

## 유기질토의 함수비 측정에 관한 연구

### A Study on the Measurement of Moisture Content in the Organic Soils

박 성 식<sup>1</sup> Park, Sung-Sik  
최 선 규<sup>2</sup> Choi, Sun-Gyu  
류 주 형<sup>3</sup> Ryu, Ju-Hyung

#### Abstract

Organic soils are widely distributed at Youngdong areas in Kangwon prefecture and Jeonbuk area. Such organic soils usually consist of undecomposed fiber materials. It is difficult to exactly measure the water content of such organic soils because some organic materials may decompose at 110°C in drying oven. In this study, both drying oven and microwave oven methods are used to measure the water content of organic soils. Three different levels of oven temperature, 60°C, 80°C, and the standard temperature of 110°C, were used to measure the water content of organic soils in the 1<sup>st</sup>, 2<sup>nd</sup>, and 3<sup>rd</sup> day. The water content by microwave oven was measured for two different sample masses (30, 60 g) with five different measuring times (3, 6, 9, 12, 15 min.). As the temperature increased, the water content of organic soils increased due to the decomposition of organic materials in soils. The water content of some soils increased up to 2 times as the temperature was increased from 60°C to 110°C. However, the water content was not changed after the 1<sup>st</sup> day, regardless of drying oven temperature and soil types. The water content by microwave oven became constant after 12 min. for the 30 g sample and 15 min. for the 60 g sample used. The measured water content by microwave oven was similar to that measured by drying oven at 60°C.

#### 요 지

강원 영동지역이나 전북지역에는 유기질 함량이 높은 흙이 많이 분포하고 있다. 이와 같은 유기질토는 주로 미분해된 섬유질로 구성되어 있으므로 흙의 함수비를 측정하기 위하여 110°C의 건조로에 넣고 함수비를 측정할 경우 흙 속에 포함된 유기질 성분이 분해될 수 있기 때문에 정확한 함수비 측정이 어렵다. 따라서 본 연구에서는 건조로뿐 아니라 전자레인지도 이용하여 유기질토의 함수비 측정방법에 대하여 연구하였다. 국내에서 채취한 유기질 성분이 높은 흙뿐 아니라 모래, 실트, 카올리나이트와 같은 일반 흙도 실험하였다. 먼저 건조로의 온도를 표준 온도인 110°C를 포함하여 60°C 또는 80°C로 설정하여 흙의 함수비를 1일, 2일 및 3일 후 각각 측정하였다. 또한, 전자레인지를 이용하여 시료의 무게(30g, 60g)와 측정시간(3, 5, 9, 12, 15분)을 달리하면서 흙의 함수비를 측정하였다. 유기질토의 경우 건조로의 온도가 높을수록 흙 속에 포함된 유기질 성분이 분해되면서 함수비는 증가하였으며, 일부 시료의 경우 60°C보다 110°C에서 최대 2배까지 증가하였다. 한편 건조로 측정시간에 따른 함수비 변화는 대부분 온도나 유기질 함량에 관계없이 1일 후 함수비 변화가 미미하였다. 전자레인지를 사용하여 흙의 함수비를 측정한 경우 시료의 양이 30g인 경우에는 12분 그리고 60g인 경우에는 15분 정도에서 함수비가 일정하게 수렴하였으며, 전자레인지를 이용하여 측정한 함수비는 건조로 60°C에서 측정한 함수비와 유사한 경향을 보였다.

**Keywords :** Drying oven, Microwave oven, Organic soils, Water content

1 정회원, 경북대학교 공과대학 건축토목공학부 토목공학전공 조교수 (Member, Assistant Prof., Dept. of Civil Engrg., Kyungpook National Univ., Tel: +82-53-950-7544, Fax: +82-53-950-6564, sungpark@knu.ac.kr, Corresponding author, 교신저자)

2 비회원, 경북대학교 공과대학 건축토목공학부 박사과정 (Graduate Student, Dept. of Civil Engrg., Kyungpook National Univ.)

3 비회원, 경북대학교 공과대학 건축토목공학부 석사과정 (Graduate Student, Dept. of Civil Engrg., Kyungpook National Univ.)

\* 본 논문에 대한 토의를 원하는 회원은 2014년 4월 30일까지 그 내용을 학회로 보내주시기 바랍니다. 저자의 검토 내용과 함께 논문집에 게재하여 드립니다.

## 1. 서론

국내 일부 내륙지역이나 연안지역에 유기질 성분이 높은 흙이 존재한다. 특히 강원도 영동지역이나 전라북도 일부 지역에는 유기질 함량이 높은 흙이 분포하는 것으로 알려져 있다(Kim et al., 1996). 남해안 지역에 분포하는 해성점토의 유기질 함량은 대부분 10% 이내로(Kang et al., 1993; Chung and Hwang, 2002) 그리 높지 않다. 하지만 지역에 따라 유기질 함량이 20% 이상 되는 곳도 여러 곳 있으며, 심도에 따라 유기질 함량은 다른 것으로 알려져 있다(Kang et al., 2007; Jang, 2011). 유기질 함량에 따라 흙의 역학적 거동은 달라질 수 있으므로 Choi(1995)는 유기질 함량에 따른 삼축압축시험과 압밀시험을 실시하여 역학적 거동을 분석하였고, Shin et al.(2000)은 유기질 함량에 따른 압밀 특성을 연구하였으며, Park(2009)은 유기질 함량이 다짐 시 최대건조단위중량과 최적함수비에 미치는 영향에 대하여 연구하였다. 국내뿐 아니라 국외에서도 유기질토에 관한 연구가 활발히 진행되었다. 먼저 Adams(1961)는 유기질토의 전단강도는 내부마찰각에 의해 좌우됨을 확인하였으며, Yasuhara and Takenaka(1977)는 유기질 함량이 높은 흙은 압밀하중과 강도가 비례관계인 것을 밝혔다. 그리고 Kogure and Ohira(1977)는 함수비, 밀도, 간극비를 이용하여 유기질토의 압축지수(Cc)를 구하는 관계식을 제안하였다.

