

## 풍화토층의 구분을 위한 시험법의 적용

### Alternative Methods for Classification on Weathered Strata

손영환\* · 노수각\*\*† · 김성필\*\*\* · 장병욱\*\*\*\*

Son, Young Hwan\* · Noh, Soo Kack\*\*† · Kim, Seong Pil · Chang, Pyoung Wuck\*\*\*\*

#### ABSTRACT

The undisturbed specimens used in this research were sampled in the field by the sequential sampling method. In addition, four testing methods were applied to identify for the characteristics and classification of weathered strata. N-value by standard penetration test was obtained from in the field and then analyzed using normalization method. Other methods such as X-ray grain size distribution, X-ray fluorescence spectroscopy(XRF), and fall cone test were carried out in the lab. These analyzed results indicate that distribution of particle, composition of minerals are changed in accordance with the degree of weathering, unusual strata and depth. Consequently, the weathered strata can be extensively separated into two parts according to the test results and each part was shown different in the strata characteristics. It can be prospected that mechanical characteristics should be different, even though mechanical tests were not applied. Furthermore, these results not only make up for the error by one testing method but also contribute more effectively and economically to the design and the construction.

**Keywords:** N-value; XRF; CWI; fall cone; degree of weathering

#### 1. 서 론

풍화토는 암석이 풍화되면서 나타나는 산물이며, 극단적인 풍화에 이르면 변질된 점성토의 형태를 가지기도 한다. 이러한 생성과정으로 인해 퇴적토와는 근본적으로 다른 특성을 가진다. 우리나라에 분포하고 있는 풍화토는 화강암 및 편마암 풍화토가 주를 이루며, 대부분의 풍화토는 모래질 흙으로 분류되는 경우가 많으나 실제로 거동특성은 상이한 점이 많다. 특히, 모암의 성질, 입자의 파쇄정도, 풍화도 등에 따라 다른 특성을 보이기도 하며, 동일한 위치에서 모암의 기원이 동일하다 할지라도 심도에 따라 다른 특성을 보이기도 한다. 그러나 동일한

위치에서의 심도에 따른 풍화토의 특성을 파악하는 것은 쉽지 않으며, 깊은 심도에 위치한 풍화토의 특성을 정확하게 판단하는 것은 더욱 어렵다. 그래서 설계나 시공시 이러한 특성을 반영하기가 쉽지 않고, 이를 간과하게 되면 비경제적인 설계나 시공이 될 가능성이 있으며 안전성 측면에서 문제를 일으킬 수도 있다. 이러한 가능성과 문제점을 최소화하기 위해, 설계나 시공에 앞서 심도에 따른 풍화토층의 분포와 개략적인 특성 파악 및 특이 지층의 확인 등은 매우 중요하다고 볼 수 있다.

이에 본 연구에서는 현장에서 일반적으로 사용하고 있는 표준관입시험의 N-value, X-ray 입도분석에 의한 결과를 이용한 통계적 분석, XRF 시험을 통한 구성광물의 분석, 그리고 Fall cone test를 통해 풍화토층의 심도별 분포와 특성을 판단하고자 한다. 또한, XRF 결과를 이용한 화학적 풍화지수(CWI)를 산정하여 심도별 풍화정도를 구하여, 시험결과와 풍화정도의 상관성에 대하여 확인하였다. 즉, 여러 가지 시험법을 적용하여 풍화토층에서 심도별로 나타나는 개략적인 특성을 확인하였으며, 각각의 시험방법에 의한 결과를 비교하여 적용성 여부를 판단하였다. 또한, 한 가지 시험방법에 의한 결과로 판단하기 어려운 부분이나 이에 대한 근거를 보완할 수 있는 방법으

\* 위스콘신주립대학교 토목및환경공학과 연구원

\*\* 서울대학교 지역시스템공학과 박사과정

\*\*\* 서울대학교 지역시스템공학과 연구원

\*\*\*\* 서울대학교 지역시스템공학과 교수

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

Fax: +82-2-873-2087

E-mail address: hih911@snu.ac.kr

2009년 1월 28일 투고

2009년 4월 27일 심사완료

2009년 5월 25일 게재확정

로의 적용성 여부도 판단하였다.

