地理學 第28卷 第2號(1993) 99-111

화강암의 풍화산물에 대한 기계적 풍화 지수의 특성에 관한 연구*

임 종 호**

풍화작용은 여러 영역에 의해 지배를 받고 있으며 지형형성작용 중 가장 기본이 된다. 우리나라와 같이 화강암류로 구성된 지역에서는 다른 암석류로 구성된 지역보다 풍화작용이 활발히 진행되어 풍화산물이 많이 존재한다. 본 연구에서는 화강암 풍화산물이 형성된 영역과 기계적 풍화지수 및 특성을 살펴보았다. 그 결과 트화학적 풍화작용은 clayey gruss에서, 지화학적 풍화는 gruss에서, 쪼개짐작용은 풍화암석에서 강하게 작용하고 있었다. 기계적 풍화지수는 일반적으로 clayey gruss 계통은 5내외이고 gruss는 10내외 정도이었다. 그리고 입자붕괴는 풍화작용과 열수작용에 의해 형성되었으며, 세립질로 구성된 식토계통은 주로 열수영역을 많이 받았고 조립질로 구성된 사토계통은 풍화작용을 강하게 받았다.

主要語：풍화산물, 토성, 기계적 풍화, 지화학적 풍화, 풍화지수

1. 서 론

지형형성에 있어서 풍화작용의 중요함을 인식한 많은 지형학자들은 오래 전부터 이 분야에 깊은 관심을 가져왔다. 특히 근래에는 풍화작용을 연구함에 있어 기후, 지질, 광물학적인 접근을 통해 풍화현상 자체의 영역을 규명할 뿐만 아니라 그 연구결과를 현실생활에 활용하려는 응용지형학적 면에로까지 확대시키려는 경향이 있다. 그러나 국토의 반 이상이 화강암, 화강편마암 등으로 구성되어 있는 우리나라의 경우 지형연구에 있어 무엇보다도 화강암풍화에 관한 계통적 연구가 절실히 요구됨에도 불구하고 이에 대한 연구가 부진했던 것이 사실이다(권동희, 1982).

더구나 지형 발달은 지표를 구성하고 있는 암석의 풍화정도에 따라 크게 영향을 받으므로 암석풍화에 관한 연구는 지형연구에 있어서 중요한 비중을 차지하고 있다.

풍화작용에 의해 형성된 풍화산물의 제거와 퇴적현상의 유형에 따라 제 지형의 형태는 동적으로 변하게 된다. 이러한 작용에 의해 형성된 지표 피복물의 영역과 특성을 밝히기 위한 기본적 방법으로 피복물의 입도를 분석하고 있으며 입도분석을 이용한 연구결과들이 많이 발표되었다.

강영복(1977)은 산록완사면에 피복된 미고결성 모재상에 발달하는 토양단면의 특성을 밝히는 방법으로 입도분석을 실시한 결과 모재는 심층풍화를 받았다고 언급했다. 이정우(1982)는 입도분포를 이용하여 산록완사면에 피복된 피복물의 기원과 영역 및 지형발달을 규명했으며 이민희(1983)는 웅양분지의 매트릭스물질에서 시료를 채취하여 입경조사방법으로 지형형성영역 및 형성시기의 환경을 추정했다. Chittleborough 등(1984)은 동부 오스트레일리아에 분포된 토양층의 구조적 변화에 관한 연구에서 토양층위분화를 규명하기 위하여 입도분석자료로 4가지 토양층화영역을 유도했다. Legros와 Pedro(1985)는 결정암석에서 유래된 토양단면의 입자분포의 원인에 관한 연구를 통하여 입자들의 파쇄와 용

* 본 논문은 1991년도 과학재단의 박사학위 논문 지원비로 작성되었으며 그 논문의 일부를 수정가필 하였음.
** 청주대학교 강사

해가 단면에서의 구조적 층화에 중요한 역할을 하는 것으로 제시했다. 박동원(1985)은 김제·정읍일대에 분포하는 뢰스상 적황색토에 대한 연구에서 중국의 황토, 일본의 뢰스층과 비교하는 방법으로 입도분포를 이용하여 연구지역의 모재가 풍성퇴적물일 가능성이 있음을 시사했다. 반용부(1986)는 낙동강 삼각주의 지형과 퇴적물 분석에서 입도분석을 이용하여 삼각주의 발달과정과 지형구분을 밝혔다. 권순식(1987)은 한반도 화강암 풍화층에 발달된 제4기 후반의 주빙하 결빙구조에 관한 연구에서 물질의 결빙과 융해에 따라 생성되는 물질양상을 파악하기 위해 입도분석을 사용했으며 대부분 모래, 미사로 이루어져 있음을 밝혔다. 박희두(1983, 1988)는 충주 주변 범람원의 지형형성과정에 대해 입도분석을 이용하여 지형구분을 유도했고, 남한강 중·상류 분지의 지형연구에서 입자의 형태와 종류, 분포 등을 고려하여 남한강 중·상류의 지형형성영역과 지형구분을 하였다. 정석재(1989) 등은 석회암토양의 지형적 특성과 생성, 분류에 관한 연구에서 토양입자별에 따른 색도, 철함량과의 관계 그리고 고도별에 따른 입자분포를 연구했다. 오종우(1989)는 Wisconsin 남서부 Karst 지역의 loess 토양 및 퇴적토에 관한 연구에서 입도분석을 통하여 뢰스토양과 퇴적토의 입도조성비를 상호 비교했다. 최무웅과 임종호(1990)는 여천리 석회암 피복물의 성인과 특성에 관한 분석에서 피복물의 이동성과 잔적성을 밝히는데 입도분석을 실시했고 그 결과 일부 피복물이 이동성이라고 규명했다.

상기 연구와 같이 피복물의 성인과 구조변화의 연구에 입도분석방법이 필수적이나 선행 연구결과들은 지형발달을 규명하기 위하여 피복물에 대한 입도분석방법으로 입경분류에 중점을 두었을 뿐 풍화과정에 따른 입자변화에 대한 연구는 미흡했다. 더우기 입자의 세립화가 풍화작용 이외에도 열수작용에 의해 진행되는 경우도 있는데 주로 풍화작용이 강조되어 왔다.

이와 같은 문제점을 고려하여 본 연구의 목적은 한국에 분포되어 있는 화강암지역을 연구대상으로 하여 상기 암석의 풍화층에 대한 기계적 풍화지수와 특성을 규명하는데 있다.

