

花崗岩 風化層의 粘土組成과 風化環境

吳 慶 變*

—(目 次)—	
1. 序論	3. 韓國 花崗岩 風化層의 粘土組成과 風化環境
2. 粘土의 生成과 環境	1) 粘土組成의 特色
1) 粘土의 生成 麥카니즘	2) 風化環境
2) 粘土組成과 風化環境	4. 結論

1. 序 論

花崗岩은 조암 광물 입자가 불규칙하게 배열돼 있는데다 공극율이 매우 낮아 암괴 상태에서는 물리적 충격에 매우 잘 견된다¹⁾. 그러나 일단 화학적으로 약한 흑운모나 사장석 등이 풍화되어 약간의 점토 생성과 함께 부피가 팽창하면 암석 조직은弛緩된다. 이때 불규칙하게 배열된 입자와 입자 사이의 벌어진 틈을 따라 풍화에 필요한 수분이 깊은 곳까지 쉽게 침투할 수 있다²⁾. 따라서 화강암 지역에는 구성 광물 입자가 수분 침투에 불리하게 片理나 層理 방향으로 배열된 편마암 및 퇴적암 지역에서 보기힘든 두꺼운 풍화층이 발달한다. 이러한 풍화층은 지표수나 바람 등에 의해 쉽게 침식·운반되므로 활발한 地形形成作用을 유도하고, 또 土壤形成作用의 母材가 되기도 한다.

전 국토의 30% 이상이 화강암을 기반암으로 하는 한국의 경우, 흔히 麻砂土層이라고도 불리우는 두께가 10 m 넘는 花崗岩 風化層³⁾이 도처에 널리 분포한다. 이들이 넓게 발달되 있는 곳은 두꺼운 풍화층 형성에 불리한 타암석 지역에 비해 많이 삭박되어 분지나 평야를 이루고 있는 예도 많다. 호남 평야, 나주 평야, 내포 평야, 경기 평야 등 남한의 주요 평야를 비롯해 충주·원주·춘천·영주 분지 등의 주요 내륙 분지들은 이의 대표적인 예라 할 수 있다. 이들 분지나 평야에는 우리나라 인구의 대다수가 밀집되 있으므로 화강암 풍화층에 대한 이해는 지형, 토양 연구에만 중요한 것이 아니라 제반 인문 현상 연구 및 국토의 효율적인 이용 계획에도 직접·간접적으로 필요하다.

본 연구는 이러한 맥락에서 우리나라 화강암 풍화층의 특색 및 형성 과정을 구명·정리하려는 장기적인 작업의 일환으로 화강암 풍화층에 험유된 점토로 풍화 환경을 살펴보려 한다. 점토를 바

*韓國教員大學校 地理教育科

** 본 연구는 1989년 韓國第四紀學會 秋季學術發表會에서 發表한 것임.

1) Godard, A. 1978, Pays et Paysages du Granites, PUF, Paris, 210p.

Birot, P., 1962, Contribution à l'étude de la désagrégation des Roches. 230p.

2) Godard, A. 1978, *ibid.*

3) Granitic regolith 또는 saprolite 를 가리킴(불어로는 arène, 독어로는 Grus 라 한다)

탕으로 풍화 환경 구명에 접근하는 이유는 다음과 같다.

① 점토는 풍화 작용의 산물로 그 종류는 지표의 热的·水理的 條件의 규제를 받으면서 풍화가 진전된 정도에 따라 다르므로 풍화 환경을 파악할 수 있는 좋은 지표가 되고,

② 두꺼운 화강암 풍화층의 점토는 매스 무브먼트나 지표수 작용으로 이동되지 않고 생성된 곳에 남아 있는 殘積 物質이므로 오직 풍화가 진전된 곳의 환경만을 반영한다. 운반·퇴적된 점토의 경우는 퇴적된 곳의 환경의 영향으로 다른 종류의 점토로 바뀔 수 있기 때문이다.

본 연구를 위해 필자는 清州, 大關嶺, 扶安, 康津, 東萊, 金海, 利川 일대의 화강암 풍화층에 함유된 점토를 채취하여 X-Ray 差折分析을 했다. 야외에서 시료를 채취할 때 풍화층 단면에서 Mass-Movement, 土壤形成作用, bioturbation 을 받지 않은 부위의 점토를 택했다. X-Ray 회절 분석을 통해 점토 종류를 보다 정확하게 식별하기 위해 각 시료마다 자연 상태, 500°C 열처리, glycerol 처리로 나타나는 diffractogram 들을 비교했다.

2. 粘土의 生成과 環境

1) 점토의 생성 메카니즘

일반적으로 직경 2μ 이하의 광물성 입자를 점토라 하는데 이들은 암석의 풍화 과정에서 생성된다. 암석의 풍화는 물리적·화학적 메카니즘이 상호 작용하여 전진되는데 대부분의 점토는 화학적 메카니즘에 의해 암석을 조성하는 長石, 雲母 등 一次 鑽物의 結晶構造가 退化·變形되거나 또

는 瓦解되어 새로운 鑽物 結晶體로 되면서 生成되므로 二次 鑽物의 성격을 지닌다⁴⁾. 반면 물리적 메카니즘에 의해 괴상의 암석이 점이적으로 암설, 모래, 나토의 단계를 거쳐 입경 2μ 이하로 조개침으로서 생성된 점토는 일차 조암 광물의 결정 구조를 그대로 유지하므로 一次 鑽物 粘土⁵⁾라 한다.

