

황토와 플라이 애시를 혼입한 시멘트 모르타르 벽돌의 물리·역학적 특성

Physical and Mechanical Properties of Cement Mortar Brick with Loess and Fly Ash

성 찬 용* · 임 성 수**

Sung, Chan Yong · Lim, Sung Soo

Abstract

This study was performed to evaluate the engineering properties of cement mortar brick with loess and fly ash. The unit weight was in the range of 2,068~2,137 kgf/m³ and 1,899~2,045 kgf/m³ in water and dry curing, respectively. It was decreased with increasing the loess content. The absorption ratio was in the range of 5.2~13.1% and 8.5~13.2% in water and dry curing, respectively. The compressive strength was decreased with increasing the loess content. The compressive strength of the 193 kgf/cm² in water and 188 kgf/cm² in dry curing at the curing age 28 days of the binder volume ratio 35% was exceeded in 163 kgf/cm² of standard compressive strength about cement bricks. The carbonation depth was in the range of 0.9~1.4 mm, 1.2~3.6 mm, 1.4~6.7 mm and 2.4~12.5 mm in dry curing of curing age 14days, 28days, 90days and 360days, respectively.

Keywords : Loess, Fly ash, Unit weight, Absorption ratio, Compressive strength, Carbonation depth

I. 서 론

시멘트는 현재 거의 모든 건설분야에 사용되고 있으나 이로 인한 자원고갈 및 시멘트 가공·생산에 따른 환경오염문제 등이 대두되고 있다. 이에

대한 대책으로 시멘트의 일부 치환재료로서 천연재료 및 산업부산물 등을 이용한 연구가 수행되고 있다.⁵⁾

황토는 고유의 전통적인 재료로 예로부터 전통가옥에 황토를 많이 사용하여 왔으나 수축에 의한 균열과 낮은 강도특성 때문에 범용적으로 활용되지 못하고 있는 실정이다. 근래들어 황토만이 가지는 이로온 특성이 알려지면서 친환경적인 재료로 부각되고 있으며, 시멘트 콘크리트의 알칼리 성분을 중화시키고 축열효과가 뛰어나며 흡착력이 탁월하여

* 충남대학교 농업생명과학대학

** 충남대학교 대학원

* Corresponding author. Tel.: +82-42-821-5798

fax: +82-42-823-8050

E-mail address: cysung@cnu.ac.kr

쾌적한 주거환경이나 생활환경을 제공할 수 있다. 또한, 그 표면이 넓은 벌집구조로 수많은 공간이 복층 구조를 이루고 있고, 이 공간이 다량의 원적외선을 흡수 저장하여 열을 받으면 발산하는 특징이 있으며 인체에도 유익한 것으로 알려져 있다.^{4),6)} 이러한 특징 때문에 황토의 큰 건조수축, 균열, 낮은 강도 등을 보완하여 경제적인 전자재료로서의 사용과 시멘트의 일부 치환재로써 건설재료로서의 활용이 현재 활발하게 연구되고 있다. 황토는 K aolinite족의 Halloysite계에 속하는 광물로 산화철 함량이 다소 많은 것이 특징이고, 주요성분은 SiO₂와 Al₂O₃, Fe₂O₃등으로 천연포졸란 재료와 유사하여 500℃ 이상으로 가열하여 활성화시킬 경우 활발한 포졸란 반응을 일으키는 것으로 보고되고 있다.²⁾ 그러나, 소성가공하는 것은 비경제적이어서 광범위하게 사용되지 못하고 있어 비소성 황토의 사용을 위한 연구가 필요하다 하겠다.

따라서, 본 연구에서는 환경친화적이고 경제적인 전자재를 개발하기 위하여 시멘트에 적정량의 플라이 애시를 혼입하여 결합재 대체용으로 가공하지 않은 비소성황토의 혼입량을 11종류로 한 모르타르에 대한 물리·역학적 특성 및 중성화 특성을 구명하는데 그 목적이 있다.

II. 재료 및 방법

1. 사용재료

가. 시멘트

시멘트는 국내 S사 제품의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 그 물리적 성질과 화학성분은 Table 1, 2와 같다.