2. 분석 방법

본 연구는 연구의 목적을 달성하기 위하여 연구대상지역을 선정한 다음 야외에서 시료채취지점을 확정하는 일반조사를 실시했다. 연구기간은 1989년 3월 30일부터 1992년 2월 21일까지이며 총 15회 걸쳐 야외조사를 실시했다.

시료채취지점은 그림 1과 같이 14개 지점으로 시료량은 1kg씩 총 73개를 채취했으며 이중 입도분석에 사용된 시료는 50개이다. 시료채취는 육안등급법과 풍화층의 두께를 고려하여 표층부, 중층부, 심층부, 기반암 등으로 구분하여 시료를 채취했고 채취시료는 비닐봉지에 넣어 밀폐시켰다. 입도분석을 위한 시료는 dry oven으로 건조시켜 4분법으로 분리 조제되었다.

입도분석은 체분석과 비중계분석을 같이 실시했다. 비중계분석은 110°C의 건조토시료 50g에 5%의 Sodium hexametaphosphate를 분산제로 사용하여 Stock방법으로 미사, 점토의 함량을 계산했다. 체분석은 비중계분석시 분산시킨 혼탁물 중 mesh 300 이상의 입자만을 채취하여 모래

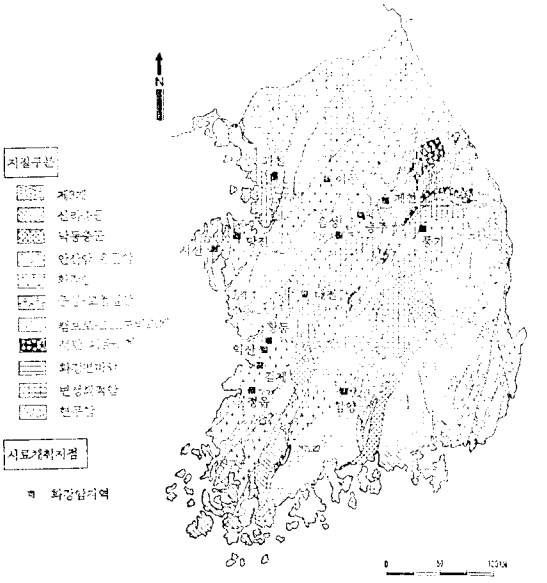

그림 1. 연구지역의 지질 및 시료채취지점
(그림 출처 : 정창희, 1989)

를 분류했다. 모래, 미사, 점토 등은 백분비로 나타내었으며 토양입경조성에 의한 토성분류는 USDA(미국농무성분류방법)에 의한 입경구간을 적용시켰다.

3. 지역개관

1) 지 질

연구지역은 그림 1에서와 같이 과천, 여주, 서산, 당진, 대전, 음성, 제천, 충주, 풍기, 함량, 황등, 김제, 익산, 정읍 등지로 14개 지역이다.

과천은 경기지괴의 서반부에 속하며 주로 화강암으로 구성되어 있고 뚜렷하게 관찰되는 암석류는 대보화강암이다. 서산은 화강암에 기인된 고령석이고 깊이에 따른 어떤 변화가 거의 없으며, 당진의 암질은 암갈색계통으로 기반암은 매우 신선하나 상부는 세립질로 존재한다.

대전과 제천, 풍기, 정읍, 익산은 흑운모화강암으로 기반암이 매우 신선하며 강도는 햄머바운스이다. 이들 지역의 풍화대는 깊이에 따른 변화가 뚜렷하며 풍화층이 양호하게 발달되어 있다.

음성, 충주, 함양의 기반암은 다소 거정질로 이루어져 있고 대부분 장석과 석영으로 구성된다.

황등과 김제는 기반암의 노출이 없는 곳으로 서산과 유사한 특징을 갖고 있다. 대부분 회색으로 탈색되어 있고 다소 세립질로 구성되어 있으며 기반암은 거정질 화강암이다.

2) 지 형

대부분의 화강암은 풍화에 약하기 때문에 화강암으로 이루어진 지역은 분지가 잘 발달되어 있는 것이 특징이다. 연구지역 중 과천, 충주, 제천, 청주, 대전 등지가 차별침식에 의하여 분지가 잘 발달되어 있으며 분지 중앙에는 하천이 관통하면서 범람원을 형성시켜 놓았다.

서산, 당진, 김제, 익산, 여주 등은 저산성구릉지가 잘 발달되어 있는 곳으로 열수작용을 받은 흔적이 있으며 침식이 활발하게 진행되고 있는 지역이다.

풍기, 함양, 정읍 등지도 차별침식에 의해 형성된 저산성구릉지가 많이 분포되어 있다.

표 1. 연구지역의 기반암특성

지 역	기 반 암	주 요 광 물	조 직
과 천			조 립
여 주			〃
당 진			세 립
서 산			〃
대 전			〃
음 성			조 립
제 천			세 립
충 주	화 강 암	석영, 정장석, 사장석, 흑운모, 백운모	조 립
풍 기			세 립
함 양			조 립
황 등			〃
김 제			〃
익 산			세 립
정 읍			〃

3) 기상 및 토양

풍화에 많은 영향을 주는 기후요소를 중심으로 살펴보면 다음과 같다. 연평균 기온은 10~13°C이며 동부의 산악지가 낮고 남서쪽 해안지역이 약간 높다. 서울 부근의 중부지방은 11°C, 대전 부근의 중부지방은 12°C 내외이다. 연평균 강수량은 1,200mm 내외이며 하계에 집중적인 현상을 나타낸다. 증발량은 강수량보다 작은 연평균 1,000mm 정도이며 남부지방으로 갈수록 증가한다. 연구대상지역은 쾨펜의 기후 구분에 의하면 D1과 C에 속하며 겨울에는 북서계절풍의 영향으로 한랭하고 강수가 적지만 여름에는 매우 덥고 강수가 많다. 기후의 대륙도는 50~70 내외로서 한서의 차이가 심한 전형적인 대륙성 기후를 이룬다. 서해안과 인접한 지역은 60 정도이고 중부대륙지방은 65 정도이다.

연구지역의 토양은 토양지리학적 특성이 매우 다양하며 성인적으로 보았을 때 여러가지의 토양형이 분포하고 있으나 대부분 산성갈색삼림토와 적색토로 구성되어 있다.

