JOURNAL OF THE KOREAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS NOV 2002, pp. 83-89

한국농공학회지
제44권 제6호

비활성 황토와 석분을 사용한 모르타르의 물리·역학적 특성

Physical and Mechanical Properties of Mortar Using Non-active Hwangto and Stone Dust

성 찬 용* · 류 능 환** · 윤 준 노***

Sung, Chan-Yong · Ryu, Neung-Hwan · Youn, Joon-No

Abstract

The purpose of this study is to obtain the basic data for the development of construction material products using non-active Hwangto and stone dust.

The test result shows that the unit weight is in the range of 2,050~2,135 kg/m^3, the compressive strength is in the range of 107~451 kgf/cm^2, the bending strength is in the range of 23~81 kgf/cm^2 and the dynamic modulus is in the range of 137×10^3~318×10^3 kgf/cm^2. Also, it is decreased with increase using the non-active Hwangto and stone dust, respectively. The incorporation of non-active Hwangto for cement is possible to 40% in strength.

Keywords : Non-active Hwangto, Stone dust, Unit weight, Strengths, Dynamic modulus

I. 서 론

시멘트는 현재 거의 모든 건설부문에 사용되고 있으나, 인공적으로 가공됨으로써 천연자원 훼손과 환경오염 문제가 대두되어 새로운 건설재료의 개발이 연구되고 있다.[6),7)]

황토는 우리나라에 양적으로 풍부한 고령토와 비슷한 Kaolin 족 광물로 산화철의 함량이 시멘트보다 다소 많은 것이 특징이며, 이 산화철은 원적외선 복사에너지와 함께 정화력과 분해력이 있어 인체의 독을 제거하는 기능을 갖고 있고, 습도조절 기능을 할 수 있는 것으로 알려져 있어 건자재로의 개발이 유익할 것으로 판단된다.[1)] 그러나, 기존의 황토는 주로 소성가공하여 사용하므로 비경제적이어서 광범위하게 사용되지 못하고 있어,[2)] 비소성 황토의 사용을 위한 연구가 필요하다 하겠다.

한편, 골재는 천연의 하천골재가 주류를 이루었으나, 대도시 주변의 하천골재가 점차 고갈되어감

* 충남대학교 농업생명과학대학
** 강원대학교 농업생명과학대학
*** 충남대학교 대학원
* Corresponding author. Tel.: +82-42-821-5798
fax: +82-42-823-8050
E-mail address: cysung@cnu.ac.kr

에 따라 석산에서 인위적으로 생산하는 부순자갈로 대체되기 시작하여 그 부산물로 석분이 발생하는데, 이 석분은 아스콘에 일부 사용될 뿐 대부분 매립 또는 야적 되는 등 활용도가 매우 적다.

이에 본 연구는 환경친화적인 건자재 개발을 위하여 시멘트 대체용으로 황토 혼입량을 5종, 잔골재의 대체용으로 석분의 혼입량을 3종, 총 16종류의 모르타르에 대하여 단위중량, 압축강도, 휨강도, 동탄성계수 등 물리·역학적 특성을 구명하여 성능이 우수한 건자재를 개발하는데 그 목적이 있다.

Ⅱ. 재료 및 방법

1. 사용재료

가. 시멘트

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

Table 1 Physical properties of normal portland cement

Specific gravity	Setting time (hrs-min)		Compressive strength (kgf/cm^2)		
	Initial	Final	3days	7days	28days
3.15	5~7	7~20	194	360	450

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

SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	SO_3	K_2O	Na_2O	Fe_2O_3
21.09	4.84	63.85	3.32	3.09	1.13	0.29	2.39

나. 황 토

충청남도 조치원 인근에서 채취한 것으로 100±5℃의 건조로에서 24시간 이상 건조한 후 시멘트 대체용으로 사용하기 위하여 0.15 mm 이하로 분쇄하여 비중이 2.69, 단위중량이 928 kg/m^3 인 것을 사용하였으며, 이의 화학성분은 Table 3과 같다.

Table 3 Chemical composition of Hwangto (Unit : %)

SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	K_2O	MgO	CaO	Na_2O	Ig.loss
63.9	17.6	5.34	3.16	1.37	0.24	0.12	8.26

다. 석 분

표면건조 포화상태의 편마암 석분을 사용하였으며, 이의 물리적 성질과 화학성분은 Table 4, 5와 같으며, 석분의 입경가적곡선은 Fig. 1과 같다.

