

노건조된 화강풍화토의 공기 중 노출시 습윤무게 증가에 관한 실험적 연구

김석주*

경북도립대학교 토목공학과 교수

Experimental Study of the Weight Increase of the Oven Dried Weathered Granite Soil due to Moisture Absorbed during Air Exposure

Suk-Joo Kim*

Professor, Department of Civil Engineering, Gyeongbuk Provincial College

Abstract

This work reports an oven drying test performed on weathered granite soil from Yecheon, Korea, in order to find an effective method for measuring the weight of pure soil particles. After samples were oven dried, weights measured following desiccation using the method specified by the Korean Industrial Standard (KS F) were compared with weights measured without prior desiccation. Soil samples exposed to air for 45 min after oven drying absorbed moisture from the air and gradually increased in weight. When a desiccator was used, results measured 30 s after exposure to air indicated weight increases of 0.103-0.735% (depending on the particle size of the soil) relative to equivalent samples measured without desiccation. Using a desiccator after oven drying leads to overestimation of the pure soil weight. Therefore, measuring the weight of a soil sample immediately after oven drying without using a desiccator can reduce the error of weight measurement.

Keywords: weathered granite soil, soil weight, humidity, drying oven, desiccator

초 록

본 연구에서는 순수한 흙입자의 무게를 측정하는 유효한 방법을 찾기 위하여 예천지역의 화강풍화토를 대상으로 노건조 시험을 수행하였다. 노건조 후 데시케이터를 사용하는 한국산업표준(KS F)에 규정된 방법과 데시케이터를 사용하지 않는 경우에 대하여 비교하였다. 노건조 후 45분간 공기 중에 노출된 흙 시료는 공기 중에서 수분을 흡수하여 무게가 점진적으로 증가하였다. 공기 중에 노출 후 30초에 측정된 결과에서 데시케이터를 사용한 경우는 데시케이터를 사용하지 않은 경우에 비하여 흙의 입경에 따라 0.103~0.735%의 무게가 증가되었다. 노건조 후 데시케이터를 사용하면 순수한 흙무게를 과대평가하는 결과가 나타난다. 그러므로, 데시케이터의 사용 없이 노건조 후 시료의 무게를 곧바로 측정하면 흙무게의 측정오차를 감소시킬 수 있다.

주요어: 화강풍화토, 흙무게, 습도, 건조로, 데시케이터

OPEN ACCESS

*Corresponding author: Suk-Joo Kim
E-mail: smbstory@naver.com

Received: 7 September, 2022
Revised: 26 September, 2022
Accepted: 27 September, 2022

© 2022 The Korean Society of Engineering Geology



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

서론

연구의 배경

흙의 물리적 특성을 확인하는 가장 기본적인 방법 중 한 가지는 무게를 측정하는 것이다. 흙의 무게는 노건조하여 간극 속의 물을 완전히 제거한 건조무게와 물을 일부 포함한 습윤무게로 구분할 수 있다. 물이 포함되지 않은 순수한 흙입자만의 무게를 측정하기 위해서는 반드시 건조과정을 거쳐야 한다. 우리나라의 KS F 2104(2018)(강열 감량법에 의한 흙의 유기물 함유량 시험방법)와 KS F 2301(2020)(흐트러진 흙의 시료 조제 방법), KS F 2302(2017)(흙의 입도 시험방법), KS F 2306(2020)(흙의 함수비 시험방법), KS F 2308(2022)(흙입자 밀도 시험 방법), KS F 2324(2022)(흙의 공학적 분류 방법), KS F 2341(2017)(흙의 입도 및 물리적 성질 시험용 젖은 시료 제조 방법), 그리고 ASTM D2216-19(2019)에서 흙입자의 무게 측정을 위해 건조로 속에서 $110 \pm 5^\circ\text{C}$ 의 온도로 건조하고, 그 후 데시케이터(Desiccator) 안에서 실온이 될 때까지 식혀서 노건조된 시료의 무게를 측정하도록 규정하고 있다. 그리고, 건조된 흙의 무게 측정을 위하여 측정 무게의 약 0.1% 감도의 저울을 사용(KS F 2301, 2020)하거나, 감도 0.001 g 이하의 저울을 사용(KS F 2104, 2018; KS F 2308, 2022)하도록 규정하고 있다. 그러나, 건조로에서 건조된 시료를 외부로 꺼내어 무게를 측정할 경우 공기 중에 존재하는 수분을 흡수하기 때문에 흙시료의 무게가 증가하므로 Lee and Lee(2010)는 건조로 내부에서 시료의 무게를 측정하는 저울을 설치하여 건조시료의 무게를 측정한다. 이러한 노력에도 불구하고 저울의 최대 측정 무게의 제한 등 기술적인 한계와 흙의 물성 시험을 위한 시험방법과 규정에 따른 절차상의 이유로 인하여 건조로 내부에서 흙시료의 무게를 측정하기 곤란한 경우에는 부득이 건조로 밖으로 시료를 꺼내어 무게를 측정한다. 건조로 속에서 $110 \pm 5^\circ\text{C}$ 의 고열로 건조된 시료는 데시케이터 안에서 상온이 될 때까지 식혀서 노건조된 시료의 무게를 측정한다. 이때, 데시케이터 안에는 실리카겔이나 염화칼슘 등의 제습제를 넣어 시료의 공기접촉에 의한 수분 흡수를 최대한 방지한다. 그러나, 데시케이터의 외부로 시료를 꺼내어 저울에 무게를 측정할 경우 공기 중에 노출될 수밖에 없고 그 결과 수분 흡수가 발생되어 흙무게가 증가되는 문제점이 여전히 존재한다. 그러므로, 공기 중 수분 흡수에 의한 무게 증가의 영향에 관한 연구의 필요성이 존재한다.

