

흙다짐 건축재료의 적정함수비 현장확인을 위한 낙하시험 방법의 실험적 개선

Experimental Improvement of the Dropping Test for Evaluating the Appropriate Level of Water Content Ratio in Rammed Earth Method

이 종 국*

Lee, Jong-Kook*

Department of Architectural Engineering, Kumoh National Institute of Technology, Gumi, 730-701, Korea

Abstract

Although the interest for earth architecture has been expanded and settled as a part of modern architecture, precisely calculating the ratio of water content in practice is still difficult and the calculation is based on empirical analysis yet. This causes many problems in durability and maintenance of earthen architecture. Therefore, this study investigated to find the easiest way to correctly calculate the appropriate level of water content ratio (AWCR), which can be used in practice. Until now, the workers have checked the AWCR based on their own experience with popular but vague manuals. On this awareness, we studied the several testing methods and found the dropping test which uses the pattern of shape after the sample is dropped. In this point, we studied and developed the definite testing method in terms of process, and shape discrimination. Also we suggest the test recording sheet by using the cobalt chloride(CoCl₂) whose color is instantly changed when contacts with the moisture. It is believed that this result can help improving the quality and durability of the earthen architecture using the rammed earth method and the efficiency in practice.

Keywords : rammed earth method, appropriate water content ratio, dropping test, optimum micro-filler effect, cobalt chloride

1. 서 론

1.1 연구의 목적

20세기 이후 급격하게 진행된 산업화로 인해 산업폐기물과 건축생산과정에서 발생하는 유해물질은 심각한 환경오염의 원인이 되고 있다[1]. 또한 건강과 환경을 위한 친환경 기술에 대한 대중의 관심이 높아지고 있으며 특히 건축분야에서는 이러한 요구에 따라 흙건축에 대한 관심이 지속적으로 증가하고 있는 실정이다. 하지만 흙건축 공법은 여러

가지 장점에도 불구하고 강도문제 해결과 내구성 향상이라는 과제를 가지고 있는 것이 사실이다.

특히, 흙건축 시공 시 많이 사용되는 흙다짐 공법의 경우, 흙재료의 배합 숙련도에 따라 달라지는 함수량은 강도와 내구성에 크게 영향을 미치게 되므로 이를 적절히 확인하여 시공하는 것은 매우 중요하다[2].

적정함수량의 산정문제는 실험실 환경에서는 정확하게 구할 수 있지만 현장에서는 여러 여건상 곤란한 것이 현실이다. Figure 1과 같은 흙다짐 시공[3] 시 사용되는 물은 흙의 뭉침 현상에 의하여 고른 함수비 유지가 어려워 수시로 함수비의 확인이 필요하다. 이때 작업자는 경험적인 판단에 의해 적정 함수량을 추정하지만, 적정 함수비 시험을 진행하는 사람의 숙련도에 따라 그 결과가 다를 수 있어 적정 함수량 여부에 대한 확신이 곤란하고 이는 구조체의 강도와 내구성에 직접적인 영향을 줄 수 있다.

Received : October 20, 2014

Revision received : December 1, 2014

Accepted : December 10, 2014

* Corresponding author : Lee, Jong-Kook

[Tel: 82-54-478-7588, E-mail: ljk@kumoh.ac.kr]

©2015 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.



Figure 1. Rammed earth method(3)

따라서 본 연구는 흙건축에 적용되는 흙다짐 공법을 중심으로 낙하시험과 함수율의 관계를 규명하여 실제현장에서 작업자가 쉽게 적정함수비를 판별할 수 있는 용이성과 시험의 정확성 문제를 개선하고자 한다.

1.2 연구의 방법 및 범위

본 연구는 먼저 문헌조사를 통하여 흙다짐 공법, 적정함수비, 염화코발트의 특성을 파악하고, 예비실험으로서 최밀충전이론과 결합재 이론을 바탕으로 배합설계를 확인하고, 공시체의 압축강도를 기준으로 적정함수비 범위를 확인하여 이후의 본 실험에 적용한다. 또한, 염화코발트의 함수시의 변색 특성을 고찰하여 본 실험에 활용하도록 한다.

이상의 예비실험의 결과를 이용하여 배합된 시료의 제작 방법을 실험적으로 설정하고 낙하실험을 진행한다. 이때의 각 함수비별 낙하형상의 특징을 고찰하여 현장에서 적정함수비를 판단할 수 있는 기준을 제시하도록 한다.

