

# 梅月長石鑛山の 페그마타이트內 流體包有物과 그 成因에 관한 모델 연구

文 建 柱\*

## Study on Fluid Inclusion and Genetic Modelling of Pegmatites at the Maewol Feldspar Mine.

Kun Joo Moon

**Abstract :** Maewol Feldspar Mine produces feldspar ore from pegmatites. K-Rb Age of muscovite is 137.7Ma. Fluid inclusions in quartz crystal of the pegmatite show bimodal distribution of homogenization temperatures. The high homogenization temperatures range from 290 to 302°C while low homogenization temperatures range from 157 to 195°C. Three phases liquid CO<sub>2</sub> bearing inclusions indicate CO<sub>2</sub> gases were abundantly mixed with granitic melt until the pegmatic magma melt cooled to 290°C. Low density of the magmatic melt relative to the same volume of granitic magma is due to mixture of volatiles(mainly CO<sub>2</sub> gases) with the melt and larger space and slow cooling allowed to grow crystals of the pegmatic magma.

### 序 論

매월장석광산은 철원군 근남면 잠곡리에 위치하여 금화지적 제19호에 해당하는 초기 개발단계의 소규모 광산으로 금년 초부터 고품위 부위를 중심으로 생산 채굴을 개시하였다.

우리나라에서 생산되고 있는 長石鑛이 대부분 페그마타이트에서 산출되고 있음은 造岩鑛物을 이루는 元素들 중에서 칼륨(K)이 비교적 마그마 분화과정중 후기에 이르기까지 殘留하고 있음은 暗示해주고 있다. 우연한 기회에 답사하게된 매월장석광산의 페그마타이트가 가지는 巨晶의 石英과 正長石 그리고 白雲母等으로 地質學的 諸情報를 통해 本페그마타이트의 成因을 일반적인 가설적 모델로 구상해보기 위해 石英이 내포한 페그마타이트의 成因에 관한 小考를 마련키로한다.

### 鑛山의 地質概要

매월광산은 매월산(약700M) 남쪽 斜面에 위치하여 이 지역의 지질은 매월산을 이루고 있는 주라기 화강암이 주를 이루고 있다(대한지질도, 1981, 이동남외 1987).

\*韓國動力資源研究所(Korea Institute of Energy and Resources, Garibong-Dong, Kuro-Gu Seoul, 152-600, Korea)

현재 개발되고 있는 광산의 광체 노두 남쪽 사면에는 비교적 巨晶의 黑雲母花崗岩이 관찰되며 노출된 페그마

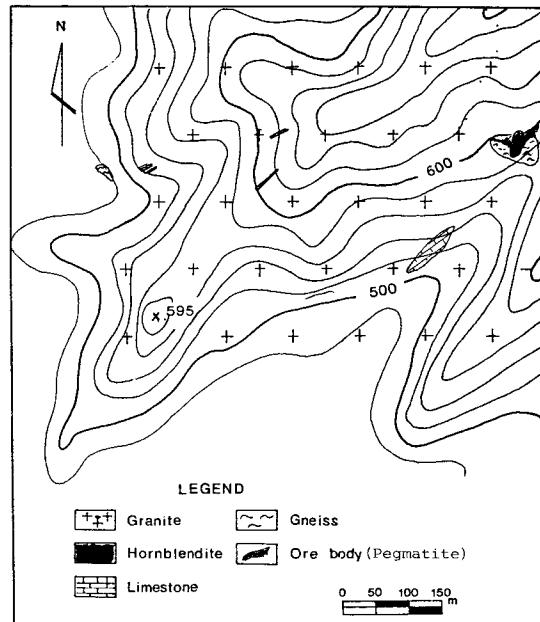


Fig. 1. Geology of the Maewol feldspar mine, from Lee *et al.* (1987)

타이트의 上下盤에는 각섬석류(amphibole)를 주구성 광물로 갖는 mafic dyke가 놓여있다. 이동남외(1987)에 의하면 편마암류가 기재되고 있어 비교적 복잡한 퇴적암류의 분포가 예상된다(Fig 1).

