

LANDSAT TM資料에 의한 鐵化帶調查 應用技法開發*

姜必鍾 · 智光薰 · 曹民肇 · 崔映燮

韓國動力資源研究所

(1986년 7월 10일 받음; 1986년 7월 31일 수리)

Remote Sensing Application for the Mineralized Zone Using Landsat TM Data

Pil-Chong Kang, Kwang-Hoon Chi, Min-Joe Cho, Young-Sup Choi.

Korea Institute of Energy and Resources(KIER)

(Received July 10, 1986; Accepted July 31, 1986)

Abstract

TM data, which have better resolution in spatial and spectral than MSS data, were used for this study, and several Image Processing Techniques(IPT) were examined for finding the best IPT to fit to lineament extraction and mineralized zone mapping.

The Ryeongnam area was selected as a test area, because the area is one of major mineralized zones in Korea and its hydrothermal alteration zone is wider and deeper than other areas.

The spatial filtering method is most optimum one for lineament extraction: that is, the directional spatial filtering is most efficient to detect N-S, E-W direction lineaments on the image, and the high boost filtering can be applied for mapping all direction lineaments.

The ratio method was selected for detecting altered zone. It is possible to make several tens combinations in ratio with 7 bands of TM data, but considering spectral characteristics of each band of TM to the geological materials and vegetation, the band 4/band 3(A), band 5/band 7(B), and B/A ratio methods were chosen among them.

The 5/7 ratio image did not show clearly the altered area due to noise from vegetation cover, so the 4/3 ratio image was used for trying to decrease the effect of vegetation. As a result the B/A

* 이 연구는 1986年度 科學技術處 特定研究課題의 일환으로 遂行된 것입니다.

ratio image showed quite nicely the altered zone of the test area.

In conclusion, the spatial filtering is the best image processing techniques for lineament mapping, and the B/A ratio image in TM data is useful for the mineralized zone mapping.

1. 序 論

LANDSAT 資料는 地質 및 資源探查分野에서 地質圖 作成 및 修正, 鑛物資源探查, 油田探查 等에 利用되고 있는데, 國內에서도 廉尚盆地, 沃川系 및 炭田地域 等에 대해 LANDSAT 資料를 利用하여 廣域地質圖 作成 및 廣域地質構造의 解析 等을 行한 바 있다.

本研究는 鑛化帶에 分布되어 있는 熱水變質帶 및 그에 胚胎된 粘土鑛物을 抽出하기 위해 LANDSAT에 搭載되어 있는 高解像力(約 30 m)의 Sensor인 TM(Thematic Mapper) 資料를 KIERIPS(KIER Image Processing System)에 의해 處理하여 鑛物資源探查를 위한 各種 映像處理技法을 開發하려는 데 目的이 있다.

이러한 開發技法은 國內의 未開發 鑛物資源探查 等에 活用될 수 있으며 LANDSAT 資料의 地質學의 應用範圍의 擴大에 큰 기여를 할 수 있다.

2. 研究地域의 地質 及 鑛床

韓半島 東南部의 廉尚堆積盆地는 Fig. 1의 地質圖에 表示된 것처럼 白堊紀에 形成된 堆積盆地로서 火成岩類를 수반한 두꺼운 陸成堆積層으로 構成되어 있으며, 이 堆積層을 章(1975)은 廉尚累層群이라 命名하였다.

廉尚累層群에 대한 研究는 Koto(1903)에 의하여 처음으로 廉尚層으로 命名, 研究後 以來, Konno 와 Kawasaki(1928)에 의하여 廉尚系로 命名되었다. 그리고, Tateiwa(1929)는 本系를 下部로부터 洛東統, 新羅統 및 佛國寺統으로 三分하였다. 그 後 章(1975)은 火山活動 및 深成火成活動과 관연하여 廉尚堆積盆地를 新洞層群, 河陽層群, 榆川層群 및 佛國寺貫入岩群으로 分類하고 각 層群에 대하여 詳細하게 記述했다(Fig. 1).

李(1972)는 廉尚盆地에서의 鑛化帶는 大부분 貫入岩類와 關係가 있는 것으로 報告한 바 있으며, Gallagher(1963)는 内成(endogenic)鑛床은 대체로 白堊紀末 佛國寺 貫入岩類와 成因의으로 關聯되었다고 하였다.

지금까지 研究의 結果에 의하면 廉尚盆地內의 白堊紀 堆積岩層과 火山岩類에 胚胎된 鑛化帶들은(Fig. 2), 白堊紀末 乃至 第三紀初의 花崗岩質岩의 貫入과 成因의으로 密接한 關聯이 있는 것으로 解析되고 있다.

本研究의 研究對象鑛床인 蠟石鑛床은 密陽, 梁山, 金海, 昌源 및 統營郡 一圓에 分布되어 있

으며, 이를 鎳床의 母岩은 大部分이 安山岩이고 鎳床은 이 安山岩을 贯入한 花崗岩類 附近에 胚胎되어 있다. 池(1962)는 特히 脈狀鎳床의 走向은 鎳床 附近에 發達한 節理의 方向과 一致하는 경향이 있다고 報告하였다.

