

先캄브리아紀 汾川 및 洪濟寺花崗岩類의 黑雲母에 對한 K-Ar 年代測定

洪永國*·崔泰玟**

K-Ar Ages on Biotites of the Proterozoic Buncheon and Hongjesa Granitic Rocks in the northeastern Part of the Sobaegsan Massif

Young Kook Hong and Tae Yun Choi

Abstract: K-Ar ages on biotites have been determined from the Proterozoic Buncheon and Hongjesa granitic rocks in comparison with the Rb-Sr whole-rock ages to investigate the ages of metamorphic events. The Rb-Sr whole-rock ages determinations on the Buncheon and Hongjesa granitoid rocks were previously reported as 2,100Ma and 1,700Ma, respectively. K-Ar ages on biotites separated from the studied rock have revealed three different age groups such as 1) 1,200~1,300Ma, 2) 600~700Ma and 3) 300~400Ma. The Rb-Sr whole-rock ages for the granitic rocks represent the time of emplacement, whereas the K-Ar ages on biotites generally indicate the time of metamorphism or alteration.

The large discordance in the two age systems may not be explained as indicating the cooling period of the granitic batholiths. The K-Ar ages on biotites from the granitoid rocks might not be simply interpreted as the age of the last phase of metamorphism, since the granitic rocks had been undergone multistages of amphibolite facies-metamorphism in the Precambrian period.

During the multistages of intermediate grade metamorphism, ^{40}Ar -loss could be inevitably taken place as the metamorphic temperatures went up above the blocking temperature of biotite ($300\pm 50^\circ\text{C}$). The results of the K-Ar dating on biotites from this study are probably minimum ages or hydrothermal alteration ages.

序 論

本 研究地域은 小白山陸塊 北東部 石浦 및 汾川 一
帶로서 그 범위는 東經 $129^\circ 00' \sim 129^\circ 10'$ 北緯 $36^\circ 55'$
 $\sim 37^\circ 05'$ 에 해당하며 (Fig. 1) 先캄브리아紀의 變成堆
積岩類(遠南層群 및 栗里層群), 汾川花崗片麻岩, 洪濟
寺花崗岩類, 캄브리아紀 變成堆積岩(壯山陸岩)으로 構
成된다. 本地域의 詳細한 地質은 1:50,000 三斤里圖
幅과 長省圖幅에 記載되어 있다(金玉準外, 1963; 尹碩
奎, 1967). 本 研究의 對象岩石인 汾川花崗片麻岩은 本
域의 南部에 넓게 分布하고 있으며 主로 眼球狀構造를
가진 花崗片麻岩으로 이루어져 있고, 洪濟寺花崗岩類는
微弱한 片理構造를 보인다. 汾川花崗片麻岩은 花崗岩

乃至 花崗閃綠岩의 火成源岩類가 낮은 比率로 部分熔
融되어 形成된("I-型")後 片麻岩化되었으며, 洪濟寺
花崗岩類는 그레이트와에케(greywacke)가 풍부한 堆積
源變成岩類가 높은比率로 部分熔融된 "S-型" 花崗
岩類라는 것이 岩石地化學의 硏明되었다(Hong,
1985).

本 地域에 對한 既存 放射能 年代測定 資料를 보면
Rb-Sr 全岩法에 依한 汾川花崗片麻岩의 年代는 $2,097$
 $\pm 4\text{Ma}$ 이며 ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) 初生值가 0.7056(朱昇煥·金星
載, 1985)과 0.7082(Hong, 1985)로 알려졌다. 約 21億
年이라는 年代는 汾川花崗片麻岩이 花崗岩으로서의 貫
入時期이며 片麻岩化한 變成時期는 報告된적이 없다.
또한 汾川花崗片麻岩의 貫入時期는 韓國의 先캄브리아
紀 造山運動史中 "上里變革"에 屬한다(章基弘 1985).
洪濟寺花崗岩類에 對한 Rb-Sr 全岩法 年代測定 結果는
 $1,714 \pm 28\text{Ma}$ 이며 ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) 初生值가 0.7229(金東鶴外,