Table 4 Physical properties of stone dust

Specific gravity	Size (mm)	Unit weight (kg/m^3)
3.01	< 0.595	1,682

Table 5 Chemical composition of stone dust (Unit:%)

SiO_2	Al_2O_3	K_2O	Fe_2O_3	Na_2O	MgO	CaO	Ig.loss
73.40	11.30	4.77	3.00	3.63	0.25	0.98	0.61

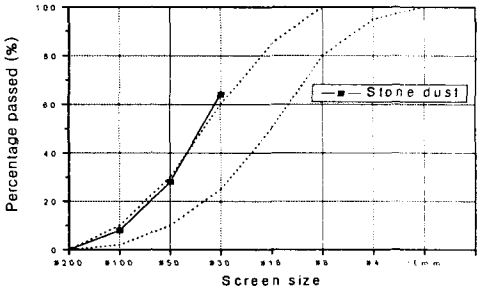

Fig. 1 Gradation curve of stone dust

라. 잔골재

금강유역에서 채취한 천연골재로서, 그 물리적 성질은 Table 6과 같다.

Table 6 Physical properties of fine aggregate

Specific gravity	Size (mm)	Absorption ratio (%)	Fineness modulus	Unit weight (kg/m^3)
2.62	< 4.75	2.35	2.35	1,225

2. 공시체 제작

가. 배합설계

황토와 석분을 사용한 모르타르의 배합은 제성능을 고려하여, 황토를 시멘트와 같은 결합재로 하여 결합재 중량의 0, 10, 20, 30, 40, 50% 사용하였으며, 석분은 모래와 같은 잔골재로 하여 잔골재 중량의 10, 20, 30% 사용하여 총 16가지 종류의 배합비로 하였고, 황토의 영향을 알아보기 위하여 흐름값은 100~110의 범위로 하였으며, 이의 배합설계는 Table 7과 같다.

나. 공시체 제작 및 양생

모르타르의 제작은 KS L 5105 (시멘트 모르타르의 압축강도 시험방법)에 규정된 방법에 준하여 제작하였으며, 몰드에 타설된 모르타르는 24시간 정치 후 탈형하여 23±1℃의 수중에서 소정의 재령까지 양생하였다.

3. 시험방법

가. 단위중량시험

단위중량시험은 경량성을 파악하기 위하여 KS F 4004(콘크리트 벽돌 시험방법)에 준하여 재령 28일에 실시하였으며, 각 배합비 별로 ϕ100×200 mm인 시험체의 표면건조포화상태의 중량과 체적을 측정하여 산출하였다.

나. 강도시험

압축강도시험은 KS 규정에 적합한가를 판단하기 위하여 50×50×50 mm 시험체를 KS F 4004(콘크리트 벽돌 시험방법), 휨강도시험은 40×40×160 mm의 시험체를 제작하여 KS F 2407(콘크리트의 휨강도 시험방법)에 규정된 방법에 준하여 각각 재령 7일, 28일에 측정하였다.

Table 7 Mix design of mortar using non-active Hwangto and stone dust (Unit : kg/m^3)

Mixing type	Cement	Hwangtoh	Sand	Stone dust	Water	W/B (%)	Flow value
Plain	544	-	1,333	-	272	50	105
HDM1	481	54	1,181	131	294	55	105
HDM2	477	53	1,040	260	323	61	105
HDM3	475	52	907	389	333	63	110
HDM4	425	106	1,172	130	308	58	110
HDM5	420	105	1,030	258	326	62	110
HDM6	415	104	890	382	334	64	110
HDM7	370	159	1,167	130	327	62	105
HDM8	364	156	1,021	255	337	65	110
HDM9	360	155	884	379	340	66	110
HDM10	311	208	1,144	127	328	63	110
HDM11	306	204	1,001	250	338	66	110
HDM12	303	202	868	372	354	70	110
HDM13	255	255	1,126	125	331	65	110
HDM14	253	253	993	248	339	67	105
HDM15	252	252	863	370	362	72	110

다. 동탄성계수시험

동탄성계수시험은 ϕ100×200 mm인 공시체의 길이방향 양면 중앙에 종진동에 의한 공명진동을 측정하는 영국 C.N.S사의 ERUDIT MIKI(resonant frequency test system) 측정기를 사용하여 BS 1881(콘크리트의 동탄성계수 측정방법)에 의해 재령 7일, 28일에 측정하여 다음 식으로 산출하였다.