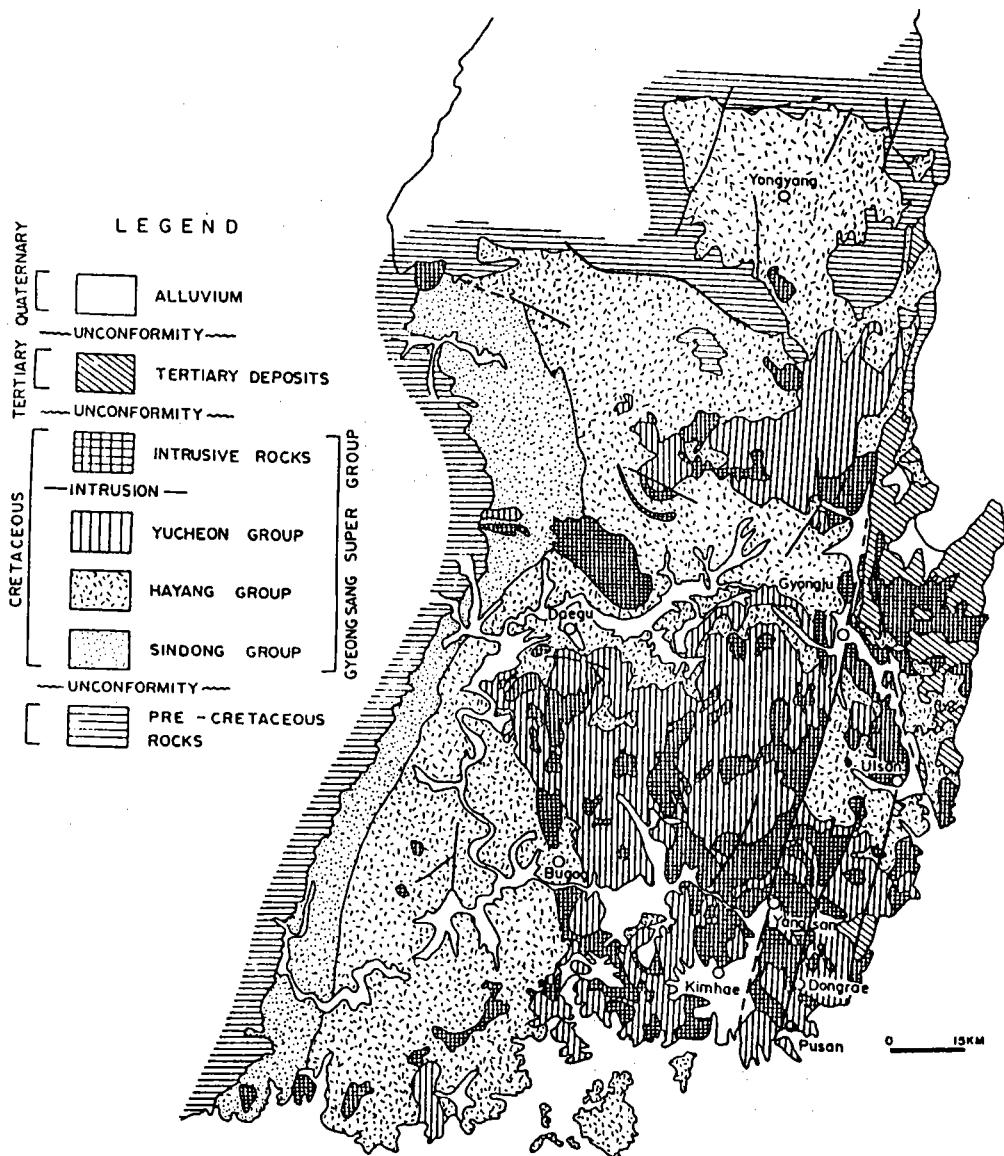


Fig. 1. Geological Map of Gyeongsang Basin (After the 1 : 250,000 Geological Map and Chang, Gihong).

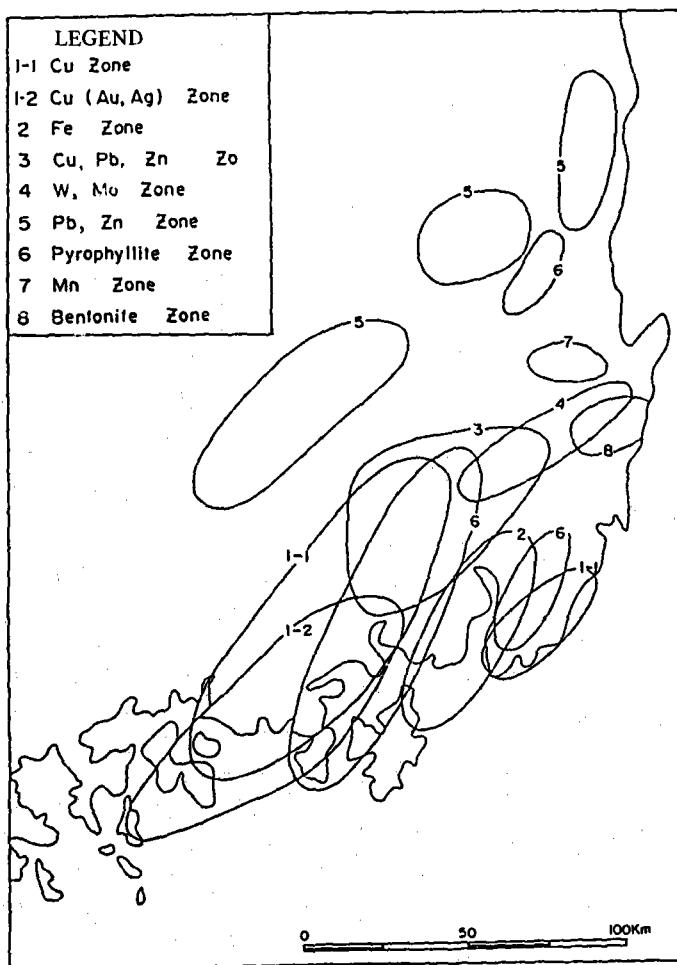


Fig. 2. Mineralized Zones within late Cretaceous~early Tertiary Metallogenic Province (After Yun, 1982).

3. 映像處理技法

LANDSAT TM은 可視～近赤外～熱赤外 領域에 걸치는 Sensor로서, MSS보다 높은 解像力(30 m)과 細分된 7個의 波長帶로 構成되어 있는데, 그 中 $1.55 \sim 1.75\text{ }\mu\text{m}$ 와 $2.08 \sim 2.35\text{ }\mu\text{m}$ 帶는 岩石分布 및 變質帶의 抽出에 利用 可能하다는 事實을 Hunt(1970) 等이 報告한 바 있다.

本 研究는 Hunt(1970) 等에 의해 報告된 結果를 土臺로 하여 變質帶 및 Lineament 抽出을 위해 Ratio 및 Filtering 映像處理技法을 適用하였다.

研究對象地域은 主로 慶尙 蠻石礦化帶 中 延長性이 있는 密陽-東谷 地域을 中心으로 한 地

域을 選擇하였으며, Lineament 抽出을 위한 對象地域으로는 Texture의 相異點이 큰 善山, 軍威, 九山洞, 龜尾, 大票, 新寧圖幅(縮尺 1:50,000) 地域을 選擇하였다.