흙의 함수비는 액소성한계, 단위체적중량시험, 다짐시험 등과 같은 각종 토질시험에 사용되며, 흙의 상태를 표시하는 간극비, 포화도, 건조밀도 등을 구하는데도 필요하다. 따라서 흙의 정확한 함수비 측정은 흙의 공학적 성질을 판단하는데 반드시 필요한 요소이다. 하지만 유기질이나 섬유질 함량이 높은 유기질토를 건조로에 넣고 측정할 경우 고온으로 인하여 섬유질이나 유기질 성분이 분해되면서 함수비 측정이 실제보다 높게 측정될 수 있다. 그러므로 유기질토의 함수비 측정은 건조로의 온도를 달리하거나 다른 방법을 이용하기도 한다. 특히, 동물이나 가축의 사료와 같이 섬유질이 많은 재료의 경우에는 전자레인지로 사용하여 함수비를 측정하기도 한다(Lee et al., 2006). 최근 미국 및 캐나다 Saskatchewan주에서는 전자레인지를 사용한 흙의 함수비 측정법을 표준화하여 사용하고 있다(ASTM D4643; STP 205-8).

본 연구에서는 유기질이나 섬유질 함량이 높은 흙의

함수비를 좀 더 정확하게 측정하기 위한 방법에 대하여 연구하였다. 먼저 기존 건조로를 이용한 방법으로 유기질토의 함수비 측정에 적합한 온도와 측정시간을 제시하고자 하였다. 또한 흙뿐만 아니라 가축사료의 수분 측정에 사용되는 전자레인지를 이용하여 적절한 측정시간과 시료 무게를 제시하고자 하였다. 전자레인지를 이용한 방법은 신속하면서도 정확한 함수비 측정이 가능하므로 국내 토목 분야에서도 충분히 이용 가능한 방법이다.

## 2. 유기질토 및 함수비 측정방법

### 2.1 유기질토

본 연구에서는 문헌 조사를 통하여 유기질 함량이 높은 몇몇 지역을 선택한 다음 직접 현장을 방문하여 유기질토를 채취하였다. 유기질토를 채취한 지역은 충청북도 영동읍 산이리 4곳(Sani-ri 1, Sani-ri 2, Sani-ri 3, Sani-ri 4), 화신리 2곳(Hwasin-ri 1, Hwasin-ri 2), 추풍령면 1곳(Chupungryeong-myeon)이다. 소량의 유기질이 함유된 진해지역 해성점토(Marine clay)와 유기질 성분이 없는 낙동강 모래(Sand), 낙동강 실트(Silt), 그리고 카올리나이트(Kaolinite)도 사용하였다. 유기질토는 해당지역에서 채취한 다음 밀봉하여 현장 함수비를 유지하였으며, 유기질토의 정확한 함수비 측정을 위하여 흙에서 나뭇잎, 잔가지 등과 같이 육안으로 구분이 되는 이물질들을 제거한 다음 시험에 사용하였다. 또한 유기질이 포함되지 않은 일반 흙은 110°C의 건조로에서 건조된 흙(Sand, Silt, Kaolinite)을 사용하였으며, 시험 시 일정량의 수분을 추가하여 함수비 시험을 실시하였다.

채취한 유기질토의 유기질 함량을 측정하기 위하여 대구광역시 달성군 농업기술센터에 흙의 종류에 따른 유기질 함량 측정을 의뢰하였으며, 결과는 Table 1과 같다. 또한 흙의 기본 물성 확인을 위하여 비중시험을 본 연구실에서 직접 실시하였다. 농업기술센터에서 실시한 유기질 함량 측정방법은 강열감량법(KS F2104)으로 유기질토를 도가니에 넣고 800°C로 가열 후 무게를 측정하여 아래 식 1과 같이 시료 무게에 대한 손실된 무게의 비를 유기질 함량으로 표시하였다. 유기질 함량은 Hwasin-ri 2에서 채취한 시료가 65% 이상으로 가장 높았으며, Marine clay가 7%로 가장 낮은 유기질 함량을 보였다. Fig. 1은 유기질 함량에 따른 비중 관계를

Table 1. Relationship between organic content and specific gravity of soils

Soil types	Organic content (%)	Specific gravity
Sani-ri 1 (Sani 1)	33.7	2.560
Sani-ri 2(Sani 2)	47.7	2.557
Sani-ri 3(Sani 3)	56.0	2.404
Sani-ri 4(Sani 4)	34.9	2.558
Hwasin-ri 1 (Hwasin 1)	62.5	2.424
Hwasin-ri 2 (Hwasin 2)	Over 65	2.313
Chupungryeong-myeon (Chupung)	28.3	2.621
Marine clay (Clay)	7.0	2.724

