

적황색토화된 화강암질 풍화잔적토의 화학적 풍화특성에 관한 연구

A Study on the Chemical Weathering Characteristics of the
Weathered Granite Residual Soils prone to Laterization

정 두 영*1

Jeong, Doo-Young

이 광 준*2

Lee, Kwang-Joon

Abstract

The definition of laterite or lateritic soils is discussed on a climatic condition of tropical and semitropical regions, and the weathering index is indicated by the chemical composition. The chemical composition of $(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3)$ of the weathered granite residual soils in tropical and the temperate regions which shows laterization usually ranges from 0.2 to 0.5.

This study shows that the chemical ratio of the Chonju Ajung site is about 0.28, and that of the regions along the shore of the western sea of Hongsong and Taechon is about 0.33. The chemical ratio of the non-laterite is less than 0.2, and the Kyougju Pulguksa site confirmed about 0.17.

The X-Ray diffraction test shows that the clay mineral of the laterite soils is made of kaolinite, this X-Ray result indicates the same characteristics compared with the weathered granite residual soils of other sites.

요 지

Laterite 또는 laterite성토의 정의는 열대·아열대의 기후조건에서 논의 되었고 그 풍화 지표는 화학적 조성에 의해 표시하고 있다. 열대·습윤온난지역의 적황색토화된 화강암질 풍화잔적토는 화학적 조성에서 laterite성토와 같은 정의의 지표로서는 전체성분에 대한 $(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3)$ 의 비가 0.2~0.5를 나타낸다. 본 연구에서의 전주아중지역의 화학적 비는 0.28정도, 홍성 및 대천의 서해연안지역은 0.33정도이다. 비laterite의 화학적 비는 0.2미만이며 경주불국사지역은 0.17 정도로 확인되었다. 적황색토의 X-Ray 회절 분석결과 점토광물은 kaolinite화 되어 있는 것은 다른지역의 화강암질 풍화잔적토와 같은 특징이다.

Keywords : Laterite, Granite, Weathering, Chemical properties, X-ray

*1 정희원, 전북대학교 명예교수

*2 정희원, 전북산업대학교 토목공학과 강사

1. 서 론

화강암질 풍화잔적층의 상층인 적황색토층은 대략 지표면으로부터 심도 -3m~-5m 정도까지 형성되어 토질공학적으로는 노상 또는 노반재료, 알은기초 구조물 대상지반이다. laterite 또는 laterite성토라 불리우는 층은 열대 및 아열대의 습윤온난지역에서 형성된 적황색의 잔적토로서 세계 각 지역에 널리 분포되어 있다. laterite 또는 laterite 성토의 생성과 특성에 관하여 토양학, 응용지질학, 지반공학적으로도 연구가 진행되고 있다. laterite에 관한 연구는 Gidigasu(1976), Madu(1977) 등이 열대 및 아열대지역의 화강암질 풍화잔적토의 상층의 화학적 풍화특성을 연구하여 흙속의 광물 질중 규산염의 용탈현상(leaching), Al_2O_3 와 Fe_2O_3 의 집적으로 인하여 산화철에 의한 토립자의 변색작용으로 적황색토로 변질하는 과정을 정립하였으며, 이러한 적황색토의 형성지대가 낮은 구릉평탄지에 널리 분포하고 있는 상황은 각지에 있어서 거의 유사하다는 특징을 보이고 있다. 따라서 laterite의 형성과정과 화학적인 풍화작용에 의한 특성을 확인하여 적황색토의 풍화특성을 비교 검토하고 공학적 성질에도 반영시켜 설계 및 시공에 필요한 자료로 활용하며, 각종공사의 국제화에 대비할 수 있는 중요한 정보가 됨은 틀림이 없다고 본다.

본 연구에서는 laterite성토라 할 수 있는 전주아중지역과 서해연안지역의 적황색토와 비laterite성토인 경주 불국사지역을 대상으로 물리화학적인 풍화특성을 검토하여 laterite에 관한 정의를 우리지역의 적황색토에 적용하여 정성적인 지표로 정립시키고자 한 것이다.(鄭, 1994) 측정결과 laterite성토로서의 지표 범위에 있음을 확인할 수 있었다.

2. Laterite화된 화강암질 잔적토의 풍화에 관한 정의

laterite화 작용(풍화건반 또는 고결화)은 열

대·아열대의 기후하에서 강우량이 많고 건기와 우기가 반복되는 조건하에서 진행되는 작용이며, 토양 미생물의 활동이 활발하고 유기물 분해가 빠르며 암석이나 토양광물이 가수분해, 산화가 현저히 진행되는 결과 규산염(Ca, Mg, K, Na 등)이 급속히 유이(遊離)하여 지표나 지표부근의 토층에서 침투수와 더불어 용탈되고 반면에 산화철(Fe_2O_3)의 불용화, 집적이 진행되어 지표부근에서 적황색토로 형성된다. 따라서 적색토가 형성되는 곳에서는 이들을 laterite라 칭하며 대체로 적도부근의 열대·아열대 지대의 특수토라 한다.

laterite의 정의는 현재 종합적으로 정립된 것은 없으며 흙의 화학적 성분에서 정의하는 경우가 많다. 화강풍화암의 풍화과정에 있어서 규산의 용탈과 알루미늄산화물의 증가비(SiO_2 / Al_2O_3)는 laterite 토양군의 구분에 있어서 분류기준이라 할 수 있으며, 삼이산화철($Fe_2O_3 + Al_2O_3$)화 되어 지반이 적황색토화, 건반화되었다는 정의로서 Madu(1977), Samuel(1977), 末岡(1981)등이 문헌에서 제시하고 있다. 다음 정의에서 표현되는 값은 laterite구분의 지표가 될 수 있다.

2.1 흙의 화학조성에서 정의하는 경우의 지표

2산화 규소/(산화 알루미늄+산화 제2철)의 비로부터 구분할때 점토광물의 생성작용이 1:1 격자구조로 kaolinite化 된 상태의 $SiO_2 / (Fe_2O_3 + Al_2O_3)$ 의 비를 2.0을 기준으로 정의하여 ①과 같이 laterite와 비laterite만으로 구분하였다.

$$\textcircled{1} \frac{SiO_2}{Fe_2O_3 + Al_2O_3} \leq 2.0 \dots\dots\dots \text{laterite}$$
$$\frac{SiO_2}{Fe_2O_3 + Al_2O_3} > 2.0 \dots\dots\dots \text{비laterite}$$

또한 laterite성토의 지수적 범위를 구분하고자 할 때에는 다음 ②와 같이 정의하였다.

$$\textcircled{2} \frac{SiO_2}{Fe_2O_3 + Al_2O_3} < 1.33 \dots\dots\dots \text{laterite}$$

=1.33~2.0 ...laterite성토(lateritic soil)
 >2.0비laterite(non-laterite soil)
 ②식에서 $SiO_2 / (Fe_2O_3 + Al_2O_3)$ 의 비 1.33 대신에 1.53을 사용하는 쪽이 좋다는 의견도 있다.

Madu(1980)에 의하면 ③과 같은 정의도 있다. 전체성분에 대한 산화알루미늄과 산화제2철의 함유량 즉, $[(Al_2O_3 + Fe_2O_3) / \text{전체성분}]$ 의 비로부터

- ③ $\frac{Al_2O_3 + Fe_2O_3}{\text{전체성분}}$
 >0.50 진의 laterite
 =0.20~0.50 ...laterite성토(lateritic soil)
 <0.2비laterite(non-laterite soil)

로 정의하고 있다.

본 정의에 있어서 진의 laterite는 고온지역에서 더욱 현저한 규산의 용탈과 알루미늄의 증가를 의미하는 laterite의 특성을 말한 것이다.

2.2 기후대와 풍화의 개념

풍화작용의 일련의 과정은 기후와 밀접한 관계가 있으며 그중 중요한 요소로서 화학적 풍화도와 강수량, 기온 등과의 관계로 고려되고 Ollier(1971)의 풍화이론과 실태에 관한 저서에서 보면 Peltier는 화학적 풍화도와 기후대의 관계를 다음 그림 1과 같이 제시하였으며 Strakhov는 풍화대의 기후 및 식생의 영향을 제시하여 기후대와 풍화의 관계를 다음 그림2와 같이 확인시켰다.