## II. 문헌고찰

표준관입시험은 지반조사시 기본적으로 수행되는 경우가 대부분이며 이를 통해 구해지는 N-value는 여러 가지 토질정수들을 구하는데 사용되고 있다. 또한, 기존 연구자들에 의해 다른 시험방법과의 상관성에 대해 많이 연구되어 왔다. Bae(1996)는 기초지반 강도정수와 N-value의 상관성에 대해 연구하였으며, Yoo 등(2005)은 표준관입시험 결과를 이용하여 지반의 액상화 평가에 사용한 바가 있다. 또한, Hong 등(2007)은 토사층과 풍화암반에 마찰지지되는 말뚝의 단위마찰지지력을 N-value와의 상관식으로 나타낸 바 있다. 이외에도 많은 연구자들이 연약지반 및 잔류토층에서 CPT와 SPT의 상관관계에 대해 연구한 바 있다(Kim 등, 2006; Koo 등, 2003). 본 연구에서는 개략적인 지층구분을 위해 N-value를 이용하였으며, 이에 대한 결과를 다른 시험방법의 결과와 비교하여 신뢰성을 향상시켰다.

흙의 입도를 측정하기 위해 많은 방법들이 사용되고 있으며, 조립질 흙에 대해서는 표준체를 이용한 입도분석이 주로 사용된다. 세립질 흙에 대해서는 피펫방법, 비중계방법, SediGraph, Laser 입도분석기 등이 이용되어진다. 본 연구에서는 SediGraph를 이용한 X-ray 입도분석을 적용하였으며, 이 방법은 주로 퇴적학 분야에 적용되어왔다. Kukul(1971)은 퇴적구조를 1차 구조와 2차 구조로 나누었으며, X-ray를 이용한 입도분석 방법은 이러한 퇴적구조를 분석하는 방법으로 사용된다. 그러나 일반적으로 퇴적물의 이동특성, 퇴적과정 및 퇴적환경을 규명하는데 사용되어졌다(Youn 등, 2000; Rea and Hovan, 1995; Saner 등, 1996) 또한, 퇴적물의 분포와 조립질, 세립질의 존재와 부재를 평가하는데 사용되기도 하였다(Lee 등, 2006). 이에 본 연구에서는 풍화토에 대한 조립질, 세립질의 평가와 분포특성에 관해 적용하였다.

Fall cone test는 Casagrande 방법에서 발생하는 단점을 보완하기 위한 대안으로 개발되었으며, 여러 학자들에 의해 연구가 진행되어 왔다(Houlsby, 1982; Koumoto and Houlsby, 2001; Wood, 1982; Wood, 1985). 유럽과 캐나다 등에서는 Fall cone을 이용하여 액성한계를 결정하는 방법에 대한 규정을 가지고 있으며, 일부 학자들은 Casagrande방법에 비해 더 신뢰할 수 있는 방법으로 여기고 있다(Koumoto and Houlsby, 2001). 그리고 cone의 선단각, 무딘정도, 표면의 거친정도 등은 결과 값에 영향을 미친다고 하였다(Houlsby, 1982). 한편, 풍화토의 산정을 위해 많은 연구자들이 화학적 풍화지수를 제안한 바 있다(Reiche, 1943; Ruxton, 1968; Jayawardena

and Izawa, 1994; Sueoka, 1988). 이 중 화학 조성의 변화에 따라 풍화도를 측정하는 방법으로 Sueoka(1988)가 제시한 CWI(Cheical Weathering Index)를 많이 사용하여 풍화토를 분류하고 있다. 그러나 이러한 화학적 풍화지수의 결정에는 특수한 장치와 기술이 필요하므로 많은 시간과 비용의 제약이 있을 수 있으며, 이러한 단점의 보완을 위해 Son 등(2008)은 Fall cone을 이용하여 풍화도를 측정하는 방법을 제시한 바 있다. 풍화는 물리적 환경과 화학적 환경의 변화에 의해 발생한다. 이는 주변 환경의 조건에 따라 풍화저항력이 큰 광물이라도 풍화의 진행이 빨라질 수 있고, 풍화저항력이 적은 광물이라도 풍화의 진행이 늦어질 수 있다는 것이다. 특히, 풍화토는 물과 접촉하면 강도가 현저하게 저하되는 것으로 보고되고 있다. Kim 등(2001)은 세립분의 함유량이 적어질수록 점착력은 작아지고, 내부마찰각은 커진다고 하였으며, Jeong 등(2000)은 입자파쇄는 시료의 비표면적 증가로 나타난다고 하였다. 한편, 풍화정도를 판단하는 지표로 화학적풍화지수, 강열감량, SiO<sub>2</sub>, 파쇄비는 좋은 대응을 보인다고 하였다(Park 등, 1998). 이와 같이 풍화토는 여러 가지 조건에 의해 파쇄되고 변하는 특성을 가지고 있음을 알 수 있으며, 이러한 특성에 기인하여 동일한 지점에 위치한다 하더라도 심도별로 다른 특성을 가질 수 있다.

