

## 비활성 황토와 석분을 혼입한 모르타르의 비파괴 및 중성화 특성

### Non-destruction and Neutralization Properties of Mortar Mixed with Non-active Hwangto and Stone Dust

성 찬 용\* · 윤 준 노\*\*

Sung, Chan-Yong · Youn, Joon-No

#### Abstract

Hwangto would be an environment-friendly material that can be readily used. The purpose of this study is to obtain the absorption ratio, ultrasonic pulse velocity and neutralization of the mortar with non-active Hwangto and stone dust.

The absorption ratio and neutralization depth are increased with increase of non-active Hwangto. But, the ultrasonic pulse velocity is decreased with increase of non-active Hwangto. In results of SEM analysis, the crystals are increased with increase of non-active Hwangto.

*Keywords : Non-active Hwangto, Stone dust, Absorption ratio, Ultrasonic pulse velocity, Neutralization depth, SEM*

#### I. 서 론

포틀랜드 시멘트가 구조재료로 사용되면서 경제적, 구조적 특성으로 건설부문의 거의 모든 곳에 사용되고 있으나, 환경문제는 시대적 요구로 인해 새로운 대체재료의 개발이라는 상황에 당면하게 되었다. 이러한 관점에서 최근 대두되고 있는 자원

의 순환적 재활용과 환경 친화적인 재료의 개발 등을 통해 지구 환경 보전에 기여하는 기술의 개발이 진행되고 있다.<sup>4),5)</sup>

이러한 환경 친화적인 재료중에 황토는 점토질 포졸란의 일종으로서, 광물학적 분류에서 Meta-kaoline에 속하며, 주요 성분은 일반적인 콘크리트 혼화재인 플라이 애시 및 고로 슬래그와 그 성분이 유사하다. 또한, 시멘트 콘크리트의 알칼리 성분을 중화시키고, 축열효과가 뛰어나며, 흡착력이 탁월한 것으로 알려져 있다.

따라서, 본 연구는 환경친화적인 전자재 개발을 위하여 시멘트 대체용으로 황토 사용량을 5중, 잔

\* 충남대학교 농업생명과학대학

\*\* 충남대학교 대학원

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

fax: +82-42-823-8050

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

골재의 일부 대체용으로 석분 혼입량을 1종, 총 6 종류의 모르타르에 대하여 흡수율, 초음파진동속도, 중성화 깊이 및 SEM 등 비파괴 와 중성화 특성을 구명하여 천연자원인 황토를 새로운 건설재료로 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 (h - min)		Compressive strength (kgf/cm <sup>2</sup> )		
	Initial	Final	3 days	7 days	28 days
3.15	5-7	7-20	194	360	450

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

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

#### 나. 황 토

충청남도 조치원 인근에서 채취한 것으로 105 ± 5℃의 건조로에서 24시간 건조한 후 시멘트 대체용으로 사용하기 위하여 0.15 mm 이하로 분쇄하여 비중이 2.69, 단위중량이 928 kg/m<sup>3</sup> 인 것을 사용하였으며, 이의 화학성분은 Table 3과 같다.

Table 3 Chemical composition of Hwangto

(Unit : %)

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	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 같다.

Table 4 Physical properties of stone dust

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

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

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	MgO	CaO	Ig. loss
73.40	11.30	4.77	3.00	3.63	0.25	0.98	0.61

#### 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 <sup>3</sup> )
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

Table 7 Mix design of mortar with non-active Hwangto and stone dust (Unit : kg/m<sup>3</sup>)

Mixing type	Cement	Hwangto	Sand	Stone dust	Water	W/B (%)	Flow value
Plain	544	-	1,333	-	272	50	105
HS1	481	54	1,181	131	294	55	105
HS2	425	106	1,172	130	308	58	110
HS3	370	159	1,167	130	327	62	105
HS4	311	208	1,144	127	328	63	110
HS5	255	255	1,126	125	331	65	110

결합재 중량의 0, 10, 20, 30, 40, 50% 혼입하였으며, 석분은 모래와 같은 잔골재로 하여 강도를 증진시킬 수 있는 것으로 알려진 잔골재 중량의 10%를 혼입하여 총 6가지 종류의 배합비로 하였고, 황토의 영향을 알아보기 위하여 흐름값은 110 ±5의 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. 흡수율시험