현광체 북측사면에는 白雲母花崗岩이 관찰되고 있다.

**鑛床**

현재 개발중인 광체는 해발 650M의 계곡 사면(Fig 1. 참조)에 나타난 폭1~3m, 연장 약 40m의 페그마타이트로 N80°W 走向에 약 30°SW 傾斜를 가지고 노출되어 있다. 黑雲母花崗岩을 母岩으로 페그마타이트가 貫入하고 있는 것으로 報告되고 있으나(이동남외 1987), 확실한 관계는 더욱 정밀한 조사를 요한다.

長石은 巨晶으로 10~15cm의 크기를 보이기도 하며 담홍색 내지 灰白色을 띠어 쉽게 石英과 구분된다, 특히 정장석(orthoclase)이 크게 나타나는 부위에서 이와 共生하는 石英은 半自形의 큰 결정을 이룬다.

본 광체(페그마타이트) 연장부에서 정장석의 큰 결정의 발달이 미약한 부위는 현미경하에서 만이 식별이 가능한 석영, 사장석, 퍼자이트(perthite) 및 정장석으로 되어 있고 부분적으로 많은 백운모를 보인다.

淡紅色을 띠운 정장석이 현재 개발대상이 되는 페그마타이트내에 異常集約 발달을 보이거나 그 연장상의 동일 脈에서는 다만 巨晶의 正長石이 斑晶상태로 石英 또는 斜長石과 함께 산출되고 있어 고른 品位를 보이지 않는다. 이동남외(1987)가 제시한 高品位와 低品位 장석 鑛體에 대한 평균 품위는 아래와 같다.

현광산의 북측에 나타난 백운모화강암은 전기석을 배대한 페그마타이트로 漸移하는 듯하며 백운모화강암과 흑운모화강암의 관계는 현단계에서 모호하여 더욱 정밀한 조사를 요한다.

巨晶의 正長石을 가진 현 광산노두의 페그마타이트와 전기석을 다량 함유한 페그마타이트 연관성도 노두 관찰이 어려워 단정할 수 없으나 거의 同一時代의 同一起源의 것으로 가정할 수 있음은 近距離의 연장상에서 脈狀으로 나타나고 있다는 사실뿐이다.

**流體包有物**

正長石과 接하고 있는 직경 5cm정도의 半自形 石英 결정을 채취하여 10개의 관찰용 박편을 제작 이용하였다. 석영 박편은 부분적으로는 유리알처럼 투명한 부위도 있지만 대부분 유백색의 낮은 투명도를 보였다.

**Table 1.** 매월장석광산 페그마타이트내 석영중 유체포유물 균질화 온도 측정표.

| 시료 번호 | 포유물 크기 (mm) | 균질화 온도 (°C) | 염농도 (Salinity equiv. NaCl%) | 액체 CO <sub>2</sub> 균질화 온도 | 첫응용 온도 |
|-------|-------------|-------------|-----------------------------|---------------------------|--------|
| a-1-1 | 0.02        | 294         |                             | 29.5                      |        |
| a-1-2 | 0.03        | 294.3       |                             | 29.8 30.0                 |        |
| a-2-1 | 0.02        | 301.4       | 8                           |                           | -27.7  |
| a-2-2 | 0.02        | 299         |                             | 29.5 29.6                 |        |
| b-1-1 | 0.03        | 192.1       | 3.5                         |                           | -26.8  |
| b-1-2 | 0.02        | 157         |                             |                           |        |
|       |             | 158.7       |                             |                           |        |
|       |             | 159         |                             |                           |        |
| b-1-3 | 0.02        | 212.1       | 6                           |                           | -47    |
| b-1-3 | 0.03        | 183.9       |                             |                           | -29.8  |
| b-3-1 | 3.02        | 140.1       |                             |                           |        |
|       |             | 146.3       | 3.5                         |                           | -51.6  |
| a-3-1 | 0.03        | 304.2       | 6                           |                           | -48.6  |
| b-4-1 | 0.03        | 140.2       | 10                          |                           | -52.8  |
| a-3-2 | 0.04        | 177.3       |                             |                           |        |
|       |             | 175.8       |                             |                           |        |

