

會 長 講 演

스카른 鑛床과 關係火成岩의 深部同一起源*

尹 碩 奎**

Skarn Deposits and Related Igneous Rocks: Their Cogeneses at Depths

Suckew Yun

Abstract: Whether a skarn deposit in carbonate host occurs in contact with certain igneous mass or not has been a general criterion in identifying the igneous rock that genetically relates to the skarn deposit.

It is well known, however, that there are many skarn deposits which are not close to any given igneous contact but are far away from the contact. In this paper the reason why such deposits can be formed at a distance from the contact as mentioned is expressed based on the concept that skarn deposits and related igneous rocks are genetically connected at depth where ore-forming fluids emanate from magma and are removed upwards; the movement of ore-forming fluids separated from magma at any depth may have a tendency to infiltrate upward in bulk rather than to diffuse laterally; the paths of magma and cogenetic ore-forming fluids may be identical at lower depths but the latter can be diverted from the former with upward movement so that the positions of the skarn deposits which resulted from the ore-forming fluids at upper levels can be distant from the igneous contacts on a given horizontal section.

Statistics indicate that the majority of exoskarns are found at distances up to 800 meters or rarely up to 3,000 meters from igneous contacts and endoskarns up to 600 meters or more. Numerous case studies of skarn deposits in various parts of the world support the above reasoning indicating a general downward convergency of skarn orebodies and related igneous masses with depth. A typical example of this situation is well demonstrated at the Keumseong molybdenum deposit, which is apart from the Jecheon granite on the surface but gets closer to the granite body with depth and finally is intertongued with the granite apophyses in its root zone.

Another case for skarn deposit not associated with igneous contact either laterally or vertically but with a deep-seated distal igneous mass is the Sangdong scheelite deposit; 700 meters below the scheelite orebody a blind pluton of muscovite granite, which intruded into the Precambrian crystalline schist, has been recently discovered by deep drilling.

序 論

오늘날 흔히 불리우고 있는 “스카른鑛床”이라 함은 炭酸鹽質 母岩과 火成岩의 接觸帶에 따라 火成岩 마그마로부터 放出된 高溫度의 流體에 의해 母岩이 變質交代되어 이루어진 石灰珪酸鹽鑛物 即 스카른(Geijer and Magnusson, 1952)을 脈石으로하는 鑛床을 말한다. 이

鑛床類型은 1865年 Bernard von Cotta에 의해 Hungary의 Banat地方에 貫入火成岩에 隣接한 石灰岩內에 胚胎된 鐵鑛床에 對하여 이 鑛床이 貫入岩의 接觸作用에 依하여 이루어졌을 것이라는 見解에서 비롯된 것인데 그는 이 鐵鑛床을 Ural 山脈의 Bogoslawsk, Norway의 Kristiania 및 其他 地域의 類似한 鑛床에 比較하였다. 그후 von Groddeck(1879)는 이와 같은 鑛床들을 하나의 獨立된 類型으로 規定하여 “Kristiania type”이라고 하였고 Vogt(1894)는 이러한 類型의 鑛床에 對하여 비로소 “contact metamorphic deposits”라는 名稱을 주었

* 1985年 5月 4日 大韓鑛山地質學會 第18次 定期總會에서 講演(延世大學校)

** 延世大學校 地質學科

던 것이다.

美國에 있어서는 Lindgren(1899)에 의하여 Idaho州의 Seven Devils의 鑛床이 이 類型의 鑛床으로서 처음 發見되었고 그는 그후(1901) 이 類型에 屬하는 美國內의 一連의 鑛床을 記載하였으며 Irving(1908)은 그의 鑛床分類表에 epigenetic deposits의 一稱으로서 contact metamorphic deposits를 包含시켰다.

그후 地質學者들은 스카른化的 메커니즘은 單純한 變成作用만이 아니라 交代作用(metasomatism)이 該心을 이룬다는 事實을 알게되어 接觸變成鑛床은 接觸交代鑛床(contact metasomatic deposits)으로 불리게 되었다(例: Bateman, 1942; 1950).

그런데 接觸交代鑛床은 炭酸鹽質 母岩과 所謂 “關係火成岩”(成因의 關係가 있는 火成岩)과의 接觸帶 뿐만 아니라 이를 벗어나 相當히 떨어져 炭酸鹽 母岩內에 發見되는 例가 許多함을 알게되어 “接觸”이라는 空間的 制限用語가 不適當하다 하여 Lindgren(1933)은 이를 高熱交代鑛床(pyrometasomatic deposits)이라 하였고 Park(1964)는 火成變成鑛床(igneous metamorphic deposits)이라고 하였다.

以上과 같은 迂餘曲折을 겪어오던 중 오늘날은 一般的으로 스카른鑛床이라는 名稱이 가장 無難하게 通用되고 있는데 지난날 이 鑛床類型의 名稱에 對하여 이렇듯 여러갈래의 異見이 續出한 것은 이 鑛床類型이 지니고 있는 여러가지의 屬性中 그 어느 一部分을 따서 命名한데 基因한 것이고 특히 現實的으로 問題가 되는 것은 “接觸”이라는 空間的 制限用語인 것이다. 앞에서 도 言及한 바와 같이 스카른 鑛床은 炭酸鹽質母岩과 關係火成岩과의 接觸帶로 부터 相當한 距離에 떨어져 賦存하는 것이 많고 關係火成岩의 存在조차도 찾아볼 수 없는 境遇가 예로부터 許多하게 알려져 왔기 때문이다(例: Lindgren, 1933).

스카른鑛床이 關係火成岩으로 부터 멀리 떨어진 距離에 賦存하는 것이 많다는 事實은 이 鑛床類型의 探查指針을 樹立하는데 매우 重要的 意義를 갖는 것이며 本論文에서는 먼저 스카른鑛床과 特定火成岩과의 成因의 連結性 與否를 判斷하는 基準에 對하여 簡單히論하고 다음에 스카른鑛床과 關係火成岩과의 空間的 關係를 國內外 一連의 事例研究를 通하여 分析함으로써 스카른 鑛床과 關係火成岩의 起源이 水平的이 아니고 垂直的으로 連結되어 地下深部에서 成因의 歸一된다는 概念을 提示하고, 最近의 試錐資料에 依하여 地表에서 火成岩接觸面으로부터 떨어져 있는 鑛體 또는 地表에 火成岩의 露出이 없는 鑛體가 地下에서 如何히 火成岩과 成因의 連結되는가를 보여주는 實例를

들어 이 概念을 뒷받침하고자 한다.

스카른鑛床과 特定火成岩과의 成因的 連結性 問題

鑛床의 成因論 乃至 成因의 分類體系에 있어서 鑛床의 形成이 마그마의 分化和 火成活動에 直接 또는 間接的으로 聯關되었다는 事實은 地質學史上 움직일 수 없는 基本原理의 하나일 것이다. 그런데 南아프리카의 다이아몬드파이프(Kimberlite)나 크롬鑛床(Bushveld complex)內的 anorthosite와 隨件)과 그리고 地球上到處에 알려져 있는 페그마타이트鑛床中 一部 變成源의 것을 除外하면 이들은 火成岩 自體內에 有用鑛物이 散點狀으로 또는 集中體로 形成된, 말하자면 一意的인 火成鑛床으로서 關係火成岩은 問題가 되지 않으나 스카른 鑛床과 大部分의 熱水鑛床은 그들의 成因이 火成活動 또는 後火成作用에 直接的으로 連結되어 있으며(例: Burnham, 1979; Burnham and Ohmoto, 1980; Cathles, 1981), 이들의 連結狀態는 一部 追跡이 可能하나, 淺熱水 또는 遠熱水鑛床等 一部는 火成活動과 間接的으로 連結되었거나 連結性 與否를 거의 찾아보기 어려운 境遇가 있다.

스카른鑛床이나 深熱水 또는 中熱水鑛床의 境遇가 하더라도 막상 問題의 鑛床이 어떤 特定火成岩과 成因的으로 連結되었다는 直接的인 證據를 捕着하기는 매우 어렵다. 왜냐 하면 가령 어떤 스카른鑛床과 이 스카른鑛化에 必要했던 鑛化溶液과 熱(에너지)의 源泉이었을 마그마 또는 火成岩에서 始發하여 스카른鑛化에 이르기까지의 긴 旅程을 通하여 本來의 마그마 또는 火成岩의 成分上의 特徵이 얼마만큼이나 鑛床自體에 까지 傳達되었는지를 追跡하기가 매우 어렵기 때문인 것이다.