본론

연구의 범위와 방법

본 연구에서는 노건조 후 공기 중에서 측정된 흙무게와, 노건조 후 데시케이터에서 식혀진 흙의 공기 중 무게를 측정하여 무게 변화 특성을 상호 비교분석하였다. 보다 정밀한 무게 측정을 위해서 AND사의 HR-200 전자저울을 사용하였고

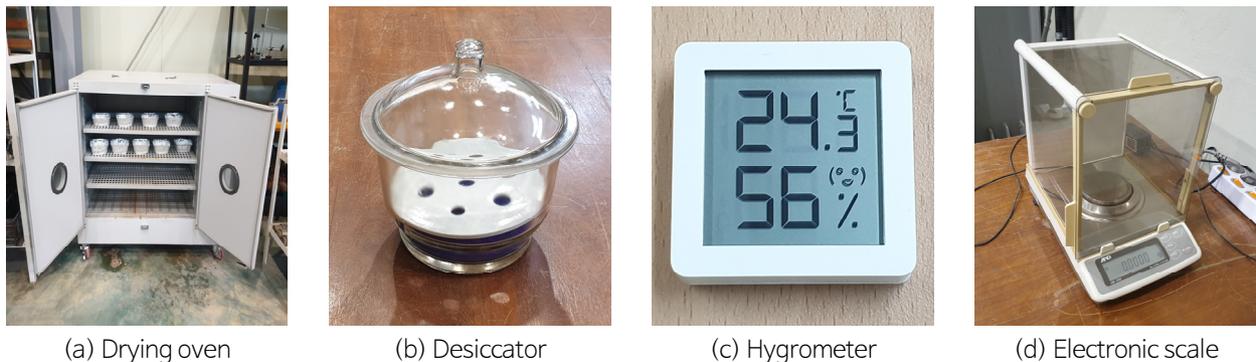


Fig. 1. Experimental equipment.

KS F 2104(2018)와 KS F 2308(2022)의 규정보다도 더 높은 0.0001 g (0.1 mg)의 감도로 무게를 측정하였다. 노건조된 시료의 무게 측정시 공기 중 수분 흡수의 영향으로 인한 무게 증가 현상을 확인하기 위하여 총 3가지 실험을 수행하고 그 결과를 비교 분석하였다. 첫 번째로 흡무게 측정시 사용된 용기의 종류에 따른 용기 무게의 증가에 관하여, 두 번째는 노건조 후 데시케이터에서 온도를 식히지 않고 곧바로 무게를 측정할 경우, 세 번째는 노건조 후 데시케이터를 활용할 경우에 대하여 무게를 측정하였다. 본 연구를 위한 주요 실험 장비로는 열선 히터방식의 건조로, 유리 재질의 데시케이터, 측정범위 0~99%RH의 전자식 습도계, 0.0001 g 감도의 전자저울이 사용되었다(Fig. 1).

용기 종류에 따른 무게 변화

흡시료의 무게 측정을 위하여 용기를 사용할 경우, 노건조된 용기의 무게 측정시 공기와의 접촉에 의해 용기의 표면에 수분이 흡착될 수 있으므로 무게 오차를 최소화 할 수 있는 용기를 사용하는 것이 합리적이다. 본 연구에서는 스테인리스 스틸, 유리, 알루미늄 시트, 알루미늄 캔 3종(대,중,소)의 5가지 용기를 사용하여 노건조 후 무게를 측정하였다(Fig. 2). 110 ± 5°C의 온도로 24시간 노건조 후 공기 중에서 30초 간격으로 45분간 측정된 건조 용기의 무게는 시간이 지남에 따라 서서히 증가하였다(Fig. 3). 유리용기에서는 0.1017 g의 가장 큰 무게 증가가 나타났고 알루미늄 캔(대), 스테인리스 스틸, 알루미늄 캔(중), 알루미늄 캔(소), 알루미늄 시트의 순으로 나타났다. 그 중, 알루미늄 시트(Aluminum sheet) 용기의 증가된 무게는 45분후 0.014 g으로 가장 작았고 다른 용기에 비해 무게 변화가 상대적으로 초기에 수렴하여 흡무게 측정시 오차를 최소화 할 수 있는 용기로 확인되었다. 동일한 재질의 알루미늄 캔(대,중,소)의 경우 표면적이 큰 순서대로 무게가 증가되어 표면적이 클수록 수분 흡착이 크게 발생됨을 알 수 있다. 그러나, 알루미늄 시트 용기는 다른 용기들에 비하여 상대적으로 큰 표면적을 나타내지만 오히려 무게 증가량은 가장 작게 나타나 표면적의 크기 정도와 함께 용기 재질의 특성이 수분 흡착 정도에 복합적으로 영향을 미치는 것으로 판단된다.

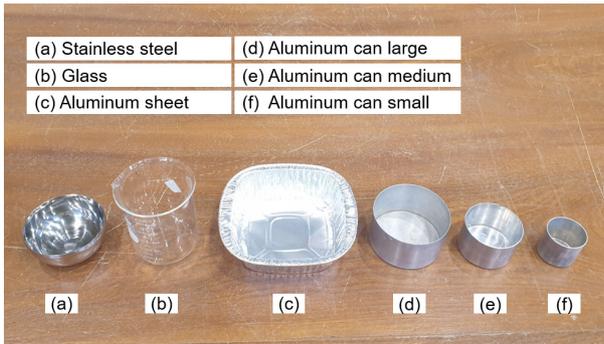


Fig. 2. Sample storage containers.