① 化學的 風化에 의한 二次 鑽物 粘土의 生成

一次 組巖鑽物의 結晶 構造는 규소(Si) 원자 하나에 산소(O) 원자 4개가 둘러싸서 결합된 모습의 Si-四面體와 알미늄(Al) 원자 하나에 산소(O) 6개가 둘러싼 모습의 Al-八面體를 기본 요소로 하여 이들 주변에는 K, Na, Ca, Mg, Mn, Fe, Al 등의 金屬 元素가 결합되어 있는 형태를 지닌다⁶⁾. 이들이 어떻게 組織·配列되어 있는지에 따라 석영, 장석, 운모 등 광물의 종류가 결정된다. Si-四面體와 Al-八面體는 화학적으로 매우 안정된 요소이므로 풍화 과정에서 쉽게 왜해되지 않는다. 반면에 Si-사면체와 Al-팔면체가 層狀組織을 이루는 층들 사이에 배열되어 있는 금속 원소는 층과 층을 약하게 연결시키는 형태를 지니므로 화학적 풍화에서 제일 먼저 수소 이온(H⁺)에 의해 치환되어 일차 광물 결정체에서 떨어져 나온다⁷⁾. 그리고 화학적 풍화가 계속 진전되면서 Si-四面體와 Al-八面體가 이루는 층상구조가 파괴되어 다시 새로운 결정체로 조직된다.

화학적 풍화가 진전되면서 일차 광물 결정체에서 금속 원소들만 떨어져 나오는 초기 단계에는 chlorite 가, Si-사면체와 Al-팔면체가 이루는 층들이 서서히 왜해되는 단계에 이르면 vermiculite, smectite 과 같은 점토가 생성된다. 그리고 화학적 풍화가 계속 진전되면 Si-사면체와 Al-팔면체가 이루는 층들이 완전히 왜해되어 새로운 광물 결정체를 이루는 단계에 이르면

4) Millot, G., 1964, Géologie des Argiles, Masson & Cie, 425p.

Callière, S. et Hénin, S. 1982, Minéralogie des Argiles, Masson, Paris, Tome I, 184p. Tome II, 189p.

5) 二次 鑽物 粘土에 대응해서 사용한 용어임.

6) Birot, P., 1962, *op. cit.*

7) Birot, P., 1962, *ibid.*

Millot, G., 1964, *op. cit.*

kaolinit, meta-halloysite 와 같은 점토가 생성된다". 나아가서 kaolinite 와 같이 화학적으로 매우 안정된 이차 광물 점토의 Si - 사면체와 Al - 팔면체가 이루는 층까지도 와해시킬 정도로 풍화가 강하게 진전된다면, Si - 사면체로 된 석영질 일부가 물에 녹아 流去 되면서 gibbsite 가 생성된다.

따라서 풍화층에 함유된 점토는 풍화 초기에는 chlorite 와 같이 일차 광물의 결정 구조가 약하게退化된 모습의 점토가 약한 물리·화학적 작용으로도 생성되는 illite⁹⁾와 함께, 初期段階를 지나면 vermiculite, montmorillonite (smectite), 풍화가 많이 진전됨을 경우에는 kaolinite, halloysite 가 주축을 이룬다. 그리고 kaolinite 가 주축을 이루는 단계보다도 풍화가 더 진전된다면 다양한의 gybbosite 가 kaolinite 와 함께 나타난다.

② 一次礦物 粘土의 生成

지금까지 점토에 대한 연구를 주도해온 地化學 및 矿物學에서는 화학적 풍화로 생성된 이차광물 점토를 진정한 의미의 점토라고 한다. 그러나, 일반적으로 점토라고 하는 粒徑 2μ 이하의 콜로이드 성격을 지닌 광물성 입자에는 반드시 二次礦物만 있는 것은 아니다. 溫帶와 高緯度 地域의 암

석 풍화층과 토양에는 石英, 長石 상태의 점토도 Illite 와 함께 적지않게 含有돼 있다¹⁰⁾. 화강암 풍화층에 존재하는 이러한 일차 광물 점토는 일단 토양의 結冰과 融解의 反復에서 나타나는 機械的 인 힘으로 泥土(silt, 粒徑 2~20μ 的 광물성 입자)가 破裂되어 생성된 것으로 가정된다.

일차광물 점토가 周氷河 環境에서의 凍破(gelification, frost shattering) 중심의 물리적인 메카니즘에 의해 생성될 수 있음이 지형학도들의 담사와 실험을 통해 알려지게 된 것은 최근의 일이다¹¹⁾. 과거에는 물리적 풍화가 활발한 주빙하지역에는 루스(loess) 와 같은 泥土質 토양이 많으므로 이 메카니즘으로는 암석이 니토 크기 까지만 조개진 수 있다고 믿었다¹²⁾. 그리고 지화학자들은 실제 자연에 존재하는 일차광물 점토는 이차 광물 점토가 지하 깊은 곳에서 일차 광물 상태로 전향된 것으로만 생각해 왔다¹³⁾. 풍화 안된 퇴적암에 함유된 점토의 경우는 이러한 설명이 타당하다. 그러나 마그마가 지하 깊은 곳에 관입되어 냉각·결정화될 때 생성되는 석영·장석류는 거의 모래크기 이상이라는 점을 고려하면¹⁴⁾, 일차 광물이 퇴화하는 경향을 보이는 지표 부위 화강암 풍화층에 함유된 석영이나 장석 점토의 성인은 기계적 풍화의 산물로 보아야 한다.