4. 기계적 풍화지수설정

일반적으로 입도분석자료를 이용하여 기계적

풍화의 정도를 파악하는 방법으로 다음과 같은 식이 여러 학자들에 의해 사용되어 왔다(Wambake, 1962; 임상규, 1984; 정현태, 1985; 정석재, 1990; 엄명호, 1990).

$$MW = silt/clay \quad \cdots\cdots (1)$$

식 (1)을 사용하여 기계적 풍화를 비교한다면 다음과 같은 문제점이 야기된다. 예를들어 점토가 2%, 미사 1%, 모래가 97%인 A토양과 점토가 20%, 미사 10%, 모래가 70%인 B토양에 식 (1)을 적용하면 A와 B토양의 기계적 풍화지수는 0.5로 같다. B토양이 기계적 풍화가 더 진행되었는데도 둘 다 같은 값이 나온 것이 첫번째 오류이며, 두번째 오류는 B의 토성이 사양토, A의 토성은 사토로 서로 상이함에도 불구하고 silt/clay 비가 같다는 것이다.

입자는 굵은 입자에서 작은 입자로 형성되므로 식 (1)을 보완하기 위해서 우항에 sand/clay를 첨가한다면 아래식과 같이 표현될 수 있다.

$$MW = silt/clay + sand/clay \quad \cdots\cdots (2)$$

식 (2)로 앞에서 제시한 두 지점의 값을 구해보면 A의 값이 49, B의 것이 4로 계산된다. 이것은 식 (1)을 이용한 것보다 풍화지수가 상이하게 나타나지만 식 (2)에서도 모순점이 발생된다. 즉 식 (2)에서도 입자구간이 증가하면 식 (1)에서 야기되었던 오류가 동일하게 일어난다. 따라서 입자는 큰 입자에서 작은 입자로 파쇄되므로 가장 작은 입자구간으로 가장 큰 입자구간까지 나누어주고 그 다음에는 두번째로 큰 입자구간으로 나누어주는 식으로 한 다음 모두 합하면 식 (1)과 식 (2)의 모순점을 보완할 수 있을 것이다.

이러한 점을 고려하여 다음과 같은 식으로 기계적 풍화지수(Mechanical Weathering Index; MW)를 나타낼 수 있다.

$$MW = V_{i+1}/V_i + \cdots + V_n/V_i + V_{i+2}/V_{i+1} + \cdots + V_n/V_{i+1} + \cdots + V_n/V_{n-1} \cdots\cdots (3)$$

식에서, MW=기계적 풍화지수
V_i=가장 작은 i번째 입자구간
V_n=가장 큰 n번째 입자구간

V_i가 0에 가까울수록 기계적 풍화지수는 무한대이며 100에 가까울수록 기계적 풍화지수는 0에 접근하므로 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$MW = \lim_{V_i \to 100} MW = 0 \quad \cdots\cdots (4)$$

$$MW = \lim_{V_i \to 0} MW = \infty \quad \cdots\cdots (5)$$

식 (4)에서와 같이 기계적 풍화지수의 값이 0에 가까울수록 점토입자가 많다는 것을 의미하므로 기계적 풍화가 양호하게 진행되었다는 것을 알 수 있다. 반대로 식 (5)에서와 같이 기계적 풍화지수가 무한대로 갈수록 점토입자는 적고 모래나 왕모래입자가 많다는 것을 나타내므로 기계적 풍화가 부진하다고 볼 수 있다. 간혹 V_i의 값이 0일 때 즉 분모의 값이 0이므로 계산이 되지 않을 경우는 기계적 풍화지수의 값을 무한대로 간주한다. 왜냐하면 V_i가 0이라는 것은 기계적 풍화가 극도로 미약함을 나타내기 때문이다.

식 (3)에 연구지역의 입도분석결과를 적용하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$MW = Si/Cl + Sa/Cl + Gr/Cl + Sa/Si + Gr/Si + Gr/Sa \quad \cdots\cdots (6)$$

식에서, Cl=점토(clay)
Si=미사(silt)
Sa=모래(sand)
Gr=왕모래(granule)

본 연구에서의 기계적 풍화지수는 식 (6)을 이용하여 산출하였다.

5. 기계적 풍화특성

1) 입도조성비

화강암에서 기인된 풍화물의 구성물에 대한 조성비를 지점과 토성에 따라 살펴보면 다음과 같다. 각 지점별로 보면 점토는 여주(1), 김제(1), 황등(1) 등 열수풍화작용을 받는 곳이 비교적 높으며 음성(3), 함양(3), 황등(5), 익산(3, 4), 정읍(3)에서는 거의 나타나지 않았다.

