

## Fall Cone을 이용한 풍화토의 풍화도 측정(실트질 모래에 대하여)

### Estimation of Weathered Degree Using Fall cone in Weathered Soil ; Silty Sand

손영환\* · 김성필\*\* · 장병욱\*\*\*

Son, Young Hwan\* · Kim, Seong Pil\*\* · Chang, Pyoung Wuck\*\*\*

#### Abstract

It is essential to analyze and classify the physical characteristics of weathered granite for engineering purposes. This paper is to suggest a physical method to determine the degree of weathering of weathered soils.

A new classification method for determining the degree of weathering is suggested, based upon the results from laboratory tests including fall cone test.

According to the proposed physical method using fall cone apparatus, the measured values of the samples from the same area show distinctive difference of weathering. The water content tends to increase with increasing the degree of weathering at the same penetration in fall cone test. And relationship between CWI and water content are expressed one equation in Hwaseong area and Ilsan area.

*Keywords : Degree of weathering, Fall cone test, Chemical weathering index*

## I. 서 론

풍화의 경우 외부로부터 여러 가지 환경에 의하여 지표면으로부터 시작되어 하부로 점차 풍화가 진행되어 간다는 개념으로 연구가 진행되어져 왔다. 그러나 지역적인 여건이나 현장의 상태에 따라 측면으로부터의 풍화 진행이나 절리, 균열을 따라 발달하는 풍화의 진행을 볼 수 있다. 이것은 풍화가 반드시 지표면으로부터 진행되어 균일하게 하부로 진행되지 않는다는 것이다.

특히, 실트 혹은 사질토의 경우 sampler를 이용한 불교란 시료의 채취가 쉽지 않으므로 교란된 시료를

이용하여 풍화도를 판별할 수 있는 방법이 필요하다.

기존의 풍화도 판별방법은 주로 화학적 방법에 의존하거나, 표준관입시험의 N치를 기준으로 결정하고 있다. 그러나 N치를 기준으로 한 풍화도의 결정은 신뢰성이 떨어지고, 화학적 방법은 범용적으로 적용하고 있으나 특수한 분석기기와 전문가의 분석이 필요하므로 보다 간편하고 신속하게 적용할 수 있는 물리적인 방법이 필요하다.

이에 본 연구에서는 일반적인 풍화토의 교란된 시료를 이용하여 풍화도 결정의 기준이 될 수 있는 보다 간편하고 신속한 물리적인 방법으로 Fall cone을 제시하였으며, 이에 대한 결과를 비교하기 위하여 화학적 방법인 CWI를 적용하였다.

\* 위스콘신주립대학교 토목 및 환경공학과 연구원

\*\* 서울대학교 지역시스템공학 연구원

\*\*\* 서울대학교 지역시스템공학 교수

† Corresponding author. Tel.: +82-2-880-4593

Fax: +82-2-873-2087

E-mail address: agsol@hanmail.net

## II. Fall cone test 및 CWI

### 1. Fall cone test

흙의 콘시스턴스를 결정하는 Casagrande 방법에서 발생하는 단점을 보완하기 위해 여러 학자들에 의해 많은 연구가 진행되어 왔으며 이에 대한 대안으로 Fall cone test가 개발되었다 (Houlsby, 1982; Koumoto and Houlsby, 2001; Wood, 1982; Wood, 1985). 영국과 스웨덴 그리고 캐나다에서는 Fall cone을 이용하여 액성한계를 결정하는 방법을 관련 규정에 포함시키고 있으며, Casagrande방법에 비해 더 신뢰할 수 있는 방법으로 여겨지고 있다(Koumoto and Houlsby, 2001).

### 2. CWI(Chemical Weathering Index)

화학 조성의 변화에 따라 풍화도를 측정하는 가장 대표적인 방법으로 Sueoka(1988)가 제시한 CWI(Chemical Weathering Index)를 사용하고 있으며, 이는 지질학적, 공학적 목적으로 풍화도를 분류하는데 사용되고 있다. 그 외 많은 연구자들이 화학적 풍화지수를 제시한 바 있으나, 이러한 화학적 풍화지수의 결정에는 특수한 장치와 기술이 필요하므로 많은 시간과 비용의 제약이 있다. Table 1은 기존 연구자들이 제시한 여러 가지 화학적 풍화지수를 정리한 것이다.

