節理系와 斜交하는 節理들은 大部分 斷層生成과 同時 혹은 直後에 加해진 北北東—南西南方向의 水平移動力에 수반된 剪斷節理일 것으로, 그리고 서로 直交하는 節理들중에는 상당한 部分이 熔岩이 冷却할때 생기는 熱收縮에 의해 形成되는 冷却節理(cooling joint)일 可能性도 있다(예; G地域). 하여튼 全域을 통해 節理生成의 前後관계는 명확히 確認할 수는 없으나 本域 節理系의 生成機構가 上述한바와 같은 여러가지 複合的인 요인들에 의해 生成되었을 可能性이 많으며 이들 構造線들은 本域 및 本域인근에 分布하는 金屬鑛床들의 賦存에 있어서 중요한 규제요인이 되었음이 分明한 事實일 것으로 思料된다.

6. 結 論

1. 楡川盆地 北端部인 本域에 産出되는 白堊紀末 火山岩類는 成分上 玄武岩質安山岩으로부터 流紋岩에 이르는 廣範한 成分의 凝灰岩類 및 熔岩流의 互層으로 構成된다.
2. 楡川層群으로 代表될수 있는 이들 火山岩類는 下位の 朱砂山安山岩質岩類와 上위의 雲門寺流紋岩質岩類로 二大分될수 있다.
3. 朱砂山安山岩質岩類는 그 分化順序로보아 上部와 下部로 區分되는데 이들은 相異한 分化輪廻를 보여준다.
4. 各火山岩層은 橫的인 相變化가 매우 甚하나 鑛物 및 化學組成의 變化를 基準으로하면 더욱 細分될수 있다.
5. Calc-alkalic 마그마系列의 것으로 特徵지워지는 本火山岩類는 玄武岩質安山岩質岩類로부터 流紋岩質岩類에 이르는 連續的인 成分分布를 보이는 分化産物로 解釋된다.
6. 火山岩類에 發達되는 節理系는 北北東—南南西方向의 것과 北西—南東方向의 것이 優勢하게 나타나는 데 이는 本域에 發達되는 斷層系와 同時期인 剪斷節理이며 이외의 不規則하게 發達되는 節理는 lava flow 또는 ash-flow에 의한 荷重, 磨擦 및 自體의 冷却에 의한 strength에 起因한 것으로 解釋된다.

參 考 文 獻

- 姜必種·김종환·임정웅(1976), Landsat-I 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, v. 12, no. 2, p. 79~89.
- 金南長·진명식(1971), 韓國地質圖 및 圖幅說明書(1:50,000), 毛良圖幅; 國立地質調査所.
- 金永琪·李在英·金相旭·高仁錫(1976), 慶尙北道一圓에 賦存하고 있는 金屬地下資源의 地質鑛床學의 研究; 鑛山地質, v. 9, no. 3, p. 143~156
- 박봉순·윤윤영(1973), 한국지질도 및 도록설명서(1:50,000), 慈仁圖幅; 국립지질조사소,
- 李永吉(1980), 경상남도 彦陽一帶 彦陽花崗岩內의 節理系; 慶北大論文集, v. 30, p. 403-412.
- 李倫種·이인기(1972), 한국지질도 및 도록설명서(1:50,000), 彦陽圖幅; 國立地質調査所.
- 元種寬(1968), 慶尙盆地內에서의 白堊紀火成活動에 관한 研究; 地質學會誌, v.4, p. 215~236.
- 元種寬·姜必種·이상헌(1978), 慶尙盆地의 構造 해석과 igneous pluton에 관한 研究; 地質學會誌, v. 14, no. 3, p. 79~92.
- 孫致武·鄭昌熙·金鳳均·李商萬(1968), 中生代의 地殼變動 및 鑛化作用의 時期에 관한 研究; 科技處(단행본), p. 1~36.
- 孫致武(1969), 우리나라에서의 白堊紀 火成活動에 관하여; 地質學會誌, v. 5, p. 259~267.
- 章基弘(1977), 慶尙盆地 上部中生界의 層序, 堆積 및 地構造; 地質學會誌 v. 13, p. 76~90.
- 章基弘(1978), 慶尙盆地의 層序, 堆積 및 地構造(II); 지질학회지, v. 14, p. 120~135.
- 車文星(1976), 부산地域의 佛國寺酸性火成岩類의 岩石學的 研究; 광산지질학회지, v. 9, p. 85~106.
- 山成不二磨(1924), 韓國地質圖 第一集, 密陽及楡川圖幅(1:50,000); 조선총독부
- 立岩巖(1929), 韓國地質圖 第十集, 慶州及永川圖幅(1:50,000).
- 平山次郎·垣見俊弘(1965), 地層中の 應力場의 解析法とその 實例에 について; 地球科學, 第78號, p.