흡수율시험은 황토 혼입량에 따른 흡수율을 파악하기 위하여 KS F 4004(콘크리트 벽돌 시험방법)에 준하여 재령 28일에 실시하였으며, φ100×200 mm인 시험체를 24시간 수중 정치 후 표면 건조포화상태의 중량을 측정하고, 105±5℃의 건조기에서 24시간 건조후 중량을 측정하여 다음 식으로 산출하였다.

$$A = \left( \frac{m_1 - m_2}{m_2} \right) \times 100$$

여기서, A = 모르타르의 흡수율(%)  
 m<sub>1</sub> = 시험체의 표건중량(g)  
 m<sub>2</sub> = 시험체의 절건중량(g)

나. 초음파진동속도시험

초음파진동속도는 φ100×200 mm인 공시체에 영국 C.N.S사의 PUNDIT를 사용하여 계기의 디지털 숫자가 안정된 후 시험체의 아래와 위 중앙에 직경 50 mm의 변환기를 그리스를 발라 단자의 공시체면에 공극이 생기지 않도록 부착하여 BS

4408(콘크리트의 초음파진동속도 측정방법)에 준하여 재령 7일과 28일에 측정하여 다음 식으로 산출하였다.

$$P \cdot V = \frac{L}{D \times 10^{-6}}$$

여기서, P·V = 초음파진동속도 (m/s)  
 D = 측정치 (s)  
 L = 공시체의 길이 (m)

다. 중성화 깊이 시험

중성화시험은 시멘트의 수화반응시 생성되는 수산화칼슘[Ca(OH)<sub>2</sub>]과 황토와 석분에 함유된 SiO<sub>2</sub>가 포졸란 반응을 일으키는지의 여부를 확인하기 위하여 φ100×200 mm인 공시체를 재령 7일, 28일, 90일, 180일 동안 수중양생한 다음 꺼내어 105±5℃의 건조로에서 24시간 건조한 후 절단하여 공시체 단면에 1% 페놀프탈레인용액을 분무하여 변색되지 않은 부위의 깊이를 영국의 C.N.S사의 Micro Crack Scope(감도 0.02 mm)를 이용하여 측정하였으며, 시편의 파단면을 일본 HITACHI사의 주사전자현미경(SEM)인 S-2350 model을 사용하여 5,000 배율로 미세구조를 관찰하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 흡수율

흡수율 시험결과는 Table 8에서 보는 바와 같이 8.25~16.49%로 나타났으며, 황토의 혼입량이 40%까지는 점진적으로 증가하는 것으로 나타났으나, 50%에서 급격하게 증가한 것으로 나타났다. 이는 황토를 사용한 모르타르의 흐름값을 일정하게 하기 위하여 첨가된 물의 양이 시멘트와 황토를 고결시키기 위한 양보다 많아져 잉여 수분의 배출에 의한 공극의 총 부피가 커진 것으로 생각된다.<sup>1),2)</sup> 따라서, 황토를 혼입하여 전자재로 사용할 경우, 황

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

Mixing type	Absorption ratio (%)	Ultrasonic pulse velocity (m/s)		Neutralization depth (mm)			
	28 days	7 days	28 days	7 days	28 days	90 days	180 days
Plain	8.25	4,140	4,219	-	0.00	0.01	0.01
HS1	8.67	3,960	4,158	-	0.02	0.03	0.04
HS2	10.25	3,703	3,883	-	0.03	0.04	0.05
HS3	12.12	3,236	3,650	-	0.04	0.06	0.07
HS4	12.53	2,766	3,389	-	0.06	0.07	0.08
HS5	16.49	2,436	3,086	-	0.06	0.08	0.10

토의 혼입량은 최대 40%까지 혼입하는 것이 타당할 것으로 생각된다.

## 2. 초음파진동속도

초음파진동속도시험은 공시체내에 pulse를 중방향으로 방사하여, 이것이 전달되는 시간으로부터 품질을 검사하는 비파괴시험의 일종으로써 고체재료의 밀도나 탄성특성에 크게 의존하며, 특히 공시체의 밀도, 공극, 균열 등의 분석과 음향기기를 만드는 목재의 재질을 분석하는 데에도 사용된다. 음속에 영향을 미치는 요인은 발신자 측에서는 pulse의 진폭, 케이블 길이 및 공시체 등을 들 수 있고, 수신자 측에서는 공시체의 표면상태나 케이블 길이 및 증폭기의 성능 등이며, 공시체에 있어서의 영향요인은 전파거리, 공시체의 성숙도나 함수량 및 밀도 등이다.