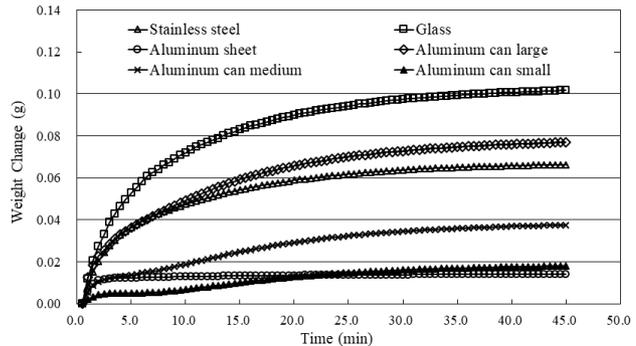


Fig. 3. Weight increases observed using various containers.

노건조 후 흡무게 변화

노건조된 흡시료의 공기 중 무게 측정을 위하여 경상북도 예천지역에서 채취된 화강풍화토를 사용하였다. 화강풍화토 시료는 체가름하여 각체의 크기별로 YC-1부터 YC-9까지 구분되었다(Fig. 4). 각 시료는 #4, #10, #16, #30, #40, #60, #100, #200체에 남겨진 후 물세척하였고, #200체를 통과하여 팬(Pan)에 담긴 시료는 물세척하지 않았다. 흡시료는 9개의 알루미늄 시트 용기에 담겨 110 ± 5°C의 온도로 24시간 노건조 후 공기 중에서 30초 간격으로 최대 45분간 무게를 측정하고, 측정된 무게에서 각 시료를 담은 알루미늄 시트 용기의 시계열로 획득된 무게 값을 제거하여 순수한 흡무게를 산정하였다(Fig. 5). 노건조 시간은 KS F 2306(2020)과 KS F 2324(2022)의 규정에 따라 24시간으로 설정하였다.

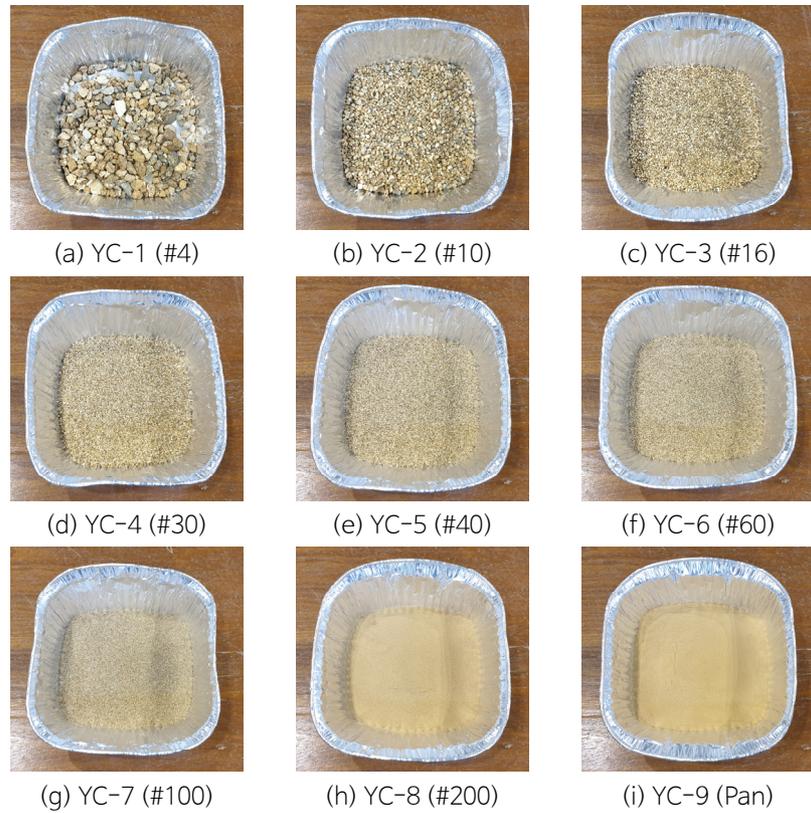
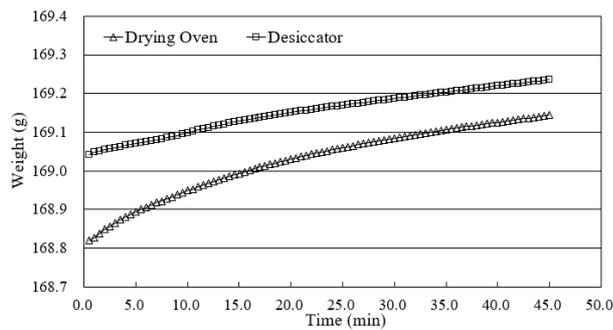
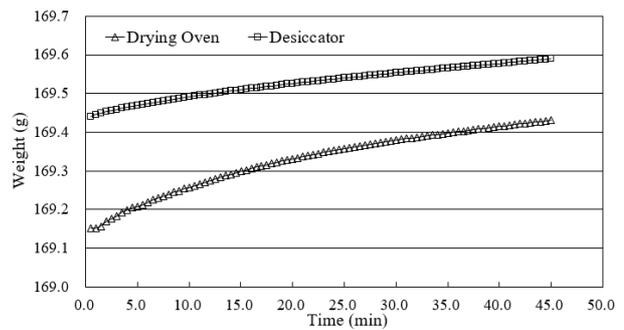


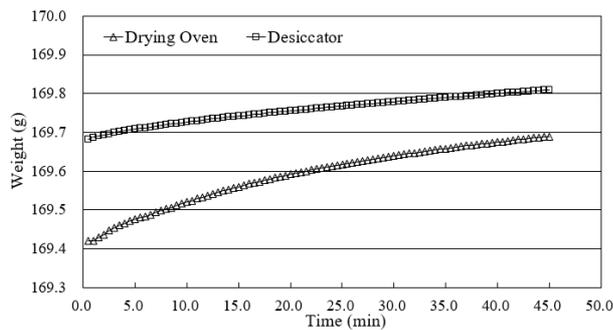
Fig. 4. Soil samples for testing.