8) Millot, G., 1964, *ibid*, 이 저서에서 neoformation 이란 용어를 채택해 사용했음.

9) Millot, G., 1964, *ibid*.

Tardy, Y., 1969, Géochimie des altérations. Etude des arènes et des eaux de quelques massifs cristallins d'Europe et d'Afrique. Thèse d'Etat, Science, Strasbourg, 253p.

10) Oh, K.S., 1985, Mise en évidence des structures cryogéniques quaternaires dans les formations superficielles de la Vallée de la Fecht (Vosges moyennes cristallines). *Thèse de Doctorat, Université Louis Pasteur de Strasbourg I*, 210p. particularly in pp.16 – 41.

Beaumont, P., 1972, Clay mineralogy of glacial clay is Dastern Durham, England, in "Research Methods in Pleistocene Geomorphology", 2nd GUELPH Symposium on Geomorphology, 1971, edited by Yatz E. et al., pp.83 – 108.

권순식, 1987, 한반도 화강암 풍화층에 발달한 제4기 후반의 주빙하 결빙 구조에 관한 연구. 서울대학교 대학원 박사학위 논문.

11) Martini, A., 1967, Preliminary experimental studies on frost weathering of certain rock types from the West Sudetes. *Biol. Perigl.*, No.16, pp.147 – 194.

Lautridou, J.P., 1982, La fraction fine des débris de gélification expérimentale. *Biol. Perigl.*, No.29, pp.75 – 85.

Lautridou, J.P. et Ozouf J.C., 1982, Experimental frost shattering – 15 years of research at the Centre de Géomorphologie du CNRS. *Progress in Physical Geography*, Vol.6, No.2, pp.215 – 232.

Oh, K.S., 1985, *op. cit.*

12) Tricart, J., 1964, Principes et Méthodes de la Géomorphologie, Masson & Cie, Paris, 496p.

Tricart, J. et Cailleux, A., 1967, Le Modèle des Régions Périglaciaires, SEDES, Paris, 510p.

13) Millot, G., 1964, *op. cit.*

14) Biot, P., 1962, *op. cit.*

이러한 일차 광물 점토를 생성시킨 물리적인 메카니즘으로 加熱과 冷却(0°C 이상에서), 加濕과 乾燥, 鹽의 용해와 결정 상태의 반복 등에 의한 부피 변화와 관련된 thermoclasty, hydroclasty, haloclasty 도 생각해 볼 수 있다. 이들은 모두 온도와 건습의 변화가 급격한 곳에서만 나타날 수 있어 건조 지역의 지표나 해안의 암석 표면 등에서 활발할 뿐이다¹⁵⁾. 암석의 풍화물이나 토양에서는 일반적으로 지표에서 20~30 cm 깊이만 되도 地溫과 水分含量의 변화가 미약하므로 이러한 물리적 메카니즘으로는 두께 3~4 m 이상의 화강암 풍화층에 함유된 석영과 같은 일차 광물 점토의 생성을 설명할 수 없다.

2) 점토 조성과 풍화 환경

환경은 화학적 풍화와 물리적 풍화의 강도, 이들의 상대적 비중, 그리고 화학적 풍화의 경우는 어떤 종류의 이차 광물 점토를 만드는 선까지 진전되는지를 규제한다. 따라서 풍화 환경은 풍화의 산물인 점토 조성에서 반영되기 마련이다. 예를 들어 화강암 풍화층의 점토에서 석영, 장석 등 일차 광물 점토의 비율이 높다면 풍화는 물리적 풍화가 활발한 한랭한 환경에서, Kaolinite 중심의 이차 광물 점토의 비율이 높다면 화학적 풍화가 활발한 고온·습윤 기후 환경에서 진전됐음을 의미한다. 풍화에 영향을 미치는 環境要因으로 가장 중요한 것은 氣候이고, 그리고 排水條件, 鹽基性 物質의 寡多 與否를 들 수 있다.

① 氣候 環境과의 關聯

풍화는 풍화가 진전되는 곳의 온도와 수분 함량에 직접적인 영향을 받고 넓은 지역에 걸쳐 공통적으로 나타나는 이들의 특색은 기후 환경에 의해 결정된다. 기온이 낮고 교차가 클 수록 물리적 풍화가, 기온이 높고 교차가 작을 수록 화학적 풍화

가 우세하다. 그리고 물리적 풍화든 화학적 풍화든 모두가 수분 함량이 높고 배수가 양호할수록 잘 진전되는 경향을 보인다. 따라서 고온 다우의 열대 습윤 기후 환경 하에서는 화학적 풍화가 활발해 kaolinite, gibbsite 중심의 이차 광물 점토가, 기온이 낮고 상대 습도가 높은 한랭·습윤 환경에서는 동파 중심의 물리적 풍화가 강하게 작용하므로 다량의 일차 광물 점토가 생성된다.