地化學的 接近法

오늘날 어떤 스카른鑛床과 特定火成岩과의 사이의 化學成分上의 連結性을 追跡하기 爲하여 微量元素 含量의 比較(例: Garrells, 1972), 安定同位元素의 特性比較(例: Taylor and O'Neil, 1977)等 이를테면 地化學的 接近法이 試圖되고 있는데 前者의 境遇는 鑛液의 移動過程에서 特定成分이 特定地點에서 沈澱되었지만 岩石內의 어떤 成分은 이 鑛液에 依하여 溶脫됨으로써 鑛液自體의 成分이 變化될 뿐만 아니라 岩石內의 微量元素含量도 變化되어 本來의 狀態가 그대로 維持될 수는 없을 것이고, 後者(同位元素)의 境遇는 熱에 依한 影響과 天水의 混入에 依한 同位元素值의 二次的 교환이 있어 結果解析의 어려움과 適用範圍의 制約을 免치 못하고 있다.

地質學의 方法

이 問題에 對한 보다 一般의인 方法은 스카른鑛床과 特定火成岩과의 사이의 時空間的 連結性 與否를 地質學的으로 追跡하는 方法인데, 말하자면 間接的인 證據를 捕着하는 것이다. 그리니까 地表露頭, 地下坑內地質, 또는 試錐資料等を 通하여 스카른鑛床과 特定火成岩體가 空間的으로 密接하게 隨伴되는지(接觸하는지)를 三次元的으로 追跡하는 同時에 火成岩의 貫入時期와 스카른鑛化의 時期를 坑內外 精密地質調査에 依하거나 또는 火成岩과 스카른鑛床의 特定鑛物(白雲母, 角閃石等 含K-Ar 鑛物)에 對한 絕對年令測定을 通하여 兩者의 地質時代가 大體로 一致(大概의 境遇 스카른鑛化는 火成岩의 貫入에 뒤따름)하는지를 比較하는 것이다.

이리하여 어떤 스카른鑛床이 特定火成岩과 空間的으로 密接히 隨伴되고 同時에 時間的으로 連結되며 혹은 여기에 더하여 兩者間에 地化學的인 連結性이 追跡될 때에는 이 特定火成岩은 問題의 스카른鑛床의 成因의 인 關係火成岩으로 判斷하는 것이다.

關係火成岩 및 母岩成分에 따른 스카른鑛床의 頻度 分布

上記한 바와 같은 方法으로 오늘날 全世界의으로 數 많은 스카른鑛床에 對하여 各各 그들의 關係火成岩을 推定(確實性에 程度의 差異는 있으나)하였는데 이러한 經驗의 事例를 綜合하면 各 關係火成岩의 類型 및 母岩(堆積岩)의 成分에 따르는 스카른鑛床의 頻度分布를 把握할 수 있는데 Zharikov(1970)에 依한 小聯에서의 統計를 들면 Fig. 1에서 보는 바와 같다.

즉 母岩(堆積岩)이 石灰質이나 苦灰質이나에 따라서

係關火成岩別 스카른鑛床의 頻度分布에 差異가 있는데 母岩이 苦灰質인 경우는 granitoid와 alkalic rock에 스카른鑛床의 頻도가 높는데 대하여 母岩이 石灰質인 경우는 granitoid에 頻도가 가장 높은 것은 마찬가지이나 그 다음이 gabbro-peridotite, minor intrusion의 順이고 alkalic rock에는 頻도가 가장 낮다. Fig. 1에서 autoreactional skarn이라 함은 gabbro-peridotite나 alkalic-ultrabasic rock 自體內에 含有된 石灰分을 바탕으로 하여 이루어진 스카른을 뜻한다. 母岩이 石灰質인 경우 및 鹽基性乃至 超鹽基性 火成岩인 경우를 綜合하면 스카른鑛床의 頻度分布는 granitoid, gabbro-peridotite, alkalic rock, minor intrusions, alkalic-ultrabasic rock, 그리고 traprock의 順이다. 즉 스카른鑛床의 關係火成岩으로서는 花崗岩質 火成岩이 가장 重要한 것이나 其他 鹽基性岩이나 알칼리岩類의 貫入에 依해서도 스카른鑛化가 이루어진다는 事實을 알수 있다.

스카른鑛床의 鑛種과 關係火成岩의 類型

스카른鑛床과 關係火成岩의 類型 및 이 火成岩이 由來된 板構造의 셋팅에 關한 世界의인 事例를 綜合하면 어떤 鑛種의 스카른鑛床이 어떤 板構造의 셋팅에서의 어떤 類型의 火成岩과 成因的으로 連結되었는지의 一般化를 可能케 하는데 例컨데 Einaudi et al(1981)에 依하면 다음과 같다.

a) 大洋島孤(oceanic island arc)셋팅의 鹽基性 火成岩에는 Fe分이 優勢한(磁鐵石) 스카른鑛床이 關聯되며 이에는 또한 相當量의 Cu, Co, 및 Au鑛石이 隨伴된다.

b) 大陸緣邊의 中性 내지 珪質 石灰-알칼리岩類에는 mesoabyssal depth에서는 W-스카른과 少量의 Zn-스카른이 連結되고, hypabyssal depth에서는 Fe, Cu,

Skarn / Magmatic formation	Magnesian	Limy	Auto-reactional	All skarns
Gabbro-peridotite(with acidic derivatives)	■	■	■	■
Granitoid	■	■		■
Minor intrusions		■		■
Alkalic	■			■
Alkalic ultrabasic			■	■
Traprock		■		■

Fig. 1 Frequency distribution of skarn deposits related with various igneous and sedimentary rocks.

Mo, Pb 및 Zn-스카른이連結된다.

c) 大陸內에서 末期 또는 後造山期의 보다 進化된 花崗岩類에는 Sn, W, Mo, Zn, Be 및 F-스카른이 連結된다.

上記한 바와 같이 鑛種別 스카른鑛床과 關係火成岩의 類型과의 사이에 一般的인 對應關係가 있다는 事實은 스카른鑛床에 導入된 金屬의 主된 起源이 火成岩 마그마라는 것을 잘 立證하고 있다. 다만 같은 類型의 火成岩에 依한 스카른화라 할지라도 母岩이 石灰質이나 아니면 苦灰質이나에 따라 스카른의 化學成分에 差異가 나타나며(例: Zharikov, 1970) 이 問題에 對한 論議는 다른 機會로 미루기로 한다.

스카른鑛床과 關係火成岩의 空間的 關係

우리가 野外에서 觀察하는 地質現象은 一般的으로 복잡한 地質構造의 一斷面에 국한된다. 가령 地表地質의 경우는 現在의 地表面으로서 나타나는 浸蝕面에서의 觀察에 不過한 것이고 이러한 地質現象은 浸蝕面의 深度에 따라서 樣狀이 달라질 수 있다. 왜냐 하면 火成岩體나 堆積岩層 또는 鑛體는 各各 傾斜를 달리할 수 있고 그들의 境界面 또한 그러할 것이다. 따라서 現在의 地表面(보다 普遍的으로는 어떤 方向의 斷面上)에서 스카른鑛體가 接觸面으로 부터 相當한 거리에 떨어져 있다고 해서 地下深部に 이르기 까지 이 거리가 一定하게 계속되지는 않을 것이다(接觸面과 鑛體의 面이 平行하지 않는 限). 그렇다면 地表에서 關係火成岩으로 부터 떨어져 있는 스카른鑛體의 位置와 거리가 地下로 내려감에 따라 一般的으로 어떻게 變할 것인가? 이 問題에 對하여 다음과 같은 몇가지의 項目으로 나누어 考察하기로 한다.