## III. 재료 및 실험방법

### 1. 재료

본 연구에 사용한 시료는 경기도 김포지역에서 연속 sampling

Table 1 Physical properties of soils

Depth(m)	$\gamma_d(kN/m^3)$	Water Content(%)	Gs
14.0	12.80	41.6	2.75
15.0	13.19	38.9	2.75
16.0	13.81	38.4	2.74
17.0	15.67	27.6	2.73
18.0	16.13	24.6	2.72
19.0	16.08	25.5	2.73
20.0	17.29	19.0	2.72
21.0	18.17	14.9	2.69
22.0	16.44	25.8	2.70
23.0	16.54	27.4	2.74
24.0	19.18	11.9	2.70
25.0	19.13	14.2	2.69
26.0	19.65	13.7	2.72
27.0	19.13	17.8	2.72

을 실시하여 채취하였으며, 연구지역은 매립층과 풍화토층, 풍화암층의 순으로 형성되어 있다. GL-38.9m까지 연속으로 시료를 채취하였으며, 풍화토층은 GL-14.0~GL-29.0m에 분포하였다. 그러나 GL-28.0~GL-29.0m 지점에 위치한 시료는 채취된 양이 적어 동일한 시험을 수행할 수 없어, GL-14.0~GL-27.0m에서의 시료를 적용하였다. 심도별 시료의 물리적 특성은 Table 1과 같다.

## 2. 실험방법

연구지점에 대해서 회전수세식 시추기(POWER 3000)를 사용하여 시추조사와 표준관입시험을 병행하여 실시하였다. 또한, 채취된 시료에 대해 기본 물성시험인 함수비, 단위중량, 비중 시험을 실시하였으며, X-ray 입도분석, XRF(X-ray Fluorescence), Fall cone test를 수행하였다.

X-ray 입도분석은 Micromeritics사의 SediGraph 5000D 모델을 이용하였다(Fig.1(a)). 입도분석 결과 중 평균입도  $\phi = \log_2 D$ 로 나타내며, 모래( $>0.074\text{mm}$ )는  $\phi=3$ 까지, 실트( $0.074 > D > 0.002\text{mm}$ )는  $\phi=4 \sim 8$ , 점토( $<0.002\text{mm}$ )는  $\phi=9$ 보다 큰 값을 가지게 된다. 입도분석 결과는 평균입도 (mean  $\phi$ ), 분급도(sorting), 왜도(skewness), 첨도(kurtosis)의 향으로 분석하였다.

흙 입자의 화학적 조성을 분석하기 위하여 노건조 시킨 흙을 갈아서 XRF 분석을 수행하였다(Fig.1(b)). 분석에 사용된 기기는 Shimadzu사의 XRF-1700이다. 분석결과를 이용하여 화학적 풍화지수를 산정하였으며, Sueoka(1988)의 식(1)을 이용하였다.

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

한편, Fall cone test에는 Feng (2000)이 제안한 직경 60 mm, 높이 20mm의 황동 링을 사용하였으며, 시험에는 0.425

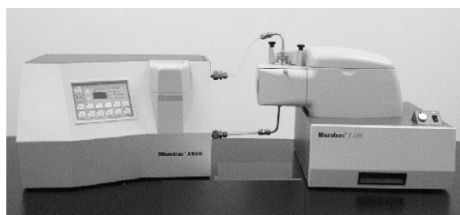
mm 체를 통과한 시료를 사용하였다. 또한, cone의 선단각이 60°이고, 무게가 60g인 스웨덴식 Fall cone 장치를 이용하였으며(Fig. 1(c)), 자연 함수비 상태의 흙에 증류수를 가하여 시험하였다.

## IV. 결과 및 고찰

### 1. 지층분포와 N-value

연구 지점의 지층분포는 매립층 하부에 심도 14.0m까지 퇴적층이 분포하고 있으며, 퇴적층 하부에 풍화대가 분포하고 있다. 풍화대는 풍화토층과 풍화암으로 구분할 수 있는데 GL-14.0~GL-29.0m까지 풍화토가 분포하며 GL-29.0~GL-37.3 m까지 풍화암이 분포하고 있다. 한편, GL-20.0~GL-21.0m 부근에 석영맥이 관입하고 있는 것으로 확인되어 이를 경계로 상부 풍화토층, 하부 풍화토층으로 구분하여 명기하였다. 또한, Fig. 2(a)에서 지층은 점토층(C), 실트층(M), 모래층(S), 자갈층(G), 암층(R)으로 구분하였으며 각 층의 개략적인 사항과 입도 시험 결과를 정리하여 기술하였다.