Table 1 Physical properties of normal Portland cement

S.G	Setting time (h-min)		Compressive strength (kgf/m ²)		
	Initial	Final	3days	7days	28days
3.15	5~7	7~20	194	216	323

Table 2 Chemical composition of normal Portland cement (Unit : %)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	Fe ₂ O ₃
21.09	4.84	63.85	3.32	3.09	1.13	0.29	2.39

나. 황 토

본 시험에 사용된 황토는 충남 조치원 인근에서 채취한 것으로, 이의 물리적 성질과 화학성분은 Table 3, 4와 같다.

Table 3 Physical properties of loess

Size (mm)	Specific gravity (20℃)	Unit weight (kgf/m ³)
< 0.150	2.69	928

Table 4 Chemical composition of loess(%)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	CaO	Na ₂ O	Ig. loss
63.90	17.6	5.34	3.16	1.37	0.24	0.12	8.26

다. 플라이 애시

플라이 애시는 보령화력발전소에서 부산되는 입경이 0.15 mm 이하의 것을 사용하였으며, 그 물리적 성질 및 화학성분은 Table 5와 같다.

Table 5 Physical properties and chemical composition of fly ash

Physical properties			Chemical composition			
Specific gravity (20℃)	Specific surface (cm ² /g)	Unit weight (kgf/m ³)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Ig. loss (%)	Others (%)
2.39	3,152	1,072	59.9	25.2	3.84	11.06

라. 잔골재

본 시험에 사용된 잔골재는 금강유역에서 채취한 천연모래를 사용하였으며, 그 물리적 성질은 Table 6와 같다.

Table 6 Physical properties of fine aggregate

Size (mm)	Specific gravity (20°C)	Absorption ratio (%)	Fineness modulus	Unit weight (kgf/m ³)
0.595~4.75	2.61	2.34	2.32	1,476

마. 고성능감수제

콘크리트의 유동성 증진과 강도 증진을 위하여 음이온 계면 활성제인 나프탈렌 설폰산염을 주성분으로 한 고성능감수제를 사용하였으며, 그 일반적 성질은 Table 7과 같다.

Table 7 General properties of superplasticizer

Specific gravity (20°C)	pH	Color	Freezing point (°C)	Principal ingredient	Unit weight (kgf/m ³)
1.20	9±1	Dark brown liquid	-2	Naphthalene sulfonate	1,190

2. 시험체 제작

가. 모르타르 배합

모르타르의 배합은 시멘트 모르타르의 압축강도 시험방법(KS L 5101)에 준하여 결합재와 모래의 비를 표준배합인 1:2.45로 하였으며, 물-결합재비는 흐름시험에 따른 플로우 값이 110~115범위로 하였고, 모르타르의 강도증진과 유동성 확보를 위해 고성능감수제를 결합재 중량의 1%를 사용하였다. 시멘트, 황토, 플라이 애시의 배합비에 따른 모르타르의 물리·역학적 특성을 구명하기 위하여 황토를 결합재(시멘트+플라이 애시) 중량의 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35%, 40%, 45%, 50%로 대체하였고, 플라이 애시는 시멘트+황토+플라이 애시는 중량의 20%를 대체하여 H0, H1, H2, H3, H4, H5, H6, H7, H8, H9, H10의 11가지 배합으로 하였으며, 이의 배합설계는 Table 8과 같다.

Table 8 Mix design of mortar with loess and fly ash (Unit : kgf/m³)

Mix type	W/B (%)	Water	Cement	Loess	Fly ash	Sand	Super plasticizer
H0	43	252	467	-	117	1,435	5.9
H1	44	258	446	29	111	1,435	5.9
H2	45	264	422	59	105	1,435	5.9
H3	47	275	398	88	100	1,435	5.9
H4	48	281	374	117	93	1,435	5.9
H5	49	287	352	147	88	1,435	5.9
H6	50	293	328	176	82	1,435	5.9
H7	51	299	305	205	76	1,435	5.9
H8	53	311	282	234	70	1,435	5.9
H9	53	314	258	264	64	1,435	5.9
H10	54	316	234	293	59	1,435	5.9

나. 시험체 제작 및 양생

시험체 제작은 KS L 5105(시멘트 모르타르의 압축강도 시험방법)에 준하였으며, 몰드에 타설된 모르타르는 양생상자(21°C, 습도 96±2%)에서 24시간 정치 후 탈형하여 소정의 재령까지 수중양생(23±2°C)과 옥외폭로양생(1일에 1회 살수) 2종류로 실시하였다.

3. 시험방법

시험은 KS에 규정된 방법에 따라 실시하였으며, 3회 반복 시험한 것의 평균값을 시험결과치로 하였다.