스카른鑛床의 起源과 關係火成岩起源의 深部歸一性

地表面(浸蝕面)에서 또는 坑內의 어떤 斷面上에서 스카른鑛體가 炭酸鹽質母岩과 關係火成岩과의 接觸面에서 떨어져 있을 경우 下部로 감에 따라 이 거리가 어떻게 變할 것인가에 對하여는 坑內 掘進이나 試錐에 依하여 어느 程度의 深度(通常 1~2km)까지는 確認이 可能하나 이에 앞서서 우리는 探查概念으로서 스카른鑛床과 關係火成岩은 그 源泉이 同一할 것이며 地表에서 서로 떨어져 있는 鑛體와 關係火成岩을 追跡하여 地下로 내려갈 때에는 이들이 次次 接近하여 密着하거나 아니면 같은 源泉으로 歸一한다는 理論을 考慮할 수 있을 것이다. 왜냐하면 地下深部에서 發生한 마그마質 버를 起點으로 하여 上部로 向하여 移動하는 마그마 또는 이로 부터 分離된 鑛化溶液은 上部 岩石의 裂隙이나 斷層을 따라 올라오게 되며 周圍岩石의 均壓이

높은 下部에서는 이들 物質이 周圍에 흡어집이 없이 比較的 單一通路를 따라 올라오겠지만 上部로 올라오면 올라올수록 周圍岩石의 均壓이 低下되고 構造의 方向性에 支配되어 粘着性에 差異가 있는 마그마와 鑛化溶液은 單一通路에서 갈라지기 始作하여 이들 갈라진 兩物質은 서로 사이가 벌어질 수 있을 것이며 어떤 橫斷面(例: 地表面)에서의 스카른鑛體와 關係火成岩과의 거리는 이렇게 하여 벌어지게 될 것이다.

이 경우 現地表面에서의 炭酸鹽質母岩과 關係火成岩의 接觸面 自體에는 스카른화가 全혀 缺如될 수도 있다.

Korzinskii(1970)는 鑛化物質이 運搬되는 메커니즘을 浸透(infiltration)와 擴散(diffusion)으로 구분하였는데 浸透에 의한 運搬은 物質이 溶液狀態라면 溶液自體로서 移動됨으로 빠른 速度로 多量의 物質이 遠距離까지 移動될 수 있으나 擴散의 경우는 한쪽 媒質에서 다른 쪽 媒質로 向하여 物質 自身이(濾過하는 式으로) 移動됨으로 速度가 느리고 遠距離에는 미치지 못한다. 따라서 地下深部에서 마그마 또는 關係火成岩으로 부터 鑛化溶液이 分離되어 上部로 向하여 올라오는 것은 주로 浸透에 依한 것이고 浸透에 依해 어떤 場所까지 運搬된 鑛化溶液이 周圍의 母岩으로 向하여 交代變質을 시키는데는 擴散이 作用할 것이다. 이 경우에 있어서도 交代의 最前線에서는 擴散이 作用할 것이나 最前線까지 鑛化溶液을 補給하는데는 亦時 迅速한 浸透에 依할 것이다.

여기서 또 한가지 指摘하고자 하는 것은 스카른이 形成될만한 深度에서는 鑛化溶液의 運動은 水平移動보다 是 上昇移動이 훨씬 優勢할 것이라는 點이다. 어떤 浸蝕面(地表面) 위에서 炭酸鹽母岩과 關係火成岩과의 接觸部에 스카른이 觀察될때에 우리는 흔히 火成岩 側으로부터 炭酸鹽母岩으로 向한 水平的인 物質의 移動을 考慮하기 쉬우나 實은 이보다도 下部로 부터의 上昇移動에 依한 物質의 移動이 더 甚을 것이다.

以上은 스카른鑛床과 關係火成岩의 空間的 位置關係와 地表面에 있어서 이들이 空間적으로 分離되어 있다 하더라도 그들의 뿌리를 地下로 追跡해 내려가면 同一 起源으로 歸一하는 傾向이 있을 것이라는 理論을 내세운 것인데 이러한 事實은 國內外的 많은 스카른鑛床의 實例가 뒷받침하고 있어 다음에 몇가지 事例를 들어 설명하기로 한다.

소聯 메리케토린 鑛床

Smirnov(1966)에 依하면 소聯 메리케토린 스카른鑛床은 下部原生代에 屬하는 코레라 벳츠系의 珪岩, 鹽基性噴出岩, 白粒岩(granulite), 石灰質白粒岩 등이 花崗岩의 貫入을 받았고 石灰質白粒岩이 스카른化를 받은

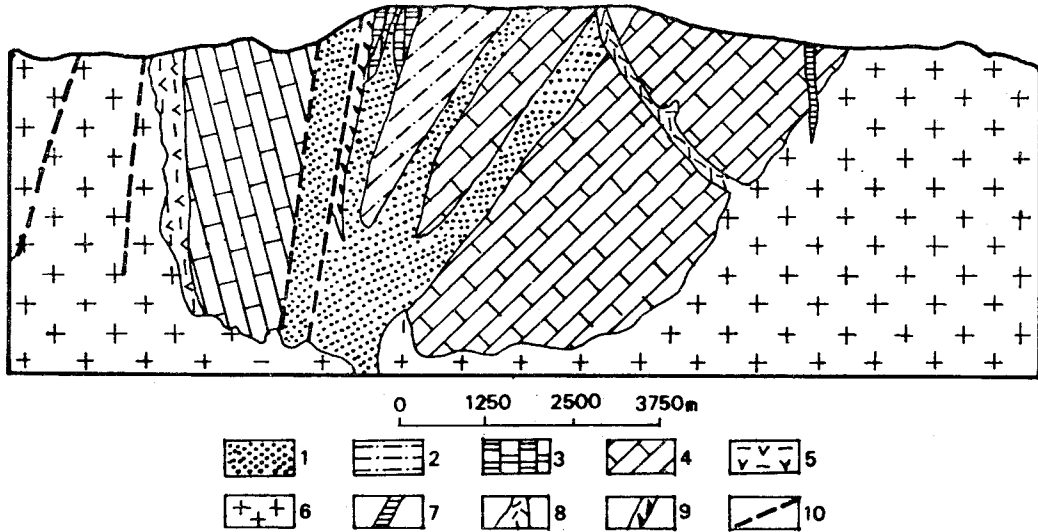


Fig. 2 Geologic section of the Meriketolin skarn deposit, USSR. Note a skarn body branched out upward. The branches of skarn body in calcic granulite are apart from igneous contact.

1-garnet skarn, 2-quartzite, 3-scapolite-diopside granulite, 4-calcic granulite, 5-granulite-quartzite-basic rock, 6-granite, 7-dolerite dike, 8-porphylite dike, 9-diorite dike

것이다(Fig. 2). 스카른鑛物은 透輝石, 灰鐵柘榴石—鐵柘榴石, 柱石, 微斜長石, 소다長石으로 構成되며 硫化鑛物은 黃鐵石, 磁硫鐵石, 黃銅石을 主로 하고 輝水鉛石, 方鉛石, 우라니나이트, 褐簾石, 磷灰石等を 隨伴한다. Fig. 2에서 注目되는 것은 石灰質白粒岩(透輝石·柱石化를 받음)을 母岩으로 한 스카른鑛床이 鑛體의 下部는 花崗岩에 接觸하여 單一鑛體로 되어 있으나 위로 向하여 4갈래로 分岐되면서 相互間의 사이가 벌어졌고 地表面(侵蝕面)에서의 鑛體와 火成岩과의 接觸面사이의 거리가 무려 3~4km나 떨어짐으로서 鑛化溶液은 下部로 부터의 浸透에 依하여 移動되었으며 側面으로 부터 水平的으로 移動하였을 可能性은 稀薄하였음을 暗示하고 있다.

蓮花鑛床

蓮花鑛床은 7個의 커다란 鑛筒形 鑛體와 10餘個의 렌즈狀 또는 脈狀鑛體를 包含하고 있으며 地表(海拔約 120m)에서 海面下 600m까지 700m 以上の 垂直深度에 걸친 國內 最大鑛床의 하나이다. 이 鑛床의 關係 火成岩에 對하여는 地域內에 分布하는 煌斑岩과 其他 小規模의 酸性 또는 鹽基性 岩脈類가 檢討對象이 되는 데 이들의 露頭는 모두 鑛床의 露頭에서 멀리 떨어져 分散되어 있어 鑛體와는 空間的인 隨伴關係를 보여 주지 않는다. 단지 鑛床의 比較的 上部坑인 115 Level 에는 西 1號鑛體에 密着하여 石英斑岩脈이 發見되는데 이 岩脈은 母岩인 石灰岩을 切斷하나 鑛體와는 構造的

으로 平行狀態이며 顯著한 炭酸鹽化를 받아 핑크색의 菱狀간石이 散點狀으로 包含되어 있거나 方解石 細脈이 導入됨으로써 (윤석규·박상범, 1979) 本岩이 적어도 스카른鑛化에 뒤따랐으리라고 思料되는 熱水作用을 받았음을 말해주고 있다. 坑內의 主要 스카른鑛體를 多數의 菱狀간石의 脈이 切斷하고 있는데 이들 菱狀간石의 脈化와 前記 石英斑岩의 菱狀간石化가 同一時期에 이루어졌다면 石英斑岩의 貫入時期와 스카른化의 時期는 서로 同時 또는 前後하였을 可能性이 길으며 蓮花鑛床의 東部 隣接鑛化帶인 銅店鑛床에서는 石英斑岩이 스카른鑛體와 매우 密着하여 나타난다.