熱帶濕潤 氣候에서는 화학적 풍화가 암석의 풍화를 주도한다. 이것은 매우 강하고 활발하여 화강암 대에는 두께 20~30 m 이상의 風化土層을 형성시키며, 여기에 함유된 점토에서는 kaolinite 가 주축을 이룬다. 대부분의 조암광물이 kaolinite 가 생성되는 단계까지 풍화되기 때문이다. 그리고, 열대에서도 赤道帶 降水量이 많은 地域에는 多量의 gibbsite 가 kaolinite 와 함께 나타난다¹⁶⁾ vermiculite, chlorite 등 풍화 초기 및 중간 단계에 생성될 수 있는 점토는 화학적 작용이 활발한 열대 환경에서는 오랜 기간 안정된 상태로 존재할 수 없어 바로 smectite, kaolinite 로 되므로 거의 나타나지 않는다¹⁷⁾. 따라서, 열대 습윤 지역 풍화 환경은 kaolinitisation 으로 특징지워진다.

溫帶濕潤 氣候에서는 암석의 화학적 풍화가 热帶에 비해 약하고 느리게 진전되므로, 암석이 풍화가 깊이 진전되지 못하고 풍화층의 함량이 낮은 편이다. 이곳의 점토에서는 Vermiculite smectite, chlorite 등이 주축을 이루며 kaolinite 는 약한 비율로 나타난다. 흑운모와 정장석 등의 조암 광물은 화학적 풍화에서의 점토 형성이 vermiculite 단계에 도달하면 더 이상 kaolinite 로 되는 방향으로의 진전이 어렵기 때문이다. 이러한 기후 지역에서의 풍화 환경은 vermiculisation 으로 특징지워진다.

寒冷濕潤 氣候 環境에서는 화학적 풍화가 미약하므로 점토의 생성이 제한되어 있는 편이다. 따라서 풍화토가 있다해도 점토의 함량은 낮다¹⁸⁾.

15) Birot, P., 1962, *ibid.*

16) Millot, G., 1964, *op. cit.*

Tardy, Y., 1969, *op. cit.*

17) Millot, G., 1964, *ibid.*

Tardy, Y., 1969, *ibid.*

18) Godard, A., 1978, *op. cit.*

북부 프랑스(Vosges 산지)

	Vermiculite	Smectite	Kaolinite	Gibbsite
QUARTYX				
MUSCOVITE →				
FELDSPAR-K →				
BIOTITE →				
FELDSPAR-Na →				
FELDSPAR-Ca →			→	

상아 해안(열대습윤)

	Vermiculite	Smectite	Kaolinite	Gibbsite
QUARTYX				
MUSCOVITE →				
FELDSPAR-K →			→	
BIOTITE →			→	
FELDSPAR-Na →			→	
FELDSPAR-Ca →				→

Figure 1. 기후환경에 따른 광물별 화학적 풍화 진전 양상 (열대 습윤 환경과 온대 습윤지역)(Tardy 1969)

이 氣候 地域의 점토에는 약간의 물리적 작용에도 생성될 수 있는 illite가 동파와 같은 강한 물리적 풍화로 점토 크기로까지 쪼개진 석영, 장석 등 일차 광물 점토가 주축을 이루고, chlolite, vermiculite 등의 이차 광물 점토는 낮은 비율로 나타난다¹⁹⁾. 이러한 기후 하에서의 풍화 환경은 석영도 2μ이하로 쪼갤 수 있을 정도로凍破 중심의 강력한 fragmentation이 작용하는 것으로 특징지워진다.

乾燥 氣候 環境은 암석 풍화에 필요한水分不足으로 어느 위도든 암석 풍화에 불리하다. 따라서 이러한 기후에서는 온도 변화가 심한 지표에서는 물리적 메카니즘이 주도하는 粒狀崩壞(granular disintegration)가 활발하다. 이 곳의 풍화 환경에서는 석영, 장석류 점토는 잘 생성되지 못

하지만 illite는 많이 생성된다. 그리고 약간의 수분이 있는 곳의 풍화물에는 chlorite, smectite와 같은 염기성 환경 타입의 이차 광물 점토가 함유돼 있다.

한편, 오늘날 乾燥 地域과 溫帶, 冷帶 氣候 地域에서도 Kaolinite의 함량이 높은 화강암 풍화 층을 적지 않게 찾아볼 수 있다. 이것은 古熱帶性 氣候에서 형성된 후에 완전 침식되지 않고 남아 있는 예에 해당된다. 第三紀末에는 북극과 남극에 조차도 빙하가 없었을 정도로 전세계적으로 기후가 온화했고 第四紀에는 氷期와 間冰期가 여러번 反復하여 기후대의 위치 변동이 있었다. 오늘날 보다도 월씬 온화했던 第三紀末 Pliocene 世, 第四紀의 Mindel-Riss 間冰期 등에는 현재의 온대 지역에도 열대성 기후가 지배하여 kao-

19) Oh, K.S., 1985, *op. cit.*

Oh, K.S. et al., 1987, Caractérisation micromorphologique et hydrodynamiques des niveaux structurés par le gel quaternaire. *CATENA*, Vol.14, No.6, pp.485 – 499.

