

## 건축용 시멘트 혼합토의 워커빌리티 특성

### Workability Characteristics of Cement-Mixed Soil for Architecture

이 상 호\* · 김 진 호\*\* · 김 상 철\*\*\*

Lee, Sang Ho · Kim, Sang Chul · Kim, Jin Ho

#### Abstract

This study was conducted by the slump test and the consistency test of the cement mixed soil which is soil mixed with cement to investigate and estimate the difficulty degree of work and the proper water content. So I would like to present the fundamental data that establish the work standard of the cement mixed soil. In conclusion, in this study the slump value of the cement mixed soil increases over-all according to the increase of the water content although it has a little difference of the increase range and it is smaller than one of the soil. It is estimated that the aggregating and throwing work of the cement mixed soil which is mixed with 6% and 9% cement would be fine when it has the 25%~27% water content and the wall plastering work is the 30%~32% and the floor plastering work is the 30%~35% and the flowing and pouring work is the 40%~42% water content as well as the mold compacting work is the 20%.

*Keywords : Cement-Mixed Soil, Slump test, Consistency test, Water content, Work standard*

#### I. 서 론

최근 친환경 재료에 대한 관심이 높아지고 있는 가운데 전통적인 흙재료가 건축재료로서 각광을 받고 있다. 흙재료는 태고로부터 근대에 이르기까지 주거시설의 주된 재료로 다양하게 사용되어 왔으며, 특히 최근에는 흙재료가 향온 및 향습효과, 인

체에 유익한 물질의 방출, 천연적인 미적 욕구 충족 등 우수한 건축재료로서의 특성을 보유하고 있어 쾌적한 환경과 자연적인 미관이 요구되는 환경친화형 전원주택, 황토방, 업소건축물 등에 다양하게 이용되고 있다. 또한 온도 및 습도 조절이 요구되는 농산물 저장시설, 축사 등의 바닥이나 벽체 재료로 활용된다면 상당한 에너지 절감효과도 기대할 수 있을 것으로 생각되며 환경문제에 대한 사회적인 우려감을 해소시키는 데에도 일조(一助)할 수 있을 것으로 사료된다. 그리고 차후 구조물의 해체시 환경에 유해한 건축폐기물의 발생 또한 감소할 것이며 추후에는 콘크리트 재료의 단점을 보완할 수 있는 친환경적 대체 재료로서의 위치를 충분히

\* 경북대학교 농업생명과학대학  
\*\* 한국농촌공사 경산지사  
\*\*\* 경북대학교 대학원  
\* Corresponding author. Tel.: +82-53-950-5735  
Fax: +82-53-950-6752  
E-mail address: sahlee@knu.ac.kr

확보할 수 있을 것이며 그 이용 범위는 날이 갈수록 확대되어 갈 것으로 기대된다.

하지만 흙재료는 콘크리트재료에 비하여 시공이 어렵고 강도가 현저하게 떨어지며 특히 건조수축에 의한 균열로 인하여 미관이 크게 손상될 수 있으며 이런 단점을 보완하기 위하여 오래전부터 보강재로 짚이나 대나무 혹은 마와 같은 천연재료를 사용해 왔다. 하지만 이런 천연재료들은 재료의 균일성이 떨어지고 공급이 원활하지 않으며 시공성이 저하되는 등의 단점을 가지고 있다. 이런 천연재료의 단점을 보완하기 위해 석회, 플라이애시 혹은 시멘트, 고분자 합성섬유 등이 이용될 수 있으며 이들 재료 중 일부가 현장에 적용된 사례가 있다. 하지만 이들 재료를 이용한 연구는 보강재의 종류와 혼합비에 따른 강도의 변화, 보강재의 효과 등에 대해서만 수행되어 왔을 뿐 워커빌리티 특성에 대한 연구는 전무한 실정이다.

이에 본 연구에서는 건축재료로 이용 가능한 흙재료에 시멘트를 혼합하여 사용한 이른바 '시멘트 혼합토'에 대해 슬럼프 시험과 반죽질기 시험을 수행하여 워커빌리티 특성을 구명함으로써 시멘트 혼합토의 시공 기준 정립을 위한 기초 자료를 제시하고자 한다.

## II. 시험 재료

### 1. 흙

Table 1 및 Fig. 1은 본 연구에 사용된 흙의 물리적 특성과 입도분포를 나타낸 것으로 흙의 비중은 2.63, 최적함수비는 20.4%이며 통일분류법에 의해 CL로 분류된다.