Sueoka는 화학분석을 통해 풍화에 예민한 광물을 분석하여 화학적 풍화지표로 삼았으며, 이를 CWI로 표현하였다. CWI는 풍화가 진행되면서 화학성분이 풍화에 의해 잔류·증가된다는 관점에서 제안된 것으로 풍화의 과정을 설명하고 있다.

특히, Sueoka의 CWI는 암반 및 풍화토에 대하여 풍화과정 전체를 표현할 수 있으며, 비교적 간단한 경험적 표현을 목표로 제안된 것이다. 이에 본 연구에서는 Sueoka가 제안한 CWI를 풍화도의 기준으로 사용하였다.

## III. 재료 및 실험방법

화성지역과 일산지역에서 채취된 시료를 이용하여 XRF(X-선 형광분석, X-ray fluorescence spectroscopy)분석, Fall cone test를 실시하였다.

### 1. 재료

본 연구에 사용한 시료의 물리적 특성은 Table 2와 같으며 통일분류법상 실트질모래(SM)로 분류되었고 비소성이었다. 또한, 구해진 비중의 범위는 2.66~2.75였으며 화성지역 시료가 일산지역 시료에 비해 비중이 조금 크게 나타났다. 이는 KS F 2308에 명기하고 있듯이 흙의 비중은 그 흙을 구성하고 있는

Table 1 Chemical Weathering Indexes

Indication	Weathering Index	Remarks
RR	$\frac{SiO_2}{Al_2O_3}$	Ruxton's Ratio, Ruxton(1968)
WPI	$\frac{K_2O + Na_2O + CaO + MgO - H_2O^+}{SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3 + TiO_2 + CaO + MgO + Na_2O + K_2O} \times 100$	Weathering Potential Index, Reiche(1943)
PI	$\frac{SiO_2}{SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3 + TiO_2 + FeO + MgO} \times 100$	Product Index, Reiche(1943)
S.T.I	$\frac{SiO_2 / TiO_2}{(SiO_2 / TiO_2) + (SiO_2 / Al_2O_3) + (Al_2O_3 / TiO_2)} \times 100$	Silica-Titania Index, Jayawardena & Eiji Izawa(1994)
A.T.I	$\frac{Al_2O_3 / TiO_2}{(SiO_2 / TiO_2) + (SiO_2 / Al_2O_3) + (Al_2O_3 / TiO_2)} \times 100$	Alumina-Titania Index, Jayawardena & Eiji Izawa(1994)
C.W.I	$\left( \frac{Al_2O_3 + Fe_2O_3 + TiO_2 + LOI}{All\ Chemical\ components} \right)_{mole} \times 100$	Chemical Weathering Index, Sueoka(1988)

Table 2 Physical properties of soils of Hwaseong area

Soils	W <sub>field</sub> * (%)	Specific Gravity(G <sub>s</sub> )	USCS	LL(%)	PL(%)
H-1	35.5	2.75	SM	NP	NP
H-2	18.0	2.73	SM	NP	NP
H-3	20.9	2.72	SM	NP	NP
H-4	18.6	2.68	SM	NP	NP

Table 3 Physical properties of soils of Ilsan area

Soils	W <sub>field</sub> * (%)	Specific Gravity(G <sub>s</sub> )	USCS	LL(%)	PL(%)
L-1	23.2	2.66	SM	NP	NP
L-2	16.2	2.67	SM	NP	NP
L-3	19.1	2.70	SM	NP	NP
L-4	17.8	2.69	SM	NP	NP

\* : 현장함수비

물질의 단위중량과 관계되며 철성분을 함유하고 있으면 비중은 크게 나타나므로 이에 의한 영향으로 사료된다. 이는 XRF의 결과에서 철성분을 가진 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 함량에서 확인할 수 있다. 본 연구에 사용된 화성지역의 시료는 경기도 화성군 향남면에서 채취하였으며, 채취 위치별로 각각 H-1, H-2, H-3, H-4로 명기하였다. H-1~H-4 시료는 동일한 지역의 인접 위치에서 채취된 교란시료이며, 채취심도는 1.0~3.0 m이다. 일산지역의 시료는 경기도 고양시 일산구 산황동 일대에서 채취하였으며, 동일 위치에서 심도별로 지표하 4.5 m, 6.7 m, 7.5 m, 9.5 m에서 채취하였으며, 각각 L-1, L-2, L-3, L-4로 명기하였다.