* 韓國動力資源研究所 地化學探查研究室

** 慶北大學校 地質學科

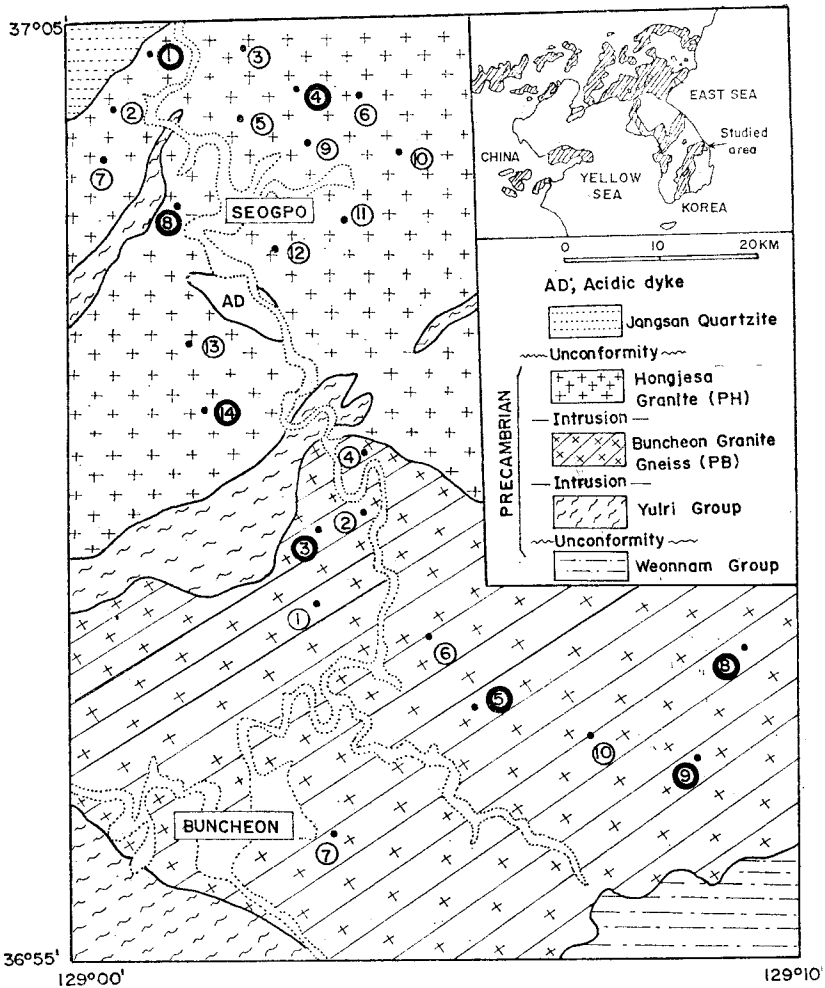


Fig. 1 Geologic map and sample locations of the Proterozoic granitic rocks (after Kim et al, 1963 and Yun, 1967). The samples in thick circle are used for K-Ar age dating on biotite.

1978) 및 $1,752 \pm 20 \text{Ma}$ 로 ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) 初生値가 0.7174 (朱昇煥·李東鎮, 1980)이며 “摩天嶺變動”에 屬한다(章基弘, 1985).

Rb-Sr 全岩法에 依한 地質年代는 마그마의 溫度가 $600 \pm 50^\circ\text{C}$ 에 到達한 때부터의 年代를 指示하고, 黑雲母에 對한 K-Ar年代는 黑雲母의 閉塞溫度(blocking temperature)인 $300 \pm 50^\circ\text{C}$ 에 到達한 時刻부터의 年代를 나타낸다(Hunziker, 1979).