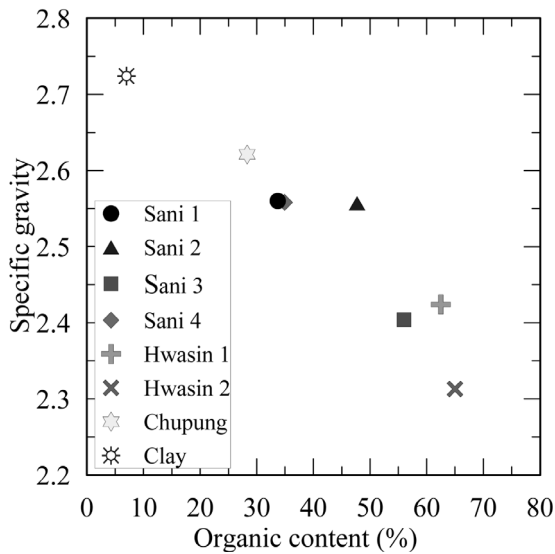


Fig. 1. Relationship between specific gravity and organic content of soils

나타내고 있으며, 유기질 함량이 증가함에 따라 비중은 선형적으로 감소하는 경향을 보였다. 대부분의 연구자들도 이와 유사한 결과를 얻었으며, 특히 강원도 삼척 유기질토를 연구한 Choi(1995)도 유기질 함량이 20% 이내에서 증가할 경우 비중이 2.5와 2.3 사이에서 선형적으로 감소하는 경향을 보였다.

$$\text{강열감량(\%)} = \frac{W_a - W_b}{W_a - W_c} \times 100 \quad (1)$$

여기서,  $W_a$ : 시료와 도가니의 무게,  $W_b$ : 가열 후의 시료와 도가니의 무게,  $W_c$ : 도가니의 무게이다.

## 2.2 건조로를 이용한 함수비 측정방법(Drying oven method)

ASTM D2216에서는 항온 건조로를 이용한 함수비 측정방법에 대하여 제안하고 있으며, 특히 섬유질이나

Table 2. Minimum scale for sample mass

Sample mass (g)	Minimum scale (g)
Below 10	0.001
10~100	0.01
100~1000	0.1
Over 1000	1

유기질 성분이 많은 흙의 경우에는 건조로의 표준온도인 110°C에서 특정 유기질이 분해되는 경향을 보이므로 60°C로 온도를 낮추어 측정할 것을 권장하고 있다. 국내 기준 KS F2306에서도 항온 건조로를 이용한 흙의 함수비 시험 방법에 대하여 규정하고 있으며, 다음과 같이 대부분의 내용이 ASTM D2216과 유사하다. 하지만 유기질토에 대해서는 언급하고 있지 않다.

- (i) 항온 건조로는 온도를 110±5°C로 유지할 수 있는 것으로 노건조 시간은 일반적으로 18~24시간 정도이다.
- (ii) 시료의 무게 측정에 사용하는 저울의 최소 눈금값은 Table 2와 같다.

## 2.3 전자레인지(Microwave oven method) 등을 이용한 신속한 함수비 측정방법

흙댐의 코어(core), 제방, 도로 기층, 옹벽 뒤채움 등과 같은 흙 다짐작업 시에는 현장 흙의 함수비를 신속히 파악해야 하는 경우가 있다. 이러한 경우, 국내에서는 물과 반응하는 시약으로 칼슘카바이드(Calcium Carbide)를 이용하여 화학반응에 의한 토양의 함수비를 측정하는 방법(ASTM D4944)을 주로 사용하고 있으나, 전자레인지(Microwave oven)를 사용하거나 알코올 연소법 등도 이용될 수 있다. 한편 최근 미국과 캐나다의 Saskatchewan주에서는 전자레인지를 사용한 흙의 함수비 측정법을 표준화하여 사용하고 있다(ASTM D4643;

STP 205-8). 이처럼 해외에서는 전자레인지에 이용하여 신속하게 함수비를 측정하는 방법이 실제 토목현장 사무실이나 실험실에서 사용되고 있다.

### 3. 실험 결과 및 분석

#### 3.1 건조로를 이용한 함수비 측정 결과

현장에서 채취한 흙은 함수비 측정을 위해 사전에 동일한 무게로 나누어 분리한 다음 밀봉하여 보관하였다. 유기질 성분이 없는 모래, 실트, 및 카올리나이트는 건조된 상태에서 증류수를 인위적으로 15-16%(모래와 실트) 또는 33%(카올리나이트) 정도 혼합하여 함수비 측정이 가능하도록 하였다. 건조로의 온도와 측정 시간에

따른 유기질토의 함수비 변화를 비교하기 위하여 건조로의 온도를 60, 80, 110°C 3단계로 설정한 다음 각 단계별로 3일 동안 함수비를 측정하였다.

Table 3은 각 지역에서 채취한 시료에 대한 함수비 측정 결과를 비교하고 있다. 유기질을 포함하고 있지 않은 흙은 온도에 따라 함수비 변화가 거의 없는 것으로 나타났으나, 모든 유기질토의 경우 건조로 온도가 증가함에 따라 함수비도 증가하는 경향을 보였다.

