

## 흙 입자의 흡수율을 고려한 체적함수비와 중량함수비의 관계에 관한 실험적 고찰

### An Experimental Study for Relationship Between Gravity Water Content and Volumetric Water Content Through the Absorptance of Soils Particles

이 형 규<sup>1)</sup> · 이 인<sup>†</sup>

Lee, Hyoungkyu · Lee, In

**ABSTRACT** : Recently, the application of unsaturated-soil theory is concerned in practice. Most characteristics of unsaturated-soil is the relationship between volumetric water contents and matric suction. Usually the volume water contents is estimated by the relationship between gravity water contents and volume water contents because of the difficulty of measurement of volumetric water contents. In this case, the water exists in only void of soil, and the relationship between gravity water contents and volume water contents is calculated by only water in void, but in fact, the water exists in the particle of the soil. So the real volume water contents is different with calculated volume water contents derived by the relationship containing only void water. The object of this research is to revise the relationship between volume water contents and gravity water contents by using the absorptivity tests of the soil particle.

**Keywords** : Absorptance of Soils, Gravity Water Content, Volumetric Water Content

**요 지** : 실무에서 불포화토의 적용이 증가하고 있다. 불포화토의 가장 큰 특징은 체적함수비와 모관흡수력의 관계를 나타내는 함수특성곡선이다. 일반적으로 체적함수비는 측정의 어려움으로 인하여 중량함수비를 측정한 후 관계식을 통하여 체적함수비를 구한다. 이 경우 흙의 간극과 비중을 이용하여 관계식이 성립되는데 사실 물은 흙 입자 자체에도 포함되어 있다. 그러므로 실제 체적함수비는 중량함수비를 관계식으로 변환한 값과 다르게 된다. 본 연구에서는 실험을 통하여 얻어진 흙 입자의 흡수율을 고려하여 체적함수비와 중량함수비의 관계를 제시하는 데 있다.

**주요어** : 흙의 흡수율, 중량함수비, 체적함수비

## 1. 서 론

최근 들어 불포화토에 대한 관심이 높아지며 실무에서도 그 활용도가 증가하고 있다. 불포화토의 가장 큰 특징은 간극내 물의 표면장력에 의한 모관흡수력이다. 이러한 모관흡수력은 함수비와 관련되는데 불포화토를 다루는 분야에서는 일반적으로 쓰이는 중량함수비 대신 체적함수비를 주로 사용하며 이러한 모관흡수력과 체적함수비와의 관계를 나타낸 함수특성곡선(Soil-Water Characteristic Curve, SWCC)이다. 즉 함수특성곡선은 함수량에 따른 모관흡수력의 변화를 나타내는 곡선으로 불포화지반의 고유한 특성을 나타내며 지반의 강도와 거동특성을 결정하는 매우 중요한 기본물성이라 할 수 있다(이상경, 2006). 그러나 체적함수비는 중량함수비에 비하여 측정이 곤란하여 측정이 간편한 중량

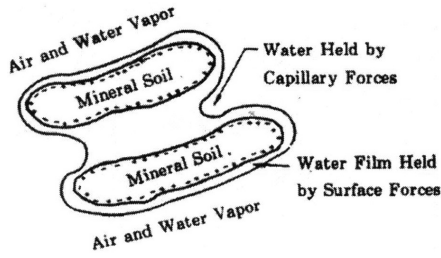
함수비를 이용하여 체적함수비와의 관계식에 의해 체적함수비를 산정한다. 이는 흙의 공극에만 물이 존재하는 경우에는 중량함수비와 체적함수비와의 관계가 성립하지만 실제적으로 물은 흙입자 내에도 포함되기 때문에 중량함수비와 체적함수비와의 관계식을 토대로 산정된 체적함수비와 실제 체적함수비와는 차이가 있다. 본 연구에서는 흙 입자 자체의 흡수율을 이용하여 중량함수비와 체적함수비와의 관계식을 보정하는데 목적이 있다.