Table 1 Physical properties of soil

Gs	LL (%)	PI (%)	$\gamma_{dmax}$ (tf/m <sup>3</sup> )	OMC (%)	USCS
2.63	38.5	21	1.61	20.4	CL

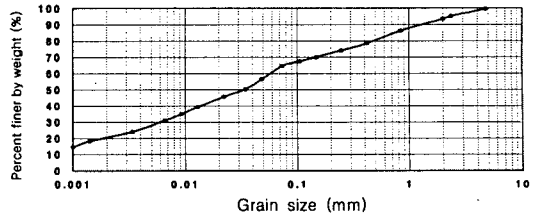


Fig. 1 Grain size distribution curve of soil

## 2. 시멘트

본 연구에서 사용된 시멘트는 국내에서 생산되는 H시멘트공업 주식회사의 보통 포틀랜드 시멘트로 물리적 특성은 Table 2와 같다.

Table 2 Physical properties of normal Portland cement

Physical properties				
Item	Property	Korean standards	Test result	
Specific gravity			3.15	
Fineness	Blainess (cm <sup>2</sup> /gf)	≥2,000	3,292	
Time of setting	Initial (min)	≥60	215	
	Final (h)	≤10	5:18	
Soundness		≤0.8	0.41	
Strength (KN/cm <sup>2</sup> )	Curing ages	3 days	≥12749	25989
		7 days	≥19614	31480
		28 days	≥28440	41287

## III. 시험 방법

### 1. 혼합토 제조

본 연구에서는 멩쳐 던지기 시공, 벽면 및 바닥 바르기 시공, 흘려 붓기 시공, 거푸집 다짐 시공 등 건축용 흙재료 시공법들의 작업 난이도와 적정 함수비를 구명하기 위해 시멘트 혼합비 및 함수비를 변화시킨 혼합토를 제조하여 시험을 수행하였다.

가. 시멘트 혼합비

김과 이가 발표한 시멘트 혼합토의 강도 특성에서(Kim and Lee, 2005) 시멘트 혼합비의 증가에 따라 시멘트 혼합토의 압축강도는 증가하는 것으로 나타났다. 이와 같이 시멘트를 많이 쓸수록 증가폭의 차이는 있겠지만 시멘트 혼합토의 강도는 전반적으로 증가하나 시멘트를 적게 쓸수록 경제적이고 친환경적이라는 점을 고려하여 가장 급격한 강도의 증가를 나타낸 6%, 9% 시멘트 혼합비를 시멘트 혼합토에서의 적정 혼합비로 권고하였다. 본 연구에서는 이 연구 결과를 고려해 시멘트 혼합비를 6%, 9%로 결정하여 혼합토를 제조하였으며 시멘트 혼합비는 노건조 흙과 시멘트를 혼합한 혼합토의 증량에 대한 시멘트의 증량비를 나타낸다.

나. 함수비

김과 이는 시멘트 혼합토의 강도 특성에서(Kim and Lee, 2005) 6%, 9% 시멘트 혼합토의 최적 함수비가 약 20%인 것으로 발표하였다. 본 연구에서는 워커빌리티 특성을 구명하기 위해 최적 함수비보다 높은 25%, 30%, 35%, 40%를 초기 함수비로 결정하여 혼합토를 제조하였다.

25%, 30%, 35%, 40% 함수비에서 슬럼프 및 반죽질기 시험을 실시할 경우 함수비 증가에 따른 강도의 감소가 예상되므로 구조물의 안전성 측면에서 함수비 변화에 따른 강도의 변화를 반드시 고려해야 한다. 하지만 본 연구에 사용된 시멘트 혼합토의 시공방법 중에서 소요의 강도가 필요한 거푸집 다짐 시공의 경우 최적함수비로 시공이 이루어지기 때문에 강도 발현이 가능하다. 또한 몽쳐 던지기 시공, 벽면 및 바닥 바르기 시공, 흘려 붓기 시공은 소요의 강도를 발현하고 있는 기존의 지붕, 벽면 및 바닥 등에 내/외장재로서 사용되어 큰 강도를 필요로 하지 않기 때문에 함수비 변화에 따른 강도의 변화를 고려하지 않았다.