연구지점은 김포양촌지구 highway 건설을 위한 지역이며, 인접지역에서 수행된 시추조사 결과 중 풍화토층에 대한 N-value를 종합하여 나타내었다. Fig. 2(b)에서 X축은 N-value가 50 이상일 때 30cm 관입에 필요한 타격회수로 환산하여 나타내었다. 이는 N-value가 50/30 이상의 강도에서는 그 차이를 정량적으로 비교하기 힘들기 때문이다. 또한 Y축은 풍화토층의 두께에 대해 정규화하여 풍화토층 내에서의 심도별 N값의 변화를 나타내었다. 풍화토층의 두께에 대해 정규화한 심도(z/H) 0.5~0.6을 기준으로 상부와 하부의 N-value 분포 경향이 변화하는 것을 볼 수 있으며, 풍화토층의 하부는 상부에 비해 강도가 상대적으로 크게 나타날 것으로 예상할 수 있다. 그러나 정규화한 심도(z/H)에서 0.6~0.7 부근에서 강도가 상대적으로 작은 풍화토층이 존재하는 것으로 판단된다.



(a) X-ray 입도분석기



(b) XRF 분석기



(c) Fall Cone

Fig. 1 Testing Equipments

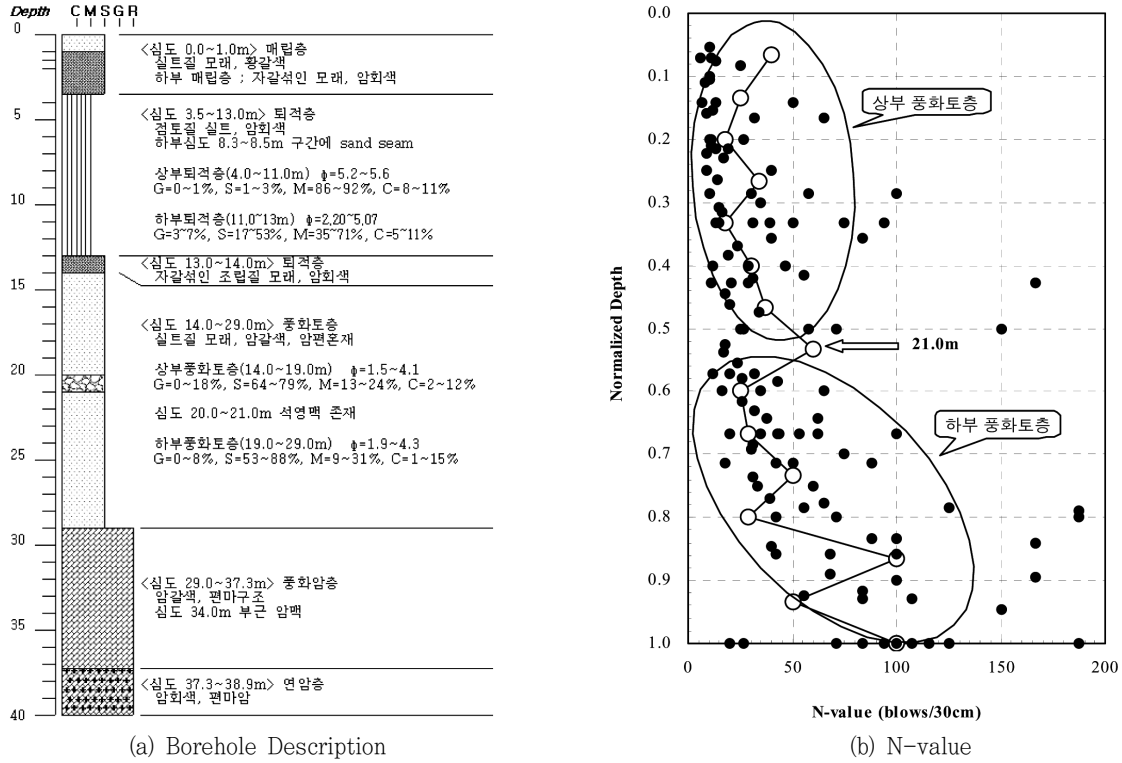


Fig. 2 Borehole Description and Normalization of N-value

Table 2 Results of XRF

심도(m)	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.
14.0	59.22	18.01	1.30	8.96	2.45	0.39	0.39	2.81	0.06	0.05	6.10
15.0	54.41	14.23	0.69	19.05	1.28	0.28	0.32	1.74	0.08	0.48	6.97
16.0	61.73	18.63	1.09	6.70	2.12	0.77	0.98	2.49	0.05	0.05	5.27
17.0	60.62	16.64	0.85	9.00	2.61	0.82	1.51	3.89	0.11	0.09	3.60
18.0	65.91	16.10	0.73	5.49	1.75	1.09	2.11	3.69	0.07	0.06	2.68
19.0	70.08	15.18	0.79	4.74	0.79	0.37	1.08	2.96	0.04	0.07	3.72
20.0	66.49	15.66	0.59	5.40	1.68	1.42	2.63	3.59	0.07	0.08	2.20
21.0	68.14	14.34	0.55	5.80	1.83	0.97	2.10	4.24	0.06	0.06	2.00
22.0	56.25	17.81	1.36	8.25	2.87	3.10	2.95	2.73	0.07	0.85	3.76