Heating & Cooling stage는 美國製品 Fluid(상호)를 사용하여 동일한 포유물을 냉각시켜 관찰하고 그다음 계속 가열하여 균질화 온도를 측정하였다. 그러나 기계적인 문제점때문에 대부분 냉각 관찰하던 동일 포유물을 계속 가열 관찰이 어려워, 별개의 포유물을 관찰하는 수 밖에 없었다.

400배(40×·10×)로 관찰된 유체포유물은 대략 1cm 이상의 크기로 관찰이 용이한 것만을 온도 측정의 대상으로 삼았다.

**均質化溫度**

流體包有物 모두가 온도 上昇과 함께 기체相의 부피가 응축하여 액체상으로 균질화함을 보인다. 측정된 유체포유물이 보인 균질화온도는 두개의 群으로 구분된다(Table 1 & Fig. 2)비교적 높은 온도는 290~302°C에 이르는 균질화온도를 보이며 낮은 온도는 157~195°C의 균질화온도를 보인다. 특히 前者의 경우, 액체 탄산게스를 보이는 三相의 包有物이 二相의 것들과 함께 유사한 온도에서 균질화함을 보이고 있으므로 페그마타이트

|     | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO | MgO | MnO | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | Igl  |
|-----|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----|-----|-----|-------------------|------------------|------|
| 高品位 | 66.66            | 19.01                          | 0.35                           | tr  | tr  | tr  | 4.38              | 9.23             | 0.35 |
| 低品位 | 70.10            | 17.42                          | 0.94                           | tr  | tr  | tr  | 5.30              | 5.60             | 0.63 |

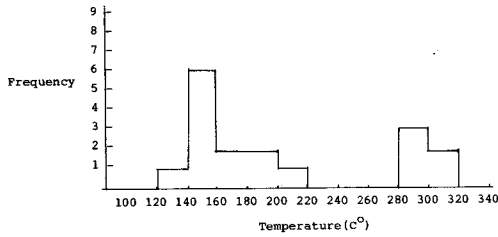


Fig. 2. A histogram showing distribution of homogenization temperatures of fluid inclusions in pegmatites at the Maewol feldspar mine.

가 형성되는 과정중 높은 온도로부터 290°C에 이르도록 서서히 냉각하며 결정(石英)들이 晶出成長하는동안 탄산가스及 水溶液이 함께 페그마타이트의 생성에 참여했음을 암시해 준다.

**含液體CO<sub>2</sub>流體包遺物**

액체 CO<sub>2</sub>를 보이는 三相의 유체포유물(Fig 3A 및 3B)이 주변의 二相포유물과 거의 동일한 균질화온도를 보임으로써 포유물이 포획될 당시의 압력에 관한 정보를 제공받을 수 있다(Roedder, 1984).

액체 CO<sub>2</sub>는 흔히 -56°C ~ +31°C 사이에서 두개의 相(액체와 기체)으로 존재하는바 액체와 기체가 하나의 상으로 균질화되는 온도는 CO<sub>2</sub>의 임계온도로 본 연구의 대상이된 페그마타이트의 석영내 유체포유물의 액체 CO<sub>2</sub>는 29.5°~30.0°C에서 하나의 상으로 균질화하고 있다.

이 함-액체 CO<sub>2</sub>유체포유물은 그 주변의 二相包有物과 거의 동일한 온도(294°C)에서 균질화하여 이 사실을 이용해 이들이 포획될 당시의 압력을 추정케한다.