Beaumont, P., 1972, *op. cit.*

20) Millot, G., 1964, *op. cit.*

lite를 많이 함유한 두꺼운 화강암 풍화층을 형성시켰다²¹⁾. 반면 水期에는 오늘날 亞熱帶 乾燥地域의 많은 부분이 풍화에 유리한 多雨性(Pluvial) 환경에, 온대 지역은 대체로 동파 중심의 물리적 풍화가 활발한 상황에 있었음도²²⁾ 세계 여러 지역 풍화 환경 연구에서 고려되어야 한다.

② 지형과 관련된 배수 조건, 염기성 물질의 과다 여부

지금까지 연구된 바에 의하면 排水가 良好하고 鹽基性 物質이 적은 酸性 환경에서는 풍화가 진전되면서 점토는 illite - vermiculite - kaolinite - gybbosite 순서로 발달한다. 반대로, 排水가 不良하고 鹽基性 物質이 많은 곳에서는 illite - chlorite - smectite 順으로 나타난다. 이 경우 풍화는 Smectite 단계에서 더 진전되지 않아 kaolinite, gybbosite는 생성되지 않는다. 그러나 배수가 잘되는 산성 환경으로 바뀌면 고온 습윤한 기후 하에서는 kaolinite, 溫帶나 冷帶 濕潤 地域에서는 vermiculite로 된다. 반대로 배수가 잘 되는 산성 환경에서 생성된 vermiculite나 kaolinite는 배수가 불량한 염기성 환경으로 바뀌면 chlorite나 smectite로 변한다²³⁾.

따라서 동일한 기후 지역이라도 배수가 잘되는 丘陵 斜面과 배수가 불량한 谷底나 低濕地에서 나오는 점토의 종류는 다르다. 그리고, 배수가 잘되는 곳이라도 風化에서 鹽基性 物質이 많이 나오는 석회암 지대에서는 vermiculite, kaolinite와 같은 酸性 環境의 점토는 생성되기 힘들다²⁴⁾.

3. 韓國 花崗岩 風化層의 粘土組成과 風化環境

1) 점토 조성의 특색

강진, 부안, 김해, 청주, 이천, 대관령 등지의 화강암 풍화층의 점토에 대한 X-Ray 회절 분석에서 다음과 같은 점토 조성의 특색을 파악할 수 있다.

모든 점토 시료의 X-Ray diffractogram에서 석영, 장석 중심의 일차광물 점토와 kaolinite, meta-halloysite 중심의 이차 광물 점토의 피크가 두드러지게 나타나는데, 전자가 후자에 비해 더욱 강한 경향을 보인다. 그리고 운모류(muscovite, biotite, phlocovite)가 전혀 퇴화되지 않았거나 또는 극히 미약하게 퇴화된 형태의 이차 광물 상태라 할 수 있는 illite의 피크도 대부분의 시료에서 뚜렷하게 나타난다. 반면 chlorite, vermiculite, smectite 및 10-14, 10-14c, 14c-14s, 14v-14c, 14v-14s 등 Interstratified clays의 존재는 미약한 편이다.

석영, 장석 등 일차 광물 점토를 피크는 지역차를 보이지 않는데, 7 Å group(Kaolinite, Meta-Halloysite)점토의 피크는 강진, 부안, 김해 등 서남부 지역에서 청주, 이천 등 중부 내륙을 경유해 대관령 일대에 이르면서 약해지는 경향을 보인다. 한편 vermiculite, 10-14v, 14c-14v은 대관령 일대에서 주로 나타나고, chlorite, sme-

- 21) Coinçon, R., Tardy, Y., Godard, A., 1976. Les enseignements d'ordre morphogénétique et paléoclimatique apportés par l'étude des bassins de l'Quest de la Magéridé. *Revue de Géomorphologie Dynamique*, XXV, pp.81 - 91.
Tardy, Y., 1969, *op. cit.*
- 22) Tardy, Y. et al., 1973. Formation of clays from granit and its distribution in relation to climate and Topography. *Geoderma*, 10 - 4, pp.271 - 284.
- Godard, A. 1978, *op. cit.*
- 23) Tricart, J., 1965. Introduction a la Géomorphologie Climatique, CUF, Paris, 332p.
- 24) Millot, G., 1964, *op. cit.*
Tardy, Y., 1969, *op. cit.*
Millot, G., 1964, *ibid.*
Tardy, Y., 1969, *ibid.*

ctite, 10–14, 14c–14s는 대관령 이외 지역 시료에서 미량으로 불규칙하게 분포한다.

2) 풍화 환경

남한의 화강암 풍화층에는 일차 광물 점토와 이차 광물 점토가 모두 높은 비율로 분포한다. 이것은 남한에 널리 분포하는 화강암 풍화층 형성에 화학적 풍화와 물리적인 풍화가 같이 작용했음을 의미한다.

화학적 풍화의 산물이라 할 수 있는 이차 광물 점토에서는 Kaolinite 가, 물리적 풍화로 생성되는 일차 광물 점토로는 석영, 사장석이 주축을 이루는데 후자가 전자보다 더 높은 비율로 나타난다. 그리고 극히 미약한 물리적 풍화로도 생성될 수 있는 illite 도 많이 분포하는 편이다. 이 사실은 남한의 화강암 풍화층 형성 과정에서 물리적 풍화가 화학적 풍화보다도 더 비중 높게 작용했음을 시사한다.