2. 예비적 고찰

예비적 고찰로는 흙다짐 공법, 흙다짐 원리, 흙다짐의 함수비 판별법, 흙입자의 바인딩 재료, 적정함수비 및 형상 확인용 염화코발트의 특성을 파악하고자 한다. 이를 통하여 낙하형상 실험에서의 합리성을 갖추도록 한다.

2.1 흙다짐 공법

흙다짐공법은 거푸집을 설치한 후 흙을 넣고 공이나 다짐기로 다져서 벽체 등의 형태를 구성하는 것이다. 이 흙다짐은 함수를 통한 입자간의 결합으로 강도를 발현하므로 적정한 함수비의 적용이 공법의 핵심이라 할 수 있다. 안정된 실험실 환경에서는 함수비 도출이 용이 하지만, 건설현장 작업 중 수시로 확인이 필요한 흙다짐 공법의 적정 함수비 여부는 확인에 어려움이 있다[2].

2.2 흙다짐의 원리

다짐의 원리는 크게 입자이론과 결합재 이론으로 나눌 수 있으며, 입자이론(particle theory)은 입자간 간극을 최소화함으로써, 입자간의 인력과 전기력을 최대화하여 입자간 응집현상이 일어나게 하는 것이다. 입자간극을 최소화하기 위해서는 서로 입경이 다른 흙입자를 적절히 배합을 하는 최밀충전효과(optimum micro-filler effect)이론을 이용하며, 이를 통하여 흙입자의 물입자 사이의 최적 수소결합을 가지도록 한다. 결합재이론(matrix theory)은 입자와 입자를 강한 결합력을 가진 외부 결합재의 첨가에 의해 강도를 발현하는 이론이며, 일반적으로 흙의 결합재로서 석회를 많이 사용한다. 흙에 석회와 같은 외부 물질이 투입되어야 하는 단점이 있지만 강도가 높고 물에 강한 장점이 있다[4].

본 연구에서는 실제로 흙다짐 현장에서 주로 사용하는 최밀충전기법과 소석회를 결합재로서 이용하는 흙다짐 공법을 적용하고 이에 필요한 물-결합재비(W/B)에 따른 함수량을 기준으로 연구를 진행한다.

2.3 재료 함수비의 형상 판별법

흙다짐 시공 시 사용하는 형상시험으로는 흙의 성질을 좌우하는 함수율을 함께 측정하는 방법인 로프 테스트[5], 침전시험법, 시가 테스트, 모르타르의 퍼짐직경과 흐름 값을 측정하여 나타내는 플로우 테스트, 흙의 함수비를 확인하기 위한 실험인 낙하실험이 있다[6]. 특히 낙하시험법은 현장에서 유용하게 사용할 수 있는 방법이며, 본 연구는 이 낙하시험법에 현장 활용 개선방안에 대하여 고찰해 본다.

낙하시험은 흙건축 재료의 시료를 볼 형태로 만들어 자유낙하시킨 뒤 그 퍼짐현상을 관찰하여 재료내의 함수량을 가늠하는 편리한 방법이다. 하지만 현재, 흙건축 매뉴얼 [7,8] 등에서는 일반적인 사항만을 규정하고 있다. 즉, 실험을 위한 배합된 흙은 직경 4cm 크기의 볼 형태로 만들고, 1.5m높이에서 평평한 바닥에 떨어뜨렸을 때의 입자의 퍼지는 형상을 육안으로 확인한다[7,8]라고 제시하고 있다.

독일의 Gernot Minke는 Figure 2에서 (3)항의 낙하형상이 흙벽돌이나 흙다짐공법에 적정하다고 밝히고 있으며, Figure 3의 (4)와 같은 낙하 퍼짐 형상은 적용불가라고 설명하고 있다[7]. 이는 점토성분의 부착력에 의존하는 판별법으로서 현재 우리나라의 흙다짐 공법의 현실에 적정한 지를 확인할 필요가 있다. 또한, 우리나라의 경우, 이전

연구[2,8]에서도 낙하시험을 통하여 흙의 적정함수비 여부에 대한 판별기준 연구를 수행하였으나 구체성과 객관성 측면에서 보완하여야 할 사항이 있다고 할 수 있다.