Angus et al(1976)의 도표로부터 액체 CO<sub>2</sub>의 밀도가 0.65~0.75임을 구해주며, 이들 포유물이 함께 가열중 최종적으로 균질화하는 온도(294°C)는 포획될 당시의 CO<sub>2</sub> 개스의 압력이 약 1kb에 달하였음을 추정케 해준다.

함-액체 CO<sub>2</sub> 유체포유물이 二相의 다른 유체포유물과 균질화온도가 거의 같다는 점(294°~301°C)을 근거로 Roedder & Bodnar(1980)의 도표를 이용해 앞의 자료와 함께 그림에 맞춰보면 1.2Kb~2Kb의 압력하에서 포유물의 포획이 이루어졌음을 알수 있다.

**鹽度推定**

관찰이 가능한 유체포유물에 한하여 加熱하기전에 질소개스를 이용하여 -110°C까지 냉각시킨후 室內溫度에 따라 상승되는 온도에 의해 포유물내의 변화를 관찰하였다. -56°C 전후에서 CO<sub>2</sub>개스를 함유한 포유물은

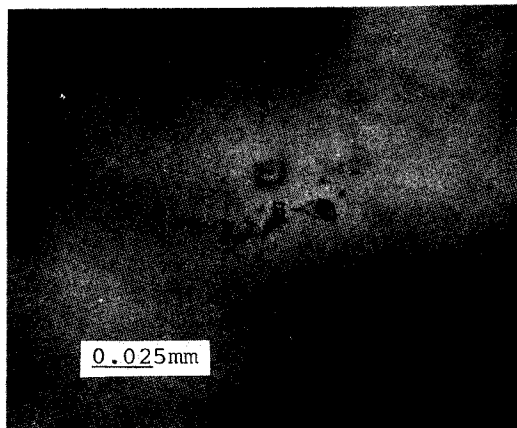
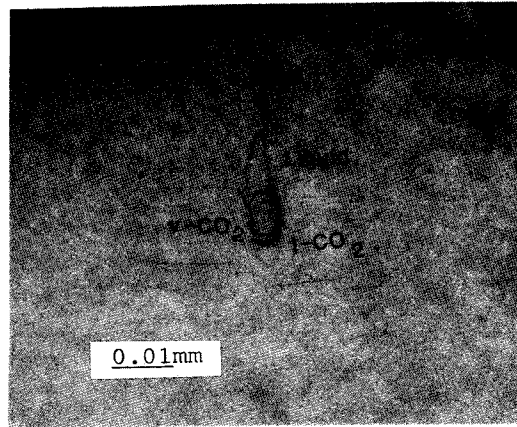


Fig. 3. Fluid Inclusions in quartz at the Maewol mine-pegmatite

- 1) 3 Phases inclusion, (liquid-CO<sub>2</sub>) bearing inclusion
- 2) Two different inclusions, 3 phases and 2 phases, showing the same homogenization temperatures(294°C). A-three phases inclusion.

Table 2. 매월장석 광산

|                  |                              |
|------------------|------------------------------|
| 시료번호             | JS-1                         |
| 시료채취위치           | 구말도폭 National grid 2421/5220 |
| 추정 광물            | 백운모                          |
| K(%)             | 8.15                         |
| 40 Ar Rad(%)     | 92.57                        |
| Rad. Ar40, mol/g | 2.577 × 10 <sup>-9</sup>     |
| 연령(Ma)           | 173.7 ± 6.33                 |
| 분석장치             | Nuclide SGA 6" - 60"         |
| 분석               | 동력자원연구소 김성재                  |