23.0	60.03	17.39	1.27	7.70	2.36	1.96	1.64	2.36	0.06	0.41	4.71
24.0	69.48	15.05	0.45	4.25	1.40	1.51	2.83	3.09	0.04	0.04	1.93
25.0	73.37	14.75	0.21	1.77	0.65	1.45	2.88	3.73	0.02	0.03	1.23
26.0	66.02	15.83	0.60	6.54	2.03	1.44	2.53	4.12	0.07	0.08	0.52
27.0	64.64	16.96	0.53	5.76	1.68	1.11	1.96	3.53	0.06	0.07	3.44

2. XRF와 CWI

심도별 광물구성의 비율과 화학적 풍화지수를 산정하기 위하여 XRF를 실시하였다. 결과는 Table 2에 정리하였으며, 심도에 따른 광물구성이 차이를 보이고 있음을 알 수 있다. 이

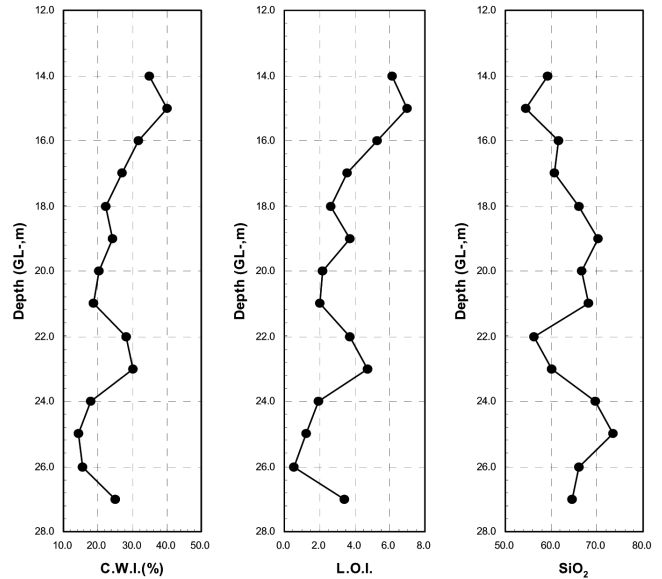


Fig. 3 C.W.I, L.O.I., and SiO<sub>2</sub> on Weathered Strata

는 상, 하부의 풍화정도의 차이에 의한 결과로 예측된다. 특히, GL-19.0~GL-21.0m에서 구성광물의 비율이 상대적으로 많이 변하는 것을 알 수 있다. 또한, 구성광물 중 SiO<sub>2</sub>의 비율과 LOI(Loss on ignition), 그리고 화학적 풍화지수와 상관성을

확인하였으며, 결과는 Fig. 3에 도시하였다. Fig. 3과 같이 CWI의 심도별 분포는 LOI의 경향과 잘 일치하였으며, SiO<sub>2</sub>의 경향과 반대되는 경향을 보였다. CWI에 의한 풍화정도를 보면, GL-20.0~GL-21.0m 지점을 경계로 낮아졌다가 바로 하부지점인 GL-22.0~GL-23.0m 지점에서 약간 증가하는 양상을 보였다. 그러나 이후 하부 지층에서는 풍화정도가 낮아지는 경향을 보였다. 이는, 앞선 N-value의 분포결과를 화학적인 분석방법으로 구해진 구성광물의 비율과 풍화정도에 근거해서 설명할 수 있는 결과라고 판단된다.

### 3. X-ray 입도분석

X-ray 입도분석 결과는 Table 3과 같으며, 심도별 입도분포와 평균입도를 Fig. 4에 나타내었다. 심도별 분포를 보면 하부로 갈수록 모래입자들이 우세하게 분포하고 있는, 즉 입도가 조립화 되는 경향을 보이고 있으며 풍화정도가 높은 심도의 지층에서 상대적으로 silt와 clay 함량이 많은 것으로 나타났다. 또한, 평균입도의 변화에서 풍화토층 하부로 갈수록 세립분 함량이 감소하는 경향을 확인할 수 있다.