따라서 현재의 낙하시험방법은 샘플의 제조법이나 시험 과정 및 판별조건에 대한 기준이나 내용이 부족하여 실제 건축현장에서 적용하기에는 어려움이 있다고 할 수 있다.

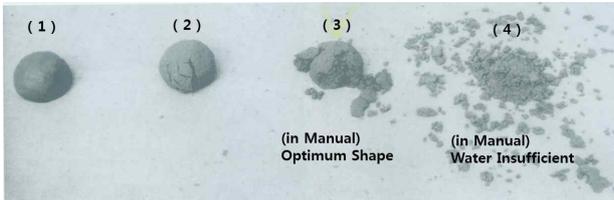


Figure 2. Discriminating AWCR in foreign manual[7]

2.4 흡입자간 바인더 재료로서의 석회

흙다짐 공법은 일반적으로 흙과 물을 배합하여 시공할 수 있으나, 강도증진 및 내구성 향상을 위하여 흡입자 간의 바인더로서 석회를 사용한다[4]. 이러한 석회의 사용은 흙의 내구성을 향상시키고 강도 확보를 가능하게 한다.

석회는 생석회와 소석회로 구분되며 흙다짐 공법에서는 생석회의 불안정한 화학적 특성 때문에 소석회를 주로 사용한다[4]. 이전 연구[9]에서 제안한 석회재료의 단위 결합재량 450kg/m^3 , W/B(water binder ratio) 50%를 참조하여 예비실험을 실시하고 이를 낙하 형상시험에 활용한다.

2.5 적정함수비

적정함수비는 강도발현과 흙다짐체의 내구성 및 균열 등에 영향을 미치는 중요한 요소이며, 재료간의 공극을 최소화하고 시공후의 건조수축균열을 방지하기 위해서는 불필요한 물의 양을 최소화하고 바인더에 필요한 결합수는 제공하는 기술은 매우 중요하며, 반면, 함수비의 과다는 흡입자간의 결합력을 떨어뜨리고 수분증발에 따른 내구성 저하로 이어지게 된다.

기존의 연구 결과를 고찰한 결과, 입도조정을 한 흙과 모래의 최밀충전효과에 따른 최적의 배합비율은 17 : 83으로 보고[9]되어 있으며, 본 연구도 이러한 결과를 참고하여 그 최적비를 구하는 예비실험을 진행한다.

또한, 결합재 측면에서는 일반적으로 흙다짐 공법에 사용되고 있는 흡입자의 바인더로서의 석회 혼합법을 적용[4]하며, 화학적으로 안정한 소석회를 적용한다. 실험에 적

용할 함수비는 관련 연구[9]를 참고하여 물-석회 비율 (W/B)을 30~50%로 적용하도록 한다.

2.6 염화코발트(CoCl_2)

염화코발트(CoCl_2)는 Figure 3과 같이 수분과 코발트지가 접촉하게 되면 푸른색에서 분홍색으로 변한 후 시간이 경과되면 최종적으로 흰색으로 변하게 된다[10]. 즉, 염화코발트는 염화이온과 코발트 이온이 결합한 염으로서 상온에서 결정체로 존재하며 수분검출 반응에 사용된다.

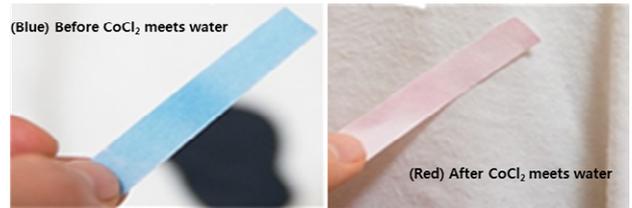


Figure 3. Color changing of cobalt chloride

본 연구에서는 낙하시료의 퍼짐형상이 바닥 재료의 탄성에 따른 변동을 최소화하고, 수분반응에 따른 변색특성을 이용하여 낙하시료의 퍼짐형태를 형상화하기 위하여 염화코발트를 적용한다.

3. 실험

3.1 실험 재료

본 실험에는 Table 1과 같이 국내 S사의 점토와 실트 성분이 90%이상의 흙분말을 사용하였다.