本研究에 使用한 資料는 主로 1984年 11月과 12月의 LANDSAT 5號 TM CCT(Computer Compatible Tape)이며 MSS Image 가 附隨的으로 利用되었다.

1) 變質帶 抽出을 위한 Ratio技法

Hunt 와 Salisbury(1970)는 Kaolinite는 $1.4 \mu\text{m}$ 帶와 $2.2 \mu\text{m}$ 帶에서, Montmorillonite는 $1.4 \mu\text{m}$, $1.9 \mu\text{m}$, $2.2 \mu\text{m}$ 帶에서吸收帶가 나타난다는 結果를 報告하였으며(Fig. 3), Rowan 및 Goetz 等(1977)은 變質받은 岩石과 變質받지 않은 岩石의 反射率을 測定하고, 그 結果를 發表하였다(Fig. 4). 特히, Goetz(1976)는 $1.6 \mu\text{m}$ 와 $2.2 \mu\text{m}$ 帶의 反射率의 Ratio에 의해 變質받지 않은 岩石과 變質받은 岩石을 區分하는 것이 可能하다고 報告하였다.

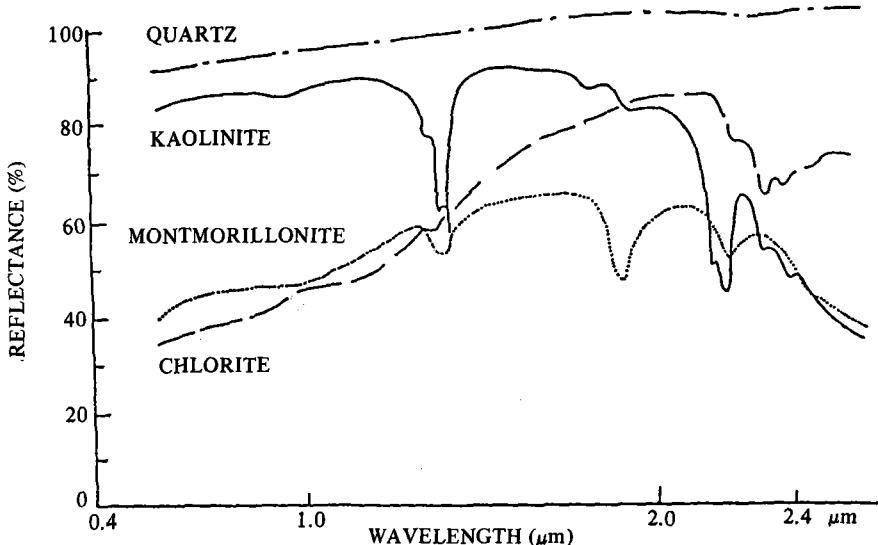


Fig. 3. Spectral curve of silicate minerals in altered rocks (Hunt & Salisbury, 1970).

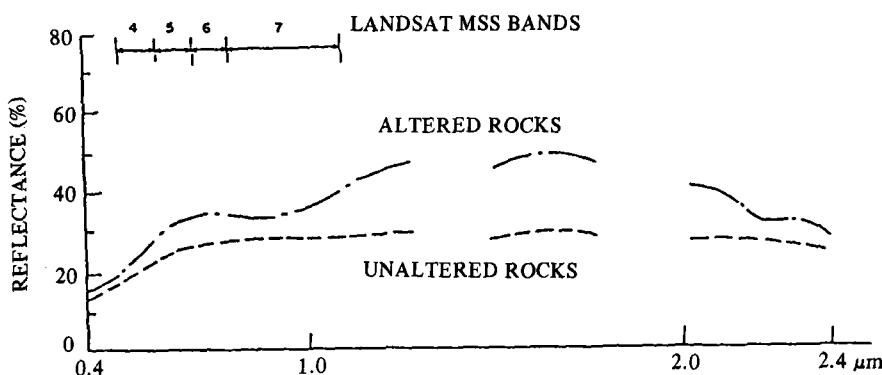


Fig. 4. Spectral curve of altered rocks and unaltered rocks (Rowan & Goetz, 1977).



Fig. 5. Band 5/7 映像.



Fig. 6. Band 4/3 映像.



Fig. 7. Fig. 5/Fig. 6. 映像.



Fig. 8. 研究對象地域의 Ratio false color image
(5/7: Red, 4/3: Green, 5/7/4/3: Blue).

本研究는 이러한 결과를 土臺로 하여 TM의 Band 5와 Band 7을 $\tan^{-1}(A/B) * 162.5$ 의 式을 利用한 Ratio 處理를 하였는데, 그結果는 Fig. 5와 같다. 즉, 變質帶의 粘土礦物은 2.2 μm 附近에서 吸收帶를 갖고 있고 岩石의 反射率은 1.6 μm 附近에서 가장 높기 때문에, 變質礦物은 1.6 μm /2.2 μm 의 比가 크다. 그러므로, 花崗岩(Gr.) 및 Alluvium 等과 같이 낮은 濃度를 나타내는 非變質帶를 容易하게 判讀할 수 있다.

그러나, 本研究對象地域의 大部分은 變質礦物보다 높은 比值을 갖는 植生에 의하여 被覆되어 있으므로 變質帶와 植生을 區分할 必要가 있다. 이를 위하여 近赤外線 波長帶와 可視光 波長帶, 즉 TM의 Band 4와 Band 3을 Ratio 處理를 하여(Fig. 6), 이를 植生의 Index 映像으로 하고, 變質帶 抽出을 위한 Band 5/7 Index 映像과 Band 4/3映像을 다시 Ratio 處理하여 變質帶를 抽出하였다(Fig. 7).

또한, 앞에서 處理한 3種類의 Ratio 映像의 False color image는 热水變質帶가 주위보다 짙은 Pink 色으로 나타나 있다(Fig. 8).

2) Lineament 抽出을 위한 Spatial Filtering 技法

Lineament 抽出을 위한 研究對象地域(Fig. 9)은 佛國寺貫入岩群, 榆川火山岩層群 및 新洞層群으로 構成되어 있으며, Fine texture와 水系의 發達로 因하여 視覺的 判讀의 客觀性에 問題가 있는 地域으로 判斷되기 때문에 選定되었다.