Fig. 2는 함수비가 비교적 높은 흙과 낮은 흙으로 구분하여 건조로 온도 변화에 따른 1일 후 측정된 함수비 결과를 비교하고 있다. 60°C에서 함수비가 가장 낮고 온도가 80°C로 증가함에 따라 함수비가 크게 증가하였다가 110°C에서는 일정하거나 조금 증가하는 경향을 보였다. 이것은 건조로의 온도가 높을수록 건조과정에서

Table 3. Results of water content measured by drying oven

Soil types		1 day			2 days			3 days		
		110°C (110d)	80°C (80d)	60°C (60d)	110°C (110d)	80°C (80d)	60°C (60d)	110°C (110d)	80°C (80d)	60°C (60d)
Sani-ri (Sani)	1	33.83	33.27	24.60	33.69	33.27	24.48	33.59	33.27	24.34
	2	44.41	44.15	30.15	44.16	42.76	29.97	43.97	42.76	29.84
	3	32.04	31.98	25.56	31.85	31.98	24.85	31.79	31.98	24.85
	4	29.44	27.61	14.21	29.26	27.61	14.01	29.18	27.61	13.75
Hwasin-ri (Hwasin)	1	62.38	57.64	34.02	62.60	57.64	33.92	62.27	57.64	33.71
	2	72.08	66.27	48.09	71.94	66.26	47.95	71.52	66.26	47.76
Chupungryeong (Chupung)		30.37	30.10	24.33	30.33	30.04	24.26	30.29	30.01	24.17
Marine clay (Clay)		61.93	60.31	58.92	61.92	60.21	58.91	61.88	60.18	58.91
Sand (Sand)		15.02	15.03	14.98	15.03	15.00	14.90	15.03	14.98	14.90
Silt (Silt)		16.21	16.25	16.23	16.18	16.26	16.20	16.19	16.26	16.23
Kaolinite (Kaolin)		32.38	33.58	32.45	32.28	33.56	32.40	32.28	33.58	32.39