Table 1. Physical properties of soil particle (unit : μm)

Diameter	150	75	31	2	0.07
Cumulative Residual Rate(%)	0	4.8	26.5	90.9	100
Specific Gravity	Percentage of Internal Water Content (%)		Porosity (%)	Unit Volume Weight (kg/t)	
2.52	2.61		51.23	1.21	

모래는 Table 2와 같이 낙동강 하천사 입도 2.82의 천연 모래를 사용하였으며, 흡입자 결합용 재료로서는 KS L 9501 공업용 규격에 적합한 소석회(slaked lime)를 사용하였으며 비중은 2.7이다.

Table 2. Physical properties of sand

Specific Gravity	Fineness Modulus (FM)	Unit Volume Weight (kg/l)	Water Absorption Ratio (%)
2.61	2.82	1.59	1.62

3.2 예비실험

본 실험에 앞서 선정된 재료의 배합과정과 적정함수비 파악을 위한 최밀 충전 실험 및 공시체 압축강도 측정을 하였다. 이를 통하여 본 실험에 적용할 적정함수비 구간을 도출하도록 한다.

3.2.1 최밀충전비율 확인

예비실험으로서 최밀 충전에 대한 배합비율을 도출하기 위하여 KS F 2312에 의거하여 모래와 흙을 배합하여 사용하였다. Table 3과 같이 모래와 흙의 비율을 10%씩 증가시켜 0~100%로 1차 실험을 하였고, 그 결과 80%에서 중량이 가장 높게 측정되었다. 이를 이용하여 Table 7과 같이 2차 실험으로서 1%씩 증가 시켜 흙과 모래의 적정배합이 18 : 82라는 것을 도출 하였으며, 이는 이전 연구[9]의 17 : 83과 비교하여 적정성을 확인하였다.

Table 3. Mixing design table for making specimens

Water Content Ratio to Lime Weight	Unit	Unit quantity of Water	Unit quantity of Binder (S. Lime)	Unit quantity of Earth	Unit quantity of Sand
30%	ℓ	135	166.7	125.69	572.6
	kg/m ³		450	316.7	1528.8
35%	ℓ	157.5	166.7	121.644	554.1
	kg/m ³		450	306.54	1479.59
40%	ℓ	180	166.7	117.59	535.7
	kg/m ³		450	296.3	1430.3
45%	ℓ	202.5	166.7	113.54	517.25
	kg/m ³		450	286.13	1381.07
50%	ℓ	225	166.7	109.49	498.8
	kg/m ³		450	275.9	1331.81

3.2.2 공시체 배합 설계

공시체 제작을 위한 배합은 최밀 충전 예비실험을 통하여 구한 흙과 모래의 비 18 : 82를 적용하고, 소석회의 첨가량은 이전 연구의 흙입자 바인더로서 소석회 450kg/m³의 결과[9]를 적용하였으며 배합구성은 Table 3과 같다. 본 실험의 배합설계 시 공기량과 혼화제의 사용은 고려하지 아니하였다.

공시체의 최대 강도를 발현하는 적정 함수량 산정은 이전 연구에서 고찰한 5단계의 함수비 조건(30~50%)을 적용하였고, 재령별(3일, 7일, 14일)로 5개씩의 공시체를 제작하였다. 이를 재령별로 압축강도를 측정하여 최대강도가 나타나는 함수비 구간을 도출하고 이를 적정 함수비로 가정하여 본 실험인 낙하형상 판별시험에 적용하도록 한다.

3.2.3 흙다짐 공시체 제작

공시체는 Figure 4와 같이 지름 100mm, 높이 127mm 인 원형몰드를 편평한 바닥에 놓고 2.5kg의 램머를 이용하여 3회에 걸쳐 각 25회씩 다짐을 실시하였다. 다짐 성형된 몰드(mould) 상부는 고르게 커팅(cutting)하여 캡핑(capping)하고, Figure 4의 (C)와 같이 몰드 밑바닥을 분리하여 유압식 장치에 넣고 몰드와 공시체를 분리한다. 이후, 실내온도 22℃, 상대습도 60%의 실내에서 재령기간 양생하였다.

한편, 압축강도는 KS L 5105에 의거, 3, 7, 14일 재령으로 구분하여 유압식 압축강도시험기로 측정하였다.