이런點을 利用하여 本 研究에서는 汾川 및 洪濟寺花崗岩類의 黑雲母에 對한 K-Ar 年代를 測定하여 既存 Rb-Sr 全岩法의 年代와 比較해 봄으로써 마그마固結年代 乃至는 最終變成年代를 규명하고자 한다.

本 研究를 수행하는데 많은 助言과 分析에 도움을

주신 慶北大學校 李在英教授님, 韓國動力資源研究所 陳明植博士님과 金星載先任研究員께 深甚한 謝意를 表한다.

一般地質

本 域의 地質은 先캄브리아紀의 變成堆積岩類인 遠南層群 및 栗里層群이 汾川花崗片麻岩과 洪濟寺花崗岩類에 依하여 貫入되어 있다(Fig. 1). 그리고 캄브리아紀의 變成堆積岩인 壯山硅岩이 不整合으로 이들을 덮고 있다.

遠南層群은 本 域의 南東部에 分布하며 主要 變成砂質岩과 變成泥質岩의 互層으로 되어있으며 混成岩化現象을 보인다. 石灰岩, 硅岩 및 石英-絹雲母도 挾在

한다. 栗里層群은 灰色乃至暗灰色의 片岩類 및 千枚岩으로 構成되어 있다.

汾川花崗片麻岩은 大部分 眼球狀片麻岩으로 構成되며 葉片狀構造가 잘 發達되고, 주변에 접촉되어 있는 變成堆積岩의 片理에 大體로 平行한 葉理를 보인다. 鏡下에서 觀察된 構成礦物은 主로 石英, 斜長石, 微斜長石 및 黑雲母이고 저어콘, 燐灰石, 綠泥石과 불투명 礦物들이 나타난다. 石英은 一般의으로 粒子가 크며 波動消光을 보이며 葉片狀構造 및 片理方向에 平行하게 연장되어 있고, 또한 崩陷상構造를 보이고 있다. 斜長石은 大體로 알바이트雙晶을 하며 部分的으로 絹雲母로 變質된 것도 있다. 黑雲母는 葉理構造를 가지며 저어콘, 燐灰石과 불투명 礦物들을 포획하고 있다.

洪濟寺花崗岩類는 石英, 微斜長石, 正長石, 黑雲母 및 白雲母外에 부수 礦物로는 저어콘, 燐灰石, 電氣石, 불투명 礦物 등으로 이루어져 있고, 肉眼의 特徵은 灰色乃至暗灰色의 長石이다. 雲母는 方向性있는 배열에 의해 微弱한 片理를 갖는다. 斑狀變晶인 灰色 및 暗灰色長石은 크기가 一定하지 않으며 貫入접촉부 주변에서는 그 量이 저하되며 大體 그 크기는 長徑이 1~3cm 이고 5cm에 이르는 것도 있다. 片理構造는 微弱한 便이나 線構造는 접촉부에서 더 현저해진다. 石英은 보통 直徑 3mm 程度의 크기를 가지며 波動消光을 보인다. 鏡下에서 石英의 崩陷상構造와 黑雲母의 不規則한 群集 및 地域의인 微細한 葉理構造를 보여준다.