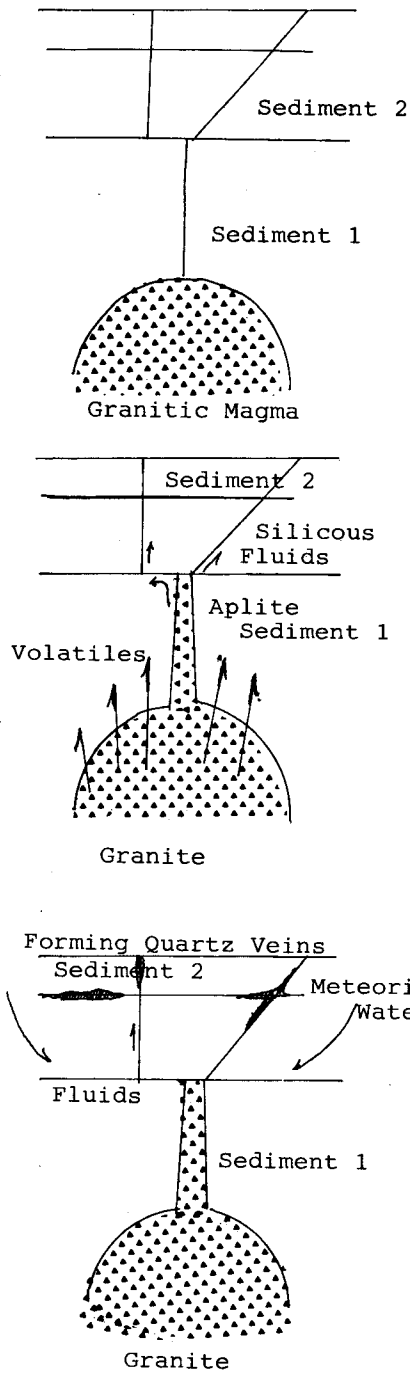


Fig. 4(A)

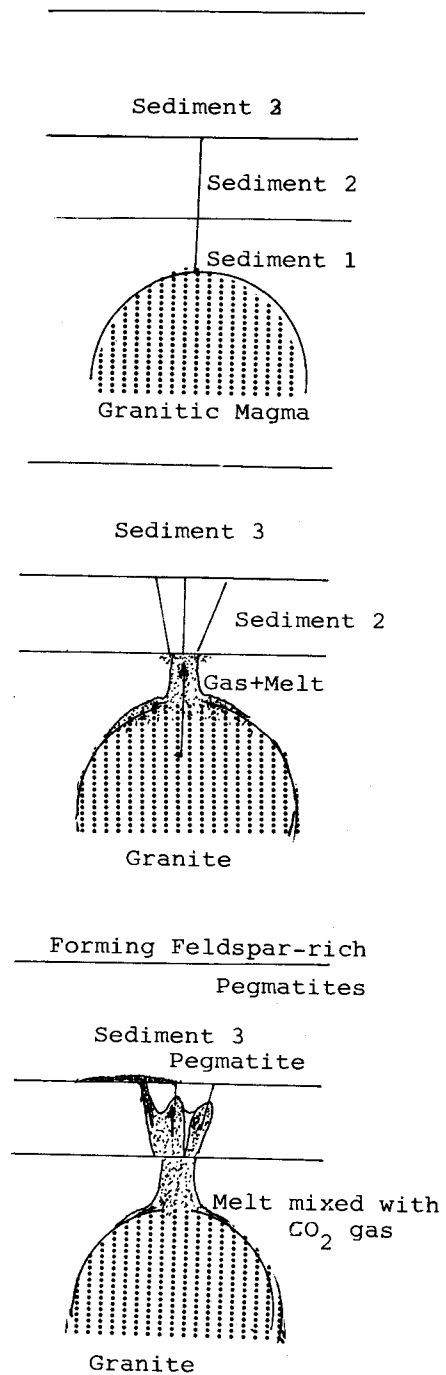


Fig. 4(B)

Fig. 4. Schematic diagrams illustrating spatial conditions for forming pegmatite relative to the formation of quartz veins

4(A)-Volatiles are separated from the melt forming granitoid.

4(B)-Mixture of volatiles(gases) and the melt derived from the main granite-magma develops the channel to emplace pegmatite.