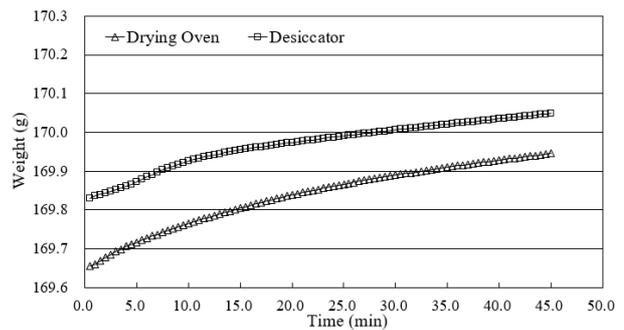
(a) YC-1 (#4)



(b) YC-2 (#10)

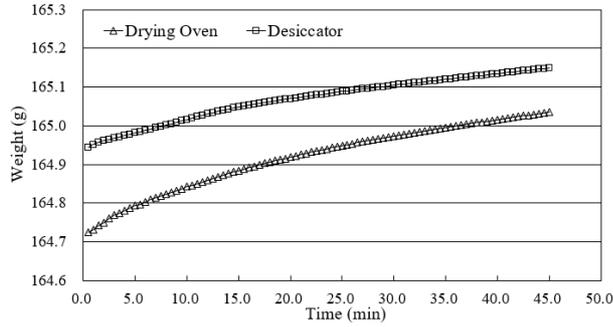


(c) YC-3 (#16)

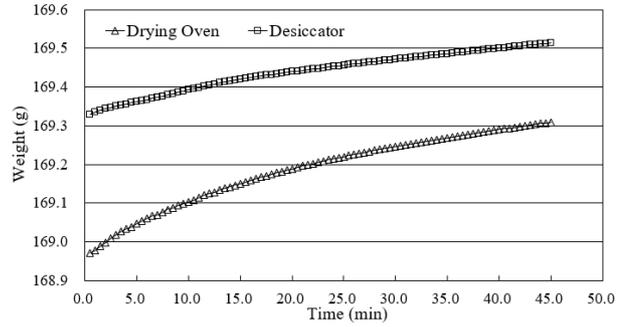


(d) YC-4 (#30)

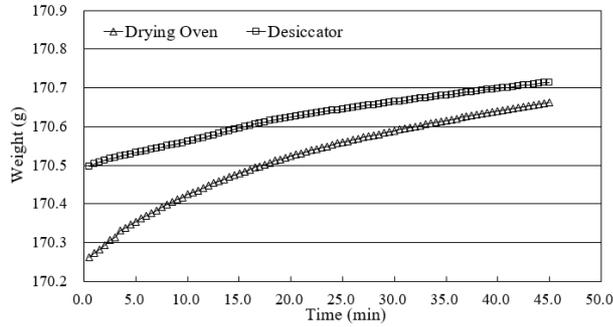
Fig. 5. Soil weight changes.



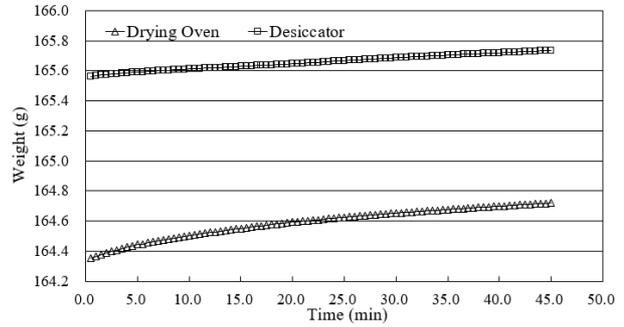
(e) YC-5 (#40)



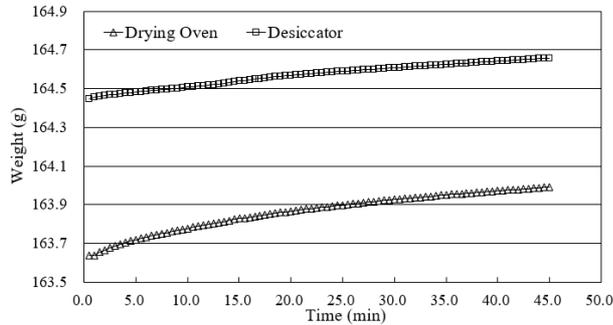
(f) YC-6 (#60)



(g) YC-7 (#100)



(h) YC-8 (#200)



(i) YC-9 (Pan)

Fig. 5. Continued.

총 45분간의 측정시간 동안 모든 시료에서 건조된 흙의 무게가 지속적으로 증가하였다. 그 원인은 Lee and Lee(2010)가 언급한 바와 같이 흡입자가 공기 중의 수분을 흡수하여 시간이 지남에 따라 무게가 증가했기 때문으로 판단된다. 그러므로, 공기 중에서 흙의 무게를 측정해야 할 경우 순수한 흙의 무게 산정을 위하여 가급적 짧은 시간 내에 무게가 측정되어야 할 필요성이 존재한다. 공기 중 노출시간이 길어질수록 공기로부터 흡수된 수분의 양이 증가되므로 순수한 흙무게 산정시 오차가 증가된다.