표 2. 화강암 풍화산물의 입도조성비와 기계적 풍화지수

시료번호	깊 이(cm)	clay*	silt*	sand*	granule*	A	B	C	D	E	F	MW**
과천(1)	0 - 210	25.36	22.06	45.50	7.08	0.86	1.79	0.27	2.06	0.32	0.15	5.48
(2)	210 - 390	20.27	16.28	51.94	11.51	0.80	2.56	0.56	3.19	0.70	0.22	8.05
여주(1)	0 - 30	35.32	43.75	18.86	2.07	1.23	0.53	0.05	0.43	0.04	0.10	2.41
(2)	30 - 60	28.65	47.93	19.45	3.97	1.67	0.67	0.13	0.40	0.08	0.20	3.18
(3)	60 - 90	23.43	52.88	19.65	4.04	2.25	0.83	0.17	0.37	0.07	0.20	3.92
(4)	90이하	18.25	53.84	21.05	6.86	2.95	1.15	0.37	0.39	0.12	0.32	5.32
당진(1)	0 - 30	44.56	24.01	30.95	0.48	0.53	0.69	0.01	1.28	0.02	0.01	2.56
(2)	30 - 70	33.09	16.70	47.94	2.27	0.50	1.44	0.06	2.87	0.13	0.04	5.07
(3)	70 - 150	23.37	15.64	58.68	2.31	0.66	2.51	0.09	3.75	0.14	0.03	7.21
(4)	150 - 500	16.59	5.70	69.61	8.10	0.34	4.19	0.48	12.21	1.42	0.11	18.77
서산(1)	0 - 50	24.80	62.00	12.39	0.81	2.50	0.49	0.03	0.19	0.01	0.06	3.31
(2)	50 - 70	23.80	61.40	13.96	0.84	2.57	0.58	0.03	0.22	0.01	0.06	3.50
(3)	70 - 100	23.30	66.20	9.49	1.01	2.84	0.40	0.04	0.14	0.01	0.10	3.55
(4)	100 - 300	22.10	57.80	19.15	0.95	2.61	0.86	0.04	0.33	0.01	0.04	3.92
(5)	300 - 600	23.20	59.80	16.02	0.93	2.57	0.69	0.04	0.26	0.01	0.06	3.65
(6)	600이하	22.00	59.20	27.76	1.04	2.69	1.26	0.04	0.46	0.01	0.03	4.52
대전(1)	0 - 100	15.32	29.42	51.45	3.81	1.92	3.30	0.24	1.74	0.12	0.07	7.47
(2)	100 - 350	17.85	18.58	61.60	1.97	1.04	3.40	0.11	3.31	0.10	0.03	8.05
(3)	350 - 700	2.00	7.74	67.03	23.23	3.87	33.50	11.61	8.66	3.00	0.34	61.00
음성(1)	0 - 15	30.62	19.50	43.58	6.30	0.63	1.40	0.20	2.23	0.32	0.14	4.96
(2)	15 - 400	15.61	4.31	65.25	14.83	0.27	4.10	0.95	15.13	3.44	0.22	24.21
(3)	400 - 1200	0.00	1.00	61.25	37.75	.	.	.	61.25	37.70	0.61	.
제천(1)	0 - 30	18.21	8.10	65.49	8.20	0.44	3.50	0.45	8.08	1.01	0.12	13.71
(2)	30 - 210	5.03	7.20	71.32	16.45	1.43	14.10	3.27	9.90	2.28	0.23	31.30
(3)	210 - 300	5.24	7.30	79.48	7.98	1.39	15.10	1.52	10.88	1.09	0.10	30.16
충주(1)	0 - 30	22.24	23.41	47.30	7.05	1.05	2.12	0.31	2.02	0.30	0.14	5.96
(2)	30 - 150	22.61	16.51	54.13	6.75	0.73	2.39	0.29	3.27	0.40	0.12	7.23
(3)	150 - 1000	13.57	7.29	69.12	10.02	0.53	5.09	0.73	9.48	1.37	0.14	17.37
풍기(1)	0 - 100	10.97	21.31	56.38	11.34	1.94	5.13	1.03	2.64	0.53	0.20	11.49
(2)	100 - 200	6.66	10.80	60.02	22.52	1.62	9.01	3.38	5.55	2.08	0.37	22.03
함양(1)	0 - 120	19.96	17.70	61.96	0.38	0.88	3.10	0.01	3.50	0.02	0.00	7.53
(2)	120 - 350	14.69	4.20	66.55	14.56	0.28	4.53	0.99	15.84	3.46	0.21	25.33
(3)	350 - 500	0.00	7.10	89.87	3.03	.	.	.	12.65	0.40	0.03	.
황등(1)	0 - 20	40.88	36.03	17.99	5.10	0.88	0.44	0.12	0.49	0.14	0.28	2.37
(2)	20 - 50	29.77	36.63	28.20	5.40	1.23	0.94	0.18	0.76	0.14	0.19	3.46
(3)	50 - 100	19.34	19.24	53.71	7.71	0.99	2.77	0.39	2.79	0.40	0.14	7.50
(4)	100 - 200	18.51	11.42	59.41	10.66	0.61	3.20	0.57	5.20	0.93	0.17	10.71
(5)	200이하	0.00	0.00	80.04	19.96	.	.	.	.	.	0.24	.
김제(1)	0 - 30	39.72	16.00	44.28	0.00	0.40	1.11	0.00	2.76	0.00	0.00	4.28
(2)	30 - 50	21.91	21.00	47.28	9.81	0.95	2.15	0.44	2.25	0.46	0.20	6.49
(3)	50 - 100	19.25	12.59	63.21	4.95	0.65	3.28	0.25	5.02	0.39	0.07	9.68
(4)	100 - 140	12.91	13.21	73.88	0.00	1.02	5.72	0.00	5.59	0.00	0.00	12.33
(5)	140 - 250	18.06	9.60	69.34	3.00	0.53	3.83	0.16	7.22	0.31	0.04	12.11
익산(1)	0 - 30	16.65	6.60	64.21	12.54	0.39	3.85	0.75	9.72	1.90	0.19	16.83
(2)	30 - 100	4.10	15.60	69.26	11.04	3.80	16.89	2.69	4.43	0.70	0.15	28.69
(3)	100 - 200	0.00	1.00	80.39	18.61	.	.	.	80.39	18.61	0.23	.
(4)	200 - 250	0.00	0.00	78.02	21.98	.	.	.	.	.	0.28	.
정읍(1)	0 - 50	21.30	21.64	53.10	3.96	1.01	2.49	0.18	2.45	0.18	0.07	6.40
(2)	50 - 150	14.40	15.30	67.21	3.09	1.06	4.66	0.21	4.39	0.20	0.04	10.58
(3)	150 - 350	0.00	6.38	82.63	19.67	.	.	.	12.95	3.08	0.23	

* %

** A=silt/clay, B=sand/clay, C=granule/clay, D=sand/silt, E=granule/silt, F=granule/sand, MW=A+B+C+D+E+F

미사는 점토를 많이 포함하고 있는 서산, 여주 등에서 높은 경향이 있는 것으로 나타났고 제천, 함양, 김제, 익산 등지에서는 낮은 경향이 있으며 익산(4)에서는 나타나지 않았다. 모래는 과천, 충주, 풍기, 함양, 황등(3, 4, 5), 익산 등 대부분 지역에서 높으며 여주와 서산에서는 낮은 경향이 있다. 왕모래는 음성(3), 제천(2), 풍기(2), 익산(4), 정읍(3) 등에서 다른 곳보다 높게 나타났지만 김제(1, 4)에서는 나타나지 않았다(표 2).

각 토성에 대한 평균치의 경우, 표 3에서와 같이 점토는 토식에서 42.72%로 최대이며 사토에서 1.36%로 가장 낮게 나타났다. 미사는 미사질양토에서 59.14%로 가장 높으나 사토계통에

표 3. 화강암 풍화물의 평균토성비 (단위 : %)

토	성*	C	CL	SiL	SCL	SL	LS	S
clay	최 소	40.88	28.65	18.25	20.27	10.97	4.10	0.00
	최 대	44.56	39.72	24.80	33.09	19.96	6.66	5.24
	평 균	42.72	33.36	22.61	24.53	16.36	5.38	1.36
	편 차	2.60	5.14	1.97	4.42	2.58	1.81	2.23
silt	최 소	24.01	16.00	52.88	15.64	4.20	10.80	0.00
	최 대	36.03	47.93	66.20	23.41	29.42	15.60	7.74
	평 균	30.02	36.08	59.14	19.19	12.78	13.20	4.19
	편 차	8.49	14.17	4.35	2.95	7.08	3.39	3.53
sand	최 소	17.99	18.86	9.49	43.58	51.45	60.02	61.25
	최 대	30.95	44.28	27.76	58.68	73.88	69.26	89.87
	평 균	24.47	27.69	17.43	49.93	63.64	64.64	76.67
	편 차	9.16	11.85	5.73	4.82	6.08	6.53	8.68
granule	최 소	0.48	0.00	0.81	2.27	0.00	11.04	6.30
	최 대	5.10	5.40	6.86	11.51	14.83	22.52	37.75
	평 균	2.79	2.86	2.06	6.33	7.19	16.78	18.74
	편 차	3.26	2.34	2.22	3.13	4.87	8.12	9.76