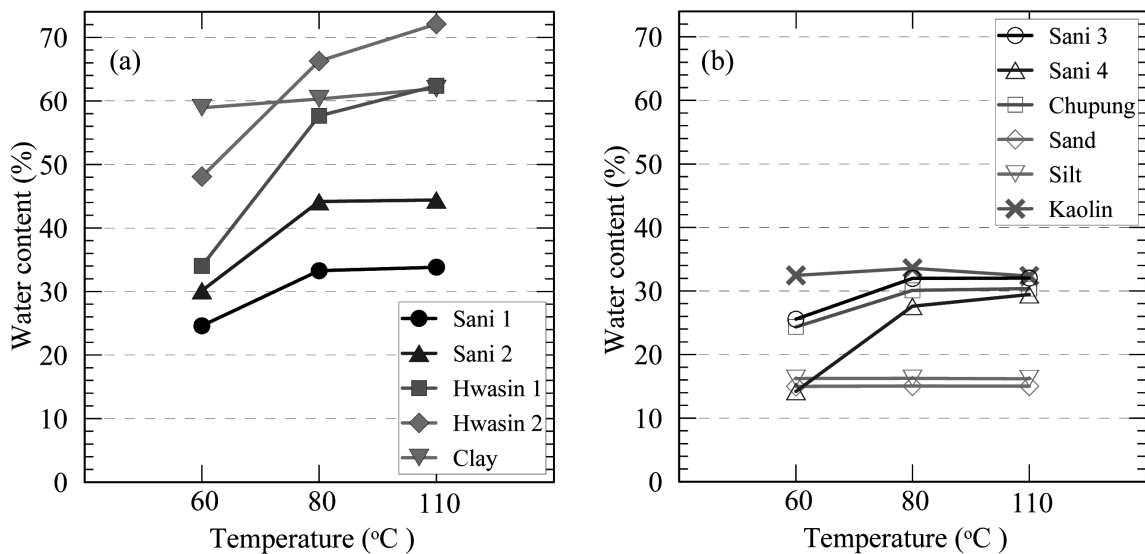


Fig. 2. Measured water content by drying oven with temperature

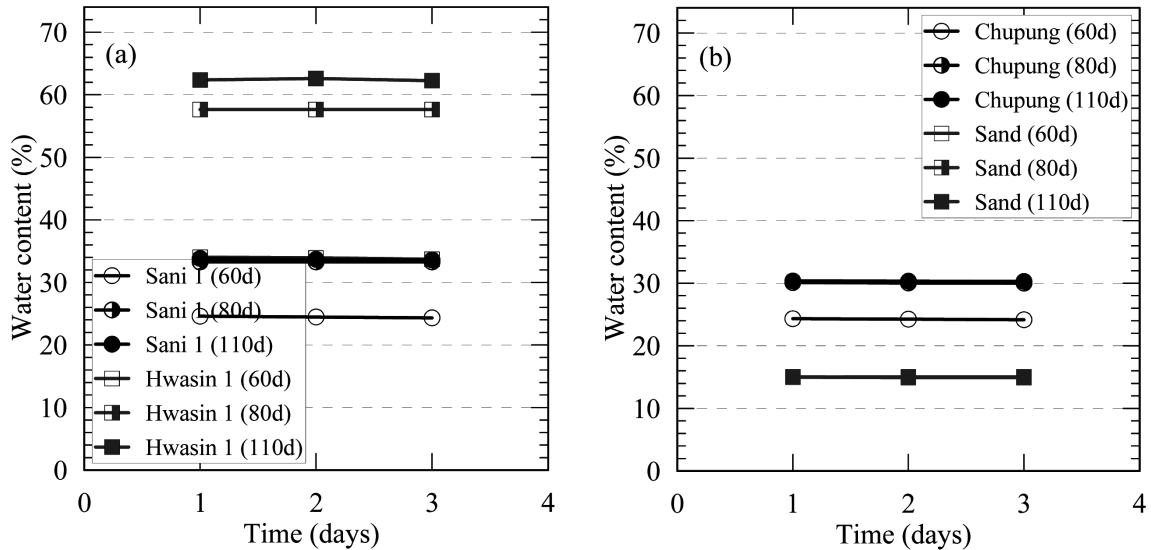


Fig. 3. Measured water content by drying oven with time

흙 시료 내 섬유질과 같은 유기질이 분해되면서 수분 이외의 중량이 감소하기 때문에 판단된다. 그리고 80°C 정도에서 대부분의 유기질 성분이 분해되고 남은 일부 유기질 성분이 110°C에서 분해된 것으로 판단된다. 1일 동안 측정된 건조로의 온도 증가에 따른 동일한 유기질 토의 함수비 증가는 3.01~28.36% 정도로 유기질 함량이 높은 흙일수록 함수비 변화가 크게 나타났다. 특히 화산리 지역 흙인 Hwasin 1과 Hwasin 2의 유기질 함량은 60% 이상으로 이 흙의 온도 변화에 따른 함수비 변화는 28.36%와 23.99%로 가장 높게 나타났다. 따라서, 건조로를 이용한 유기질토의 함수비 측정 시 ASTM D2216에서 언급한 것처럼 110°C가 아닌 60°C에서 측정해야 보다 정확한 함수비 측정이 되리라 판단된다.

대부분 흙의 함수비가 1일 후에 일정하게 수렴하는 경향을 보였으며, Fig. 3은 일부 흙에 대하여 측정시간에 따른 함수비 변화를 비교하고 있다. 한편 일반 흙은 건조로 온도나 측정시간에 관계없이 함수비가 거의 동일하였으나, 유기질을 포함한 흙은 1일 보다 3일 후 함수비가 온도에 관계없이 약간(최대 0.71%) 감소하는 경향을 보였다. 하지만 그 영향은 미미하여 건조로에 의한 유기질토의 함수비 측정은 1일이면 충분할 것으로 판단되었다.

### 3.2 전자레인지 이용 함수비 측정 결과

각각의 시료를 30g 또는 60g 준비한 다음 국내 S사가 제조한 700W 출력 전자레인지에 넣고 측정시간을 3, 6,

9, 12, 또는 15분으로 달리하면서 함수비를 측정하였다. 즉, 함수비 측정은 정해진 양의 시료를 전자레인지에 넣고 3분 동안 작동시킨 다음 전자레인지에서 꺼내어 1분 동안 식힌 다음 무게를 측정하고 다시 전자레인지에 넣고 3분 작동시킨 후 무게를 측정하는 방식을 15분까지 반복하여 수행하였다.

Table 4는 전자레인지를 이용하여 측정한 함수비 결과를 비교하고 있으며, 시료 양이 동일한 경우 측정시간이 늘어날수록 수분 증발에 따라 함수비는 증가하는 경향을 보였다. 즉, 측정시간이 3분에서 15분으로 증가함에 따라 흙의 함수비는 해성점토, 모래 및 실트의 경우 10-30% 정도만 증가하였지만, 유기질토는 2배에서 Sani-ri 1의 경우에는 최대 9배까지 함수비가 증가하였다. 유기질 성분이 많은 흙보다는 상대적으로 입경이 크고 공극이 많은 사질토에서 수분 증발이 빠르게 발생하면서 시간 증가에 따른 차이가 작게 발생한 것으로 판단된다. Fig. 4와 같이 시료의 양이 30g일 경우에는 9분 정도에서 함수비가 일정하게 수렴하였으며, Fig. 5와 같이 60g일 경우에는 12분 정도에서 수렴하는 경향을 보였다. 시료의 양이 많을수록 측정시간에 따른 함수비 변화는 더 크게 발생하였으나, 15분 작동 후의 함수비의 차이는 시료의 양이 30g이나 60g이나에 따라 크게 차이 나지 않았다.

본 연구에서 사용한 시료의 종류와 양을 고려할 경우 12분에서 15분 사이에서 함수비 변화가 거의 나타나지 않았다. 따라서 전자레인지를 이용하여 함수비를 측정할 경우, 측정시간은 시료에 양에 따라 달라질 수 있

Table 4. Results of water content measured by microwave oven

Soil types		Soil weight = 30 g					Soil weight = 60 g				
		3 min.	6 min.	9 min.	12 min.	15 min.	3 min.	6 min.	9 min.	12 min.	15 min.
Sani-ri (Sani)	1	7.99	21.00	26.19	26.27	26.51	3.05	11.53	25.12	30.44	30.98
	2	8.15	28.68	30.06	30.48	30.81	3.16	11.23	20.10	28.82	29.09
	3	10.58	24.04	30.76	31.23	31.23	12.04	25.77	29.55	30.06	30.21
	4	1.86	8.54	10.31	10.41	10.49	5.22	9.46	9.89	10.14	10.26
Hwasin-ri (Hwasin)	1	6.24	20.55	31.17	31.19	31.23	9.67	22.74	30.32	31.99	32.23
	2	26.7	52.22	62.85	62.86	62.88	11.94	27.76	40.18	49.02	51.20
Chupungryeong-myeon (Chupung)		6.25	20.53	24.80	25.11	26.06	8.64	15.99	22.53	23.67	23.80
Marine clay (Clay)		52.66	57.12	60.78	60.81	60.82	52.45	57.53	60.03	60.08	60.15
Sand (Sand)		12.48	13.45	16.05	16.06	16.08	12.54	13.44	15.25	15.27	15.28
Silt (Silt)		15.22	15.64	15.85	15.86	15.87	14.09	15.26	15.88	15.99	15.99
Kaolinite (Kaolin)		18.09	26.19	31.22	31.67	31.94	11.20	20.39	29.51	31.74	32.19