- 23~31.
- 村井 勇(1965), 房總半島勝浦附近に 發達する 節理と 斷層; 地震研究所彙報, 第43號, p. 829~869.
- 西南日本内帯後期中生代 火成活動研究グループ(1967), 西南日本内帯における 後期中生代の 火成活動と 構造發達史; 地團研究報, v. 13, p. 1~48.
- 垣見俊弘(1968), 小斷層の 解析に ついて; 地熱, no. 17, p. 5~13.
- 衣笠善博・垣見俊弘・平山次郎(1969), 房總半島東海岸の小斷層; 地質月報, v. 20, p. 13~38.
- 三井 忍(1969), 平小名浜間における 小斷層解析; 東北大地質古生物研究誌, no. 67, p. 99~116.
- 矢内桂三(1972), 足尾山地北部の後期中生代 酸性火成岩類, その 1, 地質; 岩石鑛物鑛床學會誌, v. 67, p. 193~207.
- 矢内桂三(1973), 足尾山地北部の後期中生代酸性火成岩類, その 2, 岩石並びに造岩鑛物の記載と その考察; 岩石鑛物鑛床學會誌, v. 68, p. 6~29.
- 矢内桂三(1973), 足尾山地北部の酸性火成岩類 その 3, 形成機構と 成因の考察; 岩石鑛物鑛床學會誌, v. 68, p. 78~85.
- 小井土由光(1974), 岐阜縣 下呂町東部地の濃飛流紋岩; 地質學雜誌, v. 80, p. 307~322.
- 村上台英(1975), 山口縣の 地質; 山口縣立山口博物館 p. 123~150.
- 三村弘二・片田正人・金谷 弘(1976), 琵琶湖南東 八尾山地域の 湖東流紋岩類の 火成作用; 岩石鑛物鑛床學會誌, v. 71, p. 327~338.
- 友成才(1976), 廣島縣 東南部における 萬成型花崗岩と 流紋岩類の 岩石學的特徴と その 相互關係; 岩石鑛物鑛床學會誌, v. 71, p. 37~43.
- 垣見俊弘(1978), 地質構造の 解析; 地學雙書, 22, p. 1~240, 地學團體研究會, 東京.
- 茂野 博(1980), 西南日本外帯, 四國沖ノ島花崗岩類に 發達する 引張7節理系; 九州理學報, v. 13, no. 2, p. 145~153
- Anderson, E. W.(1951) Dynamics of Faulting and Dyke Formation: 2nd ed. 206p. Oliver & Edinburg
- Billings, M. P. (1972) Structural Geology; 3rd ed. 140-305p, McGraw
- Church, B. N. (1975) Quantitative classification and chemical comparison of common volcanic rocks: G.S.A. Bull. v. 86, p. 257-263.
- Fruchter, J. S. (1980), Mount St. Helens ash from the 18 May 1980 Eruption, Chemical, Physical, Mineralogical, and Biological Properties: Science, v. 209, p. 1116-1125.
- Harrison, J.E. & Moench, R. H., Joints in Precambrian Rocks, Central City-Idaho Spring area, Colorado.
- Hildreth, W. (1979) The Bishop tuff: evidence for the origin of compositional zonation in silicic magma chambers, in Chapin, C.E. and Elston, W.E. eds., Ash-flow tuffs: G.S.A. special paper 180, p. 43-75.
- Hobbs, etc. (1976) An outline of Structural Geology: Wiley
- Jaeger, J.G. (1964) Elasticity, Fracture, Flow: 3rd ed., 268p. Mathuem, London
- McDowell, F. W. and et. al. (1979), Ignimbrites of the Sierra Madre occidental and their relation to the tectonic history of western Mexico, in Chapin, C.E. and Elston, W.E. eds., Ash-flow tuffs; G.S.A. special paper 180, p. 113-124.
- Miyashiro, A. (1974), Volcanic rock series in island arcs and active continental margins: Am. J. Science, v. 274, pp. 321-355.
- _____, (1975), Volcanic rock series and tectonic setting; Annual Rev. Earth, Planet, Sciences, v. 3, p. 251-269.
- Moorhouse, W. W. (1970), A comparative atlas of textures Archean and younger volcanic rocks; ed. by J.J. Fawcett, G.A.C. special paper, No. 8.
- Mueller, R. F. and et. al. (1977), Chemical Petrology, Springer-Verlag, New York, Inc. p. 266-347.
- Osamu Ujike. (1975), Petrogenetic significance of normative corundum in calc-alkaline volcanic rock series: J. Japan Assc. Min. Pet. Econ. Geol., v. 70, p. 85-92.
- Price, N. L.(1959), Mechanics of jointing in rocks; Geol. Mag. V. XCVI, no. 2, p. 149-167.
- Rogess, J. W. & Greenberg, J. K. (1981), Trace elements in continental margin magmatism: Part III, Alkali granites and their relationship to cratonization: Summary; G.S.A. Bull., v. 92, p. 6-9.
- Rosenfeld, C. L. (1970), Observations on the Mount St. Helens Eruption; Am. Sci., 68, p. 494-509.
- Smith, R. L. (1979), Ash-flow magmatism: in Chapin, C. E. and Elation, W. E. eds., ash-flow tuffs; G.S.A. special paper 180, p. 5-27.
- Spencer, E. W. (1969), Introduction to the Structure of the Earth; p. 597, McGraw Hill.