Fig. 3에서 보는 바와 같이 月岩 1, 2, 3, 5鑛體는 下部에서는 猫峰層이나 豊村石灰岩層에 平行하여 크게 보면 單一鑛體의 樣狀을 띠고 있으나 -300 Level의 水準에서 부터 鑛體가 分岐되어 急傾斜의 鑛筒形으로 바뀌어지기 始作하여 -240 Level 乃至 -180 Level에 올라오면서 차례로 더욱 分岐되어 서로의 사이가 벌어지는 同時에 거의 垂直으로 솟아 올랐고 地表附近에서는 좁고 길게 延長되는 脈狀으로 代表됨으로써 深部에서 上部로 向함에 따르는 鑛體間의 거리가 벌어지는 現象을 잘 보여주고 있으며 이들 鑛體는 深部로 부터 鑛化溶液이 浸透에 依하여 裂隙系를 따라 上昇하면서 石灰岩을 交代시켰음이 鑛體群의 水平重疊圖(Yun, 1979)에서 잘 볼 수 있다.

앞에서도言及한바와 같이 蓮花鑛山에 稀少하게 나

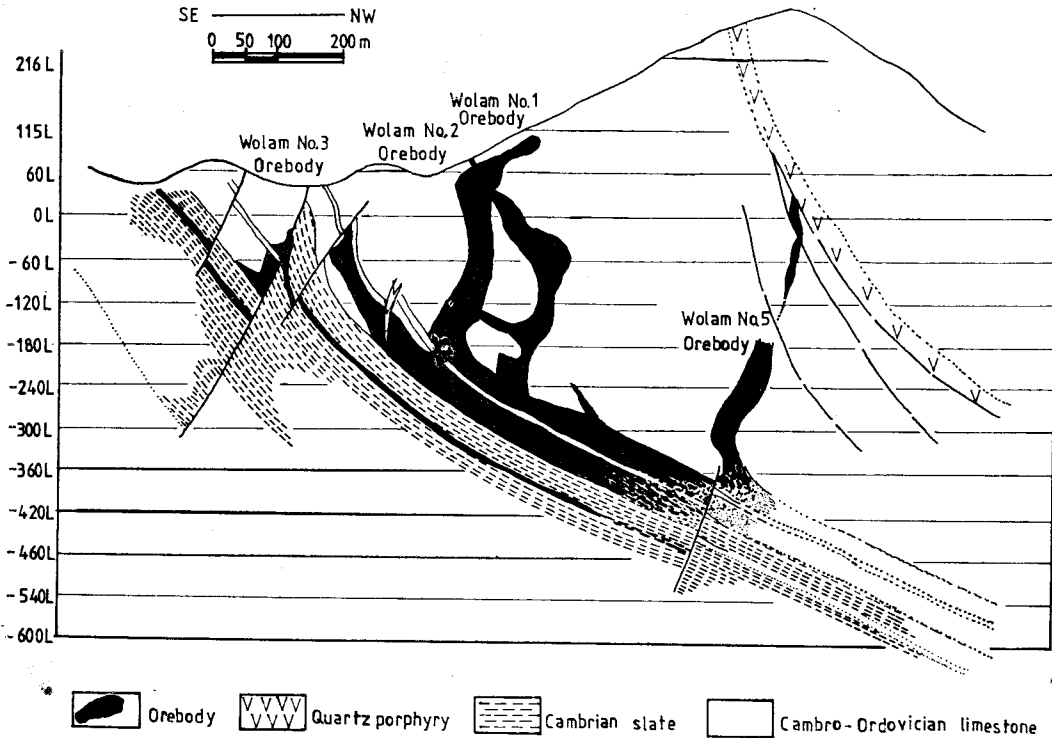


Fig. 3 Geologic section of the Yeonhwa I Zn-Pb skarn, Tabaegsan mineral belt. Note the several chimney-orebodies which branched out upward from a root of tabular skarn body in the Myobong slate, suggesting an upward infiltrational metasomatism along fracture systems in the Pungchon limestone and Hwajeol formation.

타나는 石英斑岩이 果然스카른鑛化의 直接的인 起源岩이었을가? 하는 問題인데 石英斑岩과 鑛體의 量的比較에 依하여 檢討할 수도 있을 것이다. 即 極히 稀少하게 나타나는 石英斑岩이 既採掘鑛量만 해도 數百萬噸에 達하는 硫化鉛·亞鉛鑛石의 直接的인 供給源이 되었을 可能性을 考慮하기는 어렵다. 그 보다는 오히려 이 莫大한 量의 鑛石物質의 起源은 보다 深部に 連結될 可能性이 甚으며 이 鑛化溶液의 源泉과 問題의 石英斑岩의 源泉을 同時에 追跡해 내려간다면 同一한 마그마체로 歸一될 可能性을 考慮할 수 있을 것이다. 即 이것이 스카른 鑛床과 關係火成岩의 深部同一起源論이며 이와 類似한 事實은 墨西哥의 카나네아 鑛山地域의 事例에서도 찾아 볼 수 있다.

멕시코 카나네아鑛山地域

Meinert(1982)에 依하면 墨西哥 소노라州에 所在하는 카나네아鑛山地域의 Capote Basin에는 Fig. 4에서 보는 바와 같이 古生代의 石灰質 堆積岩(PI)을 母岩으로 하여 柘榴石 및 單斜輝石을 主로 하는 스카른이 形成되었고 여기에 黃鐵石과 少量의 黃銅石이 隨伴되며 이

밖에 스카른을 貫入한 breccia pipe(T_{bx}), 石灰岩의 層理에 따라 交代된 manto形 鑛體等이 多樣하게 分布한다. 스카른鑛床의 關係火成岩으로서 스카른岩體(S_s)의 西南方과 東北方에 位置한 古第三紀(60Ma)의 quartz monzonite porphyry(T_{qmp})를 考慮할 수 있으나 Meinert(1982)는 火成岩과 空間의 隨伴되는 스카른이 없고 同時期인 breccia pipe가 스카른岩體를 貫入한 點에 비추어 이 quartz monzonite porphyry는 스카른形成後에 貫入한 것으로 解析한다. 그 代案으로 (1) 스카른化를 가져다 준 鑛化溶液의 起源은 上記 quartz monzonite porphyry의 deep parent magma와 同一起源이거나 또는 (2) 다른 火成岩體 即 보다 古期(64Ma)의 Cuitaca granodiorite 또는 Tanaja diorite와 同一起源일 可能性을 示唆하였다. Cuitaca granodiorite는 Fig. 4의 圖面밖 西北方에 位置하며 Tanaja diorite는 圖面內 西南部 및 東部に 나타나 있는데 萬一 이들 火成岩이 스카른化와 成因의 隨伴로 連結되었다면 圖面內에서 볼 수 있는 바와 같이 現地表面에서 Tanaja diorite는 스카른鑛體로 부터 最少限 3,000m(스카른 鑛體로 부터 西北