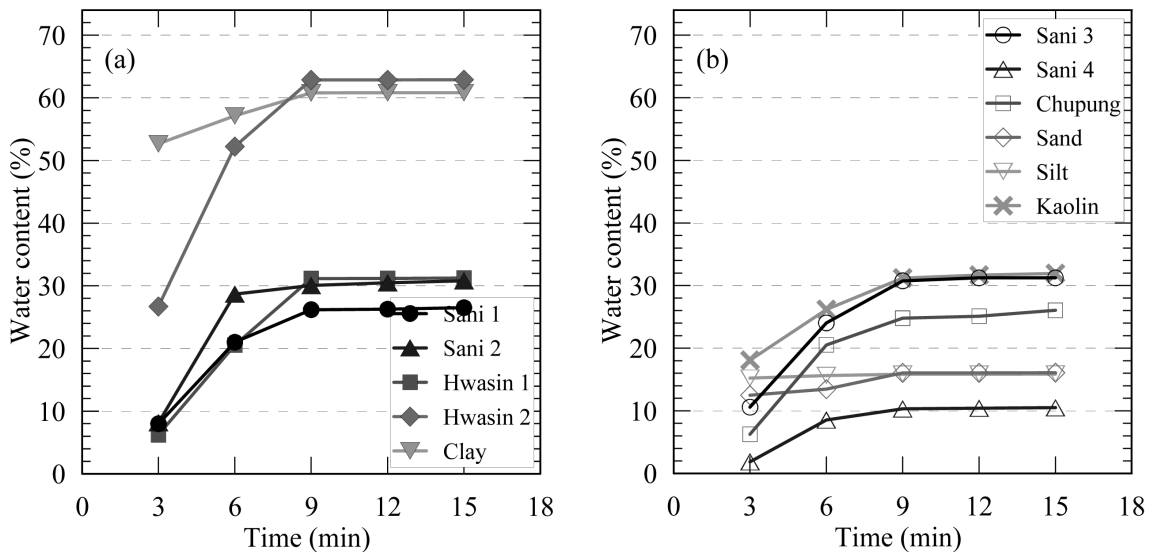


Fig. 4. Measured water content of 30 g of sample by microwave oven with time

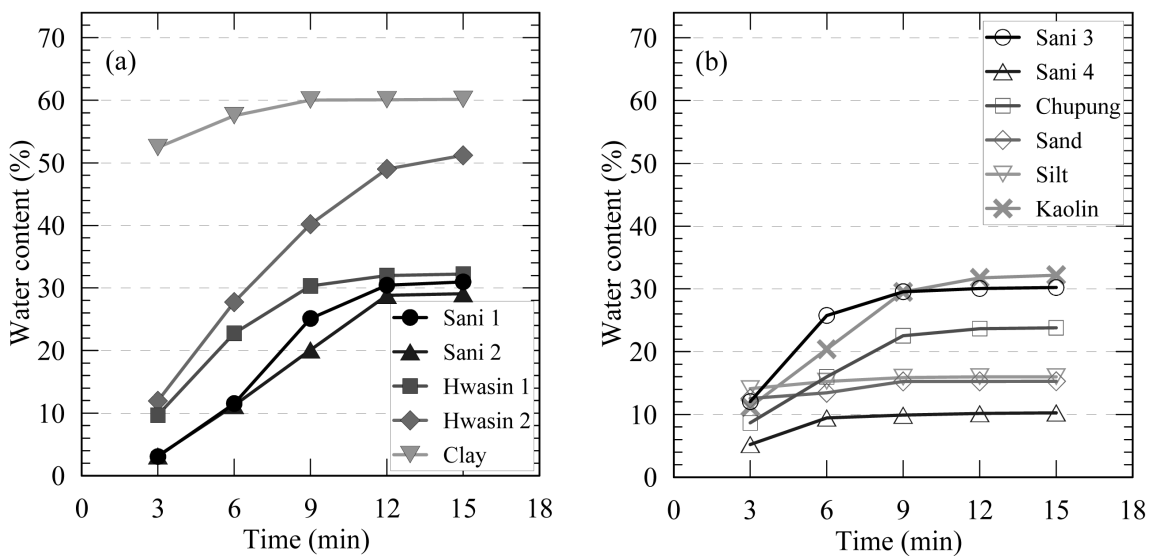


Fig. 5. Measured water content of 60 g of sample by microwave oven with time

나, 시료 양이 60g 이하일 경우 작동시간은 15분이면 충분할 것으로 판단된다. 한편 ASTM D4643에서 제안하고 있는 측정시간 3분은 점토나 유기질토에는 충분치 않은 것으로 판단된다.

결론적으로 전자레인지리를 이용하여 함수비를 측정할 경우 30g을 사용하거나 60g을 사용하거나 15분 이후에는 서로 유사한 함수비가 측정되었으며, 특히 60g을 사용한 경우는 Table 3의 60°C의 함수비와 유사하게 나타났다. 따라서 전자레인지리를 이용하여 함수비를 측정할 시에는 시료 무게를 100g 이내로 15분 동안 측정하면 적절할 것으로 판단된다.