Lineament 抽出 方法으로는 視覺的 判讀에 의한 方法과 映像處理에 의한 方法이 있는데, 本研究에서는 主로 視覺的인 判讀에 의해 Lineament를 抽出하였으나 視覺的 判讀의 客觀性을 위해 部分的으로 Spatial filtering 映像處理技法에 의해 Lineament를 抽出하였다.

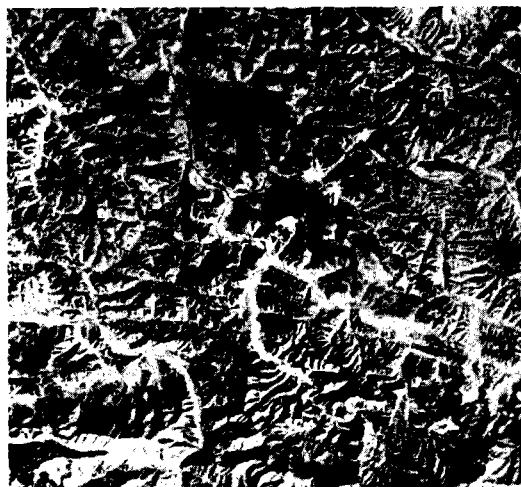


Fig. 9. Lineament 抽出 對象地域.

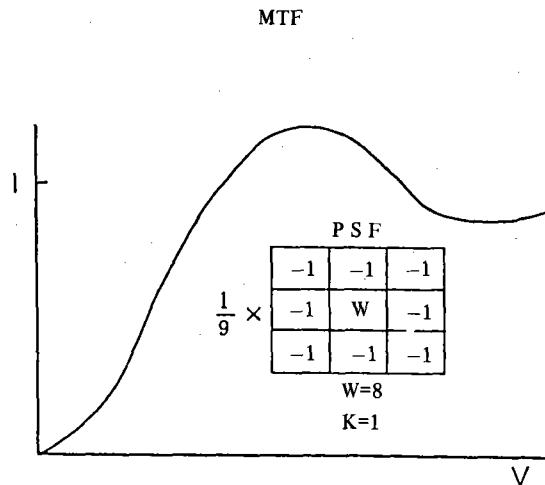


Fig. 10. PSF and MTF of standard high boost filter.

映像處理에서 使用되고 있는 Spatial filtering 技法에는 Low pass filtering, High pass filtering, Band pass filtering 等 3個의 基本的 形態로 區分할 수 있는데, 本研究에서는 High pass filtering 技法을 使用하였다.

研究對象地域의 Lineament 抽出을 위해 High pass filter 中 本研究에 使用한 것은 1,0에 의한 Directional high pass filter와 Filter의 MTF가 1보다 큰 High boost filter(Fig. 10)를 사용하였다.

Fig. 11은 Directional high pass filter를 使用하여 E-W 方向과 N-S 方向의 Lineament 를抽出하여 各 方向性을 強調하였으며, Fig. 12는 Standard high boost filter를 使用하여 地形의 強調와 더불어 全方向의 Lineament를 抽出한 것이다.

$$\begin{aligned}\text{High pass filter} &= (K) \text{original} - \text{low pass} \\ &= (K-1) \text{original} + \text{original} - \text{low pass} \\ &= (K-1) \text{original} + \text{high pass}\end{aligned}$$

또한, MSS data에 의한 研究對象全地域의 Lineament 抽出은 Band 5와 7을 全方向의 Directional high pass filter에 適用하였다(Fig. 13).

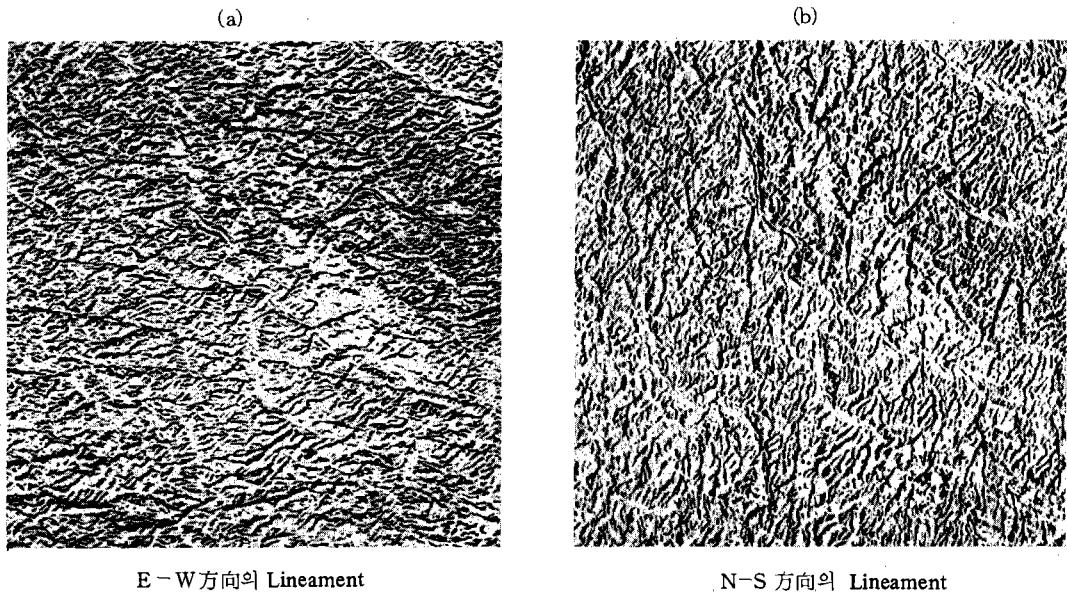


Fig. 11. Directional high pass filter image



Fig. 12. 全地域의 Lineament

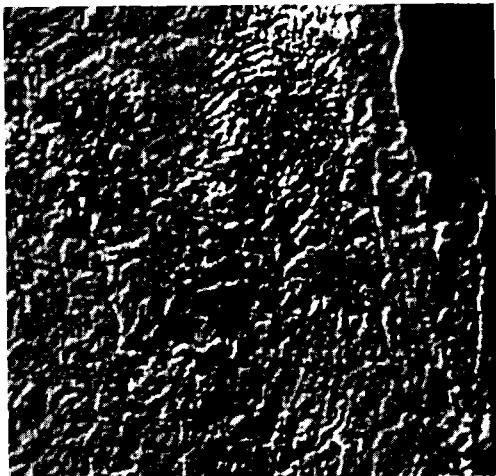


Fig. 13. 全地域의 Lineament

4. 地質學的 解析

1) Lineament 解析 및 地質構造와의 關係

(1) Lineament 解析

Lineament 判讀 및 分析은 Spatial filtering 技法에 의하여 處理된 TM과 MSS映像에서 遂行되었으며, 그 結果는 Fig. 14와 같다.