Figure 4. Specimen making and curing

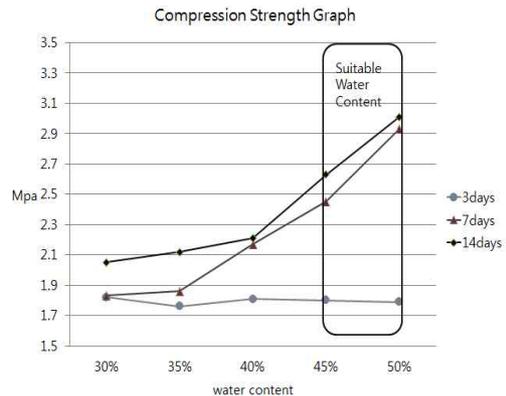


Figure 5. Results of compressive strength

3.2.4 재령별 압축강도 실험

압축강도의 측정결과, Figure 5와 같이 재령 7일과 재령 14일에서 함수비 50%에서 가장 큰 강도를 나타냈다. 이에

따라 함수비 45%~50%구간을 적정함수비 구간으로 본 실험에 적용하였다.

이러한 결과는 이전 연구의 결과와 일치하며 타당한 배합이라 판단되어 이후 낙하형상의 함수비 기준치로 적용하도록 한다. 한편 재료의 내구성 확인을 위한 균열특성은 별도로 실시하지 않았으며, 공시체의 재령에 따른 균열은 육안 관찰 결과 발견되지 않았다. 이는 최밀 충전배합과 석회 바인더의 첨가에 따른 결과로 판단된다.

3.3 본 실험

본 실험에서는 낙하실험을 위한 낙하높이, 용량선정, 시료성형 횟수 및 시간선정을 위한 실험을 하였다. 이를 바탕으로 염화코발트지 위에 낙하시험을 진행하여 각 조건별로 흙의 퍼짐형상과 염화코발트의 변색 범위를 측정하였다.

3.3.1 낙하높이 및 용량 산정 실험

흙다짐 볼의 낙하높이 산정에 있어서는 높이에 따른 형상 변화의 차이는 Table 4, 5와 같이 기존 매뉴얼에 제시된 높이 150cm보다 낮은 높이에서는 퍼짐형상의 구분이 곤란하였으며, 그보다 더 높은 높이는 인체 치수상 불완전하여 기존 매뉴얼[7]에 제시된 높이 150cm가 적절하였다.

Table 4. Dropped shape vs paper cup's volume (75ml)

W/B	60cm Height	100cm Height	150cm Height
45%			
50%			

즉, Table 4에서 보는 바와 같이 낙하높이를 60, 100, 150cm로 구분하여 적정함수비 구간인 W/B 45%와 50%를 적용하여 각각 30회 반복 실험한 결과, 60cm와 100cm의 높이에서는 퍼짐형상이 명확하지 않고 중앙에 주로 쌓이는 형태를 보이는 반면, 150cm의 높이에서는 낙하시 퍼짐의 형상구분에 상대적으로 용이하였다.

또한, 시료의 다짐형상과 크기는 인체의 구조상 성인의

손으로 쉽게 볼 형태로 제작할 수 있는 크기인 지름 4cm의 볼 형상이 적절하다고 판단하고, 이를 기준으로 하여 필요한 35cm³ 정도의 용량을 만들 수 있는 방법으로서 음료수 용 종이컵을 적용하였다. 이는 현장의 여건상 종이컵은 쉽게 구할 수 있고, 그 용량도 소형 컵은 75ml의 용량으로서 지름 4cm 볼 형태 제작(2개)에 적당한 부피이기 때문이다.

Table 5. Dropped shape vs paper cup's volume (195ml)

W/B	60cm Height	100cm Height	150cm Height
45%			
50%			

한편 용량 실험의 대비를 위하여 용량 195ml의 중형 종이컵을 이용하여 현장적용 가능성을 실험하였다. 실험 결과, 중형의 종이컵은 Table 5에서 나타나는 바와 같이 낙하형상의 구분에 어려움이 있고, 용량도 지름 4cm의 볼 형태 제작에 과다함을 알 수 있었다. 반면, 소형 종이컵은 2개의 시험용 볼 형태 용량 계량에 적합하고, 그 낙하형상도 퍼짐의 양상이 W/B에 따른 구분이 명확하여 소형종이컵의 용량을 이용한 지름 4cm 정도의 낙하시험용 볼을 제작하는 것이 적절하다.