## 2. 이론적 배경

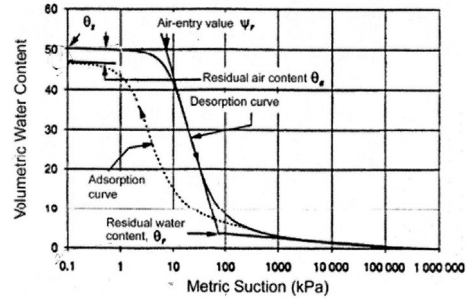
불포화토의 가장 큰 특징인 모관흡수력은 흙 입자사이에 존재하는 물의 표면 장력과 흙입자 사이의 작은 공극에 의한 모관현상에 의해 흙 입자가 서로 끌어당기는 현상을 말

1) 정희원, 서일대학 토목과 교수, 공학박사

† 정희원, 홍익대학교 토목공학과 박사과정(E-mail : leein10@hotmail.com)



(a) 모관흡수력과 표면장력에 의해 보유되는물(Guymon, 1994)



(b) 일반적인 함수특성곡선(SoilVision Systems Ltd., 2004)

그림 1. 흙 속의 물의 분포와 함수특성곡선

한다. 그림 1(a)는 실제 흙 안의 물의 존재 양상과 이로 인한 모관흡수력의 존재를 보여주며, 그림 1(b)는 일반적인 함수 특성곡선의 형태를 나타낸다. 기존의 연구결과와 실험결과에 의하면 흙의 함수비가 0에 해당되는 전흡인력(total suction)은 모든 흙에서 10<sup>6</sup>kPa 보다 약간 작은 값을 나타내는 것으로 알려져 있어 모관흡수력의 최대범위는 10<sup>6</sup>kPa 까지 나타난다(박성원, 2005).

그림 1에서와 같이 흙속의 물은 표면장력에 의해 공극에 산재되어 있으며 이러한 이유로 중량함수비 보다 체적함수비의 사용이 더 적합하다. 중량함수비와 체적함수비는 각각 식 (1)로 정의된다.

$$\begin{aligned} \text{중량함수비 } w &= \frac{W_{\text{water}}}{W_{\text{soil}}} \\ \text{체적함수비 } \theta &= \frac{V_{\text{water}}}{V} \end{aligned} \quad (1)$$

식 (1)에서 흙의 간극, 비중을 이용하여 부피와 중량의 관

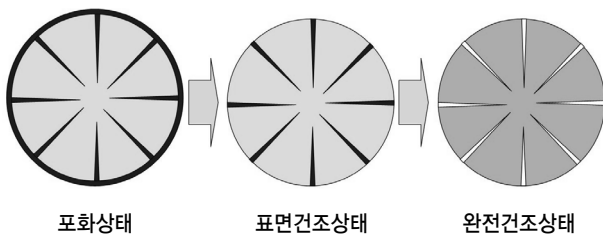


그림 2. 흡입자의 건조

계를 연결하면 중량함수비와 체적함수비의 관계는 식 (2)와 같다.

$$\theta = \frac{G_s}{1+e} w \quad (2)$$

식 (2)에서 중량함수비와 체적함수비의 관계에서는 흙의 중량과 부피의 관계를 고려하기 위한 흙의 비중( $G_s$ )과 흙의 전체 체적( $V$ )에 대한 공극의 체적을 고려하기 위한 간극비( $e$ )값이 쓰이게 된다. 식 (2)를 보면 중량함수비와 체적함수비는 원점을 지나는 선형비례관계이므로 체적함수비가 0이라면 중량함수비도 0이 된다. 그러나 물이 공극에는 존재하지 않고 흡입자 내에만 존재한다면 체적함수비는 0이라도 중량함수비는 0이 아니게 된다. 그림 2는 포화된 흡입자가 완전 건조되는 과정을 나타내는 모식도이다.

포화된 흡입자는 건조단계에서 표면수가 먼저 건조하며 다음으로 공극과 입자자체가 같이 건조되게 된다. 본 연구에서는 표면건조상태와 완전건조상태의 차이를 이용하여 흙의 흡수율에 대한 실험을 실시하였다.