데시케이터 건조 후 흙무게 변화

한편, 노건조된 시료는 데시케이터 안에서 실온이 될 때까지 식혀서 시료의 무게를 측정할 수 있다. 이때, 데시케이터 안에는 실리카겔이나 염화칼슘 등의 제습제를 넣어 시료의 공기 접촉에 의한 수분 흡수를 최대한 방지한다. 본 연구에서는 실리카겔을 사용하였고 외부로부터의 공기 유입을 방지하기 위하여 실리콘그리스를 사용하여 데시케이터의 상하부 접촉

면을 밀봉하였다. 먼저, 데시케이터의 제습능력을 확인하기 위하여 내부에 측정범위 0~99%RH의 디지털 습도계를 설치하고 흡시료 없이 24시간 경과한 후 습도를 측정하였다. 총 3개의 습도계로부터 측정된 최저습도는 6%RH로 확인되었다 (Table 1). 이 결과는 데시케이터를 사용하여 공기 중 수분을 완벽히 제거하는데 성능상의 한계가 존재하며, 데시케이터 건조의 과정을 거칠 경우 흡시료가 데시케이터 내부의 공기로부터 수분을 흡수하므로 순수한 흡입자의 무게가 과대평가 되는 문제점이 발생할 수 있음을 보여준다. 그 후, YC-1부터 CY-9까지 9개 시료를 노건조한 후 데시케이터 내부에서 각각 24시간 방치하고 시료를 꺼내어 30초 간격으로 총 45분간 공기 중 무게를 측정하였다(Fig. 5). 이때, 데시케이터 내부의 24시간 후 습도는 최소 5%RH에서 최대 10%RH로 확인되어 데시케이터 건조로 인한 제습능력에 한계가 있음을 확인하였다(Table 1). 흡무게 측정결과, 데시케이터에서 건조된 흙의 무게도 노건조 후 측정된 흙의 무게와 같이 시간이 지남에 따라 점진적으로 증가하였다. 이러한 결과는 데시케이터 내부의 습도보다 공기 중의 습도가 더 높기 때문에 흡입자가 공기 중의 수분을 흡수하여 시간이 지남에 따라 무게가 증가된 것이다. 그러므로, 데시케이터에서 시료를 건조한 후 공기 중에서 흙의 무게를 측정해야 할 경우에도 가급적 짧은 시간 내에 무게를 측정하는 것이 공기 중 수분의 영향 없이 순수한 흙의 무게를 측정하는 방법이라 할 수 있다.

Table 1. Humidity of dry samples after 24 h in a desiccator

| Soil sample | YC-1 (#4) | YC-2 (#10) | YC-3 (#16) | YC-4 (#30) | YC-5 (#40) | YC-6 (#60) | YC-7 (#100) | YC-8 (#200) | YC-9 (Pan) | None |
|-------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------|----------------|---------------|------|
| Humidity | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 9 | 9 | 9 | 10 |
| (%) | 2 | 8 | 7 | 7 | 7 | 6 | 6 | 6 | 6 | 7 |
| | 3 | 6 | 6 | 6 | 6 | 5 | 5 | 5 | 5 | 6 |
| Mean | 8.00 | 7.67 | 7.67 | 7.67 | 7.67 | 7.00 | 6.67 | 6.67 | 6.67 | 7.67 |

실험결과와 비교와 분석

한편, 45분간의 측정 결과에서 동일시간 대비 데시케이터에서 건조된 흙의 무게가 노건조 후 측정된 흙무게 보다 더 크게 나타났다(Fig. 5). 이러한 경향은 YC-1부터 YC-9까지 모든 시료에서 동일하게 확인되었는데 실리카겔을 제습제로 사용하였으나 데시케이터 내부 공간의 공기로부터 흙에 미세한 흡수가 발생된 것으로 판단된다. 즉, 노건조에 의한 수분 제거 능력이 실리카겔의 수분 제거 능력보다 더 높은 것으로 판단된다. 그러므로, 건조된 흡입자의 무게를 보다 정확히 측정하기 위해서는 데시케이터의 건조과정 없이 노건조 후 곧바로 무게를 측정하는 것이 보다 효과적인 방법이라 할 수 있다.

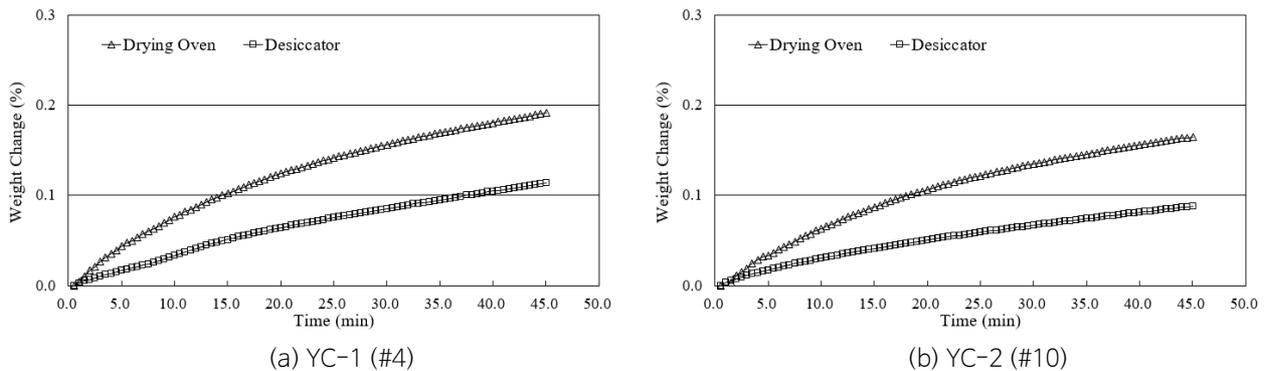
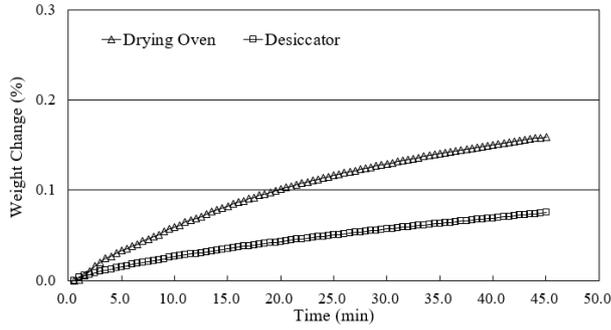
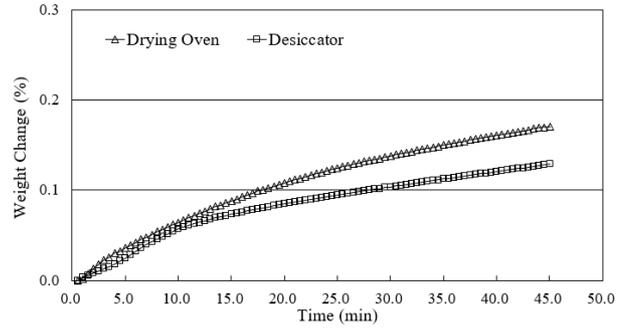