## 2. 실험방법

흙 입자의 화학적 조성을 분석하고 CWI를 구하기 위하여 노건조시킨 흙을 곱게 갈아 XRF분석을 수행하였다. Table 1에서 제시한 Sueoka(1988)의 식 (1)

을 이용하여 각 시료에 대한 CWI를 산정하였다.

$$CWI = \left( \frac{Al_2O_3 + Fe_2O_3 + TiO_2 + LOI}{All\ Chemical\ components} \right)_{mole} \times 100(\%) \quad (1)$$

그리고 Fall cone test를 위하여 Feng(2000)이 제안한 직경 60 mm, 높이 20 mm의 황동 링을 제작하여 시험에 사용하였다. 이 방법은 시험을 위한 시료 준비가 간편하며 시료 내부에 공기가 혼입되는 것을 방지할 수 있다. 본 연구에서는 cone의 선단각이 60°이고, 무게가 60 g인 스웨덴식 Fall cone 장치를 이용하였으며, 자연 함수비 상태의 흙에 증류수를 가하여 시험하였다. 각 함수비에 대한 관입은 3회 이상 실시하여, 평균값으로 함수비에 대한 관입량을 구하였다. 0.425 mm 체를 통과한 시료를 사용하며, 흙시료와 물을 혼합하여 공극이 생기지 않도록 용기에 담고 cone 선단이 표면에 닿을 정도로 하여 고정시킨다. 이후 초기 gauge 값을 기록하고, 관입시킨 다음 5초가 경과 후 gauge 값을 기록하여 관입량을 계산한 후 시료에 증류수를 첨가하여 함수비를 증가시키면서 시험을 반복하여 실시하며, 결과를 정리하여 관입량과 함수비의 관계 그래프를 작성하였다.

## IV. 결과 및 고찰

CWI를 기준으로 한 풍화도와 Fall cone test에서 얻은 결과를 비교하여 풍화도 판별기법으로의 적용성에 대해 검토하였다. 또한 결과를 검증하기 위하여 일산지역에서 채취한 시료에 대해서도 시험을 실시하였다.

### 1. 화성지역의 결과

#### 가. XRF분석 결과

Table 4 Results of XRF in Hwaseong area

Sample	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	L.O.I.	CWI
H-1	62.26	16.15	0.77	8.55	1.89	0.31	0.60	1.90	0.11	0.07	4.03	28.44
H-2	60.42	16.70	0.98	9.27	2.68	1.51	0.91	0.99	0.12	0.14	5.36	32.05
H-3	63.26	17.12	0.80	7.81	1.99	0.76	1.31	1.82	0.11	0.07	3.84	27.52
H-4	59.66	16.02	0.76	8.64	1.88	0.58	0.46	1.30	0.11	0.09	5.33	32.49