① Kaolinite 중심의 이차 광물 점토와 풍화 환경
Kaolinite 는 西岸海洋性氣候와 같은 溫帶濕潤環境에서도 排水가 잘되는 곳이면 약간(전체 점토의 20% 이내 정도)²⁵⁾ 생성될 수 있다. 그러나 kaolinite 가 높은 비율로 생성되려면 화학적 풍화가 고온, 습윤한 환경에서 강하게 진전되어야만 하는 것으로 알려져 있다. 그리고 이 점토는 광물 결정체에서 가장 안정된 요소인 Si – 사면체와 Al – 팔면체로만 구성돼 있어 일단 생성되면 배수가 불량한 저습지에 놓이게 되어 smectite 로 되거나 또는 적도 습윤 환경 하에서의 강력한 화학적 풍화로 gibbsite 로 되는 예를 제외하고는 수백만년 이상 변형되지 않고 존속한다²⁶⁾.

본 연구에서 시료로 택한 남한 화강암 풍화층 점토의 경우 물리적 풍화로 생성된 일차 광물 점

토의 비중이 화학적 풍화로 생성된 이차 광물 점토보다 높지만, 이차 광물 점토에서는 단연코 kaolinite 가 주축을 이룬다. 이 사실은 남한의 화강암 풍화층 형성에서 화학적 풍화의 작용은 주로 고온·습윤 환경 하에서 진전됐음을 의미한다. 우리나라의 오늘날 기후에서 여름에는 kaolinisation 방향의 화학적 풍화에 유리한 고온·다습한 기간이 있긴 하지만, 이 정도로는 kaolinite 가 이차 광물 점토의 주종을 이루는 두께 10m 넘는 화강암 풍화층이 형성될 수 없다. 이것은 오늘날 보다 고온·다습한 여름 기간이 훨씬 길었던 고기후 환경이 존재했어야만 생성될 수 있다.

열대성 풍화 환경은 남극과 북극에도 빙하가 없었던 제3기말과 제4기 간빙기 중 가장 길고 가장 온화했던 Mindel-Riss 간빙기에 존재했을 가능성 이 높다. 그런데 여러 지화학자들의 실험 결과를 종합·보완한 바에 의하면 오늘날 유럽의 환경에서 화강암이 1m 풍화되는데 10만년 정도의 시간이 걸린다²⁷⁾. 이것을 어느 정도 인정한다면, 우리나라에 현존하는 10~20m 두께의 화강암 풍화층은 제4기에 형성된 것이라고 볼 수 밖에 없으며 여기에 함유된 kaolinite 는 주로 Mindel-Riss 간빙기에 생성된 것으로 사료된다. 그리고 그 이전 제3기말에도 생성됐다고 생각되는 kaolinite 들은 지형형성작용으로 침식·운반 됐다고 가정된다.

Kaolinite 중심의 이차 광물 점토의 퍼크는 강진, 부안, 김해 등 남부 지역에서 청주, 이천 일대 중부 내륙을 경유하여 대관령에 이르면서 점점 약해지는 경향을 보인다. 이것은 우리나라에 화학적 풍화가 활발했을 때의 풍화 환경의 지역차를 반영하는 것으로 풀이된다.

한편 vermiculite, 10–14v, 14c–14v 등과 chlorite, smectite, 10–14c, 14c–14s 등 각기 온대·습윤 환경의 배수가 잘되는 곳과

25) Tardy, Y., 1969, *ibid.*

Seddoh, F., 1973, Altération des roches cristallines du Morvan – Etude Minéralogique, géochimique, micromorphologique. Thèse d'Etat, Dijon, 377p.

Biro, P., 1972, Usure chimique des versants cristalline – l'enseignement des expériences de laboratoire. Bull. de Centre de Géomorphologie de Caen, No.13 – 14 – 15, pp.183 – 192.

26) Millot, G., 1964, *op. cit.* 여기에서 heritage 란 용어를 사용했음.