Trend에 따른 頻度를 分析해 보면 N 25°E, N 55°E, N 85°W, N 55°W, N 35°W 및 N 15°W의 6 個의 우세한 Trend가 뚜렷히 나타나고 있는 바, 이들은 편의상 순서대로 각각 A trend, B trend, C trend, D trend, E trend, F trend라고 했다.

本研究對象地域은 B trend가 가장 우세하게 나타나는데, 韓半島 全體的으로 보면 약간 變形된 것으로 생각된다. 즉, A와 B trend는 각각 Sinian direction과 NNE인 Liatung direction의 地域的인 變形으로 생각된다. C와 D trend는 孫(1971)의 Ore line trend인 N 80°W 및 N 45°W와 5°~10°의 差異를 보여 주고 있는데, 이들의 關聯性에 대해서는 紛明하지 않았다. E trend는 Korean direction인 N 30°W와 거의 一致하고 있으며, F trend는 새로운 Trend로 考慮된다.

本研究로써 앞으로 韓半島의 地質構造 Trend에 있어서 地域的인 變形에 대하여 考察할 必要가 있다.

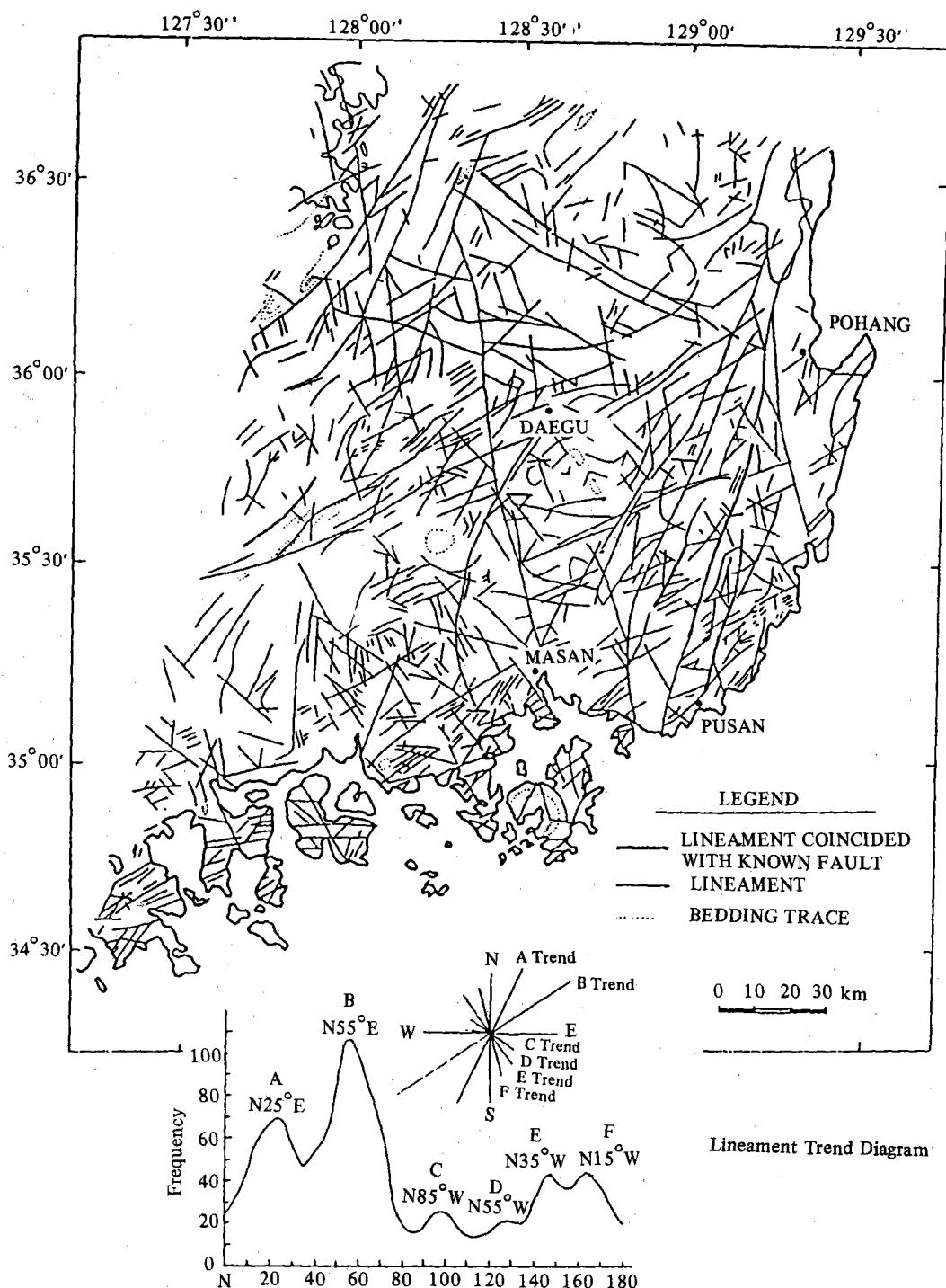


Fig. 14. Lineament Map of Ryeongnam area and Cartesian histogram of lineament.

Fig. 15는抽出, 判讀된 Lineament의 길이와 Trend에 대한 頻度를 表示한 것으로 길이를 0~8 km, 9~20 km, 20 km 以上의 3群으로 分類하여 이들 각각에 대한 頻度를 觀察한結果 이들 曲線이 각각 약간의 變化를 보여 주고 있다.