unit : %

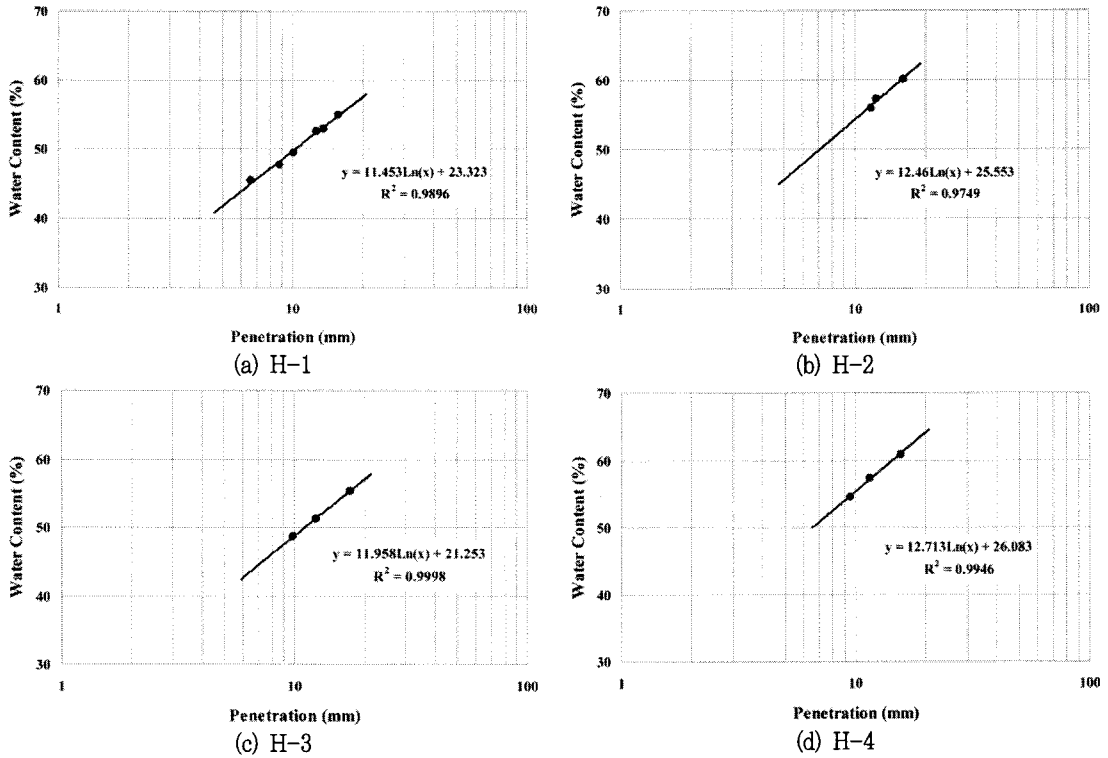


Fig. 1 Results of Fall cone test in Hwaseong area

채취한 시료의 XRF 결과를 이용하여 각 시료에 대한 화학적 풍화지수(CWI)를 산정하였으며, 결과는 Table 4와 같다.

XRF 결과를 이용하여 구한 CWI에 따른 풍화정도는 H-4 > H-2 > H-1 > H-3의 순이었으며, 박 등 (1999)이 언급하였듯이 CWI는 SiO<sub>2</sub>와의 관계에서도 좋은 대응을 보였다. 즉, 풍화도가 높을수록 CWI는 높은 값을 보였으며, 상대적으로 풍화저항력이 큰 SiO<sub>2</sub>는 작은 값으로 나타났다.

나. Fall cone test 결과

4개소에서 채취한 시료에 대한 Fall cone test 결과를 Fig. 1에 도시하였다.

상기의 Fall cone test 결과를 이용하여 구한 관입량과 함수비의 관계는 회귀식으로 구하여 Table 5와 같이 정리할 수 있다. 또한, 이들 관계식을 이용하여 관입량별 함수비를 Table 6과 같이 구할 수 있으며, 이를 이용하여 H-1~H-4의 각 시료에 대한 관입량

과 함수비의 관계를 Fig. 2와 같이 나타낼 수 있다.

Table 5 Regressive equation of water content against penetration of Hwaseong area

Sample	Regressive Equation	R <sup>2</sup>	Remarks
H-1	$y = 11.453\text{Ln}(x) + 23.323$	0.9896	x : penetration(mm) y : water content(%)
H-2	$y = 12.46\text{Ln}(x) + 25.553$	0.9749	
H-3	$y = 11.958\text{Ln}(x) + 21.253$	0.9998	
H-4	$y = 12.713\text{Ln}(x) + 26.083$	0.9946	

Table 6 Water content against penetration depth of Hwaseong area

Penetration (mm)	Water Content(%)			
	H-1	H-2	H-3	H-4
8	47.14	51.46	46.12	52.52
9	48.49	52.93	47.53	54.02
10	49.69	54.24	48.79	55.36
11	50.79	55.43	49.93	56.57
12	51.78	56.51	50.97	57.67
CWI(%)	28.44	32.05	27.52	32.49

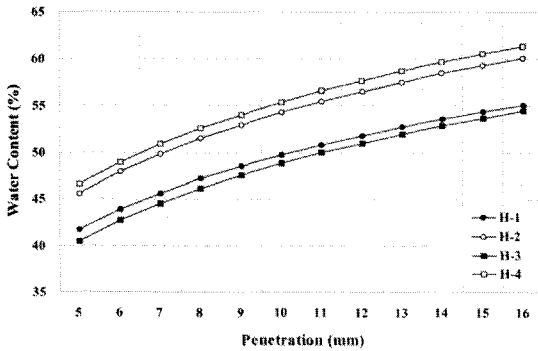


Fig. 2 Relationship between penetration and water content of Hwaseong area

Table 6에서와 같이 풍화도가 높은 시료의 동일한 관입량에 대한 함수비는 풍화도가 낮은 시료에 비해 상대적으로 크게 나타났다. Table 6과 Fig. 2에서 보면 관입량과 함수비에 관한 관계는 CWI로 나타난 풍화도와 선형적으로 비례 관계가 있다는 것을 알 수 있다. 이와 같이 화성지역의 풍화토 시료는 동일한 관입량에서 함수비가 다르게 나타났고, 풍화도의 차이에 따라 나타나는 경향과 잘 일치하였다.