3.3.2 시료성형 횟수 및 시간선정 실험

시료의 시료성형 횟수와 소요시간의 산정에 대한 설정 실험은 Table 6과 같이 5초 단위로 구분하여 시료성형 횟수 2~10회에 대하여 반복실험 30회 이상을 실시하였다. 5초 미만의 급속 성형 시 지름 4cm 정도의 볼 형태로 만드는 것은 촉박하여 볼 형상 조형이 불가하였고, 10초 이상으로 다짐 시에는 다짐 압력의 변동 및 저하 문제와 작업자 손의 체온에 의한 수분 손실 가능성이 관찰되었다. 반면 시료 성형 횟수 4회 이하에서도 시료의 불완전한 볼 형상 등이 관찰되었다. 이러한 결과를 종합하면, 배합된 재료의 시료성형 시간과 횟수는 10초안에 6~10회 성형하는 것이 적절하다고 판단된다.

Table 6. Elapsed time vs kneading number for earth ball

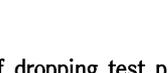
Time	Under 5 seconds	5~10 Seconds	Over 10 seconds
2 Times			
4 Times			
6 Times			
8 Times			
10 Times			

Table 7. Details of dropping test procedure

	<p>(Supplies you need)</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Disposable Wood Chopsticks 2. Standard Small Papercup - 75ml <ol style="list-style-type: none"> 1. Pour the mixed earth into the cup divided into two. 2. Tamp the earth with chopsticks 6-10 times in 10 seconds each times. 3. Secondly, just tamp on the first time's upper layer. 4. Get rid of earth that overflowed the 75ml paper cup, to make exact experiment.
	<p>(Supplies you need)</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Disposable Vinyl Gloves 2. A Normal Healthy Person <ol style="list-style-type: none"> 1. Pour the tamped earth lump in the cup with gloved hand. 2. Grasp normally and knead earthen ball to 4cm diameter over 6-10 times in 10 seconds. 3. If possible, shape the ball into sphere.
	<p>(Supplies you need)</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Healthy Person over 150cm high 2. Earth Receiver (Floor / Sheet) <ol style="list-style-type: none"> 1. Drop the Earthen Ball slightly on the center of receiver that has circles of 10 and 20 cm on its center at the height of 1.5m. 2. Examine the dropped shape of the earthen ball to decide the AWCR.

Table 7은 이러한 연구결과를 바탕으로 작성한 실험의 준비물과 과정을 요약한 것이다. 낙하실험 시 볼 형태의 시험체를 보통 성인이 1.5m의 어깨높이에서 딱딱하고 편평한 바닥에 자유낙하 시키며, 실험의 객관성을 확보하기 위하여 낙하실험 30회를 반복하고 이를 결과에 반영한다.

이때, 바닥재질의 특성에 따른 퍼짐형상을 구별하기 위하여 기본적인 실험실의 인조석 바닥과 비교하여 염화코발트를 도포한 종이를 별도로 구분하여 그 형상 및 퍼짐 특성을 살펴보도록 한다.

3.3.3 낙하 형상 실험

Table 8과 같이 나타난 과정을 통해 낙하 실험을 진행하여 각 조건마다의 흙의 퍼짐형상 및 염화코발트지의 변색 범위를 측정하였다

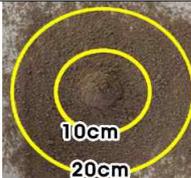
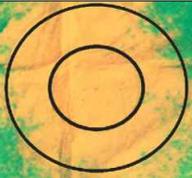
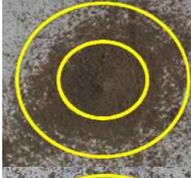
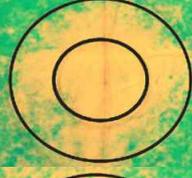
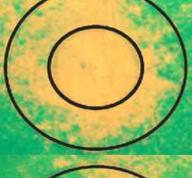
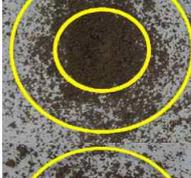
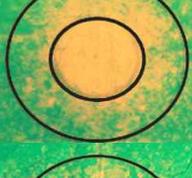
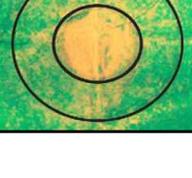
먼저 시료의 낙하형상은 기존의 매뉴얼[7]에 나오는 구형의 형상이 아니라 중앙부 덩어리와 주변에는 입자가 퍼지는 형태를 띠고 있음을 알 수 있었다. 이는 서구와는 다른 사질이 많은 우리 재료의 특성에 기인한 것으로 판단되며, 낙하 실험 결과, W/B 30%에서는 직경 20~30cm 범위에서 분말형태로 분산되었고 35%에서는 직경 20~25cm 범위에서 대부분 중앙의 작은 덩어리와 가장자리의 입자형태로 분산되었다. 또한, W/B 40%에서는 직경 18~25cm 범위에서 분말과 작은 덩어리 형태가 혼합된 상태로 비교적 넓게 분산되었다. 이러한 양상은 상대적으로 낮은 함수비에 의한 분말 특성이 나타난 것으로 판단된다.