K-Ar 黑雲母 年代測定

礦物分離

8個의 代表的인 花崗岩試料들(PB 3, 5, 8, 9 및 PH 1, 4, 8, 14)에 對해서 黑雲母를 分離하여 年代測定을 實施했다(Fig. 1). 代表試料를 擇하는 要領은 이들이 比較的 黑雲母의 含量이 풍부하고 新鮮하며 空間의 分布를 고려하여 本 研究地域을 代表할 수 있기 때문이다. 이들 試料에 對하여 아래와 같은 方法으로 礦物分離를 했다(Hutchison, 1974); 가) 적당한 크기인 直徑 2~3 cm로 岩石試料를 硯後 粉粹機로써 破碎; 나) 礦物分離를 爲한 硯石크기는 40~80 메쉬사이의 것을 使用했다(尙基南·李東鎮, 1978); 다) 물로써 礦物粒子에 묻어 있는 먼지를 除去한 後 自然 건조시킨다; 라) 一次로 黑雲母의 葉片모양을 利用해서 여과지로 tapping 하여 約 50~60% 程度의 純度를 求할 수 있다; 마) 磁石으로 磁力이 강한 磁鐵石 및 磁硫鐵石 등을 除去한 後, 各 礦物들이 가지는 帶磁率의 差를 利用한 磁力選礦機로서 有色 礦物을 分離하였다; 바) 重液을 使用하여 純度 90% 以上の 黑雲母 約 10그램 程度 分離하였

다; 사) 瑪瑙(agate)에 이 黑雲母試料를 넣고 알코올을 試料가 잠길 정도로 부은後 漣漣히 간다. 알코올을 부는 理由는 試料를 갈때 생기는 摩擦熱이 黑雲母의 脫色온도인 $300 \pm 50^\circ\text{C}$ 以上이 되는 것을 防止하여 ^{40}Ar 의 손실을 막기 爲함이다; 아) 純粹한 黑雲母입을 立體顯微鏡으로 確認한 後 알코올로 세척해서 여과지로 받아서 自然 건조시켜 純度 99% 以上の 黑雲母試料를 約 3~4그램 얻었다.

年代測定

黑雲母內의 Ar同位元素 比率는 質量分析機에 依하여 測定되고 K의 含量은 보통 Flame分光이나 原子吸光分析機로 定量된다. 年代測定에는 다음의 가정이 必要하다: 가) 放射能物質의 半減期는 地質時代를 通하여 不變이다. 即 溫度, 壓力等 어떠한 地質環境의 物理化學的 變化에도 影響을 받지 않는다; 나) 岩石이나 礦物內 母元素(^{40}K)나 子元素(^{40}Ar)의 침가 또는 除去가 없었다. 만약 있었다면 그 當時의 年代인 變成年代가 測定된다.

本 研究에서는 原子吸光分析機를 使用하여 黑雲母 粉粹試料(0.5~1그램)로 부터 K含量을 測定한 後 그의 0.0119%를 ^{40}K 의 量으로 計算했다. Ar質量分析은 韓國動力資源研究所의 Nuclide 6''-60°-SGA 質量分析機에 依하여 測定되었다. 一般의으로 Ar質量分析은 다음의 세가지 過程을 거친다. 가) 黑雲母試料(約 30~60 메쉬크기) 0.2그램에서 Ar가스 추출; 나) Ar 가스 정제; 다) 質量分析.

추출 및 정제장치는 高진공상태下에서 作業함으로써 大氣로부터 알곤가스의 오염을 막기 爲함이다(진공도 10^{-7}mmHg 以下). 試料表面이나 機器表面에 부착된 공기를 除去하기 爲해서 各 장치를 $200 \sim 300^\circ\text{C}$ 로 20時間 동안 加熱한다. 壓力이 10^{-7}mmHg 以下로 하여 Zr-Al 게터를 加熱하여 정제한다. 또한 試料를 150°C 로 약 15時間 加熱하여 熔解되기 始作하면 發散된 가스들은 여러장치를 거치는 동안 不活性가스만 남고, 나머지 活性가스는 Zr-Al 게터에 吸收된다. 이 不活性가스를 質量分析機에 연결시켜 分析한다. ^{38}Ar spike를 加하여 同位元素희석법으로 ^{40}Ar 의 量을 定量한다. 質量分析은 質量스펙트럼圖表에 나타나는 ^{40}Ar , ^{38}Ar 및 ^{36}Ar 의 피크에 依해 各 同位元素의 比를 計算하고 이로 부터 絕對年齡을 알아낸다(Hunziker 1979). 年代計算을 爲한 ^{40}K 의 붕괴常數는 Steiger와 Jäger(1977)가 提案한 것을 使用했다.