* C ; clay, CL ; clay loam, SiL ; silty loam, SCL ; sandy clay loam, SL ; sandy loam, LS ; loamy sand, S ; sand texture

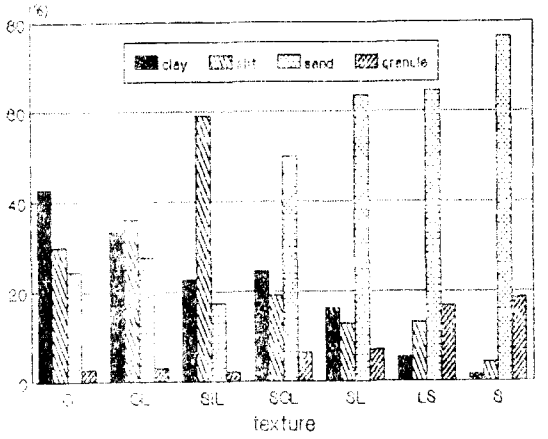

그림 2. 화강암 풍화물의 토성 구성비

서는 20% 미만으로 나타났다. 모래와 왕모래는 사토계통에서 높은 경향이 있으며 식토계통은 상대적으로 낮은 경향이 있다(그림 2).

2) 토성분류

토성(soil texture)은 일반적으로 점토, 미사, 모래의 구성비에 따라 사토(sand; S), 양질사토(loamy sand; LS), 사양토(sandy loam; SL), 양토(loam; L), 미사질양토(silty loam; SiL), 미사토(silt; Si), 사질식양토(sandy clay loam; SCL), 사질식토(sandy clay; SC), 미사질식양토(silty clay loam; SiCL), 미사질식토(silty clay; SiC), 식양토(clay loam; CL), 식토(clay; C) 등 12개로 구분되는데 연구지역에서는 식토, 식양토, 사질식양토, 미사질양토, 사질양토, 양질사토, 사토 등 7개의 토성이 나타났다(표 3).

식토는 2개, 식양토 4개, 사질식양토 9개, 미사질양토가 8개 등으로 이들 토성들은 세립질로 속하며 23개가 포함된다. 조립질에 속하는 토성은 사질양토, 양질사토, 사토 등으로 각각 16, 2, 9개로 전체 50개 중 27개가 포함된다.

영역별로 보면 열수에 의한 입자붕괴는 주로 세립질 토성에 속하는데 23개중 17개가 해당된다. 풍화에 의한 입자붕괴는 주로 조립질 토성에 속하는데 총 27개중 20개가 속한다. 다시말해서 식토와 대부분 식양토는 열수작용을 받은 후 풍화작용으로 형성되었고 또한 미사질식토와

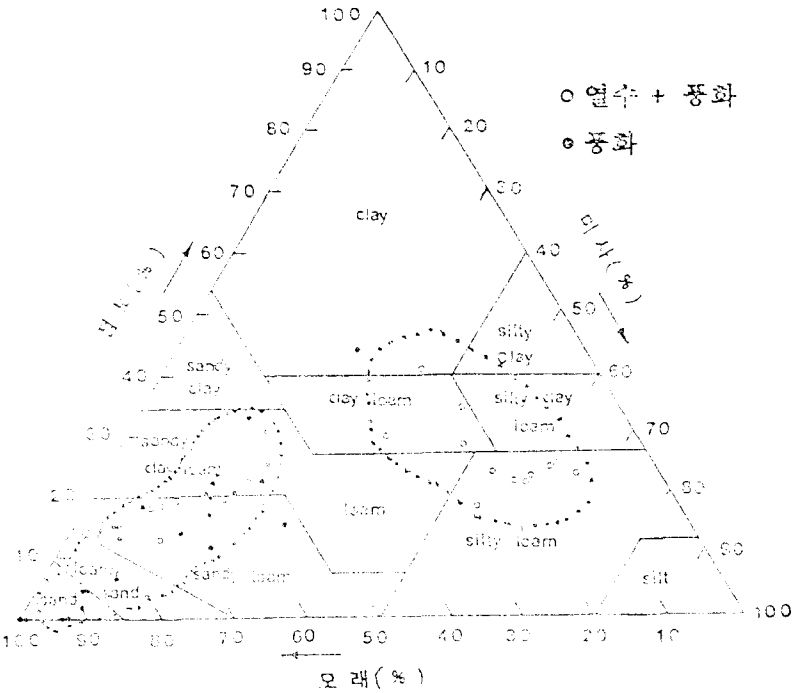

그림 3. 화강암풍화물의 토성분포도

표 4. 입자붕괴의 영역별 분류 (단위 : 지점수)

구 분	토 성*							
	C	CL	SCL	SiL	SL	LS	S	계
열수풍화작용	2	4	3	8	6	—	1	24
풍 화 작 용	—	—	6	—	10	2	8	26
계	2	4	9	8	16	2	9	50

* C ; clay, CL ; clay loam, SCL ; sandy clay loam, SiL ; silty loam, SL ; sandy loam, LS ; loamy sand, S ; sand texture

미사질식양토도 풍화작용보다는 열수풍화작용을 다소 우세하게 받은 것으로 생각된다. 따라서 대부분의 세립질 토성은 열수풍화작용이 지배적이라고 해석할 수 있으나 사토와 사질양토 같은 조립질 토성들은 대부분 풍화작용에 의해 형성된 것으로 나타났다(표 4).

그림 3에서와 같이 화강암의 풍화물은 토성삼각도에서 넓게 분포하나 열수풍화를 받은 곳은 식양토 계통에 집중되어 있고 풍화를 강하게 받은 곳은 사토계통에 집중되어 있다.

3) 기계적 풍화지수

기계적 풍화지수는 암석이 세립자로 붕괴되는 정도를 나타내는 것으로 식(6)에 의해 얻은 결과를 보면 다음과 같다.

화강암의 풍화물에 대한 기계적 풍화지수(MW)를 지역별로 보면 황등(1)이 2.37로 가장 낮았고 음성(3), 함양(3), 황등(5), 익산(3, 4), 정읍(3) 등은 무한대로 나와 기계적 풍화가 상당히 미진한 것으로 나타났다(표 2).