### 3. 흡수율 실험

#### 3.1 개요

흡입자의 흡수율에 대한 실험을 하기 위한 흡수율 실험



(a) 사암

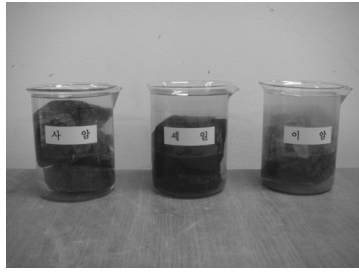


(b) 셰일



(c) 이암

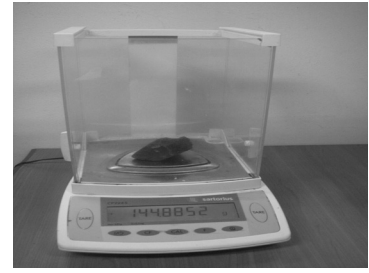
그림 3. 시료 사진



(a) 시료 포화



(b) 시료 건조



(c) 중량 측정

그림 4. 실험과정

은 먼저 시료를 상온에서 24시간 동안 포화를 시킨 후 10 5°C에서 건조하며 중량의 변화를 측정하였다. 측정시간은 초기 20분 동안은 1분 간격으로 측정하였으며 20분 이후에

는 10분 간격으로 측정하였다. 시료의 중량 측정은 중량의 변화가 없을 때까지 측정하였다. 측정시간 간격이 작은 관계로 건조로에서 시료의 중량을 측정하기 위하여 시료를 꺼낼 때 방냉시키는 과정은 생략하였다. 또한 시료는 흙 자체를 사용할 경우 중량 측정 시 실험상 오차에 대한 영향이 크므로 모래 입자의 흡수력을 대표할 수 있는 사암과 점토 입자의 특징을 대표할 수 있는 이암과 세일을 사용하였다.

### 3.2 실험결과

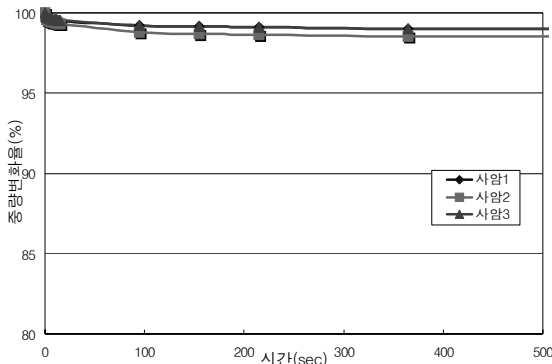
각 시료에 대한 실험결과는 그림 5와 같다. 그래프에서 세로축은 시료의 중량백분율이며 가로축은 건조시간이다. 실험결과 초기에는 표면수의 증발로 인하여 시간당 중량의 감소가 급격하여 선형으로 감소하나 약 5분 이후에는 점착 곡선을 그리며 변화한다.

## 4. 실험결과 고찰

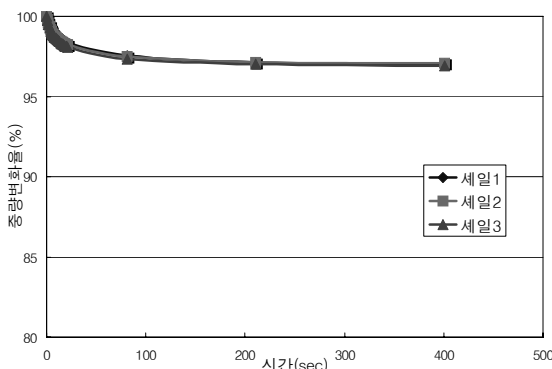
### 4.1 흙 입자의 입경과 흡수율과의 관계

시료의 실험결과에서 시료의 표면수가 증발하는데 걸리는 시간을 육안으로 관찰하였으며 이때 시료의 중량백분율은 선형변화라 가정하였다. 그 결과 건조시간 5분이 표면수 완전증발 상태라 가정하였다. 표면수 완전증발 상태에서부터 시료의 완전건조 상태까지의 중량백분율을 표 1에 나타내었다.