$$D \cdot M = DWn^2$$

여기서, $D \cdot M$ = 동탄성계수(kgf/cm^2)
W = 공시체의 중량(kg)
n = 측정치
$D = 519.4\times10^{-5}\ L/d^2$ (s^2/cm^2)
L = 공시체의 길이 (cm)
d = 공시체의 직경 (cm)

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 단위중량

모르타르의 단위중량은 사용골재의 종류와 배합조건에 따라 큰 차이가 있으며, 단위중량 시험결과를 나타내면 Table 8 및 Fig. 2와 같다.

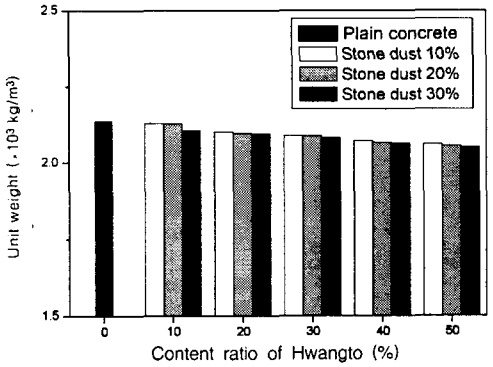

Fig. 2 Unit weight of test samples with variations of Hwangto content

Table 8과 Fig. 2에서 보는 바와 같이 단위중량은 2,050~2,135 kg/m^{3}의 범위로 황토와 석분의 혼입량이 증가함에 따라 감소하는 것으로 나타났으며, 황토가 석분보다 단위중량에 영향을 더 크게 미치는 요인으로 나타났다. 이와 같은 단위중량의 감소원인은 시멘트와 모래에 비해 상대적으로 단위중량이 작은 황토를 사용한 것에 기인한 것으로 생각된다. 또한, 황토의 혼입량에 따라 최대 4% 정도까지 단위중량이 감소되어 운반 및 시공성에 다소나마 도움이 될 것으로 생각된다.

2. 강 도

가. 압축강도

건자재 제품성능에서 압축강도는 중요한 성능의

Table 8 Test results of mortar using non-active Hwangto and stone dust

Mixing type	Unit weight (kg/m^3)	Compressive strength (kgf/cm^2)		Bending strength (kgf/cm^2)		Dynamic modulus of elasticity (×10^{3}kgf/cm^2)	
	28 days	7 days	28 days	7 days	28 days	7 days	28 days
Plain	2,135	362	451	62	81	293	318
HDM1	2,127	308	379	56	77	254	283
HDM2	2,126	293	354	54	75	243	272
HDM3	2,104	280	329	53	70	235	262
HDM4	2,099	229	284	46	58	226	251
HDM5	2,095	217	281	45	53	211	241
HDM6	2,093	207	268	44	50	210	239
HDM7	2,087	160	229	37	49	187	215
HDM8	2,086	154	220	36	47	181	208
HDM9	2,081	152	201	34	44	175	203
HDM10	2,071	118	167	28	38	151	183
HDM11	2,065	113	163	26	37	147	178
HDM12	2,063	110	156	24	35	132	170
HDM13	2,059	75	113	23	31	121	149
HDM14	2,055	73	112	22	25	120	146
HDM15	2,050	72	107	19	23	105	137

하나이다. 일반적으로 건자재는 고온에서의 양생을 기본으로 하고 있으나, 벽돌과 블럭의 경우 규정강도 이상을 낼수 있으면 고온에서의 양생을 하지 않는 것이 경제적이라 할 수 있다. 콘크리트 벽돌은 KS F 4004에서 A종 벽돌은 82 kgf/cm^2, B종 벽돌은 122 kgf/cm^2, C종 1급 벽돌은 163 kgf/cm^2 및 C종 2급 벽돌은 82 kgf/cm^{2}의 규정을 두고 있다.