토성별로 보면, 식토에서 2.46, 식양토 3.34, 미사질양토 3.96, 사질식양토 6.32, 사양토 13.36, 양질사토 25.36, 사토에서 40.82로 나타났다. 이와같이 기계적 풍화지수는 식토계통에서 낮으며 사토계통에서 높은 경향이 있는 것을 알 수 있다(표 5).

화강암에서 기인된 풍화물에 대한 상관관계에서 점토는 미사와 양의 관계(0.52)를 가질 뿐 다른 변수와는 모두 음의 관계를 갖는다. 미사

표 5. 화강암 풍화물의 토성별 기계적 풍화지수

토 성	C	CL	SiL	SCL	SL	LS	S
최 소	2.37	2.42	3.31	4.96	7.47	22.03	30.16
최 대	2.56	4.28	5.32	8.05	25.33	28.69	61.01
평 균	2.46	3.34	3.96	6.32	13.36	25.36	40.82
편 차	0.41	0.77	0.66	1.05	5.68	4.71	17.48

표 6. 화강암풍화물의 입자와 기계적 풍화지수와의 상관관계

변 수	clay (A)	silt (B)	sand (C)	granule (D)	B/A	C/A	D/A	C/B	D/B	D/C	MW*
clay	1.00										
silt	0.52	1.00									
sand	−0.72	−0.92	1.00								
granule	−0.68	−0.57	0.49	1.00							
B/A	−0.30	0.60	−0.41	0.03	1.00						
C/A	−0.69	−0.43	0.52	0.65	0.38	1.00					
D/A	−0.54	−0.29	0.31	0.71	0.42	0.92	1.00				
C/B	−0.53	−0.45	0.43	0.64	−0.38	0.46	0.34	1.00			
D/B	−0.43	−0.31	0.23	0.73	−0.12	0.57	0.59	0.87	1.00		
D/C	−0.43	−0.25	0.12	0.88	0.19	0.38	0.53	0.47	0.65	1.00	
MW*	−0.74	−0.55	0.62	0.77	0.20	0.94	0.87	0.71	0.80	0.44	1.00

상관계수가 0.60이상은 유의수준이 0.001임.
* 기계적 풍화지수

표 7. 화강암의 풍화물에 대한 기계적 풍화지수의 회귀식

회 귀 식	F Value	F>Prob	R^2
MW=29.349−0.88 × clay	51.68	0.001	0.55
MW= 1.433+1.50 × granule	62.71	0.001	0.59
MW= 3.862+1.77 × (sand/clay)	325.61	0.001	0.88
MW= 7.212+1.77 × (granule/clay)	139.29	0.001	0.77
MW= 5.068+9.53 × (granule/silt)	75.06	0.001	0.65

는 점토, silt/clay비와 양의 관계이지만 모래와 왕모래는 점토, 미사와 거의 반대 현상이 나타났다. 기계적 풍화지수는 점토, 미사와는 음의 관계이지만 나머지 변수와는 양의 관계를 보여주고 있고 특히 sand/clay(0.94), granule/clay (0.87), granule/silt(0.80), sand/silt(0.71)와는 높은 상관관계를 갖는다(표 6). 이것은 기계적 풍화지수가 무엇보다도 sand/clay비와 매우 밀접한 관계가 있다는 것을 의미한다.

화강암의 풍화물에 대한 기계적 풍화지수의 단순회귀식을 구한 결과 설명계수가 0.50 이상이 5개가 산출되었다. 점토와 왕모래, granule/silt 등의 독립변수를 사용했을 경우 설명계수가 각각 0.55, 0.59, 0.64이나 sand/clay와 granule/clay 변수를 사용했을 경우 설명계수가 각각 0.88, 0.77로 상당히 높게 나타났다(표 7). 표 7에서 보는 바와 같이 점토변수만 기울기가 음의 경향으로 나타난 것은 점토가 많을수록 기계적 풍화지수가 작아지기 때문이다. 특히 sand/clay 변수의 값이 1씩 증가할 때마다 기계적 풍화지수는 1.77씩 증가하나 clay 변수를 사용할 경우는 0.88씩 감소한다. 설명량이 가장 높은

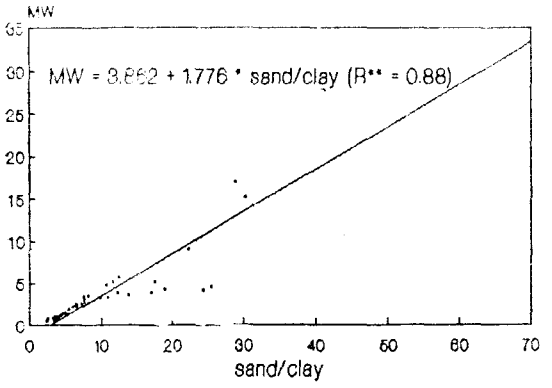

그림 4. 기계적 풍화지수와 sand/clay비와의 관계

sand/clay와 기계적 풍화지수와의 관계를 도해하면 그림 4와 같다.

6. 기계적 풍화의 성인

암석이 작은 입자로 즉 점토입자로 변하는데는 여러가지 영역이 작용하고 있다. 대부분 풍화작용에 의해 세립질이 형성되었지만 동력작용에 의한 파쇄현상과 열수작용에 의한 세립화(argillation)를 첨가하여 기술할 수 있다. 본 논문과 아주 밀접한 관계가 있는 풍화작용과 열수작용(hydrothermal)을 살펴보면 다음과 같다.

우선 작은 입자로 파쇄되는 풍화작용은 크게 쪼개짐작용(shattering), 입상붕괴(granular disintegration), 분해작용(decomposition) 등으로 나눌 수 있다.

쪼개짐작용은 조암광물의 변화없이 팽창이나 절리면을 따라 쪼개지는 것으로 주로 기반암과 접해있는 부근에서 일어난다. 이 작용을 받으면 불규칙하게 분리되어 다량의 수분이 침투할 수 있고 풍화가 더욱 촉진되기 때문에 노출된 기반암 부근에서 현저하다.

조암광물 중 약한 광물들 즉 장석이나 운모류에서 성분의 일부가 용탈되어 응집력이 약화된다. 이때 떨어지는 현상을 입상붕괴라 하는데 주로 gruss화 되는 곳에서 현저하다.