Peltier는 풍화에 관한 여러 도표를 제시하였으며 그중 그림 1은 기후와 화학적 풍화도와 의 관계를 나타낸 것으로 물은 대체로 화학적 풍화에 필수적이며 물의 대부분은 강우에 의존하므로 강우가 증가한다는 것은 풍화가 진행된 것을 의미한다. 기온은 주로 화학반응속도에 영향을 미치며 일반적으로 한랭한 기후보다도 온난한 기후일수록 강한 풍화를 일으키므로 이와같은 풍화는 온난습윤기후 하에

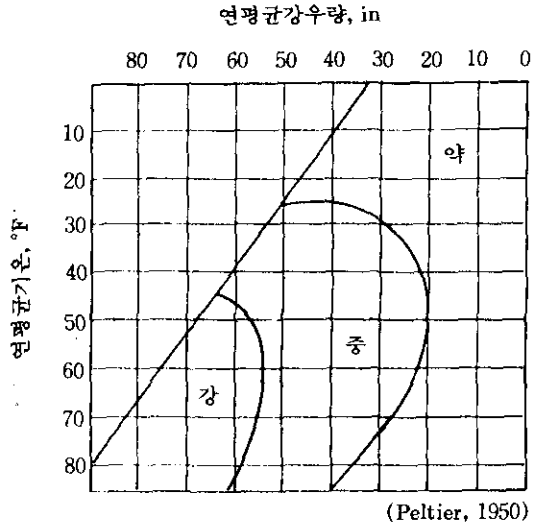


그림 1 화학적 풍화도와 강수량 및 기온과의 관계 (Peltier, 1950)

서 더욱크고 강우나 기온이 저하할수록 풍화는 감소하며 강우와 기온이 모두 증가함에 따라 식생 밀도도 증가하고 그 때문에 유기물의 생성에 관련되는 반응은 온난습윤지대에서 더욱 급속하다는 것을 제시하고 있다. 따라서 생물학적 풍화도 화학적 풍화와 같이 일반적 경향에 따른다고 한다.

또한 풍화대의 기후 및 식생의 영향을 Strakhov는 그림 2와 같이 토층 단면을 기후대와 비교하여 그 특징을 나타내고 있다. 여기서 토층 조암광물의 용탈은 강우량이 최대인 열대지역과 그밖의 Taiga-Podosol지대에서 현저하며, 고온의 열대에 있어서 변화는 Podsol지대보다 더 강하며 깊고 Tundra지대나 아사막지대 등은 저온과 물부족으로 거의 화학적 변화가 생기지 않는 풍화의 지리적 분포를 예시하고 있다.

末岡(1983), Little(1978)등은 각지의 화강암질 풍화잔적토의 단면이 열대 및 아열대(온난지대포함) 기후구에 있어서 지반의 A층 및 B층(토양학적 분류)에 속하며, 그 점토 광물은 kaolinite계점토, 철 및 알루미늄의 삼이산

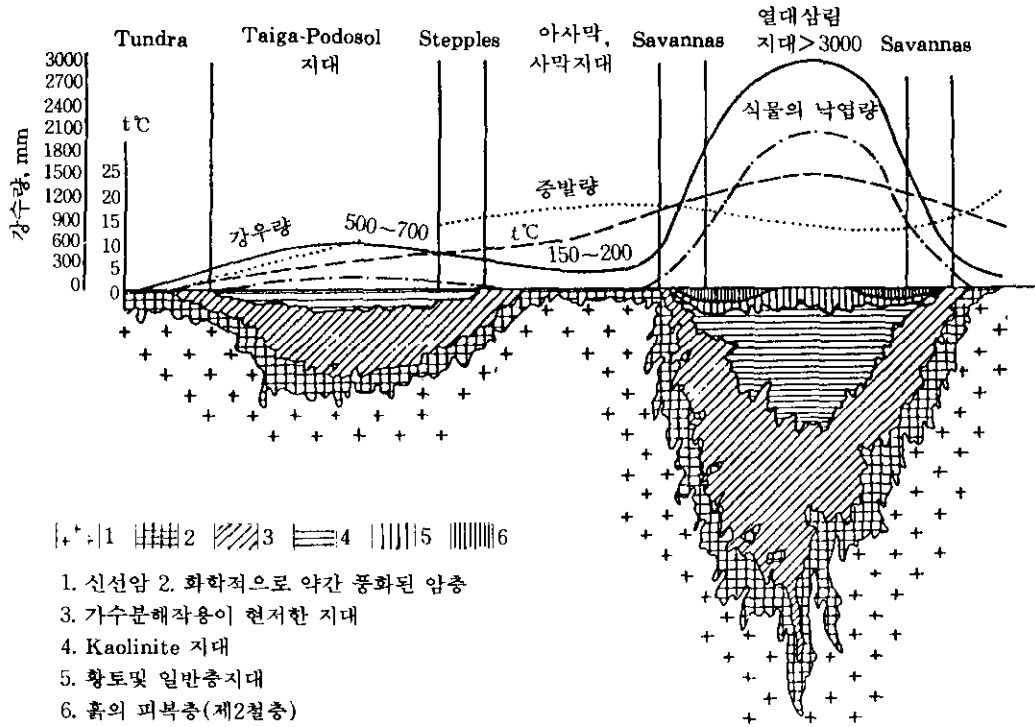


그림 2 위도에 따른 기후대의 고찰방법(Strakhov, 1967)

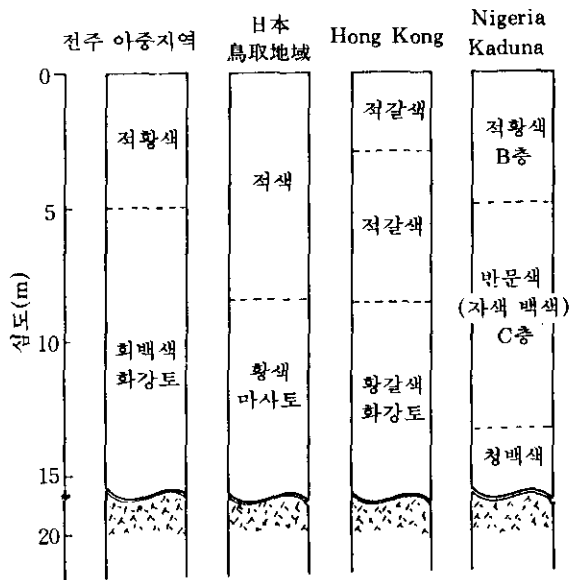


그림 3 세계 각지의 적황색토화층의 단면

화철로 되어 있다고 제시하였으며 적황색토화층의 단면 예는 다음 그림 3과 같다. 여기에서 화강암질 풍화전적토지반의 상층부위의 적황색 또는 적색층은 열대 및 아열대의 laterite 또는 lateritic soil와 같은 의미로 보며 습윤온난지역인 중위도선상의 지역에서는 적색토 또는 적황색토로 지칭되고 있고 그 층두께는 일반적으로 3m정도이며 지형에 따라서는 5m 정도까지의 잔적층이다.

3. 자료 및 시험

3.1 화강암질 풍화잔적토의 물리적 특성

삼각좌표에 의한 화강암질 풍화잔적토의 각 지역의 laterite, lateritic soils 또는 적황색토화된 흙의 토질분류는 다음 그림 4와 같으며 전주 이중지역은 사질흙으로서의 사질실트(SM)이고,

경주 불국사지역은 롬질모래로성의 사질실트(SM)이다. 末岡(1984)은 日本 鳥取(Tottori)지역의 마사토는 사질~사질롬(SM)등이고, 아열대지역의 Hong Kong은 모래질 점토(ML), 열대지역의 Nigeria Kaduna 지역은 사질점토~점토(ML~CL) 등으로 분류하였다. 전주 아중지역은 경주불국사 지역보다 입도가 세립화하는 경향이며, 열대지역이 아열대지역보다 풍화진행이 더되어 세립화가 더된 경향을 보인다.