내부변화를 보이며  $-51^{\circ}\text{C}$  전후 또는  $-28^{\circ}\text{C}$  전후에서 첫 용융온도(1st melting temperature)를 보여주어 수용액 성분중 염도는 NaCl이 되도록 KCl,  $\text{CaCl}_2$  등의 기타 염이 함유되어 있음을 보여준다. 그러나 이들의 함량을 정확히 산정하기 어려워 NaCl만을 함유한 수용액으로 가정하여 볼 경우, 최종 용융온도가  $-1.2^{\circ}\text{C}$ 에서  $-5.7^{\circ}\text{C}$ 이므로 수용액의 염도는 1.8~9%인 것으로 추산된다. 페그마타이트가 巨晶의 석영을 정출하는 과정에서 생성된 마그마水에는 일부 지하수가 첨가되어졌으리라는 추정을 유체가 보여준 다양한 염도의 변화로부터 읽어볼 수 있다.

**페그마타이트 生成時代**

매월광산 광체 (페그마타이트)내에 산출되는 巨晶의 白雲母를 채취하여 K-Ar년대 분석을 의뢰하였다. 분석결과는 Table 2와 같다. 정상석 및 석영과 공생한 페그마타이트내의 백운모의 생성 연령은  $173.7 \pm 6.33\text{Ma}$ 으로 본 페그마타이트는 유라기 화성활동의 산물임을 알 수 있다.

**討 論**

페그마타이트의 成因에 관해 많은 가설을 Jahns & Burnham(1969)은 종합 검토한바 있으나 암석학자들은 페그마타이트를 단순히 맥상의 화강암으로 분류한다 (Carmichael et al, 1974).

매월장석광산에서 보여주는 페그마타이트는 주변의 화강암과 同一起源의 것임을 가정하고 이에 대한 生成에 관한 모델링을 구상해 본다(Fig. 4).

$\text{H}_2\text{O}$ 나 기타 휘발성물질을 다량 함유한 마그마 만이 花崗岩으로 定置하면서 주변에 페그마타이트를 형성시킬 수 있다고 가정하는 단계에서 한걸음 더 나아가 합당한 메카니즘(조건)의 필요성을 느낀다. 왜냐하면 上東重石鑛山の 深部에서 발견된 鑛化作用의 根源岩으로 믿어지는 화강암의 주변에서는 페그마타이트를 찾아볼 수 없기 때문이다(Moon, 1983).

화강암이 定置하면서 주변에 脈狀으로 가지를 뺀 岩體가 aplite이다. 페그마타이트는 aplite와는 달리 용융체(melt) 상태의 單一相이 아닌 용융체와 流體(fluid), 즉 二相以上の 물질이 화강암을 이룬 본체 마그마로부터 벗어나 서서히 광물을 정출함으로써 만들어진 것이다.

용융체로부터 분리되는 流體가 되는 물질은 高溫(물임계온도 이상의 온도)의 경우, 휘발성 물질(깨스相)만이 가능하나 溫度가 低下함에 따라 용융체내에 새로운 광물이 형성되면서 水溶性溶液으로도 분리되어진다.

본 매월광산 페그마타이트는 앞 유체포유물이 제공한 압력을 근거로 최소한 8~4Km의 深度에서 형성되었을 것으로 추정된다. 페그마타이트내 석영이 정출되면서 포획된 포유물이 보이는  $\text{CO}_2$ 깨스는  $290^{\circ}\text{C}$  이상의 온도에서 페그마타이트가 생성되는 물질이 용융체+깨스+수용액의 단계를 벗어나 광물+깨스+수용액의 상태에 있었음을 暗示해 주고 있다. 그러나 화강암이 정지된 온도를  $800^{\circ}\text{C}$ 로 가정했을 경우, 이때 큰 마그마주변에 용융체가 脈狀으로 注入될 공간이 주어지는 곳에는 aplite가 형성되어진다. 용융체가 서서히 냉각하는 과정에서 광물의 생성과 함께 휘발성 물질이 산출되는 즉시 마그