모든 관입량에서 화학적 풍화지수 CWI와 함수비의 관계는 선형적으로 잘 일치하며, 경향도 거의 유사하게 나타났다. Fig. 3은 5~16 mm의 각 관입량에 대한 CWI와 함수비와의 관계를 정리하여 도시한 것이다.

이때 각각의 관입량에 대한 CWI와 함수비의 관계는 식 (2)과 같이 1차식으로 표현할 수 있었으며, 결과는 Table 7에 정리하였다.

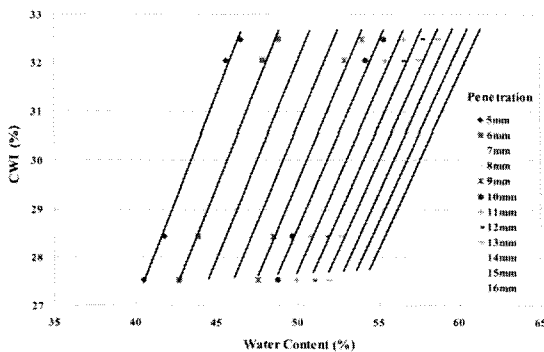


Fig. 3 Relationship between water content and CWI of all cases of Hwaseong area

$$CWI(\%) = a \cdot w(\%) + b \quad (2)$$

이때,  $w$  : 함수비 (%),  $a, b$  : 계수

각 시료에 대하여 Fall cone 시험을 실시하고 이를 통해 구해지는 각각의 관입량별 함수비를 이용하여 Table 7에 적용하면 CWI를 추정할 수 있다. 즉, 1회의 Fall cone test를 실시하여 구해진 관입량별 함수비 결과를 이용하여 동일한 지역에서의 각 시료에 대한 상대적인 풍화정도를 구할 수 있다.

화성지역에서 구한 관계식의 계수  $a$ 의 경우 0.715~0.856의 범위로 나타났으며,  $b$ 의 경우 (-)7.21~(-)11.15의 범위로 나타났다. 또한 Table 7에서 정리한 관계식으로 구할 수 있는 CWI의 범위는 17.45~44.17%이며, fall cone test시 다음의 사항을 고려해야 할 것으로 판단된다.

첫째, 시료의 성형이나 시험의 편리성 등을 고려하면 관입량 10 mm 전·후의 함수비가 가장 적당할 것으로 판단된다. 관입량이 8 mm 미만일 경우 시료의 성형이 쉽지 않을 뿐 아니라 시료의 함수비가 균일하지 못한 것으로 판단된다. 둘째, 관입량 8~12 mm 범위에 해당하는 CWI의 값은 19.5~38.6%의 범위로 일반적인 풍화도의 범위에 해당하므로 이를 고려하는 것이 가장 합리적일 것으로 판단된다.

Table 7 Regressive equation of CWI vs. water content of Hwaseong area

Penetration (mm)	Regressive Equation	R <sup>2</sup>	Remarks
5	$CWI = 0.856w - 7.21$	0.9957	$w$ : Water content(%) CWI : Chemical Weathering Index(%)
6	$CWI = 0.832w - 7.98$	0.9961	
7	$CWI = 0.812w - 8.58$	0.9959	
8	$CWI = 0.795w - 9.07$	0.9955	
9	$CWI = 0.780w - 9.47$	0.9949	
10	$CWI = 0.768w - 9.81$	0.9942	
11	$CWI = 0.757w - 10.11$	0.9935	
12	$CWI = 0.747w - 10.37$	0.9928	
13	$CWI = 0.738w - 10.60$	0.992	
14	$CWI = 0.729w - 10.80$	0.9913	
15	$CWI = 0.722w - 10.98$	0.9906	
16	$CWI = 0.715w - 11.15$	0.9899	

Table 8 Results of XRF of Ilsan area

unit : %

시료	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	L.O.I.	CWI
L-1	63.86	16.97	0.75	8.23	1.20	0.69	1.08	1.65	0.03	0.06	4.66	29.88
L-2	70.49	13.66	0.52	6.67	0.69	0.20	1.06	2.54	0.11	0.06	3.39	22.99
L-3	74.39	12.96	0.22	5.12	0.42	0.13	1.62	2.24	0.27	0.03	3.16	20.53
L-4	60.86	24.25	1.17	4.89	0.58	0.17	0.52	4.49	0.07	0.06	3.02	29.29

## 2. 일산지역의 결과

### 가. XRF분석 결과

일산지역 시료의 XRF 분석결과는 Table 8과 같다.