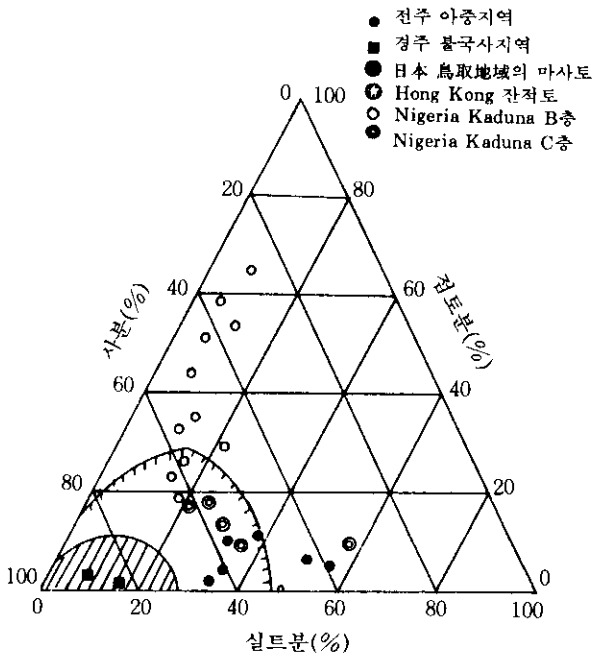


그림 4. 각지의 화강암질 풍화잔적토의 토질분류

표 1. 각 지역의 화학조성의 비교

1) 전주 아중지역

시료	심도 (m)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	Na ₂ O	CaO	MgO	K ₂ O	MnO	P ₂ O ₅	TiO ₂	H ₂ O (+)	H ₂ O (-)	Igloss
J-1	5.0	58.60	21.50	6.70	0.32	0.32	0.30	1.80	2.62	tr	0.07	0.77	7.0	2.1	7.0%
J-2	15.0	63.30	20.10	4.10	0.14	1.37	0.40	1.20	3.46	tr	0.07	0.89	5.0	2.0	5.1%
J-3	25.0	59.10	12.70	6.19	0.08	0.11	13.9	3.0	0.63	0.82	0.23	0.53	2.7	4.1	3.8%
J-4	37.0	76.00	13.20	1.83	0.17	1.74	0.30	0.60	4.07	tr	0.07	0.22	1.8	1.1	1.5%
J-5	45.0	98.45	0.50	0.45	0.09	0.03	tr	tr	0.18	tr	0.01	0.01	0.3	0.1	0.2%

화강암질 풍화잔적토인 각 지역의 적황색토에 대한 consistency는 다음 그림 5와 같으며 경주 불국사지역의 화강토는 비소성이고 전주 아중지역과 서해연안지역인 홍성지역은 저소성이다. 日本 鳥取지역은 소성지수 20% 이상이며, 열대지역인 Nigeria Kaduna는 입도가 세립화되어 점토함량이 커서 30% 이상의 높은 고소성 지수를 보이고 있다.

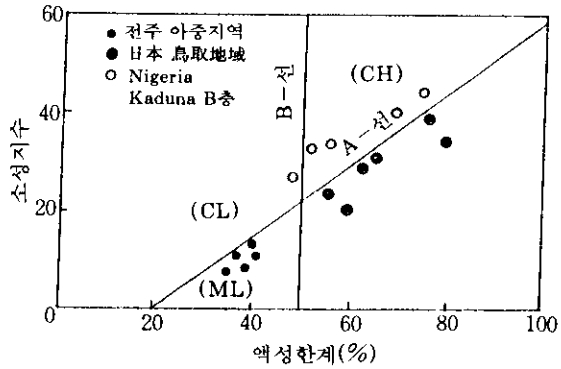


그림 5. 각지의 화강암질 풍화잔적토의 consistency

3.2 화강암질 풍화잔적토의 화학조성

화강암질 풍화잔적토의 지반 심도별 풍화암~풍화토까지의 조암광물의 화학조성 시험방법은 각 시험방법마다 시료를 0.5g씩 선정하여 규산염(Na₂O, K₂O 등) 및 산화철(Fe₂O₃), 규소 알루미나(SiO₂, Al₂O₃) 등을 다음과 같은 흡광광도법, 원자흡광법, 염광흡광법 등의 방법

2) 경주 불국사지역

시료	심도 (m)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	Na ₂ O	CaO	MgO	K ₂ O	MnO	H ₂ O (+)	H ₂ O (-)	Igloss
B-1	5.00	72.61	14.90	2.00	0.47	2.96	1.97	0.52	2.71	0.02	1.40	0.57	1.7%
B-2	30.00	72.24	15.80	1.39	0.19	3.22	2.31	0.45	2.45	0.02	0.60	0.47	1.0%

3) 익산 공단지역

시료	심도 (m)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	Na ₂ O	CaO	MgO	K ₂ O	MnO	H ₂ O (+)	H ₂ O (-)	Igloss
I-1	1.50	68.35	17.10	4.05	0.24	0.15	0.20	0.50	2.17	tr	5.90	1.16	5.90%
I-2	3.00	71.10	17.05	2.56	0.22	0.19	0.20	0.52	3.43	tr	4.70	0.54	4.78%
I-3	8.00	73.70	16.21	1.06	0.04	0.28	0.06	0.26	5.06	0.02	3.10	0.58	3.00%
I-4	20.0	70.00	16.08	0.96	1.03	4.36	1.77	0.51	4.44	0.03	0.16	0.13	1.77%
I-5	40.0	70.00	15.78	1.31	0.81	4.79	2.04	0.51	4.01	0.03	0.08	0.13	0.95%

4) 홍성, 대천지역(심도에 관계없이 B층의 적황색토 잔적층)

시료	심도 (m)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	Na ₂ O	CaO	MgO	K ₂ O	MnO	H ₂ O (+)	H ₂ O (-)	Igloss
홍성지역	5.50	47.95	23.21	10.90	3.24	0.15	0.34	1.02	1.05	tr	10.53	1.50	10.53%
대천지역	6.00	50.18	24.71	6.14	5.60	0.11	0.19	1.04	0.86	tr	9.64	1.30	9.64%

5) 日本 鳥取市 市勢地域

시료	심도 (m)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	Na ₂ O	CaO	MgO	K ₂ O	MnO	H ₂ O (+)	H ₂ O (-)	Igloss
T-1	0.8	52.00	24.40	5.00	0.29	0.66	0.89	0.23	1.26	0.02	9.92	3.98	-
T-2	4.0	71.60	15.90	1.28	0.29	0.43	0.89	0.16	3.55	0.03	4.04	1.08	4.26%
T-3	15.0	72.30	15.30	1.31	0.22	0.55	0.66	0.20	4.72	0.06	2.88	1.06	4.30%
T-4	20.0	70.50	16.50	1.13	0.29	0.63	0.94	0.22	4.81	0.03	3.12	1.12	-
T-5	25.0	73.50	16.90	0.86	0.33	0.38	0.89	0.19	4.55	0.11	0.73	0.84	1.81%
T-6	35.0	72.80	13.30	0.93	0.51	2.90	2.34	0.19	5.15	0.02	0.76	0.62	-

6) Nigeria Kaduna 지역

시료	심도 (m)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	Na ₂ O	CaO	MgO	K ₂ O	MnO	H ₂ O (+)	H ₂ O (-)	Igloss
K-1	0.00	34.70	20.0	23.90	0.07	0.53	0.11	0.07	0.29	0.03	12.80	0.92	-
K-2	2.00	55.50	18.30	14.60	0.37	0.14	0.04	0.15	0.44	0.14	6.54	1.67	7.74%
K-3	6.00	61.40	22.70	5.30	0.33	0.92	0.01	0.03	0.34	0.04	5.33	1.51	7.05%
K-4	15.0	62.70	15.20	8.31	0.91	0.20	0.07	1.62	1.66	0.07	5.55	0.72	5.44%
K-5	-	63.70	15.40	0.65	5.78	3.06	2.61	1.85	3.82	0.09	0.52	0.08	-

을 통하여 분석한 것이며 그 결과는 다음 표 1과 같다. 여기서 전주 아중, 경주불국사, 익산 공단, 홍성 및 대천지역 등 국내 풍화토와 국외 지역으로서 日本 鳥取(Tottori)와 Nigeria Kaduna 지역 등의 화강암질 풍화잔적토의 조암광물의 화학조성도 참고자료로서 제시한다. (金子, 1982)

3.3 각지의 기상

진술한 화강암질 풍화잔적토 지대의 토양생성 인자로서 중요한 기상조건은 다음 표 2와 같으며 풍화암의 풍화과정의 토양생성의 중요 인자는 모암, 지질, 기후(강우·기온), 지형, 시간, 생물 등이며, 물리적 풍화작용과 화학적 풍화작용이 이들 토양생성의 상호작용에 의해 풍화가 진행되는 것으로 사료된다.