분해작용은 화학적 및 물리적 메카니즘이 동시에 공동으로 작용하는 가운데에 암석을 비고결화시키는 현상을 두고 쓰이는 용어이다. 이 작용을 현저히 받으면 clayey gruss가 되며 연구지역에서는 주로 풍화층의 최상부에 잘 형성되어 있다.

위 내용들은 주로 기계적인 풍화 측면에서 기술한 것이며 화학적 측면에서 살펴보면, 화학적 풍화작용을 지화학적 풍화(geochemical weath-

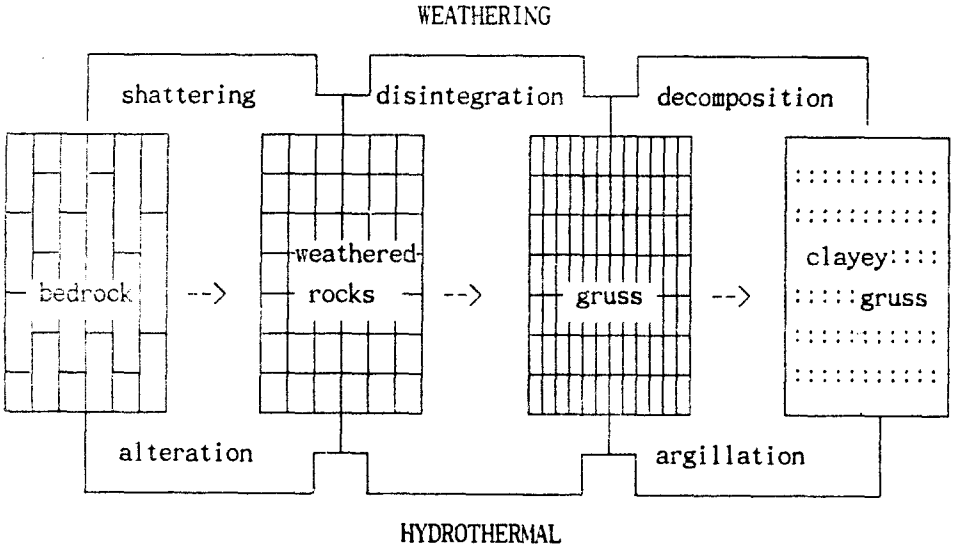

그림 5. 화강암의 입자파쇄의 영역

ering), 토화학적 풍화(pedochemical weathering)로 나눌 수 있다. 전자는 주로 지하수나 수분의 화학적 반응에 인하여 입자들이 작아지는 현상으로 gruss의 생성과 밀접하다. 후자는 전자보다 한 단계 위에 있는 작용으로 토양생성작용과 관계있다. 연구지역의 경우 상부층에서는 후자가, 하부층에서는 전자가 탁월하게 작용하고 있다.

암석이 작은 입자로 붕괴되는 것은 대기의 풍화작용만 있는 것이 아니라 내부의 열에 의해 되는 경우도 있다. 열수작용은 입자를 작게하는 것과 2차광물을 형성시키는 것이 있다. 즉 열수작용은 argillation을 야기시키며 cornwall kaoline deposits 같은 다량의 점토광상이 열수효과에 기인되었다(Ollier, 1969). 본 논문에서는 주로 argillation과 밀접하다. 연구지역에서 열수작용을 받아 세립질화된 곳이 서산과 당진, 여주, 김제, 황등 등이며 이들 지역은 대부분 회백색으로 탈색되어 있고 상부층만 산화작용으로 적황색으로 되어 있다.

위의 내용을 토대로 하여 연구지역의 입자 파쇄에 관련있는 작용을 도해하면 그림 5와 같고 연구지역의 세립화의 성인을 요약하면 다음과 같다.

화강암의 세립화는 풍화작용과 열수작용을 동시에 받은 곳도 있으나 대부분 풍화작용을 받았다. 그림 5에서와 같이 열수작용은 변질과 세립화에 영향을 끼치는 반면 풍화작용은 쪼개짐작용, 입상붕괴, 분해작용 등에 영향을 많이 끼친 것으로 나타났다.

7. 검　　토

기계적 풍화를 정량적으로 나타내는 방법은 화학적 풍화보다 많지 않은 편이다. 종종 사용되는 것이 토성분류와 silt/clay의 상대적 비를 비교하는 정도였고 입도누적곡선을 이용하여 분포의 경사와 퍼짐정도로 상호비교하는 상태이다.

본 연구에서 제시한 기계적 풍화지수는 단순히 silt/clay비로 피복물의 기계적 풍화특성을 밝히는 것보다 더 보편성이 있다고 본다. 왜냐하면 풍화산물은 기반암에서 왕모래, 모래, 미사, 점토로 되기 때문에 구간별의 상대적 비를 다더할 경우 상대적 비율로서 여러 지점의 풍화산물을 비교하는데 유의하다고 생각되기 때문이다. 앞에서 제시한 바 있는 A토양의 미사가 1%, 점토 2%, 모래가 97%, B토양의 미사 10%, 점토 20%, 모래가 70%인 경우의 silt/clay비는 모두 0.5이다. 두지점의 토성은 전자가 사토, 후자가 사질양토이었다. 토성간의 차이가 있는데 비율자체가 동일하기 때문에 silt/clay비는 다소 무리가 따른다. 위의 두 토양의 조성비를 식 (6)에 대입하면 A는 146, B는 11이 산출된다. 기계적 풍화지수의 비가 작을수록 기계적 풍화가 양호한 것이므로 B토양이 더 양호하게 풍화가 진행되었음을 알 수 있다. 또한 토성과 비교해 보아도 세립질 토성에서 더 작은 기계적 풍화지수가 산출되었고 조립질 토성에서 더 높은 기계적 풍화지수가 산출되었기 때문에 토성과 풍화지수가 거의 일치한다. 따라서 본 연구에서 제시한 기계적 풍화지수의 이용은 매우 유용하다고 본다.

입도분석결과 서산과 당진, 황등, 김제, 여주 등지에서 점토와 미사가 다른지역에서보다 다소 높은 경향이 있다. 이것은 열수에 의한 argillation이 아닌가 유추된다. 풍화에 의해 형성된 풍화산물에서의 silt/clay, sand/clay비는 지하로 갈수록 증가하는 경향이 있다. 이러한 경향은 기계적 풍화가 상부에서 하부로 진행되고 있다는 증거이며 풍화에 의해 형성된 풍화산물은 주로 모래계통이고 열수에 의한 것은 미사, 점토계통이 주를 이루고 있다.