2. 슬럼프 시험

슬럼프 시험은 KS F 2402의 시험 방법으로 실시하였으며 슬럼프 시험을 통해 구해진 슬럼프 값을 이용하여 시멘트 혼합토의 함수비 상태를 현장에서 신속하고 정확하게 파악할 수 있어 건축용 흙재료의 여러 가지 시공법에 적합한 함수비를 결정할 수 있는 기초 자료가 될 것으로 판단 된다.

3. 반죽질기 시험

반죽질기 시험은 몽쳐 던지기 시공, 흘려 붓기 시공, 벽면 및 바닥 바르기 시공, 거푸집 다짐 시공 등 건축용 흙재료의 시공방법들에 대하여 함수비 변화에 따른 반죽질기 및 작업 난이도를 파악하여 각 시공방법들에 적합한 최적의 함수비를 구명하기 위해 시험을 실시하였고 각 시공방법들에 대하여 Check list를 만들어 작업 난이도 및 적정 함수비에 따른 시공 조건을 파악하였다. 초기 함수비로 수행한 반죽질기 시험에서 가장 적합한 것으로 나타난 함수비의 전후 2% 범위에서 재시험을 실시하여 각 시공방법들의 적정함수비를 구명하였다.

IV. 결과 및 고찰

1. 슬럼프 특성

Table 3은 흙재료 및 시멘트 혼합토의 슬럼프 값을 나타내고 있으며 슬럼프 값은 함수비의 증가에 따라 증가폭의 차이는 있으나 전반적으로 증가하는 것으로 나타났고 특히 35%~40%의 함수비에서 슬럼프 값의 증가폭이 크게 나타났다. 그리고 시멘트 혼합토보다 흙재료의 슬럼프 값이 동일 함수비에서 더 큰 것으로 나타났으며 이는 시멘트 혼합토에서 시멘트를 혼합함에 따라 시멘트 입자가 수화작용에 필요한 수분을 흡수하기 때문인 것으로 판단된다. 또한 동일한 함수비에서 6% 시멘트 혼

합토의 슬럼프 값보다 9% 시멘트 혼합토의 슬럼프 값이 0.3 cm~0.7 cm 크게 나타났으며 이는 김과 Lee, 2005) 나타난 바와 같이 6%, 9% 시멘트 혼합토의 최적 함수비가 각각 19.5%, 19.3%이므로 최적 함수비를 초과한 물이 공급되어서 최적함수비가 적은 9% 시멘트 혼합토의 경우 잉여 수분이 6% 시멘트 혼합토보다 많이 존재하기 때문에 슬럼프 값이 증가한 것으로 판단된다. 흙재료의 경우 함수비가 40%일 때, 슬럼프 값이 10.5 cm로 함수비 증가에 따른 슬럼프 값의 증가가 상당히 많이 일어나 반죽질기가 유동성이 있는 것으로 나타났으며 함수비가 이보다 더 증가한다면 유동성도 더욱 증가할 것으로 사료된다.

시멘트 혼합토의 경우 함수비 25%에서는 슬럼프 콘이 벗겨지지 않아 슬럼프 값이 0으로 나타났으며 흙재료와 시멘트 혼합토의 슬럼프 시험 결과를 그림으로 나타내면 Fig. 2와 같다.

Table 3 Slump values of soil and cement mixed soil

Water content (%)	Slump value (cm)		
	Soil	6% cement mixed soil	9% cement mixed soil
25	0.2	0	0
30	0.5	0.4	1.7
35	2.5	1.5	2.1
40	10.5	6.0	6.3