풍화과정에 있어서 이들 토양 생성인자는 지리적 분포에 지배되며, 표 2와 같이 습윤온난지역인 우리지역의 기상자료와 열대·아열대지역과는 서로 다른 기후조건을 가지고 있다. (末岡, 1984)

표 2. 각지의 연평균강우량과 평균기온

지역	위도	연평균 강우량(mm)	연평균 기온(℃)
전주시	35.7° N	1296	12.9
경주시	35.5° N	982	12.2
日本 鳥取市	35.5° N	2018	14.3
Nigeria Kaduna	10.0° N	1300	30.3

3.4 PH 및 강열감량

화강암질 풍화잔적토의 화학적시험으로서 PH 및 강열감량시험을 실시하였으며 PH(H₂O)와 강열감량법(Igloss)으로 지반의 심도별 변화관계를 조사하였다. (임, 1983)

3.5 X-Ray 회절분석

화강암질 잔적토의 X-Ray 회절용 시료는

지반심도별 시료를 분쇄하여 뺀아서 #300(45 μ)체를 통과한 것으로 유리판에 평판상으로 눌러 성형분말법으로 회절시켰다. 측정기는 Rigaku D/max-III A형, 측정조건은 Target : Cuka, Filter : Monochro meter, Scan speed : 2 Deg/min, Voltage/Current : 40Kv, 20Am으로 하였다. (Cullity, 1967)

4. 결과 및 고찰

일반적으로 적황색토화된 화강암질 풍화잔적토의 풍화특성에 관한 정의는 물리적 풍화특성에 있어서는 암 또는 흡입자의 파쇄간극률과같은 변형특성을 중심으로 연구되어 왔으며, 화학적인 풍화에 있어서는 화학조성에 의한 것이 있다. 공학적 판정법으로서는 공극률, 장석의 비중, 강열감량, X-선 회절분석, 흡수율등이 제안되어 왔다. 본 논에서는 화학조성에 의한 풍화특성을 중점으로 거론한다.

4.1 적황색토화된 잔적토의 물리적 특성

화강암질 풍화잔적토는 세계 각지에 산재되어 있으며 각 지역은 기후대에 따라 흙의 물리적 성질이 서로 다르다. 그림 4와 같이 습윤온난지역인 전주 아중지역의 적황색토는 사질실트(SM)이고, 경주 불국사지역은 조립률이 많은 사질실트(SM)이며 일본 마사토도 우리지역과 거의 같으며 아열대지역인 홍콩 및 열대지역인 Nigeria Kaduna의 B층, C층(토양학적 분류)은 laterite, lateritic soil로서 더욱 세립화된 사질점토~점토이며 적황색토의 consistency는 그림 5와 같다. 여기에서 경주 불국사지역은 조립성이 큰 비소성으로 적황색토가 아니며 습윤온난지역과 아열대 및 열대지역은 각각 저소성~고소성의 특성으로 풍화의 진행상황을 확인할 수 있다.

4.2 PH, 강열감량에 의한 풍화특성

풍화잔적토에 대한 풍화의 진행상황을 지표

적으로 표현하는 것은 응용지질학, 토양학상 중요할 뿐만아니라 토질공학적으로도 중요한 의의를 지니고 있다. 본 PH시험 결과는 화강토 지반의 심도와 PH의 변화관계를 나타냈으며 그림 6과 같다.

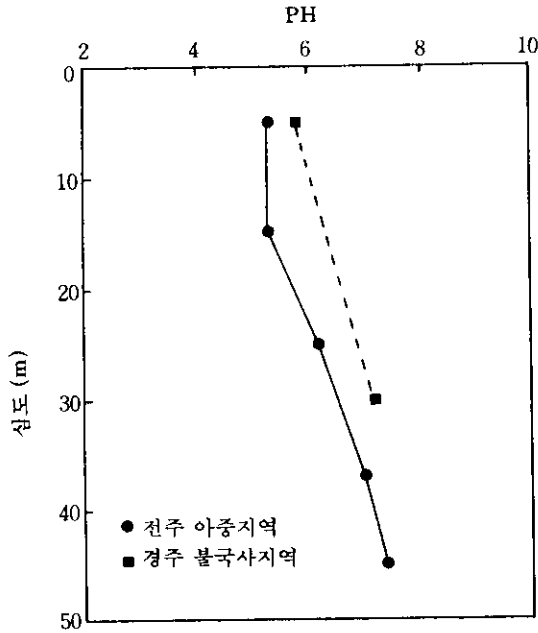


그림 6. 지층 심도와 PH와의 관계

그림과 같이 심도별 PH치는 심도 증가에 따라 증대하며 지표부근은 PH5~6 정도의 약산성을 나타내며 깊이가 증가함에 따라 약 알칼리성화 되나 양지역 거의 비슷한 값으로 변화함을 알 수 있다.

또한, 일반적으로 자연환경의 PH의 영역 ($5 < PH < 9$)에서는 규산분(SiO_2)이 서서히 물에 용탈하지만 알루미늄산화물은 흡수에 잔류하여 이동하지 않는다. 따라서 풍화가 진행되면 Al_2O_3/SiO_2 가 커진다. 알루미늄산화물의 용해도는 PH5~8 범위에서는 일정하나 그 이하나 이상이 되면 매우 커진다. 규산은 PH의 증가와 더불어 점차 많아지므로 SiO_2/Al_2O_3 는 PH의 증가와 더불어 크게 됨을 알 수 있고, 다음 그림

7과 같이 SiO_2/Al_2O_3 와 PH의 관계를 표시하면 추정결과와 거의 일치함을 알 수 있으며, 화강암질 풍화토의 풍화지표로서 평가될 수도 있다.(古河, 1995)

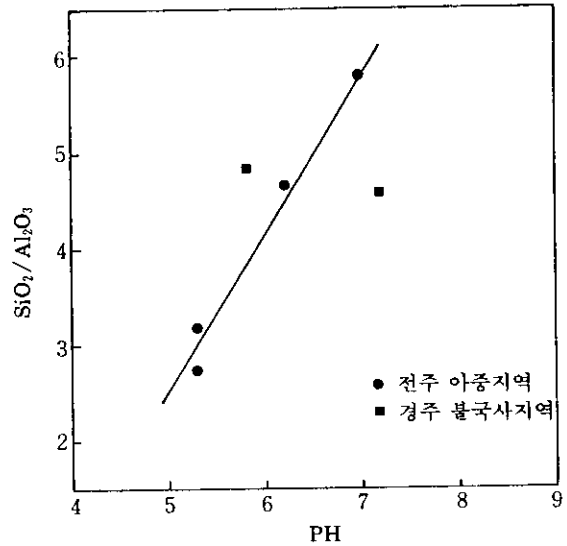


그림 7. Al_2O_3/SiO_2 와 PH와의 관계

PH는 화강토의 풍화지표로서는 직접적으로 사용하지 않으나 지반공학상으로는 사면붕괴, 안정처리, 건설현장에서 나오는 폐수의 환경문제 영향평가, 지반중의 concrete 구조물의 열화, 강재의 부식 문제, 식물의 비료효과 등으로 활용하는데 공학적 의미가 있다.

흙의 심도별 강열감량치의 변화 관계를 다음 그림 8에 나타냈다.