전체적인 분급정도는 불량한 편이나 상부에 비해 하부 풍화토층이 상대적으로 더 나은 분급정도를 보이고 있다. 왜도는 대체로 양의 값을 보이고 있다. 이는 전체적인 분포가 상대적으로 조립질에 집중되어 있음을 의미한다. 또한, 첨도는 대체로 첨형(leptokurtic)을 나타내어 분포상 밀집되어 있는 형태임을 알 수 있다.

결과적으로 상부 풍화토층은 세립토의 함량이 하부 풍화토층

Table 3 Results of X-ray Particle Size Distribution

Depth (m)	Gravel (%)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Mean (φ)	Sorting	Skewness	Kurtosis
14.0	0.08	71.48	22.00	6.44	3.50	2.36	0.41	1.00
15.0	0.10	64.07	23.73	12.11	4.14	2.72	0.39	1.00
16.0	0.22	70.57	21.35	7.85	3.63	2.55	0.32	1.01
17.0	6.84	71.63	14.78	6.75	2.75	2.95	0.26	1.35
18.0	17.54	66.88	13.23	2.35	1.73	2.05	0.14	1.38
19.0	2.23	78.91	14.64	4.22	1.49	3.01	-0.08	1.56
20.0	5.01	84.99	8.50	1.49	2.26	2.45	0.38	1.24
21.0	0.63	87.04	10.19	2.15	2.10	1.86	0.08	1.75
22.0	0.00	83.27	13.19	3.54	2.00	2.05	0.39	1.38
23.0	0.14	53.40	31.01	15.45	4.34	3.05	0.36	0.85
24.0	0.48	82.22	13.46	3.83	2.80	1.89	0.40	1.55
25.0	0.52	88.48	8.50	2.51	2.40	2.22	0.43	1.24
26.0	8.35	77.10	11.67	2.88	1.99	1.77	0.27	1.34
27.0	6.64	82.07	9.20	2.09	1.90	2.42	0.18	1.24

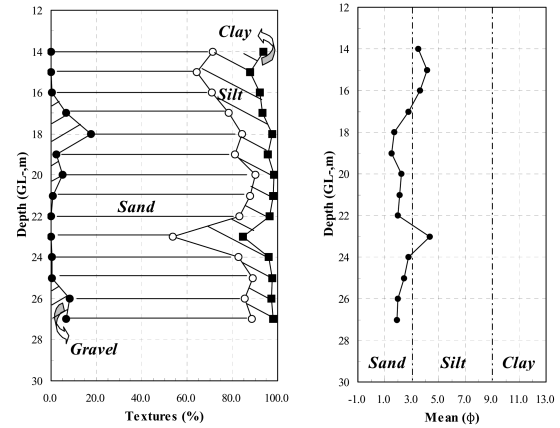


Fig. 4 Textures and Mean(φ) on Weathered Strata

에 비해 높다는 것을 알 수 있다. 이러한 입도분포의 변화는 풍화토층의 풍화정도에 대한 지표로 해석할 수 있다. 상부는 풍화가 상대적으로 많이 진행되어 세립자를 많이 포함하고 있다고 판단된다. 입도분포의 심도별 분포는 GL-19.0~GL-21.0m를 경계로 뚜렷한 차이를 나타내고 있다.

### 4. Fall Cone Test

Fall cone test를 이용하여 풍화토의 상대적인 풍화도를 확

Table 4 Regressive Equations between Penetration and Water Content

심도(m)	Regressive Equation ( $W_c = a \cdot \ln(p) + b$ ) $W_c$ : water content, $p$ : penetration(mm), $a, b$ : coefficients		R <sup>2</sup>	Water content(%) ( $p = 10mm$ )	CWI(%)
	$a$	$b$			
14.0	8.055	36.805	0.9613	55.35	35.01
15.0	9.369	35.746	0.9919	57.32	40.27
16.0	9.219	32.023	0.9974	53.25	31.83
17.0	5.055	38.558	0.9965	55.35	27.11
18.0	6.677	30.567	0.9421	45.94	22.10
19.0	7.425	28.534	0.9784	45.63	24.11
20.0	6.790	31.971	0.9968	47.61	20.15
21.0	12.295	17.995	0.9964	46.31	18.75
22.0	12.502	22.852	0.9988	51.64	28.29
23.0	8.604	33.569	0.9882	53.38	30.18
24.0	6.921	28.418	0.9813	44.35	18.10
25.0	9.114	22.772	0.9999	43.76	14.39
26.0	9.741	24.548	0.9991	46.98	15.56
27.0	7.680	28.310	0.9955	45.99	24.89