또한, W/B 45~50% 구간에서는 중앙의 직경 15cm 이내에서 덩어리 형태가 집중되어있고 15~20cm이내에서 분말과 작은 덩어리 형태가 혼합되어 분산되었다. 적정함수비 구간이 W/B 45~50%범위라는 것을 감안하면, 낙하 시험 퍼짐형상은 중앙 10cm내 덩어리 형태와 외곽 15~20cm이내 분말의 퍼짐형상이 적절한 것으로 판단된다. 이러한 결과는 기존의 해외 흙건축 매뉴얼 등에서 제시한 내용과는 차이가 나는 결과임을 알 수 있었다. 이는 실트나 클레이 등 세립 성분이 많은 해외의 현실과 달리 국내의 흙 재료는 사질이 많이 함유되어 낙하형상이 입자의 분산이 많은 형상으로 나타난 것으로 판단된다.

한편, Table 8에서 보는 바와 같이, 실험에서 채용한 두 가지의 바닥 표면 조건에 따른 낙하형상을 살펴보면, 좌측 그림의 인조석 바닥에서의 낙하형상은 염화코발트 슈트 상에서의 그것보다 훨씬 퍼진 모습을 보이고 있는데 이는 바닥재의 리바운드량과 관련이 있다고 판단된다. 현장의 여건을 감안할 때 이러한 바닥재의 상이한 조건은 퍼짐형상에 영향을 줄 수 있어 시험용 종이 슈트 등의 일관성 확보방안이 필요하였으며, 본 실험에서 사용된 염화 코발트 등의 변색 특성을 이용한 형상 판별은 작업의 기록이나

시험조건의 객관성 확보에 도움을 줄 수 있다고 사료된다.

Table 8. Dropping results and shape analysis

W/B ratio	Dropped Shape (on Stone Floor)	Dropped Shape (on Cobalt Chloride sh)	Shape Analysis
30%			Particle Spreaded Widely Small Lump on the Center (D:20~30cm)
35%			Particle Spreaded Normally Small Lump on the Center (D:20~25cm)
40%			Particle Spreaded Normally Midium Lump on the center (D:18~25cm)
45%			Particle Spreaded Partially Midium Lump on the center (D:15~20cm)
50%			Particle Spreaded sparsely Large Lump on the center (D: ~15cm)

4. 결론

본 연구는 흙건축 현장에서 흙다짐 작업 시 지속적이며 용이하게 적정함수비 파악을 위한 낙하시험법의 현실적인 개선을 위하여 수행되었으며 그 결과는 다음과 같다.

첫째, 흙다짐 공법에 일반적으로 적용되는 해외의 낙하시험의 적정함수비 판별법은 실제 우리나라의 현실과 차이가 나타났는데 이는 서구와는 달리 사질이 비교적 많은 우리 재료의 특성에 기인한 것으로 판단되며, 이는 향후 흙건축 현장의 시공에 활용될 수 있다.

둘째, 낙하시험에 적용될 흙다짐 시료는 현장에서 조달이 용이한 75ml의 소형 종이컵을 이용하여 배합된 시료를 직경 4cm의 볼 형태로 성형하되 10초간 6~10회의 수작

업 성형법이 다른 조건에 비하여 가장 효율성이 높았다 셋째, 흙다짐 실험체의 1.5m 낙하형상의 반복 판별 결과, 적정함수비 구간인 45~50% 분산형상은 중앙부 원형 10cm 내에 다짐 흙의 덩어리가 형성되고 외곽부 15~20cm의 원형 형태의 분말로 퍼지는 형태가 관찰되었다.