27) Tardy, Y., 1969, *op. cit.*

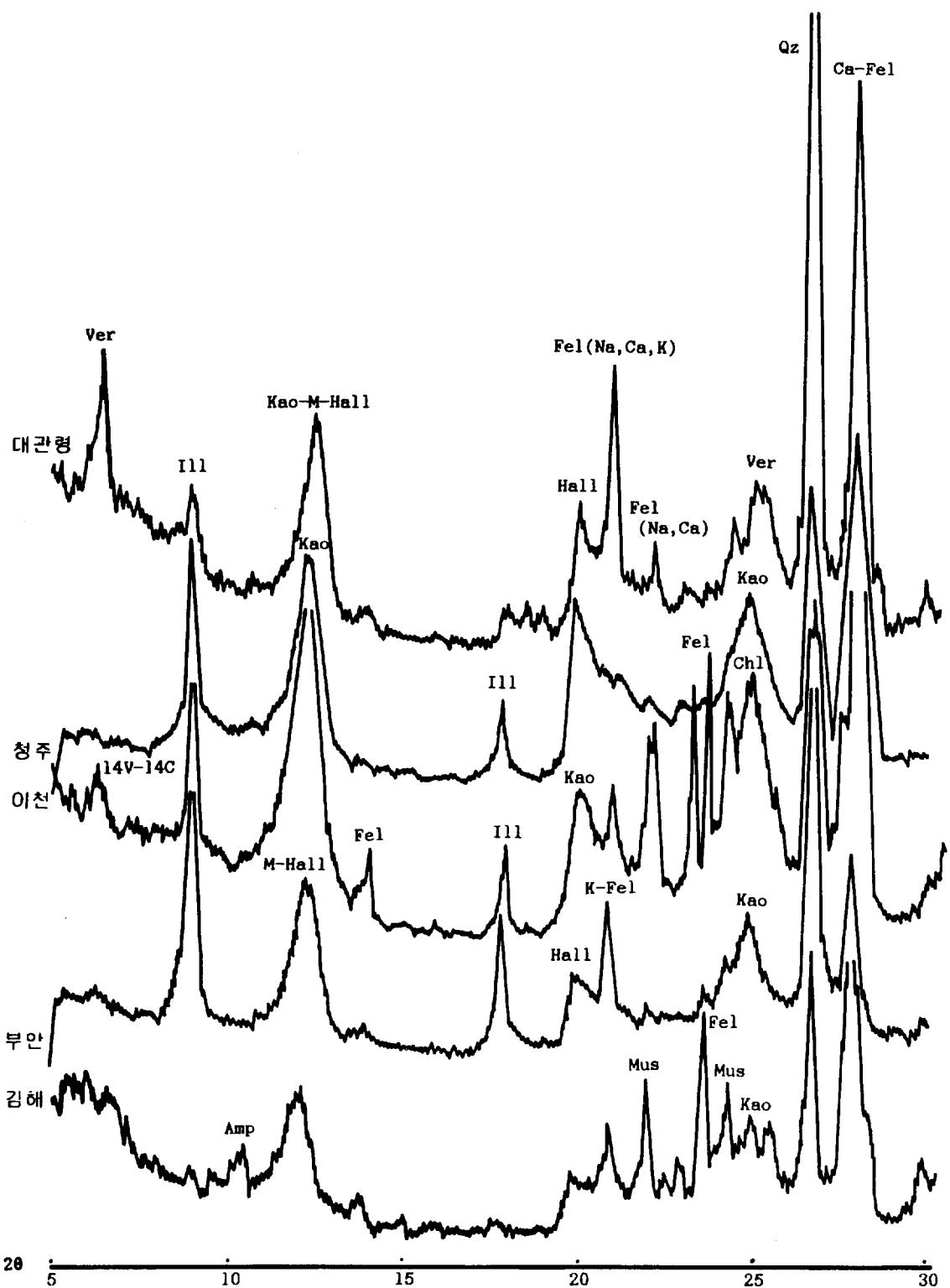


Figure 2. 화강암 풍화층 점토의 X-Ray diffractogram(한국)

온대의 배수가 양호치 못한 환경에서 생성될 수 있는 점토들도 약간씩은 포함돼 있다. 전자는 우리 나라 타지역에 비해 상대 습도가 높은 대관령 일대에, 후자는 계절적으로 건습 상태가 고르지 않은 타지역 시료에서 불규칙하게 나타나는데 이들 점토는 오늘날의 풍화 환경을 반영하는 것으로 풀이된다.

② 일차 광물 점토와 관련된 풍화 환경

석영, 장석, 운모류 등의 일차 광물 점토가 생성되는 동파 중심의 물리적 풍화는 오늘날에는 거울에 결빙이 가능한 지표에서 30~50 cm 깊이에 이르는 부위에만 국한된다. 그런데 본 연구를 위한 사용한 시료는 2~7 m 깊이에서 채취됐다는 사실을 고려하면 이들의 생성은 근본적으로 토양의 결빙 현상이 최소한 이 정도 깊이까지 진전될 수 있을 정도로 한랭·습윤했던 고기후 하에서의 풍화 환경을 반영한다. 이와같은 고한랭 기후의 존재는 화강암 풍화층의 결빙 구조²⁸⁾와 Bt Band에 대한 연구에서 인식된 바와 일치한다.

한편 일차 광물 점토에는 화학적 풍화에 약한 장석류와 운모류도 많이 함유돼 있는데, 이것은 이들을 형성시킨 한랭기후 환경은 제4기에서 가장 가까웠던 빙기의 상황이었고, 이 빙기가 끝난 후의 현세의 간빙기적 상황에서는 화학적 풍화가 활발치 못했음을 동시에 시사한다. 만일 현세의 화학적 풍화가 어느 정도 활발해도 화학적으로 '약한 사장석이나 흑운모류 점토가 모두 일차 광물 점토로 됐을 것'이고, Würm 빙기가 아니고 Riss에만 형성됐다해도 Riss-Würm 간빙기와 현세의 환경하에서는 화학적 풍화가 미약하다해도 이들이 일차 광물 점토 상태로는 존속할 수 없다고 보기 때문이다.

③ 남한의 화강암 풍화층 형성 과정

이상에서 논의된 결과를 종합하면 kaolinite 중심의 이차 광물 점토와 석영, 장석, 운모류 등의 일차 광물 점토가 공존함은 남한의 현존 화강

암 풍화층이 두가지 유형의 환경과 관련된 多成因의過程(polygenetic processes)을 거쳐 형성됐음을 의미한다. 하나는 화학적 풍화에 유리한 고온·습윤한 환경이고, 다른 하나는 기계적 풍화가 활발한 한랭·습윤한 환경이다. 전자는 현재보다는 기온이 더 높았던 간빙기 상황(Mindel-Riss 大間冰期까지는 소급되리라 생각되는)들, 후자는 뷔름 빙기의 상황으로 추정된다.