그림에서 전주 아중지역은 심도 증가에 따라 Igloss는 7%~2.5%정도로 현저히 감소하는 경향이 있고 경주 불국사지역은 1.5%~1.0%범위로 붕괴 전토지의 범면에서 시료채취를 하였으나 심도 30m 내외에서는 변화폭이 적었다.

양지역의 조사 결과를 비교할 때 전주 아중지역이 경주 불국사지역에 비해 풍화의 진행이 현저함을 알 수 있다. 흙의 강열감량시험은 흙중에 포함되어 있는 유기물, 화합수나 결정수의

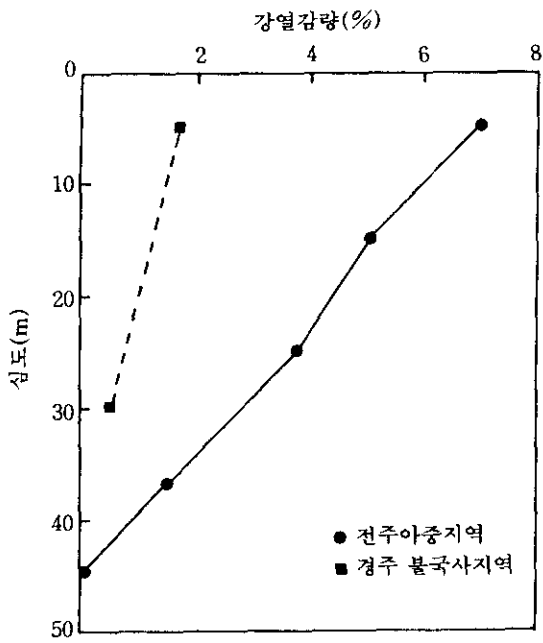


그림 8. 지층 심도와 강열감량과의 관계

양을 측정하여 평가하는 것으로 화강풍화잔적 토지의 풍화도 판정의 지표로서 이용하고 있어 지표면 부근의 값이 크고 풍화 진행이 늦은 깊은 곳에서는 감소되어 지반에 따라 지형, 기상에 수반하여 상이함을 알 수가 있다. 또한 각지의 흙의 간극률과 강열감량의 관계를 표시한 것이 그림 9와 같다. 화강풍화잔적토의 간극률의 증가에 따라 강열감량의 증가로서 정상관 관계를 나타냄을 확인할 수 있어 심도별 간극률의 발달이 강열감량에 영향을 주고 있음을

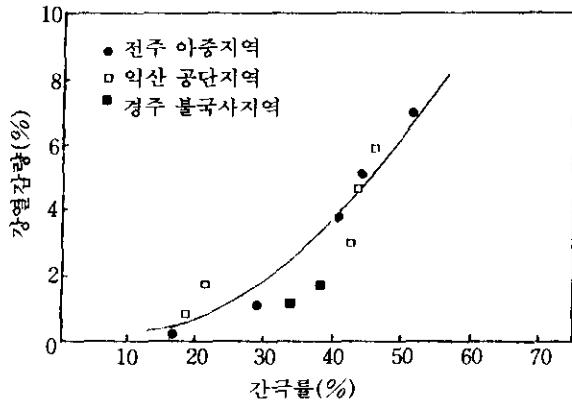


그림 9. 각지의 간극률과 강열감량과의 관계

알 수 있다.

흙의 강열감량은 흙의 물리화학적 및 역학적 성질과 관련된 지표로서 이용되는 경우가 많고, 유기질계의 흙에서는 일반적으로 강열감량이 유기물 함유량과 깊은 상관성이 있으며, 이들의 흙에서는 유기물의 함유정도에 의한 함수비, 간극비, 밀도, PH, 액성, 소성한계 등의 물리 및 화학적성질 뿐만아니라 보수성, 투수성, 압축성, 강도 등의 역학적성질이 서로 다를때 이들 흙의 공학적 성질을 파악하는데 지표로서 널리 이용되고 있다.(村田, 1985)

4.3 X-Ray에 의한 풍화특성

전주 아중지역과 경주 불국사지역의 화강암질 풍화잔적토에 대한 X-선 회절의 분석결과를 그림 10, 그림 11과 같다.

전주 아중지역은 1차광물이 석영, 장석, 운모 등이며 2차광물은 Chrolite(녹이석), Kaolinite로 나타났다. 경주불국사 지역에서의 1차광물은 석영, 장석, 운모이고 2차광물은 Vermiculite, Chrolite, Kaolinite 등으로 1차광물은 대체로 공통적이며 2차광물중 Kaolinite는 조암광물의 유색광물로서 흑운모 또는 Hornblend(각섬석) 등이 풍화과정에서 Vermiculite, Cholite, 이들 혼합층 광물 등으로 변질하면서 생성된 것이다.

Kaolinite의 결정강도를 중심으로 풍화의 진행 현상을 정성적으로 표시한 것이 다음 그림 12와 같다.

그림과 같이 지반의 토층별 풍화도(C.W.I)는 4.4절에서 언급되나 심도별 풍화도와 X-선 회절강도의 관계에서 볼 때 풍화도의 지표로서 20% 이내의 신선암 및 풍화화강암과 20% 이상의 풍화잔적토(적황색토 또는 lateritic soil)범위이다. 전주 아중지역의 결정간격 d(7.544)(001)의 Kaolinite의 회절강도(CPS)는 지반의 풍화도 증가에 따라 회절강도의 증가를 볼 수 있어 이는 풍화의 진행이 지표면에 근접 할수록 크다는 것을 알 수 있다.

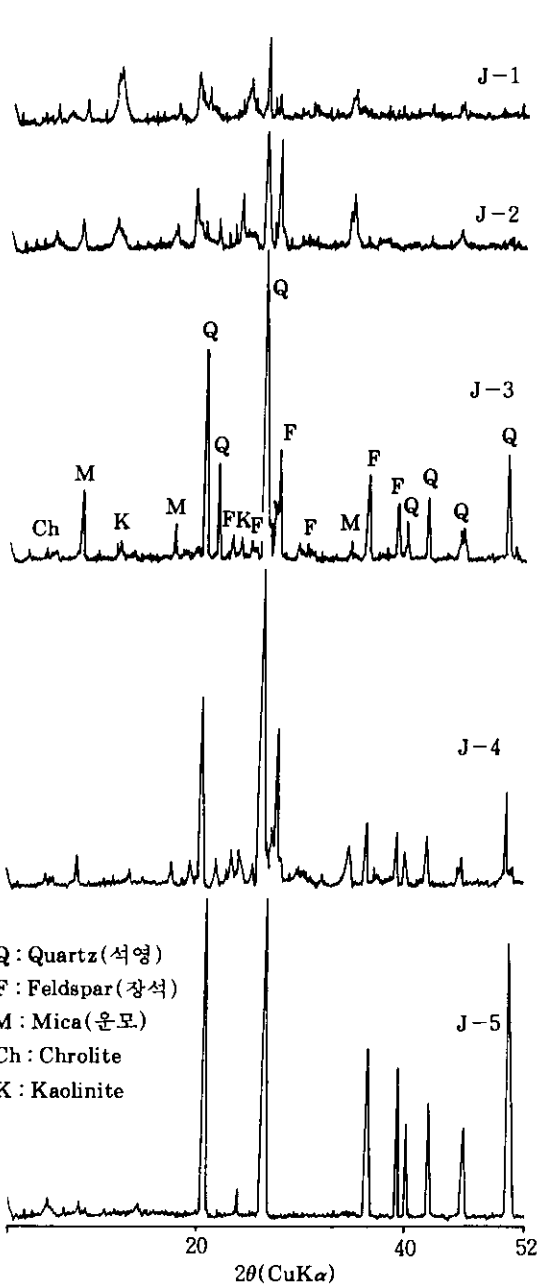


그림 10. X-Ray 회절의 분석결과(전주 아중지역)

그러나 경주 불국사지역의 결정간격 d(4.242)(111)의 Kaolinite의 회절 강도는 변화폭이 적어 전자보다 풍화가 덜된 상태라 할 수 있다.