기계적 풍화지수에 있어 열수풍화작용을 받은 서산과 당진(1, 2), 김제(1, 2, 3), 황등(1, 2, 3), 여주 등의 기계적 풍화지수가 거의 10미만 풍화를 받은 지점의 기계적 풍화지수는 상당히 수치가 높게 나타났다. 그러나, 열수에 의한 것이 꼭 낮다는 것은 아니다. 왜냐하면 풍화작용에 의해 형성된 풍화산물에서도 상당히 낮게 나온 곳도 있기 때문이다. 일반적으로 clayey gruss 계통은 5내외이고 gruss는 10내외 정도이다.

상관관계에서 점토는 미사와 양의 관계인데

이것은 두입자가 세립질로 같이 전환되기 때문이고 미사는 모래와 아주 강한 음의 관계에 있다. 이것은 모래에서 미사로 변화되어 상대적으로 한쪽이 감소하기 때문이다.

기계적 풍화지수는 silt/clay, sand/clay비와 강한 양의 관계가 있어 두변수에 의해 크게 좌우됨을 알 수 있다.

기계적 풍화지수를 설정하는 데 사용된 변수중 sand/clay 변수를 사용하여 단순회귀식을 구하였다. 기계적 풍화지수의 회귀식에서 설명계수가 0.88로 높게 나왔으며 유의수준 0.001에서 유의하므로 이 식(MW=3.862+1.77 * sand/clay)을 사용해도 좋을 것이다.

8. 결 론

우리나라에 분포된 화강암의 풍화산물에 대한 기계적 풍화지수와 특성을 살펴 본 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 연구지역에서의 토성은 식토, 식양토, 사질식양토, 미사질양토, 사질양토, 양질사토, 사토 등 7개의 토성으로 분류되며, 전체적으로 사질양토가 가장 많고 그 다음으로 사토, 사질식양토의 순이다.

둘째, 입자붕괴는 풍화작용과 열수작용에 의해 형성되었으며, 세립질로 구성된 식토계통은 주로 열수영역을 많이 받았고 조립질로 구성된 사토계통은 풍화작용을 강하게 받았다.

셋째, 지역별 기계적 풍화지수(MW)는 황등(1)이 2.37로 가장 낮았고, 토성별 기계적 풍화지수는 식토에서 2.46으로 가장 낮은 값을 나타내었다.

넷째, 풍화산물에 대한 상관관계의 경우, 점토는 미사와의 낮은 양의 관계를 가질 뿐 다른 변수와는 모두 음의 관계이다. 미사는 점토와 silt/clay비와 양의 관계이지만 모래, 왕모래는 점토, 미사와 거의 반대 현상이 나타났다. 기계적 풍화지수는 점토, 미사와는 음의 관계이지만 나머지 변수와는 양의 관계를 보여주고 있고 특히 sand/clay, granule/clay, granule/silt, sand/silt와는 높은 상관관계를 갖는다.

다섯째, 기계적 풍화지수의 추정식에서 sand/clay 변수가 보다 높은 설명력을 갖는 것으로 나타났다.

여섯째, 토화학적 풍화는 clayey gruss에서, 지화학적 풍화는 gruss에서 활발하며 풍화암석에서는 쪼개짐작용이 강하게 작용하고 있다.

(投稿 1993년 6월 7일)

文 獻

강영복, 1977, "계양산 산록면에 발달한 토양단면특성에 관한 조사연구", 지리학, 15, 17-25.

권순식, 1987, "한반도 화강암 풍화층에 발달된 제4기 후반의 주빙하결빙구조에 관한 연구", 지리학논총, 별호 4, 1-120.

박동원, 1985, "김제·정읍일대에 분포하는 퇴스상 적황색토에 대한 연구", 지리학, 32, 1-10.

반용부, 1986, 낙동강 삼각주의 지형과 지표퇴적물 분석, 경희대학교 대학원 박사학위논문, 1-115.

박희두, 1983, 충주주변 범람원 퇴적지형 연구, 청주대학교 대학원 석사학위논문, 1-37.

———, 1988, "영월지역 퇴적지형 연구", 지역환경, 6, 19-43.

오종우, 1989, "Wisconsin 남서부 Karst 지역의 loess 토양 및 퇴적토", 지역개발논문집, 15, 29-43.

이정우, 1982, "삼승 산록완사면의 지형발달", 지리학총, 10, 49-63.

이민희, 1983, "화강암지역에 발달한 웅양분지의 지형고찰", 지리학총, 11, 50-61.

정석재, 1989, "석회암 토양의 지형적 특성과 생성 분류", 한국토양비료학회, 22(4), 265-270.

정창희, 1989, 신지질학개론, 박영사, 서울.

조남기, 1981, 암석풍화에 관한 연구, 동국대교육대학원 석사학위논문.

최무웅·임종호, 1990, "여천리 석회암지역 피복물의 성인과 특성에 관한 분석", 지리학연구, 16, 75-90.

최무웅·임종호, 1990, "경기도지역에 분포한 화

강·편마암의 풍화특성과 등급에 관한 연구", 지리학, 41, 1-17.

Chittleborough, D.J., Walker P.H. and Oades, J.M., 1984, Textural differentiation chronosequences from Eastern Australia, II. Evidence from particle-size distributions, *Geoderma*, 32, 203-226.

Ollier, C.D., 1969, *Weathering*, Longman, London.

Millot, G., 1970, *Geology of Clays*, Masson & Cie, Paris.

Legros, J.P. and Pedro, G., 1985, The causes particle-size distribution in soil profiles derived from crystalline rocks, France, *Geoderma*, 36, 15-25.

Alekseyev, V.Y., 1983, Mineralogical analysis for the determination of podzolization, lessivage and argillation, *Soviet Soil Science*, 15(5), 21-90.

Chevalier, Y. and Bech, J., 1990, Weathering of the granitoid rocks of W. Mediterranean areas; some examples of Provence(France) and Catalonia(Spain), *Chem. Geol.*, 84, 36-37.

Dobrovol'Skiy, V.V., 1988, Red mantle deposits of Southeastern Europe, *Soviet Soil Science*, 20(2), 13-25.

Eswaran, H. and Wong, C.B., 1978, A Study of a deep weathering profile on granite in Peninsular Malaysia: I. physicochemical and micromorphological properties, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 42, 144-149.

Eswaran, H. and Wong, C.B., 1978, A Study of a deep Weathering profile on granite in Peninsular Malaysia: III. Alteration of feldspars, *Soil. Sci. Soc. Am. J.*, 42, 154-158.

Hall, A.H., 1986, Deep weathering pattern in North-East Scotland and their geomorphological significance, *Z. Geomorph. N.F.*, 407-422.