XRF 결과를 이용하여 구한 CWI에 따른 풍화정도는 L-1 > L-4 > L-2 > L-3의 순이며, L-1과 L-4 시료를 제외한 일산시료와 화성시료의 CWI는 SiO<sub>2</sub>와의 관계에서 좋은 대응을 보였다.

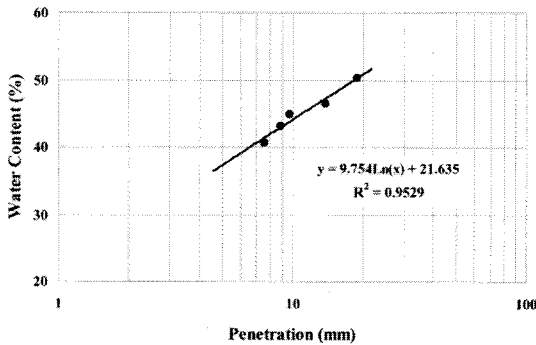
### 나. Fall cone test 결과

L-1~L-4 시료에 대한 fall cone test 결과를 Fig. 4에 나타내었다.

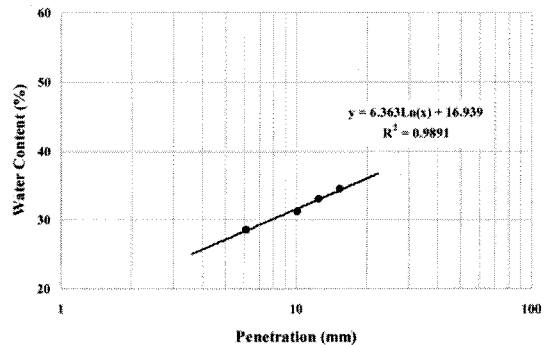
Table 9 Regressive equations of water content against penetration in Ilsan area

Sample	Regressive Equation	R <sup>2</sup>	Remarks
L-1	$y = 9.754\ln(x) + 21.635$	0.9529	x : penetration(mm) y : water content(%)
L-2	$y = 6.363\ln(x) + 16.939$	0.9891	
L-3	$y = 5.614\ln(x) + 15.109$	0.9826	
L-4	$y = 6.505\ln(x) + 24.893$	0.9985	

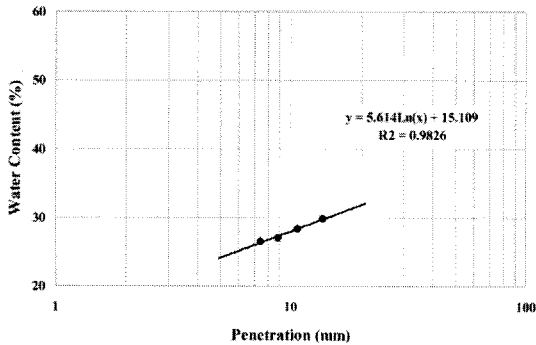
Fall cone test 결과를 이용한 관입량과 함수비의 관계는 Table 9와 같이 정리할 수 있으며, 이들 관계식을 이용하여 관입량별 함수비를 Table 10과 같이 구할 수 있다. 또한 이를 이용하여 L-1~L-4의 시료에 대한 관입량과 함수비의 관계를 Fig 5에 도시하였다.