Fig. 14의 Trend diagram에 나타난 傾向은 8 km 以下의 Lineament의 影響을 가장 많이 받고 있는데, 이는 8 km 以下의 것들이 全體의 60 %를 차지하고 있기 때문이다.

8 km 以下의 Lineament들은 D trend를 除外하고는 Fig. 14의 Graph와 같은 傾向을 보이고 있으며, 단지 B trend의 幅이 좁아졌다.

9~20 km의 것들은 Fig. 14와 다른 傾向을 보이고 있다. 즉, B trend頂點이 10° 東으로 延轉하여 N $60^{\circ} \sim 70^{\circ}$ E에서 나타나고 있으며, 그 外에는 幅이 넓고 緩慢한 屈曲을 보이고 있다. 20 km 以上의 것은 9~20 km의 것과 비슷한 傾向을 보이고 있으나 幅이 더 넓어지고 더 緩慢한 傾斜를 보여 준다.

Fig. 15에서 9 km 以上의 Lineament 頻度 Graphs를 보면 B sub trend(N $60^{\circ} \sim 70^{\circ}$ E)와 D trend(N $50^{\circ} \sim 60^{\circ}$ W)에서 같은 傾向을 보이고 있는데, 이들은 60° 角度를 이루면서 交叉하여 서로 共軛關係를 보여 주고 있다.

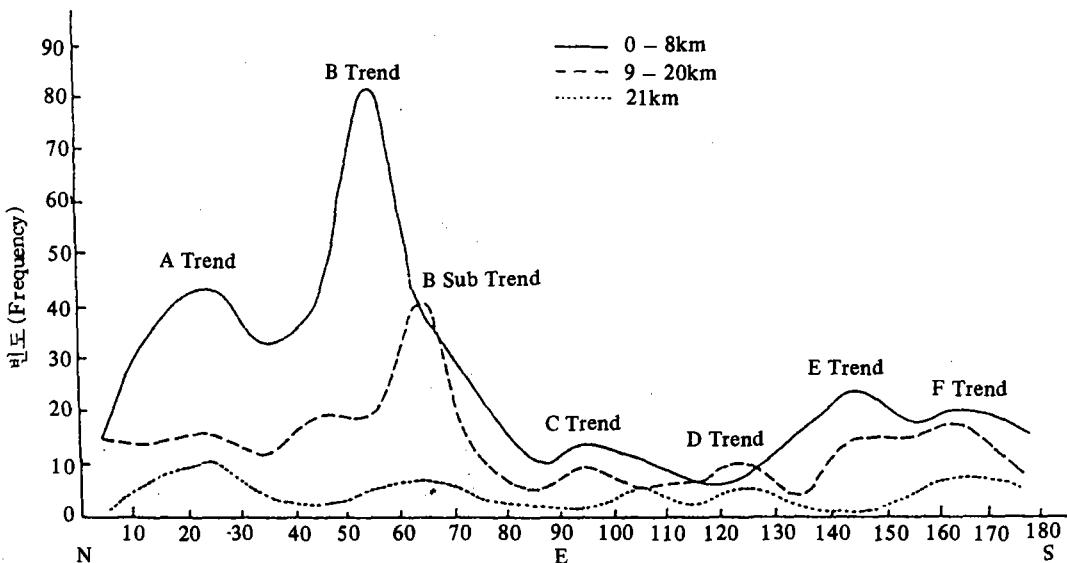


Fig. 15. Cartesian histogram of lineament.

(2) Lineament 와 地質構造 및 鎏床과의 關係

環狀構造(Circular structure)(Fig. 14)는 花崗岩類의 貫入時 주위의 廉尙累層群 岩石이 Hornfelse化되어 風化作用에 強하므로 貫入岩體 주위에 鋒利하고 높은 積線을 形成한 반면, 花崗岩

類는 風化, 浸蝕을 받아 낮은 地形을 形成함으로써 생긴 現象이다.

既存 地質圖上에 表示된 斷層線과 判讀된 Lineament를 比較해 보면, 이들 斷層線들의 Trend에 따른 頻度도 N $40^{\circ}\sim50^{\circ}$ E에서 가장 높게 나타나고 있어 Lineament의 우세한 Trend와 一致하고 있다.

대체로 地質圖上의 斷層線들은 Lineament와 一致하고 있는데, 단지 映像上에서 判讀된 Lineament의 數가 수十倍에 달하고 있다. 이는 野外에서의 證據 不充分으로 因하여 斷層線들이 地質圖上에서는 더 以上 表示되지 않았기 때문일 것이다. 그 예로 LANDSAT 映像上에서 蔚山에서 延日을 거쳐 北北東 方向으로 發達되어 있는 Lineament는 뿐만이 判讀되는데 地質圖上에는 지금까지 表示되어 있지 않으나, 이 Lineament는 梁山斷層과 疙陽斷層에 의하여 切斷 移動되었음이 映像에서 正確히 判讀되었다.

$0^{\circ}\sim30^{\circ}$ 사이의 Trend를 갖는 Lineament들은 主로 火成岩類 分布地域인 益山附近과 金泉一帶에 發達되어 있으며, 이들은 火成岩類를 切斷하고 있다. 이는 이들 Lineament들이 Cretaceous 火成活動 以後에 生成되었다고 볼 수 있으며 生成時期는 Post Cretaceous라고 할 수 있다.

$40^{\circ}\sim80^{\circ}$ 사이 Trend의 Lineament들은 本 研究地域의 南部, 中部 및 北部에 發達되어 있는데, 이들은 第三紀層 分布地域 外의 火成岩類가 分布되어 있는 地域 一帶의 火成岩類를 切斷 하여 發達되어 있다.

$90^{\circ}\sim130^{\circ}$ Trend의 Lineament들은 慶尚系 堆積岩類 分布地에 發達되어 있으며, 이들의 一部는 堆積岩을 貫入한 花崗岩類를 切斷하고 있다.

$140^{\circ}\sim170^{\circ}$ Trend의 Lineament들은 本 研究地域 全般에 걸쳐 거의 均一한 分布를 보여주고 있다.

本 研究地域에 發達되어 있는 Lineament들은 거의 大部分이 佛國寺花崗岩類를 切斷하고 있으므로 大部分의 Lineament들의 生成時期는 佛國寺花崗岩類 貫入의 Cretaceous 末~Tertiary 初에 해당된다고 본다.