4. 結 論

지금까지 우리나라 화강암 풍화층의 점토 조성과 이것이 반영하는 풍화 환경을 살펴봤는데, 이 작업을 통해 얻은 주요 결론은 다음과 같이 요약된다.

—남한 화강암 풍화층의 점토는 화학적 풍화로 생성된 kaolinite 중심의 이차 광물 점토와 물리적 풍화에 의한 microfissuration으로 생성된 일차 광물 점토(illite, quartz, feldspars 등)로 조성돼 있는데 후자가 높은 비율로 나타난다. 이것은 현존하는 우리나라 화강암 풍화층 형성에는 기계적 풍화가 화학적 풍화보다 더 중요하게 작용했음을 시사한다.

—활발한 화학적 풍화의 산물인 kaolinite와 동파 중심의 강한 물리적 풍화로 생성될 수 있는 석영과 같은 일차 광물 점토의 공존은 우리나라에 현존하는 화강암 풍화층이 두가지 유형의 환경과 관련된 多成因의過程을 거쳐 형성됐음을 의미한다. 하나는 고온·습윤, 다른 하나는 한랭·습윤한 환경과 관련된다. 전자는 현재보다는 기온이 더 높았던 제4기의 간빙기 상황(ex. Mindel-Riss 간빙기), 후자는 빙기 상황으로 추정된다.

—Kaolinitisation으로 특징 지워지는 화학적 풍화 환경은 지역차를 보이는 반면에 일차 광물 점토를 생성시킨 풍화 환경의 경우는 지역차를 찾

28) 權純植, 1987, 上揭書.

29) 吳慶燮, 1989, Bt Band의 形成 過程, 第四紀學會誌, 3권, 제3호(통권 제3호), pp.35~46.

아 볼 수 없다.

→ Chlorite, vermiculite, smectite 와 10–14 v, 14 c –14 v, 10–14 c, 14 c –14 s 등 interstrified clay에서 반영되는 오늘날 우리 나라의 풍화 환경은 고온·습윤의 여름이 있음에도 온대 타입임을 시사한다. 특히 대관령 일대의 시료

에서는 vermiculite 피크가 잘 나타나는데 이것은 현재 이 지역의 풍화 환경에서는 서안해양성 기후 지역에서처럼 흑운모⁹ 화학적 풍화가 vermiculilization 단계 이상으로 진전되기 힘들을 의미한다.

Weathering Milieux Reflected From Clay Composition of Granitic Regoliths in Korean Peninsula

Kyong-Seob Oh*

Summary

In Korean Peninsula(particularly in South Korea), granites, one of the most familiar bedrock type (covering about 30% of territory), are so deeply weathered that the distribution of thick granitic regoliths (10m and more in thickness) is wide spread. This study aims to elucidate weathering milieux concerning the formation of these detritic masses, from the clay minerals that they contain. Results of this research can be summarized as follow.

1) All the samples from different regions in South Korea are composed of two groups of clay minerals:

- (1) clay of second mineral state, such as kaolinite, smectite,... (called "second mineral clay), produced by chemical weathering. Kaolinite is the most representative of this group, whereas chlorite, vermiculite, smectite and interstratified clay (ex. 10 - 14c, 14c - 14v, 14v - 14s) appear in low proportion.
- (2) clays of first rock forming mineral state, such as quartz, feldspars, micas(illite) ... (called "first mineral clay"), produced by physical mechanisms from various origin. Quartz, feldspars, micas are representative of group.

According to X-Ray diffractograms, the peaks of first minerals clay are more intense than those of second mineral clay. All these facts suggest that both chemical and physical mechanisms have affected granitic rocks in course of their weathering and that between these mechanisms the physical mechanism is relatively more important.

2) Kaolinite, the most important second mineral clay in the granitic regoliths of Korea, signifies weathering milieux more warm and humid than nowadays, in which chemical alteration is active and characterized by kaolinitisation. This type of milieux may be related to the paleo-climate in Quaternary Interglacial ages (ex. the Mindel-Riss) which were more warm and more humid than the Holocene.

First mineral clays, that appear in high proportion, indicate the presence of very cold milieux with high relative humidity, in which microgelification play an important role in disintegration of granitic rocks. This type of weathering milieux corresponds to the circumstance of Quaternary Ice Ages (probably the Wurm).

Therefore, presence of two groups of clay indicate that the granitic regoliths in Korean Peninsula have been formed through polygenetic processes.

3) In case of Kaolinitisation, we can find a tendency of regional variation. Intensity of kaolinite peak became gradually weak from

* Department of Geography, Korea National University of Education.

south-western coast, through Cheongjoo, Ichun region, to north-eastern Taebaek Mts. Ranges. But in case of weathering milieux with intense microgelification, any characteristic regional variation can not be found.

4) Presence of the clay, such as chlorite, vermiculite, the interstratified (ex. 10 - 14c, 14c - 14v, 14v - 14s), seems to reflect the weathering milieux in present circumstance, which can not be characterized by kaolinitisation.