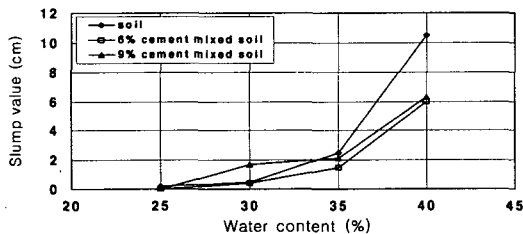


Fig. 2 Slump value of soil and cement mixed soil

## 2. 반죽질기 및 워커빌리티 특성

Table 4는 6%, 9% 시멘트 혼합토의 손으로 뭉쳐 던지기 시공에 대한 반죽질기 및 워커빌리티 시험 결과를 나타내며 함수비 25%일 때 시료가 흐트러지지 않고 손으로 잘 뭉쳐지고 던지면 형태는 다소 변하나 부서지지 않는 반죽질기를 나타내었으며 함수비 30%의 경우에는 시료가 잘 뭉쳐지지 않고 던지면 시료가 두겹게 퍼져서 뭉쳐 던지기 시공에는 적합하지 않은 것으로 나타났다. 함수비 35%와 40%의 경우도 시료가 손으로 뭉쳐지지 않고 던지면 얇게 퍼져서 뭉쳐 던지기 시공에는 부적합한 것으로 나타났다. 이 결과를 바탕으로 초기 함수비 4가지중 가장 적합한 것으로 나타난 25% 함수비 전후 2% 범위에서 재시험을 실시한 결과 뭉쳐 던지기 시공에 적합한 함수비는 25%~27% 인 것으로 판단된다.

Table 5는 6%, 9% 시멘트 혼합토의 흘려 붓기 시공에 대한 반죽질기 및 워커빌리티 시험 결과를 나타낸다. 함수비 25%와 30%의 경우 삽 비비기 작업과 삽으로 뜨기 작업이 어렵고 또한 대부분의 시료가 삽으로부터 이탈되지 않아 삽으로 치기도 어려운 것으로 나타나 흘려 붓기 시공에 부적합한 것으로 판단된다. 함수비 35%의 경우 시료가 삽에 많이 묻어나 삽 비비기 작업은 어려우나 상당 부분의 시료가 삽으로부터 흘러 내리기 때문에 흘려 붓기 시공이 가능한 할 것으로 사료되며 함수비 40%의 경우 대부분의 시료가 삽으로부터 쉽게 흘러 내리기 때문에 흘려 붓기 시공에 가장 적합한 초기 함수비로 나타났으며 40% 함수비 전후 2% 범위에서 재시험을 실시한 결과 함수비 40%~42%가 흘려 붓기 시공에 가장 적합한 함수비라고 판단된다.

Table 6은 6%, 9% 시멘트 혼합토의 벽면 및 바닥 바르기 시공에 대한 반죽질기 및 워커빌리티 시험 결과를 나타내며 함수비 25%의 경우 흙손으로 뜨기가 어렵고 부착력이 부족하여 벽면 및 바닥

**Table 4 Consistency and workability checklist of cement mixed soil (aggregating and throwing work)**

Aggregating and throwing work		Water content (%)			
		25	30	35	40
1) Aggregating with hands					
Disaggregated	Most of the cement mixed soil is dispersed.				
	Large amount of cement mixed soil is dispersed.				
Aggregated a little bit	Large amount of cement mixed soil is dispersed.				
	Small amount of cement mixed soil is dispersed.				
Able to be aggregated	Small amount of cement mixed soil is dispersed.				
	Not dispersed.				
Aggregated well	Not dispersed.	○			
Not aggregated well	Small amount of cement mixed soil is takes out from gaps of fingers.		○		
Not aggregated	Most of the cement mixed soil is takes out from gaps of fingers.			○	
Never aggregated	The cement mixed soil becomes a half-fluid state.				○
2) Throwing the aggregated cement mixed soil					
Dispersed					
Broken as a clinker state					
Not broken and maintained the form					
Not broken but changed the form		○			
Thickly spreaded			○		
Thinly spreaded				○	○

**Table 5 Consistency and workability checklist of cement mixed soil (flowing and pouring work)**

Flowing and pouring work		Water content (%)			
		25	30	35	40
1) Mixing with a spade					
Easy	The cement mixed soil is not stuck to a spade.				
	Small amount of cement mixed soil is stuck to a spade.				
	The soil becomes a half-fluid state.				○
Normal	Small amount of cement mixed soil is stuck to a spade.				
	Large amount of cement mixed soil is stuck to a spade.				
Difficult	Large amount of cement mixed soil is stuck to a spade.			○	
	Difficult to separate the cement mixed soil.	○	○		
2) Lifting with a spade		25	30	35	40
Easy					○
Normal				○	
Difficult		○	○		
3) Cementing with a spade					
Easy	Most of the cement mixed soil is easily separated from a spade.				
	Large amount of cement mixed soil is separated from a spade.				
Difficult	Small amount of cement mixed soil is separated from a spade.				
	Large amount of soil is separated from a spade.				
	Most of the cement mixed soil is not separated from a spade.	○	○		
4) Flowing and Pouring with a spade.					
Impossible	Most of the cement mixed soil is not flowing from a spade.				
	Large amount of cement mixed soil is not flowing from a spade.				
	Small amount of cement mixed soil is flowing from a spade.				
Possible	Large amount of cement mixed soil is easily flowing from a spade.			○	
	Most of the cement mixed soil is easily flowing from a spade.				○
	The cement mixed soil is flowing as a fluid state.				