### 3.3 측정방법에 따른 함수비 비교 및 제안

함수비 측정방법에 따른 일반 흙과 유기질토의 함수

비 차이를 Table 5에 비교하였다. 즉, 1일 동안 건조로 온도 110°C, 80°C, 또는 60°C에서 측정한 함수비와 전자레인지리에 60g의 시료를 넣고 15분 후에 측정한 함수비와 비교하였다. Fig. 6은 본 연구에 사용한 흙의 유기질 함량이 많을수록 왼쪽으로 배치한 다음 측정방법에 따른 함수비를 비교하였다. 유기질 함량이 증가함에 따라 자연 함수비는 증가하는 경향을 보였으며, 기존 연구자들(Kim et al., 1996; Jang, 2011)도 이와 유사한 경향을 보였다.

Table 5 또는 Fig. 6을 보면 유기질이 소량 포함된 점토와 일반 흙(Non-organic soils)은 측정방법에 관계없이 거의 유사한 함수비를 보였다. 이를 통하여 유기질 성분이 거의 없는 경우 시간이 1일이 소요되는 건조로 보다 60g 정도의 시료로 전자레인지리를 이용하는 것이 효율적인 것으로 판단된다. 한편, Table 5에서 유

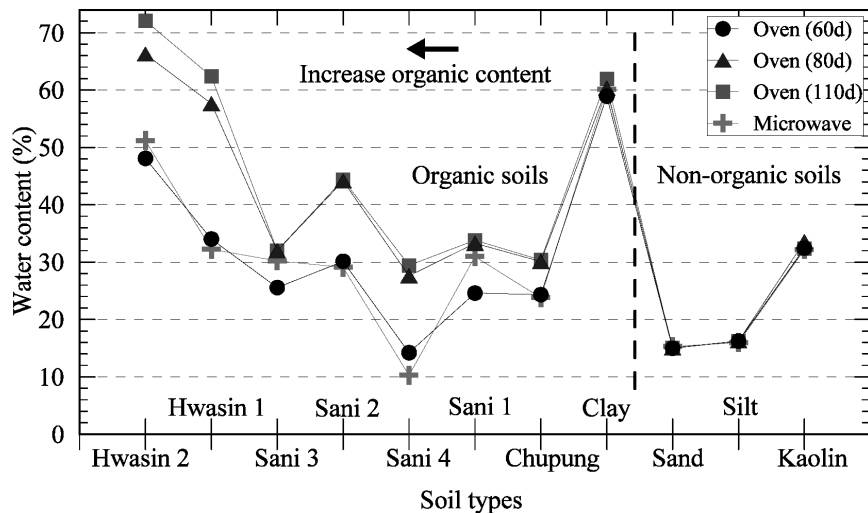


Fig. 6. Comparison of measured water contents

Table 5. Comparison of measured water contents

Soil types		Drying oven method			Microwave oven method		
		110°C	80°C	60°C	60 g/15 min.	Difference 1 <sup>(i)</sup>	Difference 2 <sup>(ii)</sup>
Sani-ri (Sani)	1	33.83	33.27	24.60	30.98	-2.85	6.38
	2	44.41	44.15	30.15	29.09	-15.32	-1.06
	3	32.04	31.98	25.56	30.21	-1.83	4.65
	4	29.44	27.61	14.21	10.26	-19.18	-3.95
Hwasin-ri (Hwasin)	1	62.38	57.64	34.02	32.23	-30.15	-1.79
	2	72.08	66.27	48.09	51.20	-20.88	3.11
Chupungryeong-myeon (Chupung)		30.37	30.10	24.33	23.80	-6.57	-0.53
Marine Clay (Clay)		61.93	60.31	58.92	60.15	-1.78	1.23
Sand (Sand)		15.02	15.03	14.98	15.28	0.26	0.3
Silt (Silt)		16.21	16.25	16.23	15.99	-0.22	-0.24
Kaolinite (Kaolin)		32.38	33.58	32.45	32.19	-0.19	-0.26

(i) Difference between water content measured by microwave oven and drying oven at 110°C.

(ii) Difference between water content measured by microwave oven and drying oven at 60°C.

기질토의 함수비를 비교하면 110°C 건조로를 이용한 경우보다 전자레인지로 이용한 함수비가 최대 30%까지 낮게 나타났다. 이는 전자레인지의 원리가 수분을 이용하여 가열하는 방식으로 15분 이내 수분이 사라지면서 온도 변화가 순간적으로 변하기 때문에 유기질 성분의 분해 또는 연소가 상대적으로 적어 이와 같은 차이가 발생한 것으로 판단된다. 유기질토의 경우 ASTM D4643에서 제안한 60°C의 건조로를 이용하는 방법과 전자레인지를 이용하여 측정된 함수비의 차이가 6.38% 이내로 일부를 제외하면 대체적으로 유사한 경향을 보였다. 따라서 100g 이하의 흙을 전자레인지에 넣고 15분 동안 가동하면 짧은 시간 내에 흙의 유기질 함량에 관계 없이 비교적 정확한 함수비를 측정할 수 있을 것으로 판단된다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 국내 KS기준에서 아직 제시하지 않은 유기질토의 정확한 함수비 측정을 위해 기존 건조로를 이용한 방법과 새롭게 전자레인지를 이용하는 방법에 대하여 연구하였다. 본 연구에 사용한 흙은 충청북도 인근에서 채취한 유기질토를 비롯하여 모래, 실트, 점토와 같은 일반 흙(Non-organic soils)으로 함수비 측정방법에 따른 흙의 함수비 차이를 분석하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 유기질 함량이 증가할수록 흙의 비중은 감소하였으며, 자연함수비는 증가하는 경향을 보였다.
- (2) 유기질토의 경우 건조로의 온도가 높을수록 흙 속에 포함된 유기질 성분이 분해되면서 함수비는 증가하였으며, 본 연구에 사용한 일부 시료의 경우 60°C보다 110°C에서 최대 2배 정도 높게 측정되었다. 한편 건조로 측정시간에 따른 함수비 변화는 온도나 유기질 함량에 관계없이 대부분 1일 후 함수비 변화가 미미하였다.
- (3) 전자레인지를 사용하여 흙의 함수비를 측정할 경우 시료의 양이 30g일 경우에는 12분 그리고 60g일 경우에는 15분 정도면 충분히 함수비 측정이 가능한 것으로 판단되었다. 전자레인지를 이용하여 측정된 함수비는 건조로 60°C에서 측정된 함수비와 유사한 경향을 보였으며, 30g보다는 60g을 사용한 경우에 더욱 유사한 값을 보였다.