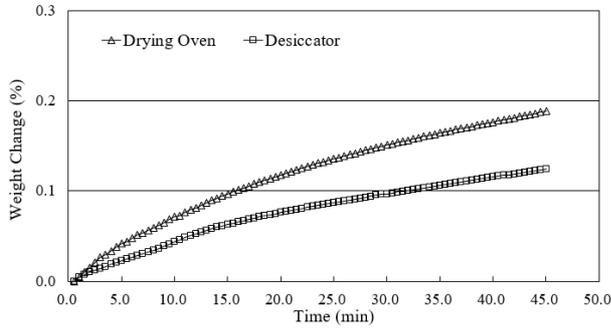
Fig. 6. Rates of soil weight change.



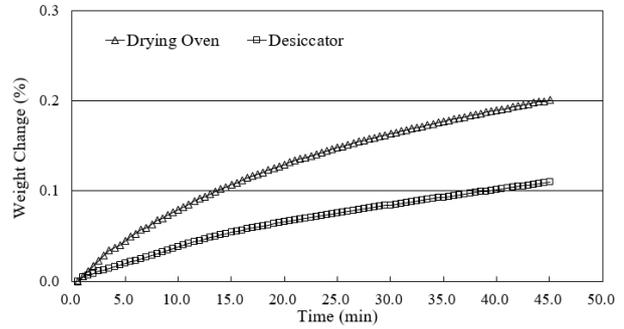
(c) YC-3 (#16)



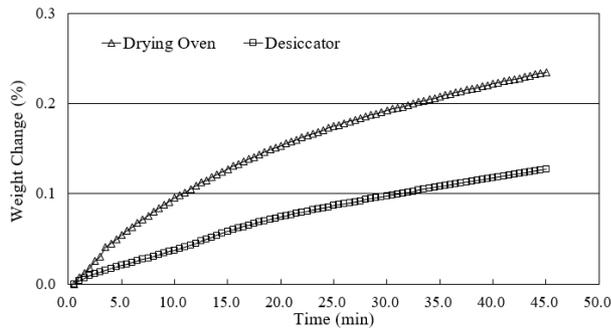
(d) YC-4 (#30)



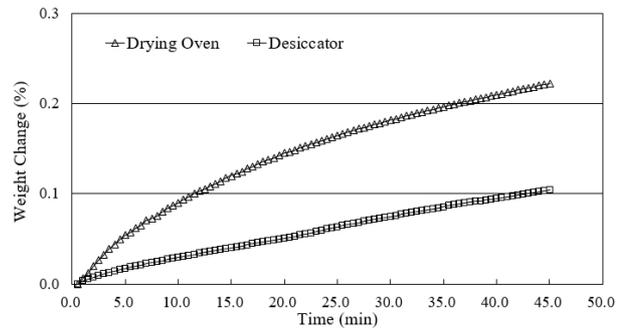
(e) YC-5 (#40)



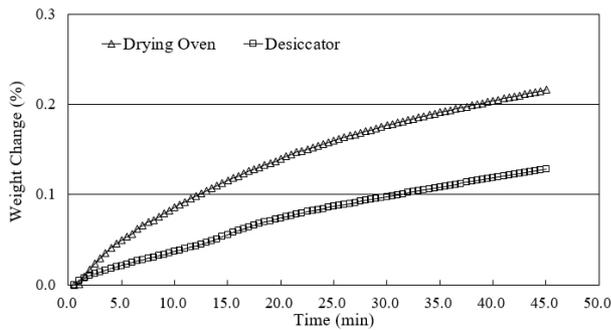
(f) YC-6 (#60)



(g) YC-7 (#100)



(h) YC-8 (#200)



(i) YC-9 (Pan)

Fig. 6. Continued.

또한, 노건조된 시료는 데시케이터 건조된 시료에 비해 공기 중 무게 증가율이 높게 나타났다(Fig. 6). 노건조 시료의 무게 증가율 비교를 위하여 초기 30초 측정값 대비 45분에 측정된 무게를 비교한 결과 시료에 따라 최소 0.159% (YC-3)에서

최대 0.235% (YC-7)로 나타났고 평균 0.194%가 증가하였다(Table 2). 반면, 데시케이터 건조 시료에서는 최소 0.075% (YC-3)에서 최대 0.129% (YC-4)로 나타났고 평균 0.111%가 증가되었는데, 노건조 시료에 비해 데시케이터 건조 시료의 무게 증가율이 낮은 것은 흡입자의 공기 중 흡수가 진행될수록 흡수력이 점진적으로 감소하기 때문으로 판단된다. 무게증가율 분석에서 노건조 직후의 공기 중 흡수력이 가장 크고 시간이 지남에 따라 흡수력이 점차 감소함을 알 수 있다. 또한, 데시케이터 건조의 경우 데시케이터 내부의 공기로부터 이미 흡수가 일정부분 진행되어 외부 공기에 노출시 무게 증가가 작게 발생된 것으로 판단된다. 그러므로, 데시케이터 건조의 과정은 정확한 흡입자의 무게를 측정하는데 불리하며 오히려 흡의 무게를 과대평가하는 문제점을 발생시킬 수 있다.