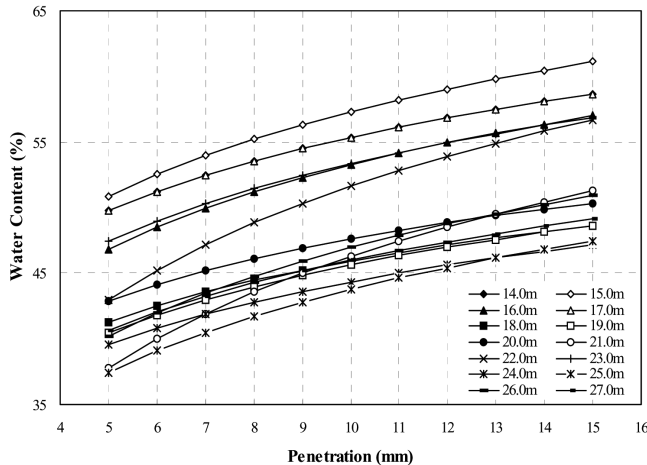


Fig. 5 Relationship between Water Content and Penetration

인할 수 있는 방법으로 제시하고 CWI 값을 기준으로 하여 비교하였다. 또한, 구해진 결과를 이용하여 관입량과 함수비에 관한 회귀식을 구하였다. 회귀식은 Table 4와 같으며, 이들 관계식을 이용하여 관입량 10mm를 기준으로 한 심도별 함수비를 구하였다. 이를 이용하여 관입량과 함수비의 관계를 Fig. 5와 같이 나타낼 수 있다.

Table 4와 같이 풍화도가 높은 시료의 경우 동일한 관입량에 대한 함수비는 풍화도가 낮은 시료에 비해 상대적으로 크게 나타났다. 즉, 관입량 10mm를 기준으로 할 경우 풍화도가 가장 큰 15.0m 시료의 경우 57.32%, 풍화도가 가장 작은 25.0m 시료의 경우 43.76%로 나타났다. 그러나 모든 시료에서 동일한 경향을 보이지는 않았다. 이는 fall cone 시험은 다른 시험에 비해 많은 시료가 필요하나 심도별로 채취된 시료의 양이 적어, 넓은 범위에서 시료를 sampling하여 사용하면서 기인하는 오차로 판단된다.

### V. 요약 및 결론

풍화토층의 구분과 심도에 따른 특성을 확인하기 위하여 연속 시료를 채취하여 여러 가지 시험을 실시하고 적용 가능성을 확인하였다.

지층특성을 확인하기 위하여 실시한 시추조사에서 GL-20.0 ~ GL-21.0m에 존재하는 석영맥을 확인할 수 있었으며, 이를 경계로 풍화토층을 상부와 하부로 구분할 수 있었다. 이는 시료채취 지점과 인근 위치에서 실시한 표준관입시험 N-value를 정규화한 결과에서도 확인할 수 있었다.

심도별 입도분포 특성을 보면 풍화토층 하부로 갈수록 조립화의 경향이 뚜렷하며 평균입도, 분급도, 왜도, 첨도 등의 결과에서도 풍화토층 내 상·하부의 구분을 확인할 수 있었다.

XRF 분석결과를 이용하여 구한 화학적 풍화지수(CWI)의 심도별 분포에서 풍화토층의 화학적 풍화에 대한 저항정도를 비교할 수 있었다. 하부 풍화토층은 상부에 비해 풍화가 덜 진행되었으며 풍화저항이 상부에 비해 상대적으로 강한 것으로 나타났다. 즉, 전체적인 풍화도는 상부 풍화토층이 높게 나타났다.

Fall cone test의 결과에서도 상부와 하부 풍화토층에 대한 구분과 층별 풍화정도를 확인할 수 있었다. 즉, 동일한 관입량 10mm에 대한 함수비는 풍화정도가 높을수록 높은 값을 보였으며, 상부 풍화토층에서 높게 나타났다.

본 연구에서는 제한된 시료의 양으로 인해 역학적 특성에 대한 연구를 수행하지 못했지만 연구결과를 바탕으로 풍화토층은 크게 2개의 층으로 구분할 수 있으며 상부와 하부 풍화토층은 역학적 특성이 다르게 나타날 것으로 예상할 수 있다.

이상의 결과와 같이 본 연구에 적용한 여러 가지 시험법을 이용하여 풍화토층에 대한 지층특성, 심도에 따른 입도의 분포 및 풍화정도를 확인할 수 있었다. 또한, 한 가지 실험이나 조사 결과를 이용하여 풍화토층의 특성이나 지층구분의 판단기준으로 사용할 때 발생할 수 있는 오류를 최소화하고 이에 대한 보다 명확한 근거를 제시할 수 있을 것으로 판단된다.