가. 단위중량시험은 벽돌의 경량성을 파악하기 위해 $\phi 100 \times 200$ mm인 시험체의 표면건조포화상태의 중량과 체적을 재령 28일에 측정하여 산출하였다.

나. 흡수율시험은 재령 28일에 수중양생된 $\phi 75 \times 150$ mm 시험체의 표면건조상태의 중량과 절대건조상태의 중량을 측정하여 흡수율을 구하였고, 같은 재령의 옥외폭로양생된 시험체를 1일 동안 수중에 정치시킨후 공시체의 표면상태 중량을 측정한다

건조로에 1일 동안 건조시켜 절대건조상태의 중량을 측정하여 흡수율을 구하였다.

다. 압축강도시험은 KS F 4004(콘크리트 벽돌 시험방법)에 준하여 50×50×50 mm의 시험체를 제작하여 각각 재령 14일과 28일에 측정하였다.

라. 인체에 해로운 시멘트 모르타르 벽돌의 알칼리 농도를 중화시키기 위하여 황토를 혼입하였으며 중성화값이 시험은 옥외폭로양생시킨 $\phi 100 \times 200$ mm 시험체를 재령 14일, 28일, 90일 및 360일에 105±5℃의 건조로에 24시간 건조한 후 절단하여 시험체 단면에 1%의 페놀프탈레인용액을 분무하여 변색되지 않는 부분의 깊이를 영국 C.N.S사의 micro crack scope와 버니어 캘리퍼스를 이용하여 측정하였다.

III. 결과 및 고찰

황토와 플라이 애시를 혼입한 시멘트 모르타르의 재령 28일의 단위중량과 흡수율시험 결과를 나타내면 Table 9와 같다.

Table 9 Unit weight and absorption ratio of mortar with loess and fly ash

Mix type	Unit weight (kgf/m ³)		Absorption ratio (%)	
	Water curing	Dry curing	Water curing	Dry curing
H0	2,137	2,045	5.2	8.5
H1	2,129	2,027	5.4	8.6
H2	2,120	2,022	5.9	8.8
H3	2,117	2,019	6.5	8.9
H4	2,112	2,015	6.9	9.9
H5	2,105	1,963	7.5	10.1
H6	2,102	1,947	8.8	10.3
H7	2,091	1,938	9.2	10.7
H8	2,079	1,924	9.6	10.8
H9	2,071	1,919	10.2	11.0
H10	2,068	1,899	13.1	13.2

가. 단위중량

각 배합비에 따른 단위중량은 H10의 경우 수중양생 및 옥외폭로양생에서 각각 H0의 96.8% 및 92.9%로써 황토의 대체율이 증가할수록 단위중량은 점점 감소하였다. 이는 황토 입자가 개기공 구조에 의해 다공질을 이루고 있고, 비중이 시멘트에 비해 작기 때문이라 생각된다.¹⁾ 단위중량은 수중양생한 경우 2,068~2,137 kg/m³, 옥외폭로 양생한 경우 1,899~2,045 kg/m³ 로써 옥외폭로 양생한 것보다 수중양생한 것이 4.3~8.2% 정도 단위중량이 더 큰 것으로 나타났는데, 이는 수중양생의 경우 시멘트가 수화작용하기 위한 충분한 물공급으로 옥외폭로 양생보다 더 밀실하게 양생되었기 때문이라 생각된다.

나. 흡수율

각 배합비에 따른 흡수율은 Table 9에서 보는 바와 같이 수중양생 및 옥외폭로양생에서 각각 5.2~13.1%과 8.5~13.2%로 나타났으며, 황토의 사용량 증가에 따라 흡수율이 증가하였다. 이는 황토가 개기공 구조로 입자간 조직사이에 다공질의 미세공극을 가지고 있는데 기인한 것으로 생각된다.¹⁾ 또한, 수중양생의 경우가 옥외폭로 양생보다 황토의 사용량에 따른 흡수율의 증가폭이 더 크게 나타났는데, 이는 수중양생의 경우 충분한 수분공급으로 시멘트의 수화작용이 더 활발하였기 때문이라 생각된다. 또한, 수중양생과 옥외폭로 양생 모두 황토의 사용량 45%까지는 점진적으로 증가하다 50%에서는 급격하게 증가하였는데, 이는 흐름값을 일정하게 하기 위한 물의 양이 황토와 시멘트를 고결시키기 위한 양보다 많아져 50%의 황토를 사용한 모르타르에서는 잉여 수분의 배출에 의한 공극의 부피가 증가하였기 때문이라 생각된다.^{3),7)} 그리고 콘크리트 벽돌의 흡수율은 KS F 4004에서 C 중 1급 벽돌의 경우 7% 이하, 2급 벽돌의 경우 10% 이하로 규정하고 있으며, 재령 28일에서 수중양생의 경우 황토사용량 40%, 옥외폭로양생의

경우 20%까지 C종 2급 벽돌에 적합한 것으로 나타났다.