Table 8과 Fig. 3에서 보는 바와 같이 압축강도는 초기재령인 7일에서는 72~362 kgf/cm^{2}의 범위로 나타났으며, 재령 28일에서는 107~451 kgf/cm^{2}의 범위로 나타났다. 또한, 황토의 혼입량이 증가할수록 압축강도는 감소하는 경향을 나타냈는데,[3),4),5)] 이러한 결과는 강도발현의 기본적 요소인 시멘트의 양이 감소한 결과로 생각된다. 한편, HDM1에서 HDM11까지의 11개 종류의 황토 모르타르는 재령 28일에서 벽돌 C종 1급 기준강도인 163 kgf/cm^{2}을 상회하였으며, C종 2급 벽돌로는 모두 기준치를 상회하여 벽돌로 사용할 수 있는 것으로 나타났다. 그리고, 본 논문에서의 결합재 : 잔골재 비율 1 : 2.45 배합설계에서는 황토 10% 증가시에 압축강도가 15% 정도씩 감소하는 것으로 나타났으며, 석분 10% 증가시에는 황토의 혼입량이 적을 때는 영향이 5~6% 정도로 나타났고, 황토의 혼입량이 50%에서는 1% 정도로 강도에 영향을 적게 주는 것으로 나타났다. 이는 일반적인 시멘트 모르타르의 기준 강도에서 황토의 첨가량과 석분의 첨가량을 결정할 수 있는 자료를 제공할 수 있을 것으로 생각되며, 강도만을 기준 했을 경우, 황토의 혼입량을 40%, 석분의 혼입량을 20% 첨가하여도 벽돌로 사용하는데 가능할 것으로 생각된다.

나. 휨강도

휨강도는 Table 8과 Fig. 4에서 보는 바와 같이 재령 7일에서 19~62 kgf/cm^{2}의 범위로 나타났으며, 재령 28일에서는 23~81 kgf/cm^{2}의 범위로 나타났다. 재령 7일에서는 각 배합별 강도의 변화량이 적게 나타났으나, 재령 28일에서는 그 변화량

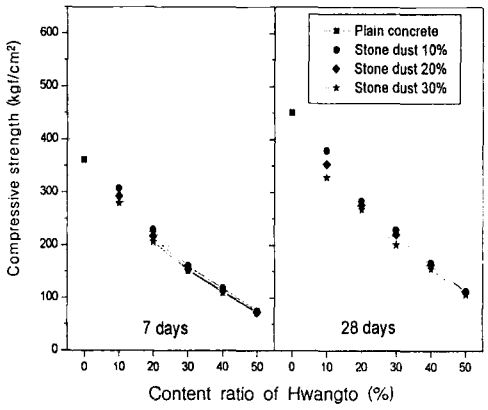

Fig. 3 Compressive strength of test samples with variations of Hwangto content

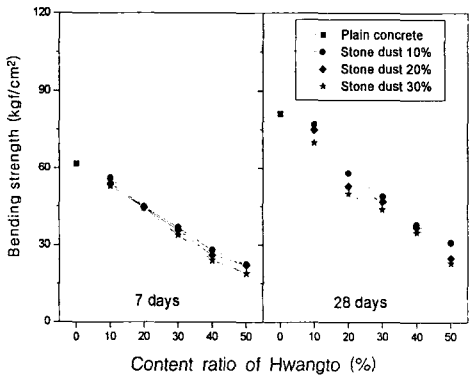

Fig. 4 Bending strength of test samples with variations of Hwangto content

이 크게 나타나는 경향을 보여, 재령이 증가함에 따라 강도 증진의 효과가 큰 것으로 나타났다. 또한, 압축강도에서와 같이 석분의 혼입량에 따른 강도의 변화보다 황토의 혼입량에 따른 강도의 변화가 크게 나타났다.

3. 동탄성계수

동탄성계수시험은 전혀 하중을 가하지 않고 전파를 공시체의 상대편에 방사하여 Hz를 측정하여 동탄성계수를 구하는 방법으로 콘크리트 성능시험에 사용되는 비파괴 시험방법이다. 동탄성계수에 대한 시험결과를 비교하면 Table 8 및 Fig 5와 같이 재