### REFERENCES

Bae, S. K., 1996, The Relationship between N-value of Standard Penetration Test and Strength Parameters in Soils, *Journal of KSCE*, 16(3-5): 433 ~ 443

Feng, T. W., 2000, Fall-cone penetration and water content relationship of clays, *Geotechnique*, 50(2): 181 ~ 187

Hong, W. P. and Chai, S. G., 2007, Estimation of Frictional Capacity of SDA Augered Piles in Various Grounds, *Journal of KSCE*, Vol.27 No.4C, pp.279-292

Houlsby, G. T., 1982, Theoretical analysis of the fall cone test, *Geotechnique* 32(2): 111 ~ 118

Jayawardena U. S. and Izawa E., 1994, A New Chemical Index of Weathering for Metamorphic Silicate Rocks in Tropical Regions : A study from Sri Lanka, *Engineering Geology*, 36: 303 ~ 310

Jeong, J. S. and Yang, J. H., 2000, The Effects of Compaction Water Contents and Particle Crushing for Compacted Decomposed Granite Soil, *Journal of KSCE*, 20(3-C): 269 ~ 279

Kim, J. N. and Park, H. G., 2006, A Study on the Correlation between Standard Penetration Resistance

- Value and Static Cone Penetration Resistance Value of the Soft Ground Subsurface of Yongdong Area, *Korean Geo-Environmental Society*, 7(5): pp.13~20
- Kim, J. Y., Lee, Y. H., and Lee, J. S., 2000, The Effects of Fines on the Mechanical Characteristics in Compacted Decomposed Granite Soils, *Journal of KSCE*, 21(4C): 465~470
- Koo, J. K. and Yi, C. T., 2003, Correlations between the CPT and the SPT for the Residual Soil in Korea, *Korea Institute Structural Maintenance Insection*, 7(3): 231~239
- Koumoto, T. and Houlby, G. T., 2001, Theory and practice of the fall cone test, *Geotechnique*, 51(8): 701~712
- Kukul, Z., 1971, *Geology of Recent Sediments*, Academic Press, London
- Lee, M. B., Kim, N. S., Lee, G. R., Han, U., and Shizhu, J., 2006, A Study on the Distribution and Changes of Sand Dune at the Lower Reach of Duman River, North Korea, *The Korean Geographical Society*, 41(3): 331-345
- Park, B. K., Lee, J. S., Lee, K. C. and Moon, Y., 1998, The Breakable Properties Related to Weathering Degree of Decomposed Granite Soils, *Journal of KSCE*, 18(3-2): 227~240
- Rea, D. K. and Hovan, S. A., 1995, Grain size distribution and depositional processes of the mineral component of abyssal sediments: Lessons from the North Pacific, *Paleoceanography*, 10(2): 251~258
- Reiche, P., 1943, Reiche, Graphic representation of chemical weathering, *Journal of Sedimentary Petrology*, 13: 58~68
- Ruxton, B. P., 1968, Measures of the degree of chemical weathering of rocks, *Journal of Geology*, 76: 518~527.
- Saner, S., Cagatay, M. N. and Alsanounah, A. M., 1996, Relationship Between Shale Content And Grain-Size Parameters In the Safaniya Sandstone Reservoir, NE Saudi Arabia, *Journal of Petroleum Geology*, 19: 305~320
- Son, Y. H., Kim, S. P., and Chang, P. W., 2008, Estimation Weathered Degree Using Fall Cone in Weathered Soil; Silty Sand, *Journal of the Korean Society of Agriculture Engineers*, 50(1): 3~10
- Sueoka, T., 1988, Identification and Classification of Granite Residual Soils Using Chemical Weathering Index, Second Int. Conf. Geomech. Trop. Soils, Singapore 1: 55~61.
- Wood, D. M., 1982, Cone penetrometer and liquid limit, Cambridge University Engineering Department, Technical notes: 52~157
- Wood, D. M., 1985, Some fall cone tests, Cambridge University Engineering Department, Technical notes: 64~68
- Yoo, S. D., Kim, H. T., Song, B. W., and Lee, H. K., 2005, Assessment of Liquefaction Potential on Non-Plastic Silty Soil Layers Using Geographic Information System(GIS) and Standard Penetration Test Results, *Korean Geo-Environmental Society*, 6(2): 5~14
- Youn, J. S., Park, S. W., Ko, Y. Y., and Oh, Y. K., 2000, Sedimentation Rate and Transport Features of Suspended Matter in the Changjiang Estuary and Adjacent Continental Shelf, *Bull. Mar. Res. Inst., Cheju Nat. Univ.*, 24: 1~10