測定結果 및 解析

測定試料 및 結果는 Table 1과 같다.

Table 1 K-Ar ages on biotites of the Hongjesa granitic rock (PH) and Buncheon granite gneiss (PB).
The sample numbers are same as Fig. 1.

Sample No.		K(%)	Ar(rad)%	⁴⁰ Ar(rad)/g	Age(Ma)
PH.	1	6.96	99.549	2.468205×10^{-8}	1367.08 ± 29.11
	4	5.18	99.270	1.593312×10^{-8}	1235.00 ± 17.48
	8	7.10	99.668	2.120427×10^{-8}	1209.07 ± 25.75
	14	7.61	99.550	1.263561×10^{-8}	768.07 ± 10.86
PB.	3	6.76	94.680	4.327402×10^{-9}	335.85 ± 4.17
	5	6.56	98.580	6.337247×10^{-9}	485.47 ± 12.14
	8	7.25	99.176	9.915398×10^{-9}	654.27 ± 16.37
	9	7.49	98.520	6.338222×10^{-9}	431.89 ± 5.35

洪濟寺花崗岩類의 K-Ar 黑雲母 年代測定 結果는 1,209±26~1,367±29Ma와 768±11Ma 및 730±22 (Yun and Silberman, 1979)으로 밝혀졌으며, 汾川花崗片麻岩에서는 654±16Ma와 336±4~485±12Ma로 나타났다. 本域에서의 黑雲母 K-Ar 年代測定 結果를 綜合해 보면 1) 約 12~13億年, 2) 6~7億年 및 3) 3~4億年の 범위로 區分된다.

Rb-Sr 全岩法에 의한 汾川花崗片麻岩의 貫入年代는 約 21億年(Hong, 1985)이며, 洪濟寺花崗岩類의 年代는 17億年으로 報告되었다(金東鶴外, 1978). 一般적으로 Rb-Sr 全岩法에 의한 岩石年代는 마그마의 溫度가 600±50°C에 到達한 때부터의 年代를 말하고, 黑雲母의 K-Ar에 의한 年代는 黑雲母의 폐쇄溫度인 300±50°C에 達한 年代부터이다(Hunziker, 1979). 어떤 마그마의 冷却速度는 그 마그마의 物理化學의 特徵과 主위岩石內 熱流量에 따라서 差異가 있겠지만, 平均 20~50°C/Ma의 速度로 冷却하고 느린 응기나 침식作用을 받는 경우는 5~10°C/Ma의 冷却速度를 보인다(Jäger and Hunziker, 1979).

따라서 本 研究地域에서의 Rb-Sr 全岩法에 의한 年代와 K-Ar 黑雲母年代가 約 5億年 以上の 큰 時間的 差異를 보이는 마그마의 固結에서 생긴 年代差異이라기 보다는, 黑雲母의 變成年代(最終變成)라고 보는 것이 合理的이다. 만약 單一回의 變成作用이 있었던 地域에서의 黑雲母의 K-Ar年代는 最終變成年代가 될 수 있지만, 여러번의 變成作用에 의한 影響을 받은 地域에서는 特別히 폐쇄溫度(300±50°C) 以上の 變成作用을 받을 때 마다 ⁴⁰K의 붕괴產物인 ⁴⁰Ar의 一部 손실이 일어나서 黑雲母의 完全한 폐쇄계(closed system)를 이룰 수 없으며 最終變成年代를 알기가 어렵다. 特別히 本域을 포함하여 小白山陸塊의 北東部는 先캄브리아紀 동안에 3回의 엠프볼라이트相에 達하는 廣域變成作用이 있었

다고 變成岩石學의 側面에서 報告된 바 있다(Kim et al, 1986). 이런 點에서 本 地域에서의 黑雲母에 對한 K-Ar年代는 各己 最終變成年代가 아니고, 數次에 걸친 變成作用中 黑雲母가 open system으로서 放射能 붕괴產物인 ⁴⁰Ar의 一部 손실이 있었으며 最小年代(minimum age)를 指示한다. 正確한 最終變成時期를 알기 爲해서는 詳細한 變成岩石學의 研究를 먼저 실시하여 各 變成時期를 代表하는 變成鑛物群에서 黑雲母를 分離하여 K-Ar 年代測定을 하는 것이 바람직하리라고 思料된다.