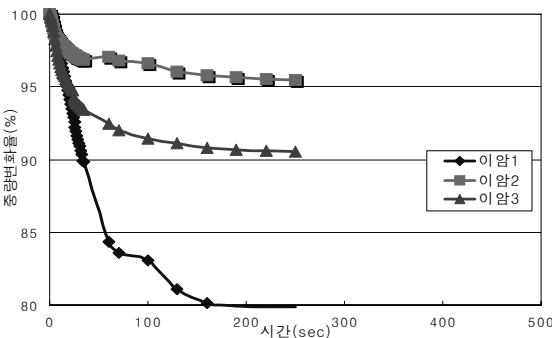
이암의 경우 측정 시료마다 오차가 매우 크게 나타났다. 이는 시료내의 공극이 원인이라 판단된다. 본 실험의 목적이 흙입자의 흡수율을 알아보기 위한 실험이므로 공극의 영향을 최대한 없애기 위해 중량의 변화율이 가장 작은 두 개의 결과를 가지고 평균을 내었다. 이 결과를 입자의 크기와 관련하여 사암의 흡수특성이 사질토의 흡수특성, 이암의 흡수특성이 점토의 흡수특성을 반영한다고 가정하여 입자크기별 흡수율에 관계를 도시하면 그림 6과 같다. 모래입자의



(a) 사암의 경우



(c) 세일의 경우



(c) 이암의 경우

그림 5. 건조실험 결과

표 1. 표면수 완전증발 상태와 시료의 완전건조 상태의 중량 백분율 차이

구 분	사 암	세 일	이 암
시 료 1	0.69	2.24	3.22
시 료 2	1.04	2.04	7.72
시 료 3	0.78	2.07	18.91
평 균	0.74	2.06	5.47

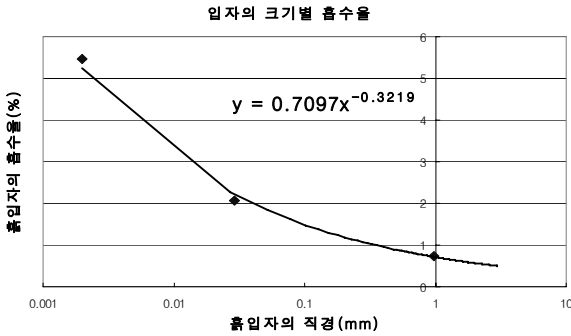


그림 6. 흡입자의 크기와 흡수율 관계

크기는 0.06~2mm의 평균인 0.97mm를 사암의 흡수율, 점토입자는 0.002mm를 이암의 흡수율, 모래입자와 점토입자 크기의 중간인 0.029mm를 세일의 흡수율로 적용하였다.

#### 4.2 체적함수비와 중량함수비와의 관계

흡입자 자체의 흡수력으로 인하여 체적함수비와 중량함수비의 관계는 원점을 지나는 선형관계가 되지 않으며, 이를 반영하기 위해 암석의 흡수율 시험을 하였다. 흡수율 실험의 시료는 각각 모래입자와 점토입자에 대한 흡수율을 실험하기 위하여 사암, 이암, 세일을 사용하였으며 실험결과로 흡입자의 크기와 흡수율의 관계를 산정하였다. 흡입자의 크기와 흡수율의 관계식은 식 (3)과 같다.

$$\beta(\%) = 0.71d^{-0.3219} \quad (3)$$

여기서  $\beta$  : 흡입자의 흡수력(%)

$d$  : 흡입자의 직경(mm)

식 (3)의 흡입자의 흡수력( $\beta$ )을 이용하여 기존의 체적함수비와 중량함수비의 관계(식 (2))를 보정하면, 식 (4)와 같이 흡입자의 흡수력만큼 식 (2)의 체적함수비와 중량함수비의 관계식의 그래프를 평행이동한다(그림 7).