넷째, 본 실험에서 적용한 염화코발트 등의 변색 특성을 이용하면 현장의 시공 기록 및 바닥재 탄성 특성의 일관성 측면에서 도움이 될 수 있다고 판단된다.

본 연구는 기존 해외 매뉴얼 등에 나타난 적정함수비 파악을 위한 낙하시험 판정법은 우리의 현실과 상이하다는 것을 실험적으로 밝혔으며, 표준배합에 근거하여 진행한 관계로 다양한 현장의 재료, 배합설계, 현장조건 등에 다각적인 반영부분은 향후 지속적인 개선과 보완이 이루어질 수 있도록 연구를 진행할 예정이다.

요 약

본 연구는 흙건축 시공 시 많이 사용되는 흙다짐 공법의 경우, 흙재료의 배합 속련도에 따라 달라지는 함수량은 강도와 내구성에 크게 영향을 미치게 되므로 이를 적절히 확인하여 시공하는 것은 매우 중요하다. 적정함수량의 산정 문제는 실험실 환경에서는 정확하게 구할 수 있지만 현장에서는 여러 여건상 곤란한 것이 현실이다.

따라서 본 연구는 흙건축에 적용되는 흙다짐 공법을 중심으로 낙하시험과 함수율의 관계를 규명하여 실제현장에서 작업자가 쉽게 적정함수비를 판별할 수 있는 용이성과 시험의 정확성 문제를 개선하고자 한다. 실험의 결과를 통하여 현장에서 활용할 수 있는 배합설계와 시험방법의 명세화, 낙하형상 판별방법의 과정과 결과를 제시하였다.

키워드 : 흙다짐 공법, 적정함수비, 낙하시험, 최밀충전, 염화코발트

Acknowledgement

The author would like to gratefully acknowledge Min-Soo Kang, Sang-Jo Han, Dong-Ha Whang, and Jin-Woo Kim. This research was supported by Research Fund, Kumoh National Institute of Technology.

References

1. Yun SW, Hwang HZ, An Experimental Study on the Mechanical Properties of Rammed Earth Method with Hwangto Binder, Proceeding of Spring Conference of the Korea Institute of Ecological Architecture and Environment; 2009 May 22; Seoul, Korea, Seoul (Korea): Korea Institute of Ecological Architecture and Environment; 2009. p. 81–6.
2. Lee YJ, Hwang HZ, Oh YK, A Study on the Field Test of Rammed Earth Method's Proper Moisture Content, Proceeding of Spring Conference of the Korea Institute of Ecological Architecture and Environment; 2013 Nov 21; Seoul, Korea, Seoul (Korea): Korea Institute of Ecological Architecture and Environment; 2013. p. 66–7.
3. Earth Architecture, 2014 Wanju workshop photo gallery [Internet]. School of UNESCO Chair Earthen Architecture in Korea; c2013 [updated 2014 Nov; cited 2014 Oct 6] Available from:http://www.terrakorea.com/sub/sub03_01.php?boardid=picture
4. Hwang HZ, Kang NY, Preliminary Study on Traditional Earth Construction Technique Use of Lime, Journal of the Korea Institute of Ecological Architecture and Environment, 2010 Apr;10(2):3–8.
5. Paul G, Adobe and Rammed Earth Buildings, New York: Arizona Press; 1989. p. 48–9.
6. Hwang HZ, Earth Architecture, Seoul(Korea): RIC Press; 2008. p. 146.
7. Gernot M, Earth Construction Handbook, New York: WIT press; 2000. p. 22–3.
8. Hwang HZ, Kim TH, Yang JH, A Study on Selection and Size of Earth in Application of Rammed Earth, Journal of the Korea Institute of Ecological Architecture and Environment, 2009 Apr;9(2):65–71.
9. Hwang HZ, Roh TH, Kang NY, Increasing the Strength with Earth and Soil through Optimum Micro-Filler Effect and Composite Addition, Journal of the Korea Institute of Ecological Architecture and Environment, 2011 Aug;11(4):95–101.
10. Jung IH, Park NB, Kim SY, Na YE, Kim Si, Screening Methods for Plant-Coating Material and Transpiration Inhibitory Effect of Soybean Oil to Crops, Korean Journal of Plant Resources, 2014 Aug;27(4):380–91.