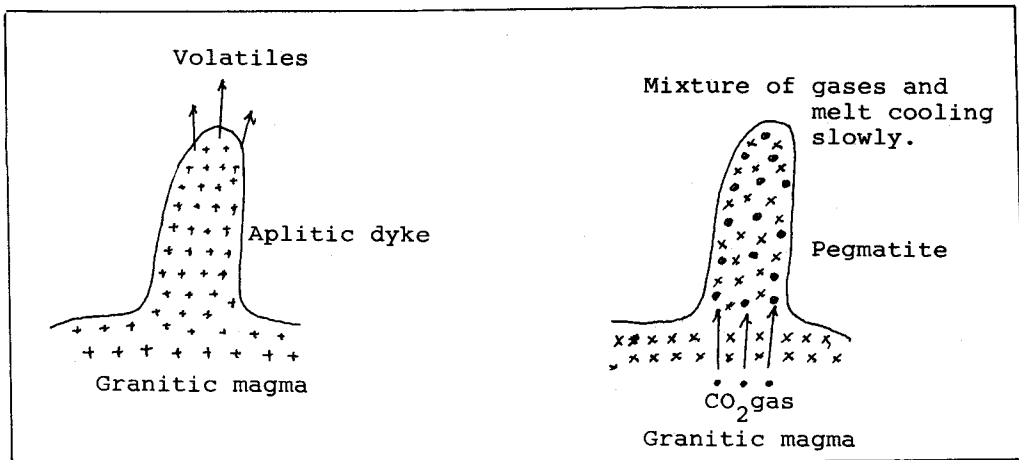


Fig. 5. Comparative features controlling the formation of aplitic dyke and pegmatic vein.

마 본체를 떠나 외곽으로 빠져나갈 수 있는 구조적 여건에서는 농축된 압력의 증가를 기대할 수 없다. 따라서, 페그마타이트의 형성은 용융체가 어느정도 냉각되고 휘발성 물질이 용융체와 혼在하는 공간이 마그마(화강암) 본체 주변에 마련되어야한다. 용융체가 완전히 수용체(液相 또는 氣相)화하여, 휘발성 물질과 함께 농축된 압력이 정암압(lithostatic pressure)을 넘어서 새로운 구조적 공간을 脈狀으로 만들어 자리잡아야한다. 본체 마그마로부터 계속적인 휘발성 물질(캐스)의 공급을 받으면서 가까운 마그마 본체 온도의 영향으로 서서히 냉각함에 따라 수용액+캐스로부터 정출된 결정들은 巨晶으로 成長하게된다(Fig. 4) 물론 W이나 Sn을 함유치 않은 페그마타이트 형성에 관여된 고온에서의 휘발성물질은 다량의 H<sub>2</sub>O를 내포한 수용성캐스로 이루어진다. 이러한 가상적 환경이 매월산 주라기 화강암에 주어졌 있었음을 야외 지질에서 파악해 볼 수 있듯이 백운모 화강암 마그마를 본체로하는 용융체+유체가 부분적으로 근접한 흑운모 화강암내로 注入되어 縞狀發達을 보이고 있는 페그마타이트를 많이 관찰할 수 있다.

上東 광산에서 발견된 花崗岩 역시 주변에 페그마타이트를 부분적으로 가질 수 있다고 보지만 현재 試鑿에 의해 노출된 Apophysis형 부위에는 페그마타이트를 기대하지 못한다. 이미 많은 휘발성 물질이 농축되어지기 전에 上昇하여 석회암의 교대작용에 참여하였고 수용성 용액은 스퀴를 累帶分布로 변화시키는데 공급되어졌고 또한 石英脈을 賦存케 하였다. 즉 석영맥을 부존케 하는 구조적 조건은 휘발성물질을 발산하는 마그마(화강암류) 상위부에 갖춰진 지질학적 환경이 필요하였음을 Fig.4에서 간단히 나타내 보인다. 페그마타이트가 형성되는 환경은 석영맥을 형성시키는 지질학적 환경(Fig 4A) 보다 더욱 폐쇄된 주변 모암의 구조에 의해 크게 영향되어졌음을 Fig 4B로 그려 나타내볼 수 있다.