$$\theta = \frac{G_s}{1+e} (w - \beta) \quad (4)$$

식 (4)와 그림 7에서 보이듯 흡입자 자체가 흡수하고 있는 물의 양에 의해 공극에는 물이 없다할지라도(체적함수비( $\theta$ )=0) 중량함수비는  $\beta$ 만큼 존재한다. 식 (4)에서 중량함수

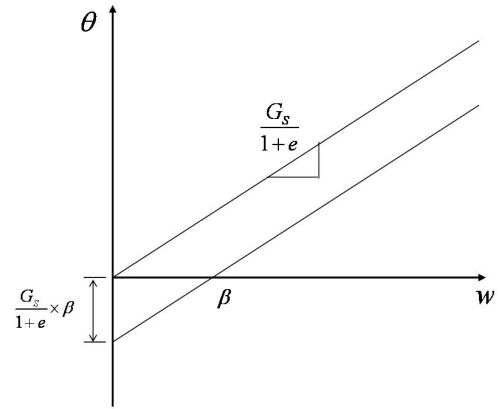


그림 7. 보정된 중량함수비와 체적함수비의 관계

비와 체적함수비는 항상 양의 값을 가지므로 이를 쌍곡선의 방정식을 이용하여 보정하면 식 (5)가 된다.

$$\theta = \frac{1}{2} \left\{ \frac{G_s}{1+e} w - \beta + \sqrt{\left( \frac{G_s}{1+e} w - \beta \right)^2} \right\} \quad (5)$$

식 (5)에서 흡입자의 흡수력( $\beta$ )은 흡입자의 크기와 관계 있으므로 이를 실용적으로 체분석 시험결과를 이용하기 위한 식은 식 (6)과 같다.

$$\theta = \frac{1}{2} \left\{ \frac{G_s}{1+e} w - 0.71 W_i N_i^{-0.3219} + \sqrt{\left( \frac{G_s}{1+e} w + 0.71 W_i N_i^{-0.3219} \right)^2} \right\} \quad (6)$$

여기서  $W_i$  :  $i$ 번 체에 남은 중량백분율(%)

$N_i$  :  $i$ 번 체의 간격(mm)

식 (5)는 일반적인 상태의 지반(비가 오지 않은 상태)에 적용하여야하며 강우 시에는 흙의 공극부터 물이 차기 시작하므로 식 (2)를 적용해야 한다.

## 5. 결 론

본 연구는 흡입자의 흡수력을 고려하여 체적함수비와 중량함수비의 관계를 규명하는데 목적이 있다. 흡입자의 흡수율을 측정하기 위하여 사질토와 점성토의 성질을 가지고 있는 사암, 이암, 세일을 시료로 시간별 건조율에 대한 실험을 실시하였으며 그 결과 암석의 표면수가 제거된 시점부터 완전건조 되기까지의 중량백분율의 변화를 흡입자의 크기와 관련하여 흡입자의 크기별 흡수율의 추정식을 산출하였으며, 이를 이용하여 체적함수비와 중량함수비의 관계에 입자의 크기와 혼합정도를 고려한 관계식을 산출하였다. 흡입

자의 흡수특성은 입경 뿐만 아니라 구성물질의 종류에도 관계가 있으며, 이에 대한 추가 실험을 보완하여 향후 연구로 진행될 예정이다.

## 감사의 글

본 연구는 2009년도 서일대학 학술연구비지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

## 참고 문헌

1. 박성원(2005), 강우를 고려한 화강풍화토 사면의 설계기법에 관한 연구, 박사학위 논문, 홍익대학교. pp. 16~17.
2. 이상경(2006), 불포화 무한사면의 침투거동에 관한 연구, 박사학위 논문, 홍익대학교. p. 16.
3. SoilVision Systems Ltd.(2004), *SoilVison User's Manual*, p. 33.

(접수일: 2011. 1. 3 심사일: 2011. 1. 14 심사완료일: 2011. 2. 20)