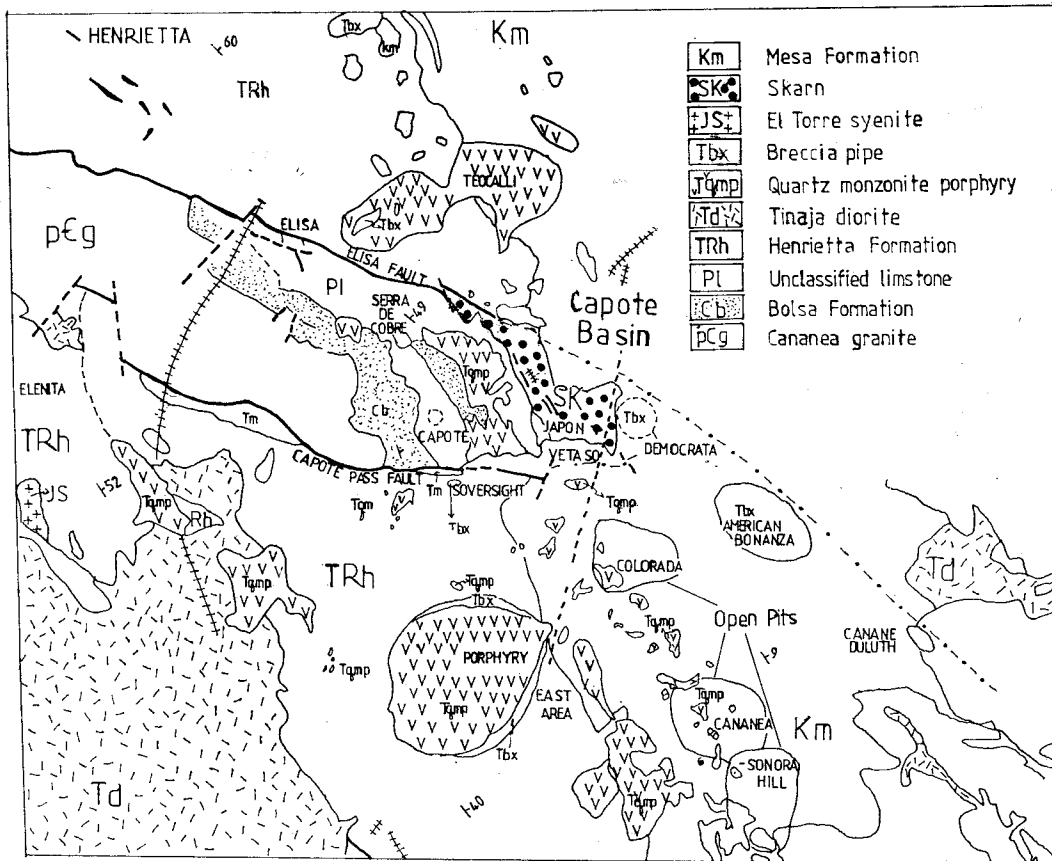


Fig. 4 Geologic map of the Cananea district, Sonora, Mexico (after Meinert, 1982).

部의 小岩株까지)는 떨어져 있으며 地下深部に 同一起源을 두었을 鑛化溶液과 火成岩體는 上部로 올라오에 따라 이들 사이가 벌어지게 되어 現地表面에서는 이만큼 떨어진 距離에 位置하고 있는 것으로 풀이할 수 있다.

蔚珍鑛床

蔚珍鑛山은 太白山鑛化帶의 最東端에 位置하여 國內에서 鉛·亞鉛鑛生産高는 蓮花, 第二蓮花에 뒤이어 第三位나 金屬品位는 이들 보다 높다. 鑛床은 石炭紀後期(297Ma)의 蔚珍花崗岩(Yun and Silberman, 1979)에 의해 크게 捕獲된 猫峰-豊村層의 roof pendant內에 發達한 스카른鑛床(윤석규·박상범, 1979)으로서 이는 下部 第三紀(493 Ma)의 流紋石英安山岩脈과 成因의 由로 連結된다.

Fig. 5에서 보는 바와 같이 鑛體는 짧은 鑛筒形인데 크게 西部鑛體群과 東部鑛體群으로 나뉘우며 上部레벨에서는 여러개의 鑛體로 分散되어 있으나 下部로 내려감에 따라 鑛體의 數가 減少되는 同時에 終局에는 西部鑛體와 東部鑛體가 各各 單一鑛體로 歸一되어 비교적 圓錐의 끝모양으로 尖減해 가는 樣狀을 보여주고

있다. 이들 스카른鑛體와 空間的으로 密接히 隨伴되는 流紋石英安山岩脈의 脈幅이 上部에서는 두터우나 下部로 내려감에 따라 漸漸 좁아지는 現象 또한 鑛體의 경우와 같은 傾向을 보여 준다(Fig. 6).

蔚珍鑛山에 있어서는 硫化鑛體가 넓은 스카른帶內에 局部的으로 胚胎되어 있고 莫大한 量인 스카른帶의 外緣部는 蔚珍花崗岩으로 包圍되어 있다. 이 花崗岩의 絕對年齡(297Ma)과 流紋石英安山岩의 그것(49.3Ma)은 測定되었으나 스카른鑛床의 그것은 測定되지 않았으므로 이 莫大한 量의 스카른이 果然 流紋石英安山岩을 直接的인 起源岩으로 하였던지는 매우 疑問스럽다. 萬若 스카른이 훨씬 古期의 蔚珍花崗岩의 貫入에 緣由되었고 이 스카른帶를 母岩으로 하여 硫化鑛化는 그로부터 248 m.y.後인 古第三紀 流紋石英安山岩脈의 貫入과 關聯되어 이루어진 것이라면, 이는 Zharikov(1970)의 所謂 重疊鑛化(imposed ore)의 一種에 該當될 것이다. 이 問題를 糾明하기 爲하여는 스카른鑛物中の 角閃石類나 硫化鑛物과 隨伴되는 絹雲母 또는 K-長石의 絕對年齡 測定을 爲始한 보다 廣範한 研究를 必要로

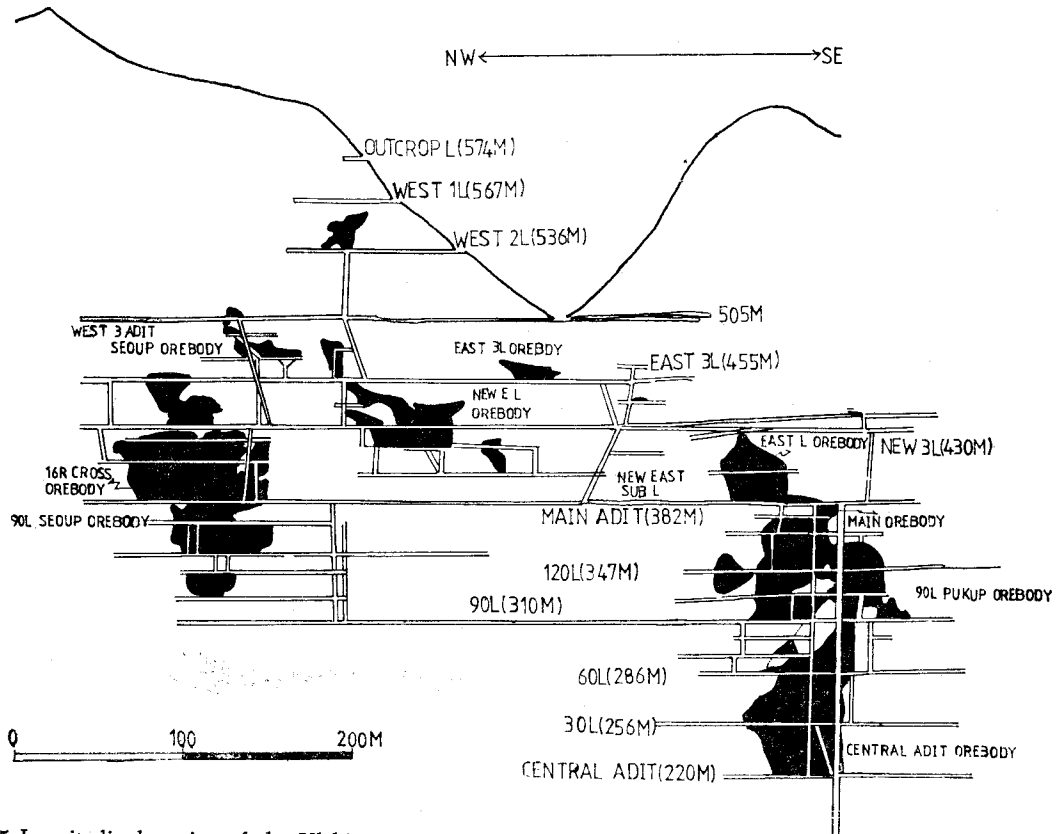


Fig. 5 Longitudinal section of the Ulchin mine area, where two groups of chimney-orebodies (the west and east) show their decreases in number and diameters of individual cone-shaped orebodies.