- (4) 유기질토의 함수비는 ASTM D2216에서 제안한 것처럼 60°C의 건조로로 실험하는 것이 타당할 것으로 판단되며, 현장에서 즉시 유기질토나 일반 흙의 함수비 측정을 위해 전자레인지를 이용할 경우에는 100g 이하의 시료로 ASTM D4643에서 제시한 3분 보다는 15분 정도의 작동시간이 필요한 것으로 판단된다. 한편 KS기준에도 이와 같은 유기질토에 대한 함수비 측정방법을 비롯하여 전자레인지를 이용한 함수비 측정방법에 대한 제안도 필요할 것으로 판단된다.

#### 감사의 글

본 연구는 국토해양부 국토해양기술연구개발사업의 연구비지원(11기술혁신 F01)에 의해 수행되었으며, 유기질토 채취와 실내실험에 많은 도움을 준 이준우군에게 감사드립니다.

#### 참고문헌 (References)

1. Adams, J. I. (1961), Laboratory Compression Tests on Peat, *Proc. Seventh Muskeg Res. Conference*, NRC. ACSSM, Tech, Vol.71, pp.36-54.
2. ASTM D2216, *Standard Test Method for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass*, Annual Book of ASTM Standards, Vol.04.08, ASTM International, West Conshohocken, PA, pp.1135-1139.
3. ASTM D4643, *Test Method for Determination of Water (Moisture) Content of Soil by the Microwave Oven Heating*, Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04.08, ASTM International, West Conshohocken, PA.
4. ASTM D4944, *Test Method for Field Determination of Water (Moisture) Content of Soil by the Calcium Carbide Gas Pressure Tester*, Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04.08, ASTM International, West Conshohocken, PA.
5. Choi, I. G. (1995), *A Study on Engineering Characteristics for Organic Soil in Sam-Cheok*, Master thesis, Dongguk University.
6. Chung, Y. S. and Hwang, J. Y. (2002), Organics Included in the Sediments from Daecheong and Keum-River Estuary Reservoirs, *Journal of the Korean Society for Environmental Analysis*, Vol.5, No.2, pp.113-118.
7. Jang, D. H. (2011), *An Experimental Study on the Engineering Characteristics of Organic Soil in Dong-Hae*, Master thesis, Kwandong University.
8. Kang, C. K., Lee, P. Y., Park, J. S., and Kim, P. J. (1993), On the Distribution of Organic Matter in the Nearshore Surface Sediment of Korea, *Bull. Korean Fish. Society*, Vol.26, No.6, pp.557-566.
9. Kang, D. H., Kim, S. S., Jung, H. J., Kwon, B. H., and Kim, I. K. (2007), The Characteristics of Sediment and Organic Content in the Dalpo Wetland, *Journal of Korean Wetlands Society*, Vol.9,



- No.3, pp.1-12.
10. Kim, S. K., Choi, I. G., and Park, Y. M. (1996), Engineering Characteristics of Sam-Cheok Organic Soil, *Journal of Korean Geotechnical Society*, Vol.12, No.1, pp.21-33.
  11. Kogure, K. and Ohira, Y. (1977), Statistical Forecasting of Compressibility of Peaty Ground, *Canadian Geotechnical Journal*, Vol.14, pp.562-570.
  12. KS F2104, *Test Method of organic matter in soils by ignition loss*, Korean Industrial Standards.
  13. KS F2306, *Test method for water content of Soils*, Korean Industrial Standards.
  14. Lee, H. J., Kim, W. S., Lee, K. S., Kim, B.S., Ahn, B. S., and Khan, Ajmal (2006), Using a Microwave Oven to Determine Moisture in Feed, *The Conference of The Korean Society of Grassland and Forage Science*, pp.132-133.
  15. Park, P. Y. (2009), *Compaction Characteristics of Weathered Soil and Kaolinite Mixed with Organic Material*, Master thesis, Gwangju University.
  16. Shin, B. W., Bae, W. S., An, B. H., and Shin, J. H. (2000), The Consolidation Characteristics of Refuse Landfill Site due to Organic Contents Variation, *Journal of the Institute of Construction Technology*, Vol.19, No.2, pp.69-78.
  17. STP 205-8, *Standard Test Procedure Manual for Moisture by Microwave oven*, Saskatchewan Highways and Transportation.
  18. Yasuhara, K. and Takenaka, H. (1977), Physical and mechanical properties, In Yamanouchi, T. (ed.), *Engineering Problems of Organic Soils in Japan*, Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering, pp.35-48.
- (접수일자 2013. 7. 8, 수정일 2013. 8. 29, 심사완료일 2013. 9. 4)