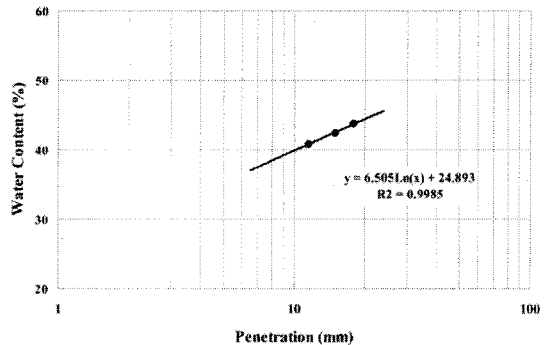
(a) L-1



(b) L-2



(c) L-3



(d) L-4

Fig. 4 Relationship between penetration and water content of Ilsan area

Table 10 Water content against penetration depth of Ilsan area

Penetration (mm)	Water Content(%)			
	L-1	L-2	L-3	L-4
8	41.92	30.17	26.78	38.42
9	43.07	30.92	27.44	39.19
10	44.09	31.59	28.04	39.87
11	45.02	32.20	28.57	40.49
12	45.87	32.75	29.06	41.06
CWI(%)	29.88	22.99	20.53	29.29

Table 10과 같이 상대적으로 풍화도가 큰 경우 동일한 관입량에 대한 함수비는 크게 나타났다. 이는 화성시료의 경우와 동일한 경향을 보여주는 결과이다.

상기의 표와 그림에서와 같이 일산지역의 풍화도 역시 관입량과 함수비에 관한 관계는 선형적으로 잘 일치하는 것으로 나타났다. Fig. 6은 5~16 mm의 범위에 대한 CWI와 함수비와의 관계를 도시한 것이다.

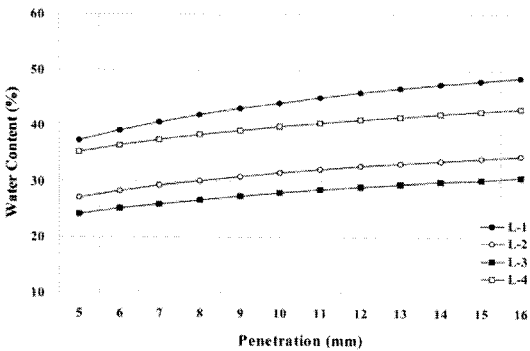


Fig. 5 Relationship between penetration and water content of Ilsan area

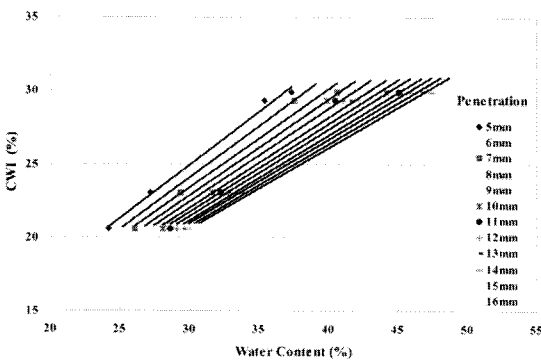


Fig. 6 Relationship between CWI and water content of all cases of Ilsan area

Table 11 Regressive equations CWI vs. water content of Ilsan area

Penetration (mm)	Regressive Equation	R <sup>2</sup>	Remarks
5	$CWI = 0.728w + 3.09$	0.9939	w : Water content(%) CWI : Chemical Weathering Index(%)
6	$CWI = 0.697w + 3.16$	0.9881	
7	$CWI = 0.672w + 3.24$	0.9822	
8	$CWI = 0.651w + 3.33$	0.9766	
9	$CWI = 0.633w + 3.42$	0.9712	
10	$CWI = 0.618w + 3.51$	0.9662	
11	$CWI = 0.604w + 3.59$	0.9616	
12	$CWI = 0.592w + 3.67$	0.9572	
13	$CWI = 0.581w + 3.74$	0.9532	
14	$CWI = 0.571w + 3.81$	0.9494	
15	$CWI = 0.562w + 3.88$	0.9459	
16	$CWI = 0.554w + 3.94$	0.9426	

일산지역의 결과는 화성지역 시료에서 나타난 결과와 유사한 경향을 보여주었다. 각 관입량에 대한 CWI와 함수비의 관계는 Table 11과 같으며 식 (2)와 같이 표현할 수 있었다. 이때, 계수 a는 0.554~0.728, b는 3.09~3.94의 범위로 나타났다. 또한, 화성지역 시료와 마찬가지로 Fall cone 시험을 실시하고 이를 통해 구해지는 각각의 관입량별 함수비를 이용하여 Table 11에 적용하면 CWI를 추정할 수 있고 동일한 지역에서의 각 시료에 대한 상대적인 풍화정도를 구할 수 있다.