Lineament와 本 研究의 主要 對象物인 蠟石鑛床과의 關係를 보면 대체로 梁山斷層과 一致하는 Lineament(15° trend)와 一致하고 있으며, 益山·機長鑛山은 $40^{\circ}\sim45^{\circ}$ Trend, 密陽·阿北鑛山은 20° Trend, 雄龍·望德鑛山은 25° Trend의 Lineament에 따라서 發達되어 있는데 이러한 蠟石鑛床들은 Lineament等의 弱線帶에 따른 热水變質乃至 接觸變質에 의해 生成된 것으로 보인다.

2) 地質 및 地質構造 解析

密陽-東谷地域(Fig. 16)은 廣域 热水變質作用을 받은 地域으로서 蠟石鑛山이 많이 分布되어 있으며, 廣域地質判讀圖(Fig. 17)와 같이 河陽層群의 慈仁層, 榆川層群 및 佛國寺貫入岩類等

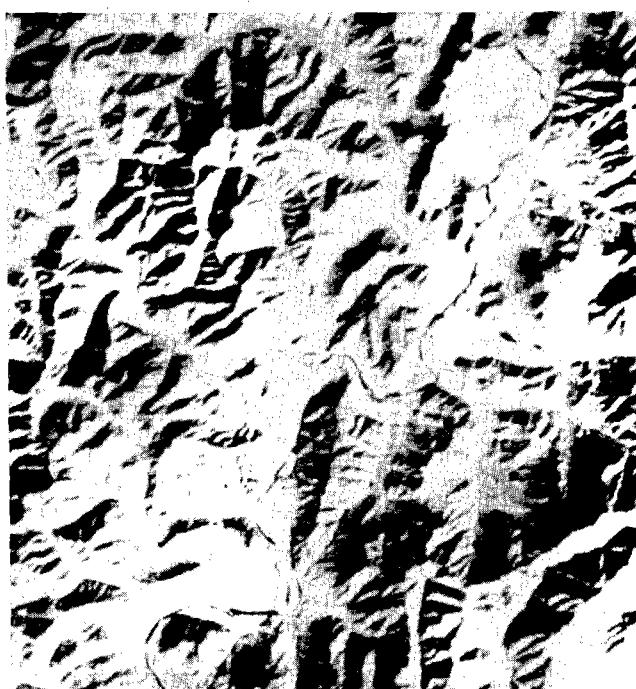


Fig. 16. 研究對象地域의 LANDSAT TM image.

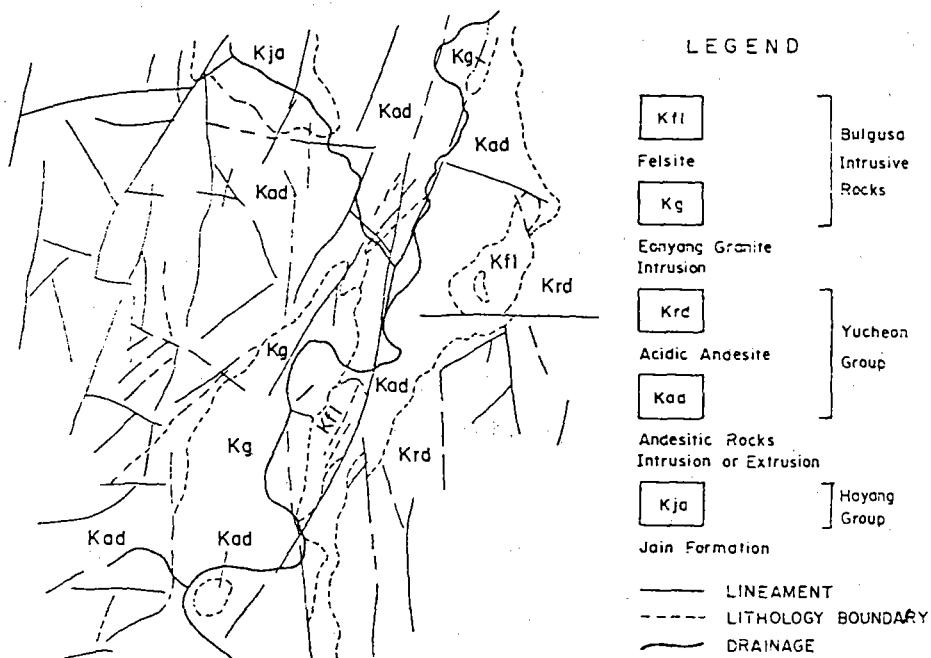


Fig. 17. Geological interpretation map of Landsat image of the study area

으로構成되어 있다. 野外地質調查 및 映像處理에 의해 作成된 映像을 分析한 結果에 의하면 各 地層의 特徵은 다음과 같다.

(1) 慈仁層(Kja)

本研究對象地域의 北西部 一帯에 分布하고 있으며 主要構成岩石은 黑色乃至暗灰色 셰일과 실트스톤이 가장 우세하고 砂岩類等으로構成되어 있으며, LANDSAT映像(Fig. 16)에서는構成岩石의 影響으로 地形의 起伏이 낮게 나타난다.

本層의 走向과 傾斜는 N 60°~70°E, 10°~20°SE이며 대체로 SSW 方向으로 Plunge 하는 Open褶曲을 보인다. 本研究地域의 北western에는 고은斷層이 지나고 있는데, 이는 映像上에서 Lineament로 뚜렷하게 나타나 있다. 本研究地域의 西部에서는 安山岩質岩石과 貫入·噴出乃至岩床注入에 의한 接觸을 하며 地質境界線이 地形에 影響을 많이 주고 있다.

(2) 榆川層群의 安山岩質岩(Kad)

本研究對象地域에 가장 큰 分布를 보이고 있으며 構成岩石은 安山岩, 角礫質安山岩, 斑狀安山岩 및 緩灰質安山岩等으로構成되어 있다.