Table 2. Comparison of soil weight increases after 30 s versus after 45 min

| Soil sample | | YC-1 (#4) | YC-2 (#10) | YC-3 (#16) | YC-4 (#30) | YC-5 (#40) | YC-6 (#60) | YC-7 (#100) | YC-8 (#200) | YC-9 (Pan) | Mean |
|--------------|-------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------|----------------|---------------|-------|
| Dried weight | Drying oven | 0.191 | 0.165 | 0.159 | 0.171 | 0.188 | 0.201 | 0.235 | 0.222 | 0.216 | 0.194 |
| increase (%) | Desiccator | 0.114 | 0.088 | 0.075 | 0.129 | 0.124 | 0.110 | 0.127 | 0.104 | 0.129 | 0.111 |

Fig. 5와 Fig. 6의 결과로부터 측정시간이 45분 이상 지속될수록 공기 중 수분 흡수에 의해 흙의 무게는 지속적으로 증가될 것으로 예측되었다. 노건조 후 장기간(10일)의 공기 중 노출에 의한 흙무게의 측정 결과에서 초기 6일간은 모든 시료에서 무게가 증가하였고 그 후, 공기의 상태에 따라 무게가 증감하였다(Fig. 7). 9개 시료중 입경이 상대적으로 작은 YC-8(#200)과 YC-9(Pan) 시료는 입경이 큰 다른 시료에 비해 흙무게의 증가율이 2배 정도 크게 나타났다. 증가된 흙무게는 순수한 흙의 무게가 아니라 공기 중에 노출된 흙시료의 흡수로 인한 무게의 증가에 기인한 것이므로, 상대적으로 단위 무게당 입경이 작고 비표면적이 큰 YC-8(#200)과 YC-9(Pan) 시료에서 흡수가 크게 일어난 것으로 판단된다.

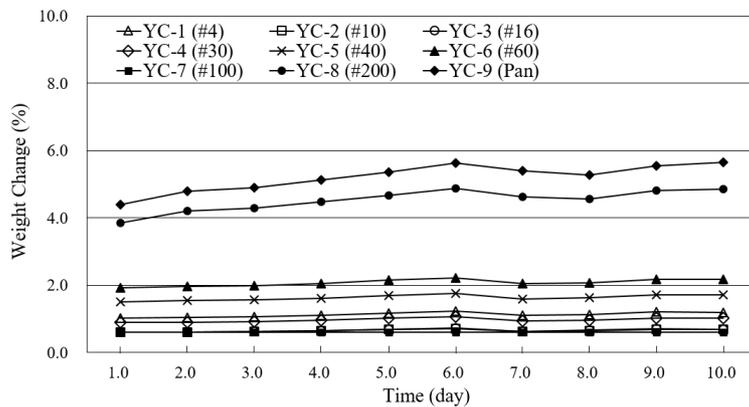


Fig. 7. Percentage weight changes of oven dried soil samples exposed to air.

Fig. 5와 Fig. 7에서 노건조 후 흙의 무게를 측정하는 것이 데시케이터 건조 후 무게를 측정하는 것보다 순수한 흙무게를 측정할 수 있는 보다 더 유효한 방법이며, 노건조의 경우에도 가급적 초기(30초)에 측정된 값이 이 후 측정된 값보다 유효함을 알 수 있다. 그러므로, 초기 30초에 측정된 노건조 후 무게와 데시케이터 건조 후 무게의 차이를 노건조된 무게로 나누어 그 정도를 나타낼 수 있다(Fig. 8). 데시케이터 건조 후 30초에 측정된 무게는 노건조 후 30초에 측정된 무게에 비해 입경의 크기에 따라 최소 0.103%에서 최대 0.735% 까지 크게 나타났는데, 이 결과는 데시케이터 건조 후 측정된 흙의 무

계가 실제보다 0.103~0.735% 만큼 과다 산정됨을 의미한다. 그중에서도 YC-8(#200)과 YC-9(Pan)는 다른 시료에 비해 상대적으로 더 큰 값을 나타내었고 이러한 경향은 측정 45분간 동일하게 나타났는데, 입경이 상대적으로 작은 YC-8(#200)과 YC-9(Pan)는 입경이 큰 흙에 비해 비표면적이 크고 흡수력이 커 공기 중에서 보다 더 많은 수분을 흡수하였기 때문으로 판단된다(Fig. 9).

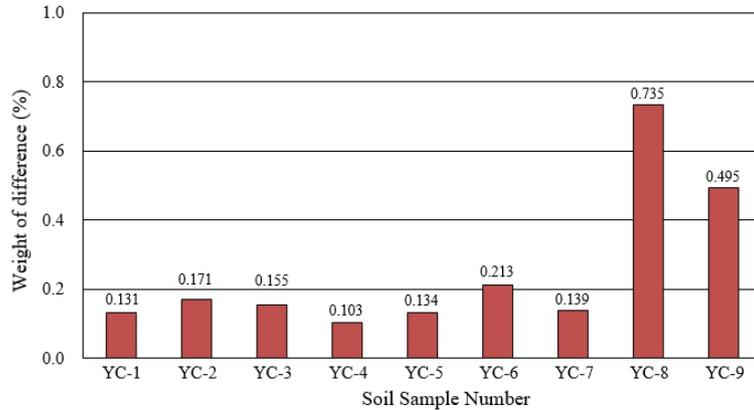


Fig. 8. Comparison of the difference in weight between the oven dried sample and sample dried in desiccator measured when it's 30 s after exposure to air.