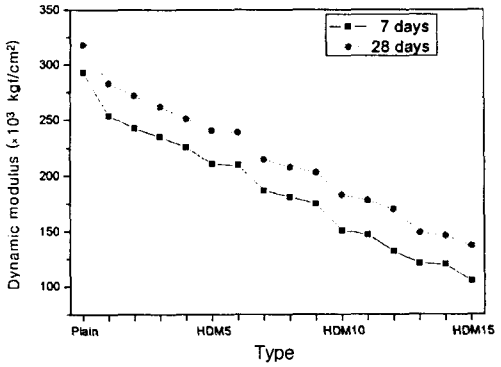

Fig. 5 Change of dynamic modulus by type

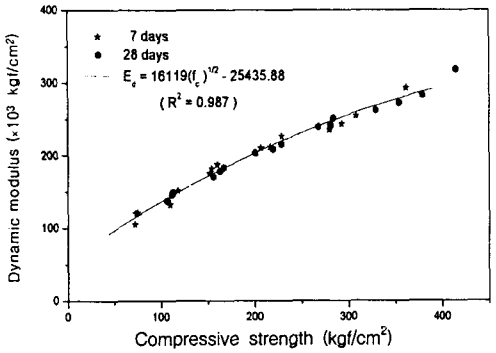

Fig. 6 Correlation between dynamic modulus and compressive strength

령 7일의 동탄성계수는 105×10^3~293×10^3 kgf/cm^2, 재령 28일에서는 137×10^3~318×10^3 kgf/cm^{2}로 나타났으며, 강도가 증가할수록 증가함을 알 수 있다. 또한, 동탄성계수는 석분의 혼입량에 따른 영향보다 황토의 혼입량에 따른 영향이 더 크게 나타났다.

한편, 동탄성계수와 압축강도와의 관계는 Fig. 6에서 보는 바와 같이 매우 유의성이 있는 것으로 나타났는데, 이는 동탄성계수가 증가할수록 강도가 증가하고, 상관성이 매우 높다는 연구와 유사한 결과라 하겠다.[2] 또한, Fig. 6에서 보는 바와 같이 압축강도와 동탄성계수와의 상관관계식에서 동탄성계수가 180,000 kgf/cm^2 이상이 측정되어야 C종 1급 벽돌의 기준강도에 적합한 것으로 나타났다.

Ⅳ. 결 론

이 연구는 비활성 황토와 석분을 사용한 모르타르의 물리·역학적 특성을 구명한 것으로서, 이 연구를 통해 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 단위중량은 2,050~2,135 kg/m^{3}의 범위로 나타났으며, 황토와 석분의 혼입량이 증가할수록 단위중량은 감소하는 경향을 나타났다.

2. 재령 28일의 압축강도는 107~451 kgf/cm^2, 휨강도는 23~81 kgf/cm^{2}으로 나타났고, 황토와 석분의 혼입량이 증가할수록 강도는 감소하는 경향을 나타냈으며, 황토 혼입량을 40%, 석분 혼입량을 20%까지 증가하여도 벽돌 강도기준을 만족하는 것으로 나타났다.

3. 동탄성계수는 재령 28일에서 137×10^3~318×10^3 kgf/cm^{2}로 나타났으며, 황토가 석분보다 동탄성계수에 더 큰 영향을 주는 것으로 나타났다.

4. 동탄성계수는 압축강도가 증가할수록 증가하였으며, 상호간의 상관성이 매우 높은 것으로 나타났다.

강원대학교 석재복합 신소재 제품 연구센터의 연구비에 의하여 수행된 연구결과의 일부임.

References

1. Jung, H. M., H. Y. Choi, H. Z. Hwang, M. H. Hong and M. H. Kim. 1997. The research on the general properties of red-clay. In *Proc. Architectural Institute of Korea* 17(2) : 1251~1256. (in Korean)
2. Neville, A. M. 1995. *Properties of Concrete*. 4th Edition. Wesley Longman Limited. London.
3. O'Farrell, M., S. Wild and B. B. Sabir. 2001. Pore size distribution and compressive strength of waste clay brick mortar. *Cement & Concrete* Composites 23(1) : 81~91.

4. Sabir, B. B., S. Wild and J. Bai. 2001. Metakaolin and calcined clays as pozzolans for concrete : a review. *Cement & Concrete Composites* 23(6) : 441~454.
5. Sha, W. and G. B. Pereira. 2001. Differential scanning calorimetry study of ordinary portland cement paste containing metakaolin and theoretical approach of metakaolin activity. *Cement & Concrete Composites* 23(6) : 455~461.
6. 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)
7. Sung, C. Y., Y. I. Kim, 1998. Physical and mechanical properties of rice straw ash concrete. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 40(4) : 103~108. (in Korean)