Table 11에 정리된 식을 적용하여 구할 수 있는 CWI의 범위는 26.11~46.79% 정도이나, 화성시료에서 제시한 바와 같이 관입량 10~12 mm에서 풍화도를 판단하고 이러한 범위 내에서 CWI의 값을 고려할 경우 27.34~40.56%의 범위로 일반적인 풍화도의 범위에 해당하므로 이를 고려하여 풍화도를 고려하는 것이 가장 합리적인 것이다. 이때 a의 범위는 0.592~0.618, b의 범위는 3.51~3.67인 것으로 나타났다.

## V. 요약 및 결론

화성지역과 일산지역에서 채취한 풍화도 시료에 대해 Fall cone test를 실시한 결과, 동일한 관입량에서 측정된 함수비는 시료의 풍화 정도에 따라 일정

한 차이를 보였다. 즉, 풍화도가 클수록 Fall cone test의 동일한 관입량에서 얻어지는 함수비는 큰 값을 나타내었다.

두 지역의 시료에 대한 CWI와 함수비의 관계는  $CWI(\%) = a \cdot w(\%) + b$ 의 식으로 표현할 수 있었다. 이 식에서 계수 a와 b의 값을 지역별로 구분하여 보면 화성지역의 경우 계수 a는 0.715~0.856의 범위로 나타났으며, b는 (-)7.21~(-)11.15의 범위로 나타났다. 일산지역의 경우 계수 a는 0.554~0.728의 범위로 나타났으며, b는 3.09~3.94의 범위로 나타났다. 본 연구를 수행하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 풍화도와 함수비는 화성지역과 일산지역에 따라 각각 일정한 경향을 가지면서 비례관계를 나타내었다.

2. 화성과 일산의 두 지역에서 채취된 시료에 대해서 공통적으로 하나의 관계식을 적용할 수 있었다. 단, 지역적인 풍화도의 차이는 모암의 종류나 특성 그리고 풍화환경 등의 영향에 의한 것으로 판단되며, 이로 인해 Fall cone test 결과 값의 차이가 발생하는 것으로 사료된다.

3. Fall cone test를 이용하여 상대적인 풍화도를 결정시, 관입량의 범위가 8~12 mm일 경우의 함수비 값을 기준으로 하는 것이 가장 합리적일 것으로 판단된다.

4. 두 지역의 풍화도를 표현한 식 (2)의 계수 a값의 범위는 0.554~0.856의 범위를 가지고, 풍화도가 높을수록 a값은 커지는 경향을 보였다. a값의 변화가 작다는 것은 지역에 따라 절대값의 차이는 있을 수 있으나 경향은 유사하다는 것을 의미 한다.

5. Fall cone test를 실시하여 얻은 결과를 이용하여 동일한 지역의 교란된 풍화도에 대한 상대적인 풍화도를 측정하는 것이 가능할 것으로 판단된다.

## References

1. Feng, T. W., 2000, "Fall-cone penetration and water content relationship of clays", *Geotechnique* 50, No.2, pp.181-187
2. Houlsby, G. T., 1982, "Theoretical analysis of the fall cone test", *Geotechnique* 32, No. 2, pp.111-118
3. Jayawardena and Eiji, Izawa., 1994, "A New Chemical Index of Weathering for Metamorphic Silicate Rocks in Tropical Regions : A study from Sri Lanka", *Engineering Geology*, Vol. 36, pp.303-310
4. Koumoto, T. and Houlsby, G. T., 2001, "Theory and practice of the fall cone test", *Geotechnique* 51, No.8, pp.701-712
5. Park, B. K., Lee, K. C., 1999, "Evaluation Methods of Weathering Degree for Korean Decomposed Granite Soils", *Journal of Korean Geotechnical Society* Vol.15, No.1, pp.127-140
6. Reiche, P., 1943, "Reiche, Graphic representation of chemical weathering", *Journal of Sedimentary Petrology* 13, pp. 58-68
7. Ruxton, B. P., 1968, "Measures of the degree of chemical weathering of rocks", *Journal of Geology* 76, pp. 518-527.
8. Sueoka, T., 1988, "Identification and Classification of Granite Residual Soils Using Chemical Weathering Index", *Second Int. Conf. Geomech. Trop. Soils*, Singapore 1, pp. 55-61.
9. Wood, D. M., 1982, "Cone penetrometer and liquid limit", *Cambridge University Engineering Department, Technical notes*, pp.152-157
10. Wood, D. M., 1985, "Some fall cone tests", *Cambridge University Engineering Department, Technical notes*, pp.64-68