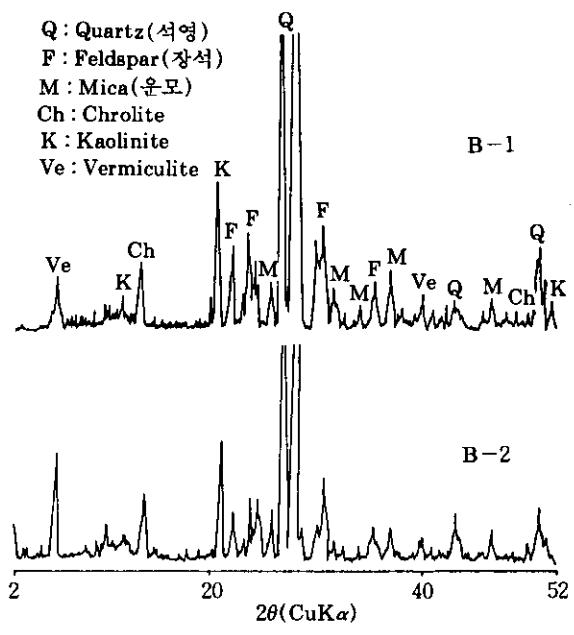


그림 11. X-Ray 회절의 분석결과(경주 불국사지역)

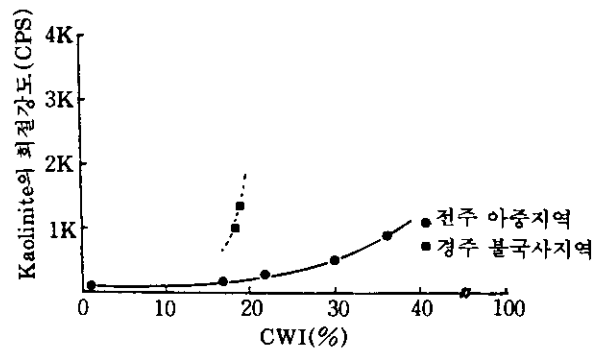


그림 12 화학적 풍화도와 회절강도와의 관계

三浦(1976), Kunze(1953)등이 풍화에 관한 X-선 회절분석에서 언급한 바와 같이 Kaolinite의 형성은 조암광물의 결정질광물의 변질에 있어서 Vermiculite→Chrolite→혼합층광물→Kaolinite 등의 순으로 변하고 있음을 입증하고 있다.

4.4 화학조성에 의한 화강토의 풍화특성

4.4.1 화강암질 풍화잔적토의 풍화지표

화강암 및 그 풍화잔적토의 풍화도 판정은

토양 및 응용지질학상 중요할 뿐 아니라 공학적으로는 화강토 지반의 노반, 노상재료 또는 산업폐기물 매립지 선정에서도 흙의 화학적 조성의 중요한 역할이 최근 점진적으로 중요시 되고 있다.

본 논에서 화강암질 풍화잔적토에 대한 판별, 풍화도의 지표를 확인하기 위하여 화학조성을 분석한 결과는 표 1과 같다. 또한 화강암질 풍화잔적토의 화학적 풍화도(Chemical Weathering Index : CWI)의 지표로서는 末岡(1983)이 제안한 것으로 다음과 같다.

$$CWI = \frac{[Al_2O_3 + Fe_2O_3 + TiO_2 + H_2O(\pm)]}{[SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3 + FeO + Na_2O + CaO + MgO + K_2O + TiO_2 + H_2O(\pm)]} \times 100(\%)$$

풍화도의 지표로서 Reiche의 풍화진행계수,

三浦(1976)의 신선암의 화학적 절대풍화지수 등 다양한 지표가 있으나 마사토의 풍화지표의 개념으로서 위식은 풍화과정 전체를 표현할 수 있으며 공학적으로도 적합하고 비교적 간단한 표현으로서 지반공학적 목적에 사용가능한 지표로 제안된 것이다.

따라서 국내외의 자료에 의한 laterite와 적황색토화된 화강암질 풍화잔적토의 화학적 풍화도의 지표를 백분율로 표시한 것이 다음 그림 13과 같다.

그림에서 풍화대 구분 즉, 신선암, 풍화암, 풍화잔적토, laterite 등은 열대, 아열대, 습윤온난지대를 포함한 풍화특성으로 표시할 수 있다.

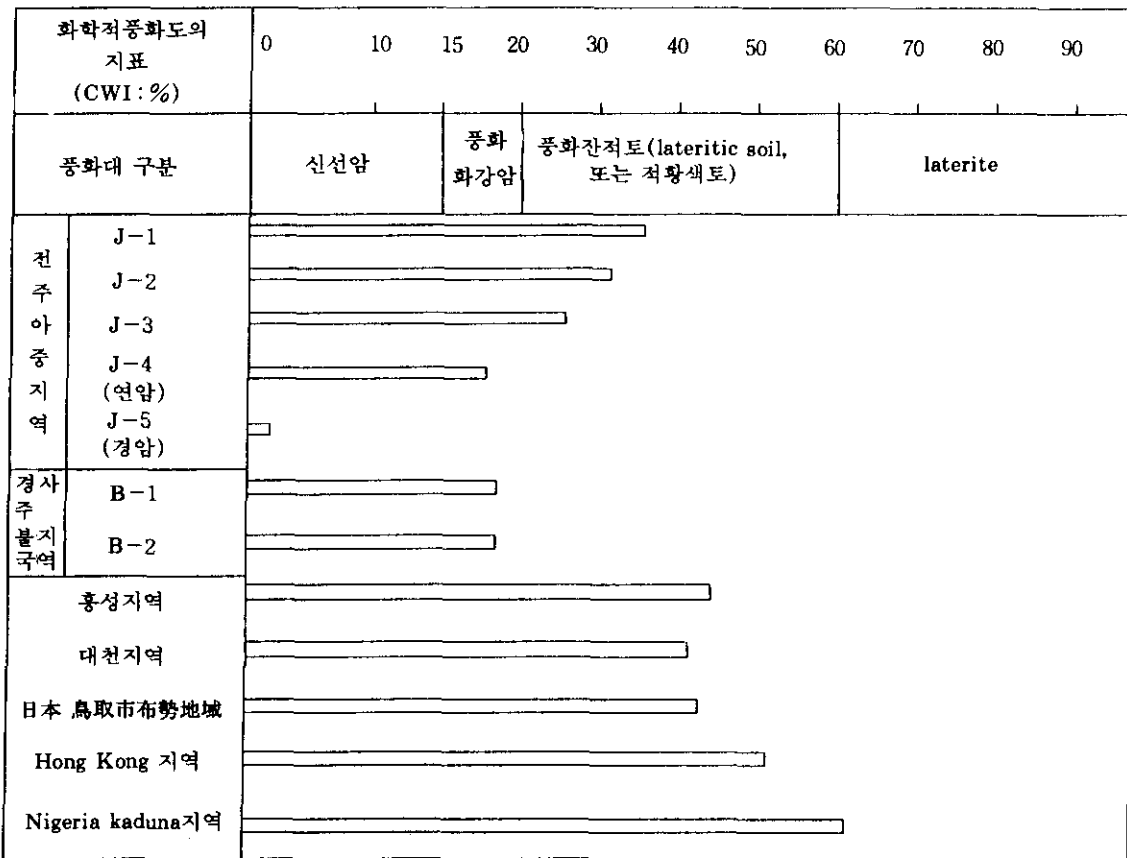


그림 13 각지역의 풍화대와 화학적 풍화도와의 관계

그림과 같이 화강토의 화학적 풍화도의 범위 20%이하는 신선암 및 화강풍화암, 20~60%는 풍화잔적토, 60%이상은 laterite로 구분할 수 있다. 따라서 습윤온난지역인 우리지역과 열대·아열대지역인 Nigeria Kaduna, Hong kong 지역등의 화학적 풍화작용에 의한 풍화도의 지표를 정량적으로 표현하여 풍화대의 구분을 명확히 판단할 수가 있다.

4.4.2 지반 심도별 풍화특성

화강암질 풍화잔적토지반의 심도와 전술한 화학적 풍화도와의 지표의 관계를 표시한 것이 다음 그림 14와 같으며 그림에서와 같이 심도 증가에 따라 CWI가 대체로 감소하는 것을 볼 수 있다.