Table 6 Consistency and workability checklist of cement mixed soil (wall and floor plastering work)

Wall and floor plastering work		Water content (%)			
		25	30	35	40
1) Lifting with a trowel					
Easy				○	○
Normal			○		
Difficult		○			
2) Plastering a wall with a trowel					
Impossible	Most of the cement mixed soil is separated from a wall.				
	Small amount of cement mixed soil is separated from a wall.	○			
Possible	Most of the cement mixed soil is attached well to a wall.		○		
	Small amount of cement mixed soil is flowing down from a wall.			○	○
	Most of the cement mixed soil is flowing down from a wall.				
3) Plastering a floor with a trowel					
Impossible	Most of the cement mixed soil is not attached to a floor but separated.				
	Small amount of cement mixed soil is not attached to a floor but separated.	○			
Possible	Most of the cement mixed soil is attached to a floor but it is difficult to level a surface.		○	○	
	It can be possible to attach the cement mixed soil to a floor but it is difficult to level a surface.				○
	It is impossible to maintain a prescribed thickness because the cement mixed soil is a half-fluid state.				

바르기 시공이 불가능한 것으로 나타났다. 함수비 40%의 경우 벽면 및 바닥 바르기 시공 모두 가능한 하나 벽면으로부터 흘러 내리고 면고르기가 용이하지 않아서 이 시공에 적합하지는 않은 것으로 나타났다. 벽면 바르기 시공은 함수비 30%의 경우 시료가 벽면에 잘 부착되어 30% 전후 2% 범위에서 재시험을 실시한 결과 함수비 30%~32%가 시공에 적합한 것으로 판단되며 바닥 바르기 시공은 함수비 30%, 35% 모두 시료가 바닥에 잘 부착되고 면고르기가 용이하여 30~35% 함수비가 시공시 적정 함수비 범위인 것으로 판단된다.

Table 7은 6%, 9% 시멘트 혼합토의 거푸집 다짐 시공에 대한 반죽질기 및 워커빌리티 시험 결과를 나타낸다. 25%와 30% 함수비의 경우 다짐봉으로 찌르기와 빼기가 어렵고 시료가 퍼지며 다짐봉에 많이 묻어나 다짐 상태가 불량한 것으로 나타났

다. 35%, 40% 함수비의 경우에서도 시료가 다짐 봉에 많이 묻어나고 시료가 반 유동적 상태가 되어 다짐 상태가 불량하여 거푸집 다짐 시공에는 적합하지 않은 것으로 나타났다. 이와같이 함수비 25%~40% 범위에서 거푸집 다짐 시공이 어려운 것은 시공에 적합한 함수비보다 수분이 많기 때문이며 거푸집 다짐 시공에서는 다짐 시험시 최적함수비인 약 20%가 시공에 적합한 함수비인 것으로 판단된다.

Table 8은 Table 4, 5, 6, 7 등에서 앞서 고찰한 멩쳐 던지기 시공, 흘러 붓기 시공, 벽면 및 바닥 바르기 시공, 거푸집 다짐 시공 등에 대한 적정 함수비와 워커빌리티 특성 및 Table 3의 슬럼프 값을 요약·정리한 것이다. 앞선 Table 4, 5, 6, 7 등의 고찰 내용에서 언급한 바와 같이 본 연구에 사용된 6%, 9% 시멘트 혼합토의 적정 함수비는

**Table 7 Consistency and workability checklist of cement mixed soil (compacting work)**

Compacting work		Water content (%)			
1) Putting in and pull out with a compacting stick		25	30	35	40
Easy	The cement mixed soil is not stuck to a stick.				
	Small amount of cement mixed soil is stuck to a stick.				
	Large amount of cement mixed soil is stuck to a stick.				
Normal	The cement mixed soil is not stuck to a stick.				
	Small amount of cement mixed soil is stuck to a stick.				
	Large amount of cement mixed soil is stuck to a stick.				
Difficult	The cement mixed soil is not stuck to a stick.	○			
	Small amount of cement mixed soil is stuck to a stick.		○		
	Large amount of cement mixed soil is stuck to a stick.			○	○
2) Holes made by a compacting stick		25	30	35	40
Not refilled		○			
A little bit refilled			○	○	
Mostly refilled					○
3) Compacting test					
The compacting state is good.	The cement mixed soil is not stuck to a stick.				
	Small amount of cement mixed soil is stuck to a stick.				
	Large amount of cement mixed soil is stuck to a stick.				
The compacting state is poor.	Small amount of cement mixed soil is dispersed.				
	The cement mixed soil is spreaded and stuck to a stick easily. It is impossible to compact because the cement mixed soil is a half-fluid state.	○	○		
				○	○