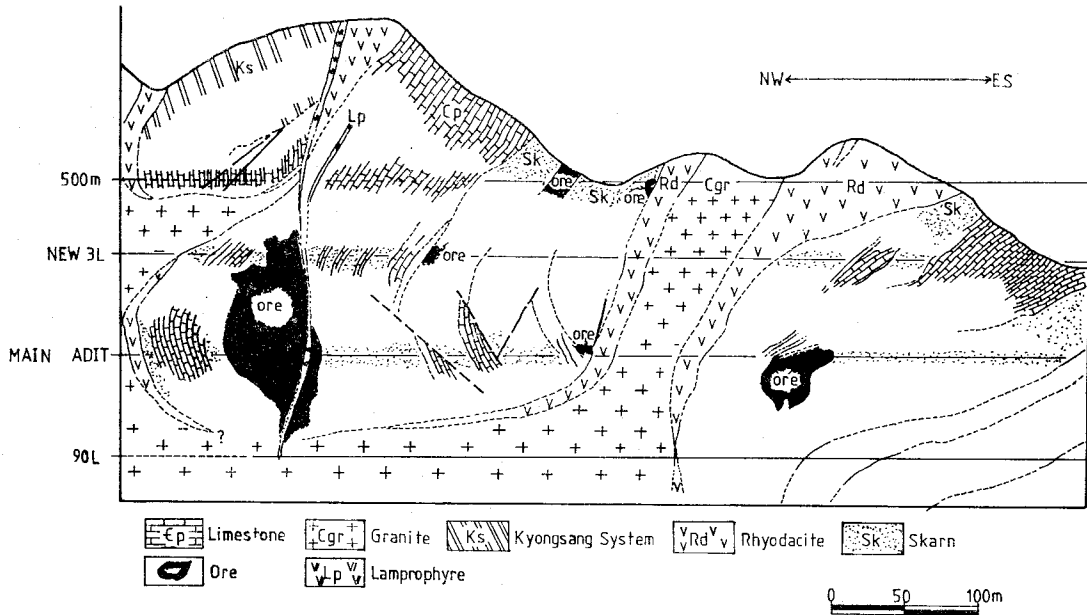


Fig. 6 Geologic section of the Ulchin mine area. Note the upward swelling of rhyodacite dikes with which skarn orebodies are spatially associated.

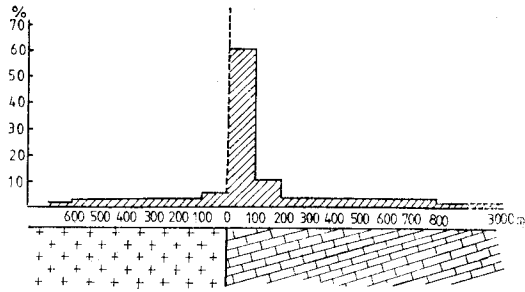


Fig. 7 Frequency distribution of distances between skarn orebodies and igneous contacts of exo- and endo-skarns. (modified after Smirnov, 1966).

할 것이다.

接觸面—스카른鑛體間 距離의 頻度分布

以上 스카른鑛床과 關係火成岩의 空間的 關係를 事例別로 考察하였는데 다음에는 이들 스카른鑛體가 地表面(浸蝕面)에서 炭酸鹽母岩과 關係火成岩과의 接觸面으로 부터의 距離가 如何한 頻度分布를 보이는지에 對하여 Fig. 7과 같은 histogram으로 提示한다. 이는 Smirnov(1966)에 依한 原圖에다 筆者의 資料를 追加하여 補完한 것인데 左側은 火成岩內의 內成스카른의 경우이고 右側은 炭酸鹽母岩內의 外成스카른의 경우이다. 이 圖面에서 볼수 있는 바와 같이 總頻度の 60%가 接觸面에서 炭酸鹽母岩側으로 100m 以內에 集中되어 나타난다. 이보다 遠距離에는 外成스카른의 경우 800m까지는 3% 內外를 유지하나 1,000m以上은 매

우 드물게 나타나며 內成스카른의 경우는 600m의 距離까지는 亦是 3% 內外를 유지하나 그 以上은 매우 드물다.

스카른鑛床과 關係火成岩의 地下深部에서의 連結狀態

앞에서 引用한 몇몇 國內外的 스카른 鑛床은 그 規模가 大形이어서 坑道 掘進이나 試錐에 依하여 좀처럼 下部狀態를 캐뿔어 볼수 없는 노릇이어서 “深部同一起源論”에 立脚하여 考察을 試圖한 것이다.

다음은 國內에서 比較的 잘 研究된 鑛山으로서 規模가 작고 試錐에 依하여 鑛體와 關係火成岩의 下部에서의 連結狀態가 밝혀진 錦城모리브덴스카른(朴魯榮, 1982)과 世界的 規模를 자랑하는 上東당그스덴스카른에 對한 深部試錐의 結果에 나타난 潛頭花崗岩體의 發見(鑛振, 1984) 事例를 引用하여 結論的인 考察을 進行하고자 한다.

錦城鑛床

錦城모리브덴스카른은 Fig.8 에서 보는 바와 같이 大石灰岩統의 灰色石灰岩(下部)과 結晶質石灰岩(上部) 사이에 層理面에 平行으로 下半部가 石灰珪酸鹽岩化됨으로써 이루어졌다(Park, 1982). 地表面에서 關係火成岩인 堤川花崗岩(159~179Ma)까지의 距離는 約 100m에서 400m에 이른다. 地質圖上에서 쉽게 推定할수 있듯이 이 스카른帶는 下部로 내려감에 따라 石灰質母岩의 層理面에 大體로 平行하여 火成岩側으로 기울어질 것이 豫想된다.

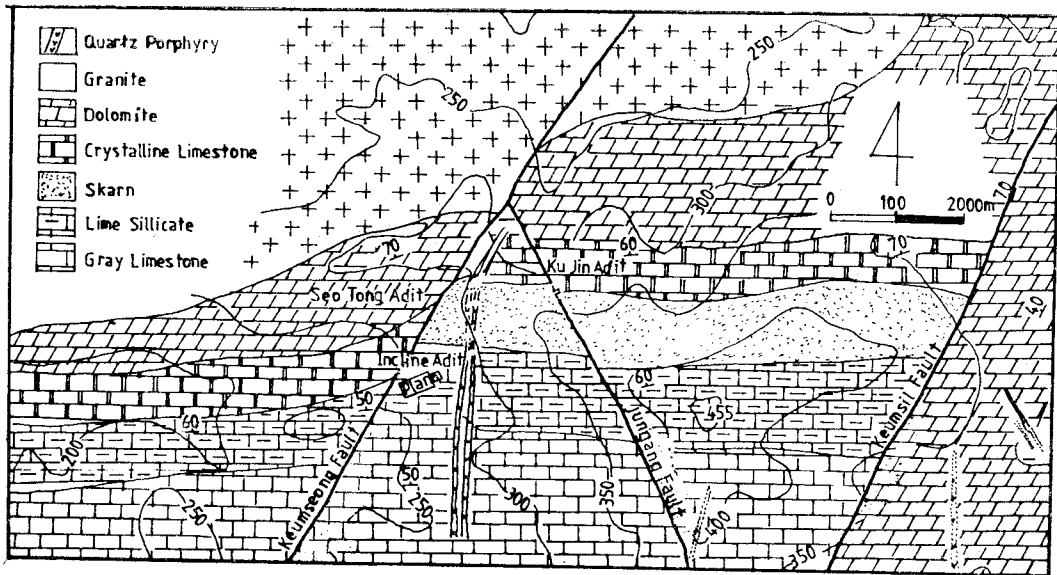


Fig. 8 Geologic map of the Keumsung mine area, (after Park, 1982).