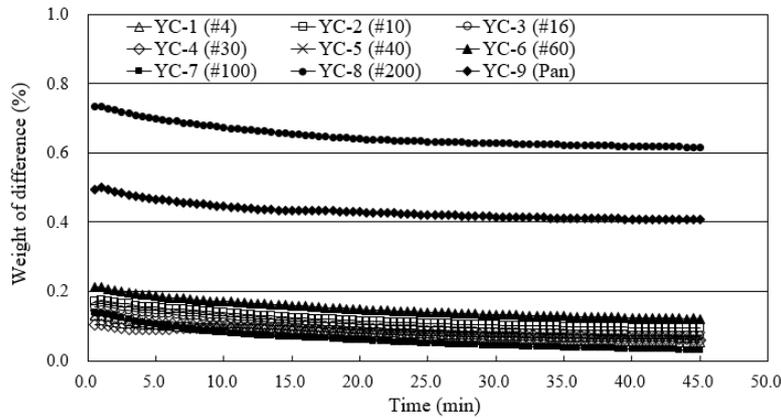


Fig. 9. Comparison of the difference in weight between the oven dried sample and sample dried in desiccator measured for 45 min after exposure to air.

결론 및 고찰

순수한 흙입자의 무게를 측정하는 일반적인 방법은 흙을 $110 \pm 5^\circ\text{C}$ 로 노건조 한 후 데시케이터에서 식혀 무게를 측정하는 것이다. 그러나 흙의 무게를 저울에 측정하기 위하여 공기 중에 노출할 경우 공기 중에 존재하는 수분을 흡수하여 시간이 지남에 따라 흙무게가 증가된다. 본 연구에서는 예천지역의 화강풍화토를 대상으로 노건조 후 곧바로 무게를 측정할 경우와 데시케이터 건조과정을 거친 후 측정된 흙무게의 비교 분석을 통해 다음의 결과를 도출하였다.

- (1) 노건조된 흙은 상온의 공기 중에 노출시 6일간 지속적으로 무게가 증가하였다. 그러므로, 흡수된 수분의 증가로 인한 무게 오차를 최소화하기 위해 무게 측정시간에 대한 규정이 필요하다. 현재 한국산업표준의 건설부문(KS F)에는

측정시간에 대한 별도의 규정이 없다. 흙무게는 노건조 후 가급적 짧은 시간 내에 측정하는 것이 바람직하며 본 연구의 결과에서는 노건조 후 30초에 측정된 값이 가장 유효한 것으로 판단되었다. 향후 연구와 논의를 통하여 측정 시간에 대한 보다 합리적인 규정이 신설되어야 할 것으로 판단된다.

- (2) 건조된 시료의 공기 중에 노출 후 30초에 측정된 결과에서, 데시케이터를 사용하여 흙시료를 건조하는 경우는 노건조 후 무게를 측정하는 경우보다 입경에 따라 무게가 0.103~0.735% 크게 산정되었다. 그러므로, 데시케이터 건조 과정 없이 노건조 후 시료의 무게를 바로 측정하는 것이 무게 측정 오차를 줄일 수 있는 방법이라 판단된다. 데시케이터 건조과정 수행시 24시간 경과 후 데시케이터 내부 공기의 습도는 5~10%RH로 확인되어 데시케이터 건조로 인한 완벽한 제습이 불가능함을 알 수 있다.
- (3) 공기 중 수분에 의한 흙무게 증가는 모든 시료에서 동일하게 발생되었으나, 상대적으로 흙의 입경이 작고 비표면적이 큰 YC-8(#200)과 YC-9(Pan) 시료에서 무게 증가율이 크게 나타났다.
- (4) KS F 2301(2020)에서는 건조된 흙의 무게 측정을 위하여 측정 무게의 약 0.1% 감도의 저울을 사용하도록 규정하고 있고 KS F 2104(2018)와 KS F 2308(2022)에서는 감도 0.001 g 이하의 저울을 사용하도록 규정하고 있으나, 향후 보다 정확한 무게 측정을 위하여 0.0001 g (0.1 mg) 감도의 저울 사용으로 측정 정밀도를 높일 필요가 있으며, 무게 측정을 위한 관련규정이 통일될 필요성이 있다.
- (5) 흙무게 측정시 오차 발생을 최소화할 수 있는 용기의 선정을 위하여, 용기의 표면적과 재질이 공기 중 수분 흡수에 미치는 영향에 관하여 연구될 필요성이 존재한다.
- (6) 본 연구는 예천지역 화강풍화토를 대상으로 건조 및 무게 측정 실험을 수행한 것이므로 향후 화강풍화토가 아닌 다른 성인에 의해 생성된 다양한 종류의 흙에 대한 비교 연구가 수행될 필요성이 존재한다.

References

- ASTM D2216-19, 2019, Standard test methods for laboratory determination of water (moisture) content of soil and rock by mass, ASTM International, West Conshohocken, PA, DOI:10.1520/D2216-19.
- KS F 2104, 2018, Standard test method of organic matter contents in soils by ignition loss (in Korean).
- KS F 2301, 2020, Practice for preparing disturbed soil samples for soil testing (in Korean).
- KS F 2302, 2017, Standard test method for particle size distribution of soils (in Korean).
- KS F 2306, 2020, Standard test method for water content of soils (in Korean).
- KS F 2308, 2022, Test method for density of soil particles (in Korean).
- KS F 2324, 2022, Unified soil classification system (in Korean).
- KS F 2341, 2017, Standard method for wet preparation of soil samples for particle size analysis and determination of soil constants (in Korean).
- Lee, S.K., Lee, T.J., 2010, A new suggested method for determining solid weight of rock samples by weight monitoring during drying process, Journal of the Korean Society of Mineral and Energy Resources Engineers, 47(2), 183-190 (in Korean with English abstract).