**Table 8 Proper water content, slump value and workability by work of cement mixed soil**

Work	Proper water content (%)	Slump value (cm)		Workability
		6% cement mixed soil	9% cement mixed soil	
Aggregating and throwing	25~27	0	0	It is aggregated easily with hands and when thrown it is not broken even though its form is changed.
Wall plastering	30~32	0.4	1.7	Lifting work with a trowel for a plastering wall is normal but most of the cement mixed soil is not flowing and well-attached to a wall.
Floor plastering	30~35	0.4~1.5	1.7~2.1	The cement mixed soil is attached well to a floor and easy to level a surface and when rubbed by a trowel it presents gloss.
Flowing and pouring	40~42	6.0	6.3	It has somewhat fluidity and easy to lift and most of the cement mixed soil is flowing easily from a spade.
Compacting	20	-	-	The optimum water content of the compacting test becomes the proper water content when it is worked.

몽쳐 던지기 시공이 25%~27%, 벽면 바르기 시공이 30%~32%, 바닥 바르기 시공이 30%~35%, 흘려 붓기 시공이 40%~42%, 거푸집 다짐 시공이 20%인 것으로 나타났으며 각 시공방법별로 적정 함수비 범위에서의 슬럼프 값은 0 cm~6.3 cm로 나타났다. Table 8에 나타낸 워커빌리티 항목은 각 시공방법들의 적정 함수비에서 나타나는 워커빌리티 특성들이다.

## V. 결 론

건축재료로 이용 가능한 흙재료에 시멘트를 혼합하여 사용한 '시멘트 혼합토'의 워커빌리티 특성을 슬럼프 시험과 반죽질기 시험을 통해 구명함으로써 시멘트 혼합토의 시공 기준 정립을 위한 기초자료를 제시하고자 수행한 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 시멘트 혼합토의 슬럼프 값은 증가폭의 차이는 있으나 함수비의 증가에 따라 전반적으로 증가하는 것으로 나타났으며 흙자체의 슬럼프 값보다는 동일 함수비에서 작은 것으로 나타났다.

2. 시멘트를 6%, 9% 혼합한 시멘트 혼합토의 경우 몽쳐 던지기 시공은 함수비 25%~27%, 벽면 바르기 시공은 함수비 30%~32%, 바닥 바르기 시공은 함수비 30%~35%, 흘려 붓기 시공은 함수비 40%~42% 범위에서 시공이 양호할 것으로 판단된다.

3. 거푸집 다짐시공시에는 다짐 시험시의 최적함수비인 약 20% 함수비가 시공시의 적정 함수비가 될 것으로 판단된다.

본 논문은 2003년도 경북대학교 학술진흥연구비(KNURF) 지원사업에 의하여 수행된 연구의 일부임.

## References

1. Davidson, D. T., 1962, Moisture-Density, Moisture-Strength & Compaction Characteristics of Cement Treated Soil Mixtures, Highway Research Board Bulletin 353, pp. 42~63.
2. Felt, E. J., 1955, Factors Influencing some of the physical properties of soil cement mixtures, Highway Research Board Bulletin 108, pp. 138~162.
3. Kim Jae Young, Kang Yea Mook, 1975, A study on the effects of molding water content and cement content on unconfined compressive strength of soil cement mixtures, Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers 17(1), 59~75. (in Korean)
4. Kim Sang Chul, Lee Sang Ho, 2005, Strength Characteristics of Cement-Mixed Soil, Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers 47(3), pp. 49~56. (in Korean)
5. Lee Sang Ho, Cha Hyun Ju, Chang Pyoung Wuck, 2000, Physical Properties of Reinforced Soil Mixture Powder, Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers 42(5), pp. 125~132. (in Korean)
6. Pierre Clement, 1979, Construire en terre, France