本岩石들이 分布하는 곳은 地形的으로 險峻한 山勢를 形成하여 南西-北東端을 잇는 彦陽花崗岩(Kg)의 貫入에 의하여 熱變質帶乃至接觸變質帶가 形成되어 있다. LANDSAT(Fig. 16)에서는 堆積岩類인 慈仁層(Kja)이나 花崗岩(Kg)과 같이 Texture가 Fine하지 않으며, 地形의 起伏에 의해서도 쉽게 区分, 判讀할 수 있다. 특히 本岩은 地形的으로 險峻한 山勢를 이루고 있기 때문에 露出된 岩石과 植生을 LANDSAT TM Band 5/7과 Band 4/3의 Ratio技法에 의해 作成된 Fig. 7에서 쉽게 判讀할 수 있으며, 東谷地域의 變質帶 역시 Ratio映像(Fig. 8)에서 잘 判讀된다.

(3) 酸性安山岩(Krd)

本岩은 安山岩質岩(Kad)처럼 本研究地域에 넓게 分布하고 있으며, 慈仁圖幅(朴等, 1973)에서는 이를 白堊紀 火成活動의 Tholeitic한 玄武岩質 마그마의 進化에 의한 것이라고 說明하고 있다. 主要構成岩石은 石英安山岩 및 流紋石英安山岩으로 되어 있는데, LANDSAT映像에서는 東谷洞 一圓을 除外하고는 安山岩質岩(Kad)과 区分하기 어렵다.

(4) 佛國寺貫入岩類

本研究地域에서 本岩類는 南部와 東倉川 西部 流域을 따라 小規模의 岩柱狀으로 分布하고 있는 彦陽花崗岩(Kg)과 珪長岩(Kfl)으로構成되어 있다.

彦陽花崗岩(Kg)은 Texture가 Fine하고 낮은 地形을 이루고 있어 LANDSAT映像(Fig. 16)에서 쉽게 判讀할 수 있다.

珪長岩(Kfl)은 彦陽花崗岩의 分布地에 近接하여 分布하고 있는데 安山岩質의 變質帶를 貫入

하고 있다. LANDSAT 映像에서는 Texture로써 구별이 어려우나 地形의 形態로 區分할 수 있다.

5. 結論

今番研究에 처음 사용된 LANDSAT TM data는 從來의 MSS data 보다 높은 解像力과細分된 波長帶로 因하여 많은 地質學的情報를 抽出할 수 있었다. 特히 TM band 中 Band 5 와 7의 塔載는 韓國에 있어서 LANDSAT data를 利用한 地質學的 應用分野의 局限性을 脱皮시켜, 보다 넓은 範圍로 應用의 擴大 및 그 可能性을 證明하게 되었다. 今番研究의 結果를 크게 다음과 같이 區分할 수 있다.

1) 映像處理技法 開發에 의한 热水變質帶 및 蠻石礦化帶 抽出

本研究에서 密陽－東谷地域을 主 對象으로 變質帶 및 蠻石礦化帶를 抽出하기 위하여 Ratio 處理技法을 適用하였으며, 그 方法 中 Band 5/7 과 Band 4/3의 映像를 Ratio處理한 것이 가장 有效하였다.

2) 客觀的인 Lineament 判讀을 위한 Spatial filtering 技法 開發 및 地質構造와의 關係解析

Lineament 判讀은 頻度의 數, 길이 等에 있어 個人의 差가 많아 映像處理技法에 의한 自動抽出을 試圖하였는데, Spatial filtering 技法 中 Standard high boost filtering은 今番研究에 처음으로 適用하였다.

또한, Lineament를 分析한 結果, $140^{\circ} \sim 170^{\circ}$ Trend의 Lineament들은 本研究地域 全般에 걸쳐 거의 均一한 分布를 보여 주고 있다.

本研究地域에 發達하고 있는 Lineament들은 거의 大部分이 佛國寺花崗岩類를 切斷하고 있음이 두렷하므로, 大部分의 Lineament들의 生成時期는 花崗岩 貫入 以後인 Cretaceous 末 ~ Tertiary初에 해당된다고 본다.

Lineament와 蠻石礦床과의 關係를 보면 대체로 梁山斷層과 一致하는 Lineament(15° Trend)의 支配를 많이 받으며, 釜山·機長礦山은 $40^{\circ} \sim 45^{\circ}$ Trend, 密陽·阿北礦山은 20° Trend, 雄龍·望德礦山은 25° Trend의 Lineament를 따라 發達되어 있다. 즉, 이러한 蠻石礦床들은 Lineament 等의 弱線帶를 따라 注入된 礦化溶液에 의하여 热水變質을 받아 生成된 것으로 보인다.

参考文献

1. 國立地質調查所, 韓國動力資源研究所, 1963~1983: 韓國地質圖(五萬分之一), 慈仁, 毛良, 梁山, 彦陽, 馬山, 東來, 月內, 釜山, 加德圖幅 및 說明書.
2. 金玉準 외, 1982: 韓國의 地質과 鑛物資源, 延世大學校 地質學科 同門會, p.523.
3. 金鍾煥 · 姜必鍾 · 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, 第 12 卷, 第 2 號, pp.79~89.
4. 孫致武, 1971: 韓國의 鑛床分布와 其意義, 鑛山地質學會誌, 第 4 卷, 第 2 號, pp.91~102.
5. 章基弘, 1977: 慶尚盆地 上部 中生界의 層序, 堆積 및 地構造, 地質學會誌 第 13 卷, 第 2 號, pp.76~90.
6. _____, 1985: 韓國地質論, 民音社, 서울, pp.127~189.
7. 池楨蔓, 1962: 蠟石鑛床의 成因, 서울大學校 碩士論文.
8. 地質調查所, 1924: 密陽, 榆川圖幅, 朝鮮地質圖, 第 1 輯.
9. Gallagher, D., 1976: *Mineral Resources of Korea*, USOM/Korea and Geological Survey of Korea.
10. Hunt, G. R., and Salisbury, J. W., 1970: *Visible and near-infrared spectra of minerals and rocks - I. Silicate minerals*, Modern Geology, Vol. 1, pp. 283-300.
11. KIER, 1983: *Metallogenic Map of Korea* (Scale 1:1,000,000).
12. Rowan, L. C., Goetz, A. F. H., and Ashley, R. P., 1977: *Discrimination of hydrothermally altered and unaltered rocks in visible and near-infrared multispectral images*, Geophysics, Vol. 42, pp. 522-535.