結 言

1) 本域에서 黑雲母를 對象으로 한 K-Ar 年代는 約 12~13億年, 6~7億年 및 3~4億年の 年齡群으로 나타났다.

2) 既存 Rb-Sr 全岩法에 의한 年代와 比較한 結果, 黑雲母의 K-Ar 年代는 마그마의 固結年代가 아니고 變成내지 變質年代이다.

3) 本 黑雲母의 K-Ar年代들은 本域에서의 廣域變成作用동안에 3回의 엠프볼라이트相에 達하는 廣域變成作用을 받았음을 暗示하며, 數次에 걸친 Ar손실에 의한 最小年代(minimum age)이다.

4) 試料를 採取한 地域에 構造線을 따라서 온 熱水의 影響에 의한 變質年代일 可能性도 배제할 수 없다.

5) 本域에서의 正確한 變成史는 폐쇄溫度가 다른 鑛物들에 對한 여러가지 方法의 年代測定 및 變成岩石學의 研究가 並行되어야 할 것으로 생각된다.

參 考 文 獻

- 金東鶴·朱昇煥·李東鎮(1978) 洪濟寺花崗岩의 Rb/Sr 年代(慶尙北道 奉化郡 小川面 石浦里一帶). 調查研究報告 4號, 資源開發研究所, p. 83-101.

金玉準·洪萬燮·金起泰(1968) 三斤里 地質圖幅 說明書. 國立地質調查所, 52pp.

尙基南·李東鎭(1978) 岩石年代測定을 爲한 鑛物分離. 調查研究報告 3號, 資源開發研究所, p. 33-44.

章基弘(1985) 韓國地質論. 民音社, 270pp.

朱昇煥·李東鎭(1980) 韓半島內 先캄브리아紀의 Rb/Sr 年代測定. 資源開發研究所(未發刊).

朱昇煥·金星載(1985) Rb-Sr法에 依한 嶺南陸塊 年代測定研究(1): 平海, 汾川, 金泉花崗片麻岩類 및 花崗岩類. 研究報告書 85-24, 韓國動力資源研究所, p. 7~40.

尹碩奎(1967) 長省 地質圖幅 說明書. 國立地質調查所, 23pp.

Hong, Y.K. (1985) Petrogenesis of the Proterozoic Granitic rocks in the Buncheon-Seogpo area, NE Korea. *Jour. Geol. Soc. of Korea*, v. 21, No. 3, p. 196-209.

Hunziker, J.C. (1979) Potassium Argon dating. In:

Jäger and Hunziker (ed.) *Lectures in Isotope Geology* Springer-Verlag. p. 52-76.

Hutchison, C.S. (1974) *Laboratory Handbook of Petrographic techniques*. John Wiley & Sons, p. 113-131.

Kim, H.S., Lee, S.M., and Lee, B.N. (1986) Petrogenesis of the Hongjesa granitic gneiss in the eastern part of the Mt. Taebaeg area, Korea. *Memoirs for Prof. Sang Man Lee's sixtieth Birthday*, p. 107-133.

Steiger, R.H., and Jäger, E (1977) Subcommittee on Geochronology: Convention on the use of decay constants in Geo- and Cosmochronology. *Earth Plan. Sci. Letters*, v. 36, p. 359-362.

Yun, S.K., 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. *Jour. Geol. Soc. of Korea*, v. 15, No. 1, p. 89-100.