여기서 거의 등위도선상의 전주 아중, 경주 불국사지역을 고찰해 보면 후자쪽이 전자에 비해

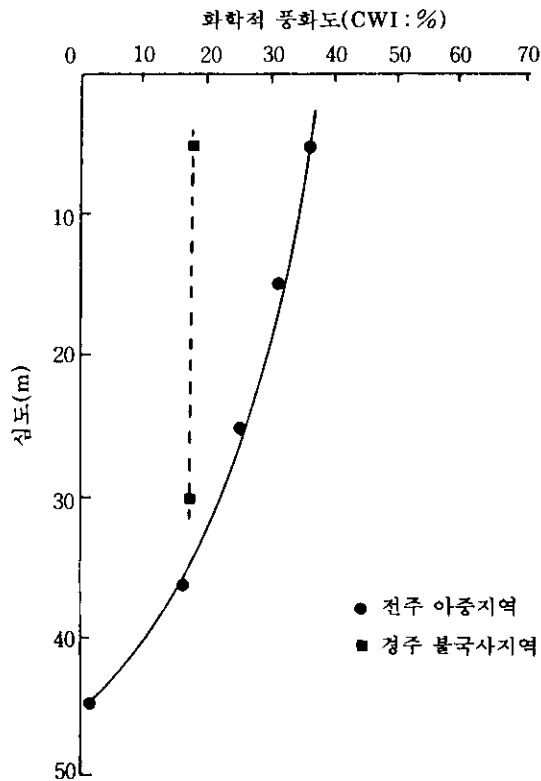


그림 14 각지의 심도에 따른 화학적 풍화도의 관계

풍화가 덜된 상태임을 확인할 수 있고 화강풍화암, 신선암과 같은 깊은 지반은 거의 근접해 가는 지수임을 확인할 수 있다.

4.5 습윤온난 지역의 적황색토와의 정의에 대한 고찰

laterite 또는 laterite성토에 대한 정의는 일정하게 정해진 것은 없으나 초기의 정의는 Buchanen이 알루미늄, 철, 규산의 함유율을 가지고 정의 하였으나 최근에 Townsend등은 laterite에 대한 화학조성에서 알루미늄과 철의 산화물, 그리고 kaolinite나 석영을 많이 포함하여 적색으로 변질되어 풍화가 현저히 되고 부분적으로나 전체적으로 입상 혹은 석상, 괴상등으로 고결화 되었다고 주장하였다. laterite성토는 풍화작용에 의해 형성된 알루미늄과 철의 삼이산화물이 적색화하여 고결화하는 성질을 지니고 있으며 지역에 따라 고결 laterite석, laterite사력을 포함하고 있다.(Ollier, 1971)

그러나 습윤온난지대의 수분증발량보다 강우량이 큰 지역은 적황색토와는 달리 기후인자에 의해 Podsol이라는 토양군이 다른 토양군보다 더 알려지고 있다. 이는 갈색삼림토로서 습윤온난지대와 습윤아열대 사이의 기후대에 분포하고 적색 및 황색토는 기후대로 보아 습윤아열대임이 틀림없다.(이는 토양학 분류의 중국동해안지역)

이러한 토양이 조성광물의 세탈과 용탈을 일으키면서 생성되는 것이 전형적인 침엽수림하에 분포된 갈색토로서 Podsol성토라 하며 회갈색, 회색삼림, 적황색 등으로 지역에 따라서 분포가 다르고 아열대, 열대로 확대 분포해 간다.

토층의 유기물은 소량으로 집적되면서 약간 깊은 곳까지 씻겨나가고 철의 산화와 가수분해에 의해 적색 또는 황갈색을 띤 집적대의 특징을 보이거나 Podsol성토는 점토, 삼이산화물의 함유량이 적황색토에 비해 적으므로 화학적 풍화특성으로 적황색토와는 구별이 될 수 있다.

우리나라도 내륙 동북쪽에는 Podsol성토의 분포도 확인된다. 따라서 laterite와 적황색토의 잔적상태를 보면 예로서, 열대 Savanna기후의 영향은 연간수분 증발량이 2500mm, 연간 강수량은 1300mm(Nigeria Kaduna 예)로 강수량보다 증발량이 크고, 우리지역인 중위도권의 각각의 양은 600~800mm, 1200mm으로 증발량이 강수량보다 적은 범위로서 적황색토의 잔적지반의 고결화 효과는 관입치(N)로 보면 전주지역은 심도 5m이내에서 $N < 20$ 이고 Kaduna지역은 같은 깊이에 $N > 30$ 이상으로 구분할 수 있다. 또한 노상토의 CBR치는 Kaduna지역은 5~60%, 우리지역은 5~20%의 범위로 지반의 견고함이 서로 상이함을 알 수 있다. 또한 중위도권의 적황색토에 관한 종전의 연구는 川村(1948, 1952)은 한국 남부지역의 적황색토(중생대의 화강암, 편마암, 퇴적암의 풍화토), 日本 北九州연안의 적황색토(제3기층 頁岩, 현무암의 풍화잔적토), Taiwan Linkou지대의 lateritic soil(홍적층대지의 石礫풍화토), 중국 양자강 이남(黃壤, 紅壤), 북미동남부(적황색 podosol성토, 적갈색 laterite 성토: 미국 분류 Udult라함), India(산성적색토), 흑해연안, 호주 동부 등도 유사한 것으로 언급하고 있다. Haras-Sowitz의 red loam(sialitic)와 red earth(allitic)는 광의의 lateritic soil에 속하며 적색토와 황색토와는 구분된다고 하였다.(菅野, 1961), (松井, 1979), (Chang, 1990)

제2장의 지표로서 정의 ①과 ②의 경우는 열대지대의 경우보다 적합하고 우리지역에는 오히려 불합리한 값으로 표현이 되기 때문에, 습윤온난지대의 적황색토에서는 정의 ③의 경우가 타당하나 진의 laterite의 경우는 기후인자의 차이가 있으나, laterite성토와 bilaterite성토는 화학조성에 의한 지표로서 합리적으로 적용할 수 있다. 각지의 화학적 풍화도(CWI)와 SiO_2 또는 SiO_2/Al_2O_3 의 광물조성과의 관계는 다음 그림 15와 같으며 풍화도와는 반비례하는 경향으로 토양학 또는 지리학적인 특징을 확인

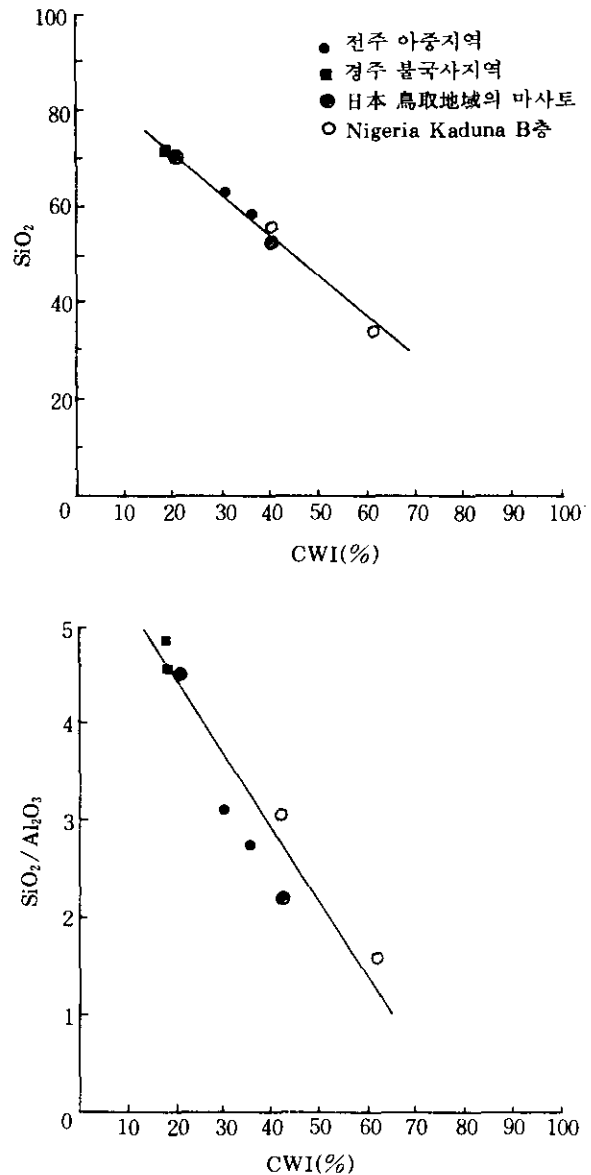


그림 15 각지의 적황색토의 화학적 풍화도와 광물조성과의 관계

할 수 있다. 이는 풍화도가 큰 열대 및 아열대 지대의 기후하에서는 습윤온난기후에서 보다 SiO_2 의 용탈이 크다는 것을 알 수 있고 풍화가 진행할수록 Al_2O_3 의 값은 증가한다는 것을 알 수 있다.