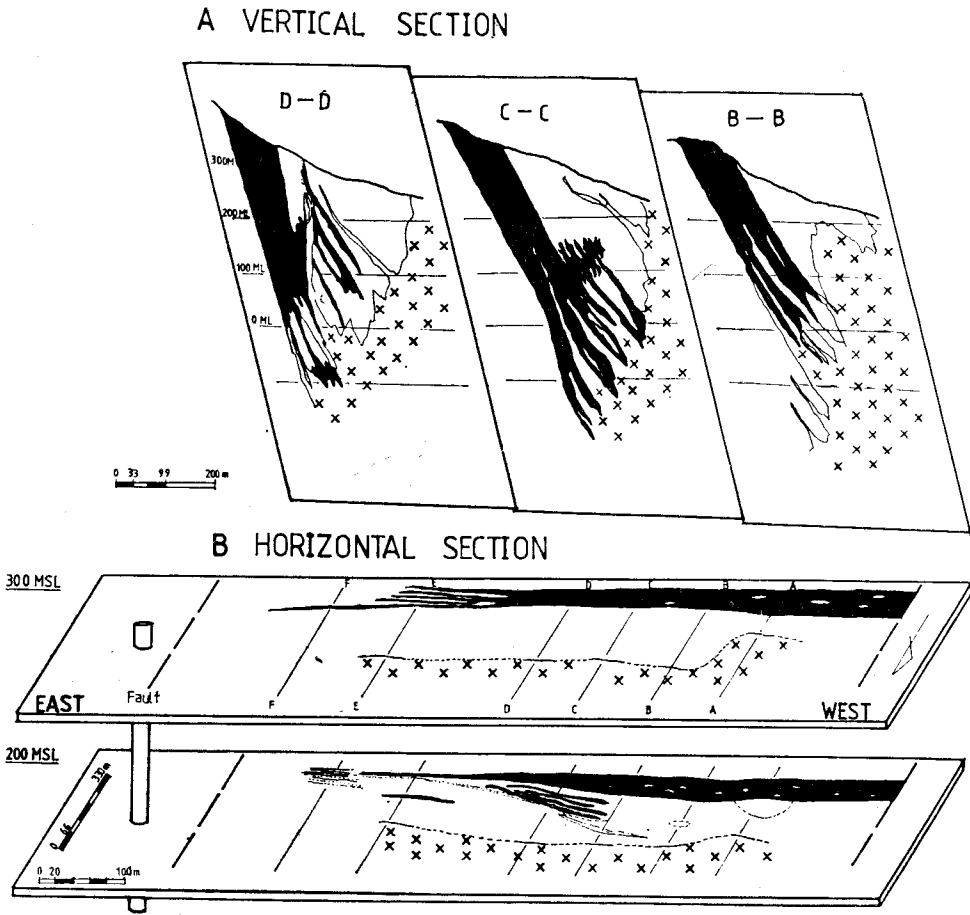


Fig. 9 Geologic sections of the Keumsung Mo-skarn deposits (after Park, 1982).

이러한 地質構造的 推理는 Fig. 9-A에서 보는 바와 같이 몇 개의 試錐斷面圖에 依해 餘他없이 適中되었음을 알 수 있다. 卽 地表面에서는 스카른鑛體의 露頭에서 關係火成岩의 接觸面까지의 距離가 既述한 바와 같이 相當히 떨어져 있으나 地下로 내려감에 따라 스카른鑛體와 火成岩體는 共軛의으로 接近하여 假令 B-B'斷面에서 兩者間의 水平距離는 200ML에서는 100m, 100ML에서는 40m, 그리고 0ML에서는 이미 火成岩의 apophyses가 스카른鑛體의 뿌리들과 엇물리고 있어 스카른鑛體와 關係火成岩體의 下部가 어떻게 連結되는지에 對하여 하나의 훌륭한 模型을 提供해 주고 있다. 鑛體의 深部 連續은 C-C'斷面에서 가장 커지고 있으며 火成岩의 apophyses와 鑛體의 뿌리들은 石灰質母岩의 層理에 따르는 平平한 舌狀體임을 Fig. 9-B에서 볼 수 있다. 여기서 엇물리는 火成岩의 平平한 apophysis들과 스카른鑛床의 平平한 錨狀뿌리들과의 關係를

精密히 研究한다면 다른 地域에서 흔히 볼 수 있는 鑛體와 密接히 隨伴되는 火成岩의 岩脈과의 關係解析에 適用이 可能할지도 모른다.

上東鑛床

上東鑛床의 成因에 對하여는 한때 論爭이 紛紛하였으나 Farrar, et al(1978)에 依해 典型的인 灰重石스카른鑛床이라는 結論이 發表된 以後 스카른鑛床이라는 對한 異議를 提起하는 研究發表는 나오지 않고 있다. 論爭의 主要한 原因은 地表나 坑內를 莫論하고 鑛化와 成因의으로 關聯될만한 火成岩이 發見되지 않았기 때문이었던 것이다. 그러던중 文建柱는 上東鑛床에 對한 一連의 精密調査와 研究(1972;1974)끝에 上東鑛床의 下部 깊숙히 火成岩의 潛頭岩體가 머리를 들고 있을 것이라는 假設의인 模型(Moon, 1983)을 提示하였던 바 이 假設은 鑛業振興公社에 依한 深部試錐에 依하여 훌륭하게 適中되었다. 卽 年次的으로 實施해오고 있던

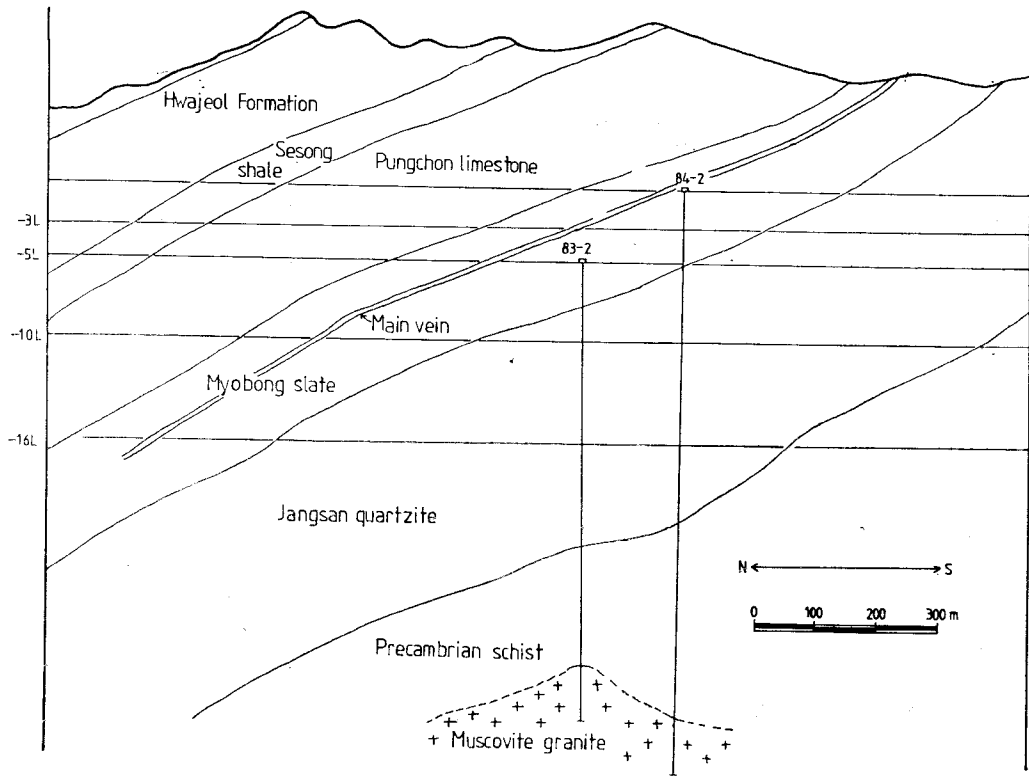


Fig. 10 Geologic section of the Sangdong sheelite deposits. Note the blind pluton of granite mass, intruded into the Precambrian Taebaegsan schist, 700 meters below the main orebody in the Cambrian Myobong formation.

一連의 試錐計劃中 1년에 一孔式을 深部試錐로 割愛하고 있는데 1983년에는 -5 Level에서 750m 下部地點에서 太白山統의 片岩層을 뚫고올라온 花崗岩에 適中하였고 1984년에는 -2 Level에서 900m 下部地點(前記地點과 거의 同一深度)에서 亦是 같은 片岩層을 貫入한 花崗岩에 適中한 바 있으며, 1985年度에도 1孔의 深部試錐가 進行中에 있다. 花崗岩은 中粒優白質 白雲母花崗岩으로서 甚한 熱水變質을 받고 있으며 이 花崗岩이 貫入接觸한 片岩層은 強한 hornfels化를 받았고 上部로 올라가면서 特히 壯山珪岩層內에 不規則한 細脈狀으로 모리브덴鑛化가 이루어진 點으로 미루어 이 花崗岩이 鑛化溶液의 供給源이었음은 거의 疑心할 餘地가 없으나 이 花崗岩體의 頂上部로부터 貓峯層內의 灰重石鑛體까지의 垂直距離가 무려 700~800m나 됨으로 이 사이의 成因의 連結性을 糾明하기 爲하여는 花崗岩의 絶對年齡의 測定, 微量元素의 分析, 熱水變質等에 關한 研究가 뒤따라야 할 것이다.