다. 압축강도

각 배합비에 따른 재령별 압축강도를 비교하면 Table 10에서 보는 바와 같이 수중양생의 경우 재령14일에 68~421 kgf/cm², 재령28일에 91~458 kgf/cm²의 범위로 나타났으며, 옥외폭로양생의 경우는 재령14일에 68~295 kgf/cm², 재령28일에서는 88~315 kgf/cm²의 범위로 나타나 황토의 대체율 증가에 따라 압축강도는 감소하였는데, 이는 황토의 대체율 증가에 따른 시멘트량의 감소와 높은 온도로 가공하지 않은 천연 황토를 그대로 사용하여 포졸란반응이 일어나지 않고 시멘트 입자와 물간의 수화반응에 저해하는 요인으로 작용하였기 때문이라 생각된다. 황토를 50% 대체한 경우, 양생조건에 따른 압축강도의 차이는 아주 작게 나타났는데, 이는 황토의 대체율이 증가함으로써 시멘트의 절대량 감소로 인해 상대적으로 양생조건의 영향을 적게 받은 것으로 생각된다. 한편, 전자재 제품성능에 있어 압축강도는 중요한 성능의 하나이며, 콘크리트 벽돌의 경우 KS F 4004에서 압축

강도는 A종 벽돌은 82 kgf/cm², B종 벽돌은 122 kgf/cm², C종 1급 벽돌은 163 kgf/cm² 및 C종 2급 벽돌은 82 kgf/cm²의 규정을 두고 있으며, 28일 강도 기준으로 수중양생 및 옥외폭로양생 모두 황토 사용량 35%까지 C종 1급 벽돌의 기준강도인 163 kgf/cm²을 상회하는 것으로 나타났다.

라. 중성화깊이

각 배합과 재령에 따른 중성화깊이 시험결과를 나타내면 Table 11과 같다.

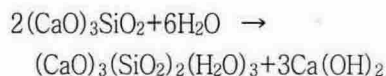
Table 11 Carbonation depth of mortar with loess and fly ash by dry curing

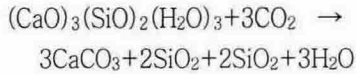
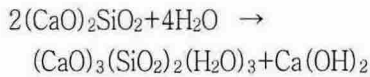
Mix type	Carbonation depth (mm)			
	14 days	28 days	90 days	360 days
H0	0.9	1.2	1.4	2.4
H1	1.0	1.2	1.5	2.8
H2	1.0	1.3	1.7	3.0
H3	1.1	1.4	2.1	3.7
H4	1.1	1.4	2.2	4.0
H5	1.1	1.5	2.3	5.0
H6	1.2	1.9	2.7	5.5
H7	1.3	2.2	2.9	6.3
H8	1.3	2.4	3.8	8.2
H9	1.4	2.7	4.4	9.8
H10	1.4	3.6	6.4	12.5

Table 10 Compressive strengths of mortar with loess and fly ash (kgf/cm²)

Mix type	Water curing		Dry curing	
	14 days	28 days	14 days	28 days
H0	421	458	295	315
H1	407	449	266	304
H2	361	393	232	292
H3	287	328	198	259
H4	276	314	168	246
H5	232	273	156	232
H6	178	231	149	223
H7	152	193	147	188
H8	129	161	124	146
H9	117	132	114	130
H10	68	91	68	88

시멘트 수화물이 공기중의 탄산가스를 흡수하여 수산화칼슘이 탄산칼슘으로 변하면서 알칼리성을 잃게 되는데 이를 중성화라 한다. 시멘트의 수화반응에 의해서 생성되는 수산화칼슘은 pH 12~13 정도의 강알칼리성이며, 이것이 시멘트 수화물 전체의 pH를 결정하고, 수산화칼슘은 대기중의 탄산가스와 접촉하여 탄산칼슘과 물로 변화한다. 이를 화학식으로 나타내면 아래와 같다.