습윤온난아열대지역의 합리적인 조건으로는 첫째, 연간 수분증발량이 열대에 비해 적은 것

둘째, 열대지역에 비해 암 또는 잔적토의 화학조성 변화에 있어서 SiO_2 양 또는 SiO_2/Al_2O_3 의 비가 큰 것

셋째, 풍화과정에서 규산의 용탈과 더불어 $Al_2O_3+H_2O(+)$ 의 증가가 큰 것

따라서 정의를 다음과 같이 지표③에서

$$(Al_2O_3+Fe_2O_3) / \text{전체성분}$$

=0.20~0.50…… laterite성토(습윤아열대의 적황색토)

<0.2…… 비laterite(non-laterite soil)

으로 보며, 중위도권의 laterite성토, 비laterite를 화강암질 풍화잔적토의 적황색토와 비적황색토로 분류할 수 있으며 다음 그림 16과 같이 전주 아중지역, 경주 불국사지역의 구분이 명확히 되며 경험적이고 공학적인 지수로서 이용할 수 있을 것이다.

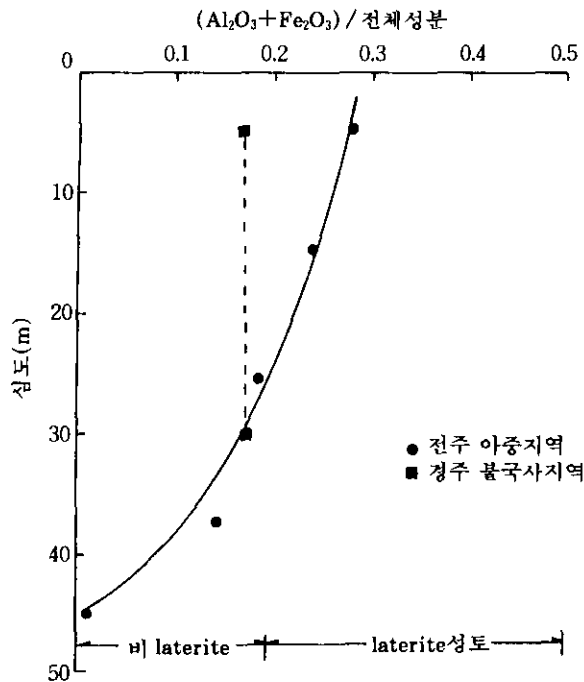


그림 16 심도와 삼산화철에 따른 적황색토화 지대의 구분

전주 아중지역의 상층부인 적황색토의 값은 0.35 정도이고, 경주 불국사지역의 상층부의 값은 0.17 정도로서 laterite성토와 비laterite로서의 구분을 확인할 수 있다.

또한 서해안의 홍성, 대천지역도 위 정의에 의한 적황색토의 분석결과 각각 0.34, 0.31 등으로 lateritic soil에 속하며 지형인자로서의 형태적 형성도 비교적 낮은 구릉지대 등에 분포되어 있음을 확인할 수 있었다. 따라서 열대 및 습윤온난아열대지역을 포함하여 제2장의 ③의 정의를 적용하는 것이 지표로서 타당하리라 본다.

5. 결론

우리지역의 화강암질 풍화잔적토중 적황색토화된 흙의 화학조성은 열대 및 아열대의 laterite성토에 비하여 규산이 더 많이 잔류하는 것이 특징이고 산화철은 토양을 적황색토화 하나 고결화 효과는 좀 적어 laterite와 같은 특유의 고결 효과는 적으며, 점성 또는 가소성을 지니고 있어 점토광물은 kalinite화 하는 것이 특징이다. 습윤아열대지대의 적황색토화지역에서는 정의③을 적용시킬 수 있으며 화학적 비가 전주아중지역은 0.28, 홍성 및 대천의 서해연안 지역은 0.33범위이고, 비laterite인 경주 불국사 지역은 0.17 범위로 적황색토의 정성적 지표로서 구분할 수 있다.

참고문헌

1. 임병조, 김영수 공역, (1983), "토질 시험법", 형설출판사.
2. 鄭斗永, 李廣俊, (1994), "赤黃色土化한 花崗風化殘積土의 工學的 特性", 창립10주년기념 한국지반공학발자취. 한국지반공학회, pp278~289.
3. 金子誠二, 末岡 徹, 安 伸二, (1982), "熱帶及び溫帶地方における花崗岩質風化殘積土の土質化學的檢討", 第17回土質工學研究發表會, pp.77~60.

4. 菅野一郎,(1961), “日本の主要上壤型の生成・分類學的研究(第2篇 赤黄色土), 日本農林省九州農業試験場紀要, pp.187~302.
5. 末岡 徹, 高田直樹, 門田 博,(1981), “熱帯風化殘積土の土質工學的特性と路盤材としての利用”, 土と基礎 29~12, pp.27~32.
6. 末岡 徹(1983), “化學的風化指標を使った花崗岩質風化殘積土の判別・分類”, 土質工學會, 風化殘積土に関するシンポジウム發表論文集, pp. 89~94.
7. 末岡 徹, 小山 哲, 佐藤洋,(1984), “ナイジェリアアカドナ地方における花崗岩質風化殘積土の地盤工學的考察”, 土木學會論文集 第346號/Ⅲ-1, pp.67~76.
8. 古河幸雄, 藤田龍之,(1995), “阿武隈高地に分布するまさ土の風化度の評價”, 第30回土質工學研究發表會, pp.347~350.
9. 松井 健, (1979), “ペドロジーへの道”, 蒼樹書房
10. 三浦 清,(1976), “島取花崗岩に見られる黒雲母の特殊變質とその應用地質學的意義”, 應用地質 17卷 4號, pp.16~23.
11. 村田秀一, 兵動正幸, 安福規之, (1985), “等方硬化モデルによる風化殘積土の力學舉動の評價について”, 風化殘積土の關する Symposium發表論文集. 土質工學會, pp.167~172.
12. Little,A.L.(1978), “Laterites”, Third Asian Regional Conference SMFE, pp.61~71.
13. Cullity, B.D.(1967), “Elements of X-Ray Diffraction, Addison-Wesely Publishing Company, INC.
14. Jeffries, C.D. Rolfe B.N. and Kunze, G.W. (1953), “Mica Weathering Sequence in the Highfield and Chester Soil Profiles”, Soil Science Society Proceeding, Vol 17., No. 1, pp. 337~339.
15. Ollier C.D. 著, 松尾新一郎 監譯,(1971), “風化—その理論と實態”, ラテイス, pp.156~164.
16. Chang, T.T, Pern W.H. and Huang, C.C, (1990), “The Study of Fly Ash Stabilization on Lateritic Soil in Taiwan”, Proceeding of Tenth Southeast Asian Geotechnical Conference. Vol 1., pp.41~46.
17. Gidigasu, M.D. (1976), “Laterite Soil Engineering”, Elsevier Scientific Publishing Company.
18. Madu, R.M. (1977), “An Investigation into the Geotechnical and Engineering Properties of Some Laterites of Eastern Nigeria”, Engineering Geology, 11, pp.101~125.
19. Ola, S.A.(1977), “the Potentials of Lime stabilization of Lateritic soils”, Engineering Geology, 11, pp.305~317.

(접수일자 1996. 3. 26)