페그마타이트의 생성은 마그마 본체에 연속되어져 마그마 본체를 떠난 流體가 페그마타이트의 결정이 성장하는데 계속 공급되어졌다고 보지만, 石英脈은 일단 마그마 본체를 떠난후 단절된 거리 간격을 두고 유동한 流體로부터 적정한 조건에서 석영맥을 형성시켰다고 본다. 造岩鑛物을 형성하는 主元素 Si, Al, Fe, Mg, Ca, Mn, K, Na 중 가장 많은 量의 Si (규소)와 함께 K(칼륨)과 Na(나트륨)은 높은 용해도와 휘발성물질(예 : KCl) 또는 수용성용액으로 마그마 본체로부터 이동해갈 수 있으므로 主元素로서는 他元素보다 월등히 많은 량이 페그마타이트를 형성하는데 참여하여 정장석과 사장석 그리고 운모류를 이룩한다. 특히 정장석과 석영

그리고 백운모가 巨晶을 이룰 수 있었던 환경은 용융체 및 수용체에 혼합되어진 CO<sub>2</sub>캐스의 참여로 용융체만으로 채워진 밀도 높은 공간이 아닌 여유있는 공간으로 결정의 성장을 허용했기 때문이었음을 Fig.5에서 가상해 보인다.

## 結言

- 1) 新1 : 50,000갈말을 圖幅(National grid 2421/5220) 철원군 근남면 잠곡리에 위치한 매월 장석 광산은 페그마타이트내의 장석을 채광하는 바, 페그마타이트의 생성년대는 174Ma의 것으로 주라기의 화강암과 성인적 관계를 갖는다.
- 2) 유체포유물 연구에 의하면 290℃ 이상의 온도에 이르기까지 CO<sub>2</sub>가 페그마타이트 생성에 관여하였다고 본다.
- 3) 본 페그마타이트의 생성은 화강암 본체로부터 멀리 떨어진 거리에서 계속 공급되어진 용융체+휘발성물질+수용액이 적절한 공간을 향유하여 서서히 결정화하여 형성되어졌다.
- 4) 페그마타이트 생성에 가장 중요한 여유있는 공간 확보는 바로 CO<sub>2</sub>캐스의 역할이었을 것으로 추정된다.

## 참고 문헌

- Angus, S., B. Armstrong, K.M.deReuck, V.V.Altunin, O.G.Gadetskil, G.A.Chapela and J.S.Lowlinson (1976). International Thermodynamic Tables of the Fluid State. Vol.1.3, Carbon dioxide. Pergamon Press, Oxford, England, 385p(229)
- Carmichael, I.S.E, F.J. Turner and J. Verhoogen (1974) Igneous Petrology. McGraw-Hill Book Company, 739p.
- Jahns, R.H and C.W.Burnham(1969). Experimental Studies of Pegmatite Genesis:pt.I.Model for the Derivation and Crystallisation of Granitic pegmatites. Econ. Geol. vol. 64, 843-864p
- Moon,K.J.(1983) The genesis of the Sangdong tungsten deposit, the republic of Korea, Unpub. Ph D thesis, University of Tasmania
- Roedder, E.(1984) Fluid Inclusions, Reviews in mineralogy V12, Mineralogical Society of America
- Roedder,E.and R.J.Bodnar(1980). Geologic press-

ure determination from fluid inclusion studies.  
Ann.Rev.Earth Planet, Sci., v8, 263-301p.

이동남, 조영도, 박찬성(1987) 장실광 개발성 연구  
KR-87-19 한국동력자원연구소 보고서

1

Liquid  
v-CO<sub>2</sub> l-CO<sub>2</sub>

0.01mm

2

A- B-

0.025mm