철근콘크리트의 중성화는 철근부식의 원인이 되어 악영향을 끼치는 것으로 알려져 있으나 시멘트 수화물 자체는 탄산가스와 반응한 만큼 무거워지고 치밀해지며 인체에 해로운 알칼리성이 중화되므로 건자재 개발에 있어서는 오히려 이로울 것으로 생각된다. 중성화깊이는 옥외폭로양생 14일, 28일, 90일 및 360일에서 각각 0.9~1.4 mm, 1.2~3.6 mm, 1.4~6.7 mm 및 2.4~12.5 mm로 나타나 황토의 대체율이 증가할수록, 양생기간이 길수록 중성화 깊이는 증가하였고, 재령 14일의 경우 황토의 대체율 증가에 따른 중성화 깊이의 변화폭은 0.5 mm에 불과하였으나, 재령 360일의 경우 황토의 대체율에 따른 중성화깊이의 변화폭은 10.1 mm로 나타나 재령이 증가할수록 황토의 대체율 증가에 따른 중성화깊이는 상대적으로 더 증가하는 것으로 나타났다. 이는 황토의 대체율이 증가할수록 시멘트량의 감소로 강알칼리성인 수산화칼슘의 양이 적고, 황토자체가 산성을 띄고 공극이 많은 구조로 이산화탄소가 침투하기 쉽기 때문이라 생각된다.

IV. 결 론

본 연구는 환경친화적인 황토를 결합재 중량의 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35%, 40%, 45% 및 50%를 대체하고, 결합재량의 20%를 플라이 애시로 치환한 모르타르에 대한 물리·역학적 특성을 구명한 것으로써, 이 연구를 통해 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 단위중량은 수중 및 옥외폭로양생에서 각각

2,068~2,137 kgf/m³과 1,899~2,045 kgf/m³로 나타났으며, 황토 사용량이 증가할수록 단위중량은 감소하였다.

2. 흡수율은 수중 및 옥외폭로양생에서 각각 5.2~13.1%와 8.5~13.2%로 나타났으며, 황토사용량이 증가할수록 흡수율은 증가하였다.

3. 압축강도는 재령28일에서 수중 및 옥외폭로양생에서 각각 91~458 kgf/cm²과 88~315 kgf/cm²으로 나타났으며, 황토의 사용량이 증가할수록 감소하였다.

4. 중성화깊이는 옥외폭로양생 14일, 28일, 90일 및 360일에서 각각 0.9~1.4 mm, 1.2~3.6 mm, 1.4~6.7 mm 및 2.4~12.5 mm로 나타났으며, 황토의 사용량 증가에 따라 중성화깊이는 증가하였고, 재령이 증가할수록 황토의 대체율 증가에 따른 중성화깊이는 증가하는 경향을 나타내었다.

본 논문은 2002년도 농림기술개발사업에 의하여 수행된 연구결과의 일부임

References

1. Choi, H. Y., H. Z. Hwang, M. H. Kim. and M. H. Kim, 2000, A study on the development Hwangtoh admixture for the application of cement mortar, *Architectural Institute of Korea* 16(6) : 95~102. (in Korean)
2. Dunster, A. M., 2000, The Pozzolanic reaction of metakaolin and its effects on portland cement hydration, *Journal of Materials Science* 28 : 1,345~1,350.
3. O'Farrell, M., S. Wild and B. B. Sabir, 2001, Pore size distribution and compressive strength of waste clay brick mortar, *Cement and Concrete Composites* 23(1) : 81~91.
4. Shin, H. T. and H. E. Lee, 1999, A study on

- the characteristics of hardened body in loess-blast furnace slag systems, *Journal of Research Inst. of Ind.* 15 : 311~321. (in Korean)
5. Sung, C. Y., 1997, An experimental study on the development and engineering performance of rice-husk ash concrete, *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 39(5) : 55~63. (in Korean)
6. Sung, C. Y., N. H. Ryu. and J. N. Youn, 2002, Physical and mechanical properties of mortar using non-active Hwangto and stone dust, *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 44(6) : 83~89. (in Korean)
7. Sung, C. Y. and J. N. Youn, 2003, Non-destruction and neutralization properties of mortar mixed with non-active Hwangto and stone dust, *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 45(3) : 59~64. (in Korean)