結 論

어떤 스카른鑛床의 關係火成岩을 同定하는데는 在來

로 스카른 鑛床과 火成岩이 空間的으로 隨伴(接觸)되어 있는지의 與否에 基準을 두어 왔으나 이것은 스카른鑛化物質이 火成岩으로 부터 直接 導入되고 있던 部位에 限해서만 該當되는 現象이고 地下深部에서 마그마와 이로부터 分離된 鑛化溶液은 上部로 移動하는 동안 서로의 經路가 갈라질 수도 있으므로 現地表(浸蝕面) 위에서 스카른 鑛床과 關係火成岩이 떨어진 位置에 露出될 수도 있는 것이다.

統計에 依하면 이 떨어진 距離는 內成스카른의 경우는 약 600m 以內에 머무르나 外成스카른의 경우는 약 800m까지에 이르며 드물게는 3,000m까지에 달한다.

本 論文에서는 이와 같이 스카른鑛床이 火成岩과 炭酸鹽母岩과의 接觸面으로 부터 떨어진 位置에 形成될 수 있는 理論의 根據를 마련하기 爲하여 “스카른鑛床과 關係火成岩의 深部同一起源”의 概念을 提示하였으며 이는 메리케토린鑛床(소聯), 蓮花鑛床, 카나네아鑛山地域(멕시코), 蔚珍鑛床, 錦城鑛床, 上東鑛床等 國內외의 여러 事例分析에 依하여 그의 妥當性이 뒷받침된다.

國內에서 스카른鑛床과 關係火成岩의 地下深部에서의 連結狀態는 試錐探查의 進行에 따라 續續 드러나고

있는데 錦城鑛山의 경우는 모리브덴스카른鑛體가 現地 表에서는 堤川花崗岩으로부터 100~400m 떨어져 있으나 地下로 내려감에 따라 서로 接近하여 드디어 兩者가 密着함으로써 深部歸一性的 典型的인 모델을 提供하고 있으며, 現掘進深度에서는 關係火成岩을 찾아 볼 수 없었던 上東鑛山에서 深部試錐에 의하여 猫峯層 內의 灰重石鑛體로부터 700~800m 下部에서 太白山統의 片岩層을 貫入해 올라온 白雲母花崗岩體가 潛頭岩 體로서 發見됨으로써 스카른鑛體와 關係火成岩이 垂直의 으로 떨어져 있는 새로운 모델을 提供하고 있다.

謝 辭

本 論文은 延世大學校 創立 100週年 記念 特定課題로서의 研究費에 依하여 이루어진 것으로 本 學會誌에 실리게 된 데 對하여 深甚한 謝意를 表한다.

參 考 文 獻

- Bateman, A.M.(1942) The Formation of Mineral Deposits. John Willey and Sons, Inc., New York, p. 90.
- Bateman, A.M.(1950) Economic Mineral Deposits. John Willey and Sons, Inc., New York, p. 82-94.
- Burnham, C.W.(1979) Magmas and hydrothermal fluids: In Barnes, H.L. (ed.) Geochemistry of hydrothermal ore deposits, 2nd ed., John Willey and Sons, Inc., New York, p. 71-136.
- Burnham, C.W. and Ohmoto, H. (1980) Late-stage processes of felsic magmatism: In Ishihara and Takenouchi (ed.), Granitic magmatism and related mineralization. Soc. Mining Geol. Japan, Special Issue, No. 8, p. 1-11.
- Cathles, L.M.(1981) Fluid flow and genesis of hydrothermal ore deposits: In Skinner, B.J. (ed.) Seventy-fifth anniversary volume (1905~1980), Economic Geology Pub. Co., Lancaster, p. 424-457.
- 대한광업진흥공사(1984) 광산시추조사보고. 제 7 호, p. 359.
- Einaudi, M. T., Meinert, L. D. and Newberry, R.J. (1981) Skarn Deposits. 75th Anniversary Volume, Econ. Geol., Pub. Co.
- Farrar, E., Clark, A. H. and Kim, O.J.(1978) Age of the Sangdong tungsten deposit, Republic of Korea, and its bearing on the metallogeny of the southern Korean peninsula. Econ. Geol., v. 73, p. 547-552.
- Garrels, R.G.(1972) Regional geochemical study of Cretaceous acidic rocks in the northern Canadian Cordillera as a tool for broad mineral exploration. Geochemical Exploration (Imm. London), p. 203-219.
- Geijer, P. and Magnusson, N. H.(1952) The iron ores of Sweden: In Blondel, F. and Marrier, L.(ed.) Symposium sur les gisements de fer du monde, 19th Int. Geol. Congr., Algerin, v. 2, p. 477-499.
- Groddeek, A. von (1879) Die lehre von den lagerstätten der erze, Leipzig, p. 260.
- Korzinskii, D.S. (1970) Theory of Metasomatic Zoning (Tran. Jean Agrell). New York, Oxford University Press, London 169p.
- Lindgren, W. (1899) Min. and Sci. Press, v. 78, p. 125.
- Lindgren, W. (1901) Trans. Am. Inst. Min. Eng., v. 31, p. 23.
- Lindgren, W. (1933) Mineral Deposits. 4th Ed., McGraw-Hill, p. 675-734, p. 735-745.
- Meinert, L. D.(1982) Skarn, manto, and breccia pipe formation in sedimentary rocks of the Cananea Mining district, Sonora, Mexico. Econ. Geol., v. 77, p. 919-949.
- 문건주·김태수(1972) 鑛物의 特徵的 分布에 依한 上東鑛床의 成因推定, 광산지질, v. 5, No. 3, p. 145-150.
- 문건주 (1974) 上東鑛床의 鑛物共生에 關한 研究: 광산지질, v. 7, No. 2, p. 45-62.
- Moon, K. J.(1983) The genesis of the Sangdong tungsten deposits, the Republic of Korea. unpub. Ph. D. thesis, Univ. of Tasmania, Hobart, Australina, 274p.
- Park, C. F. and MacDiamid, R.A.(1964) Ore Deposits, Freeman and Co., San Francisco, p. 272-292.
- Park, N. Y.(1982) Molybdenum mineralization, exploration and exploitation of the ore deposits at the Keumseong mine., Republic of Korea. unpub. Ph. D. thesis, Waseda Univ., Tokyo, p. 65-79.
- 박노영(1982) 堤川·錦城스카른 輝水鉛鑛山의 地質鑛床 및 開發經濟性調査研究 動資研究特報, v. 27, p. 43.
- Smirnov, V.I. (1966) Geology of Ore Deposits(Tran. F. Kishimoto). Lates Pub. Co., 162pp.
- Taylor, B.E. and O'Neil, J. R.(1977) Stable isotope

- studies of metasomatic Ca-Fe-Al-Si skarns and associated metamorphic and igneous rocks, Osgood Mountains, Nevada: *Contrib. Mineral. Petrol.*, v. 63, p. 1-49.
- Vogt, J. H. L. (1894) *Zeitschr, prakt. Geol.*, p. 154, 177, 464; 1895.
- Yun, S. (1979) Structural and compositional characteristics of skarn zinc-lead deposits in the Yeonhwa-Ulchin mining district, southeastern Taebaegsan region, Korea. *J. Geol. Soc. Korea*, v. 12, No. 2, p. 51-73.
- Yun, S. and Silberman, M.L. (1979) K-Ar geochronology of igneous rocks in the Yeonhwa-Ulchin zinc-lead district and southern margin of the Taebaegsan basin, Korea. *J. Geol. Soc. Korea*, v. 15, No. 1, p. 89-99.
- 윤석규 · 박상범 (1979). 태백산 광화대 동서부 연·아연 광상군의 일반특징 및 탐사에 관한 연구. 자원개발연구소, 조사연구보고, 제 7호.
- Zharikov, V.A. (1970) Skarns: *International Geology Review*, v. 12, No. 5, p. 547-548.