초음파진동속도는 재령 7일에서는 2,436~4,140 m/s의 범위로 나타났고, 재령 28일에서는 3,086~4,219 m/s의 범위로 나타났으며, 재령 7일에 대한 재령 28일에서의 초음파진동속도의 증가율이 시멘트만 사용한 plain 배합보다 황토의 사용이 증가할수록 크게 나타났는데, 이는 양생기간의 경과에 따라 내부가 치밀해지는 정도가 황토의 혼입량이 증가할수록 크다는 것을 나타내는 결과라 할 수 있다.

## 3. 중성화 깊이

황토는 포졸란 작용을 하는 것으로 알려져 있으며, 포졸란 물질은 그 자체는 수경성은 없지만 시멘트와 물이 반응하여 생성되는 수산화칼슘  $[Ca(OH)_2]$  과 상온에서 서서히 화합하여 불용성의 화합물을 만들 수 있는 실리카질 물질을 함유한 미분상태의 재료를 말하며, 그 반응과정은  $3Ca(OH)_2 + 2SiO_2 = 3CaO \cdot 2SiO_2 \cdot 3H_2O$ 와 같다.<sup>6)</sup>

수화생성물인 수산화칼슘은 강한 알칼리성을 나타내며 포졸란 반응을 하면 중성인 탄산칼슘으로 변화하고, 중성화의 시약으로 쓰이는 페놀프탈레인은 알칼리성을 만나면 붉은 색으로 변한다.<sup>3)</sup>

Table 8 및 Fig. 1과 같이, 중성화 깊이는 재령

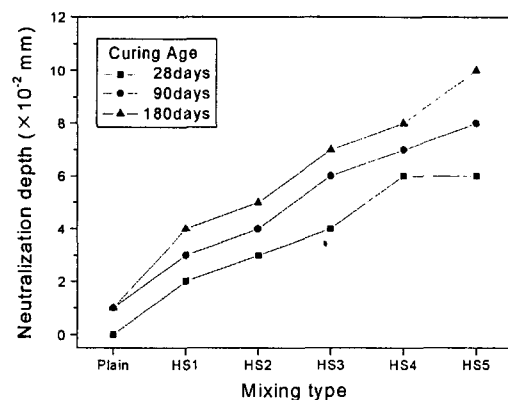
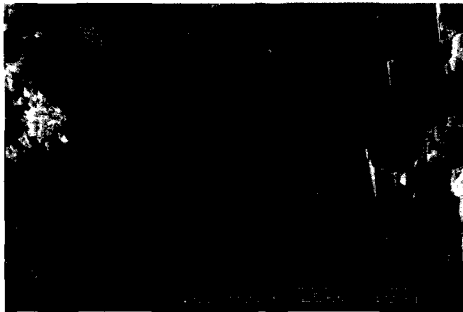


Fig. 1 Change of neutralization depth by mixing type



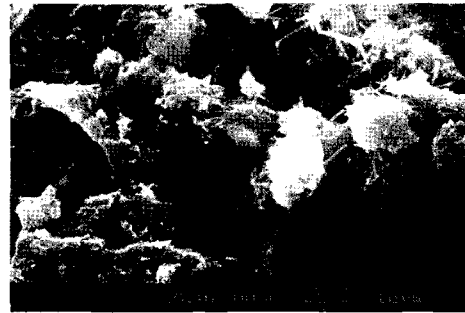
(a) Plain



(b) HS1



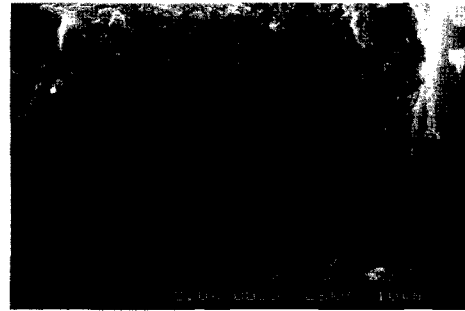
(c) HS2



(d) HS3



(e) HS4



(f) HS5

Photo 1 SEM by mixing type

7일에서는 측정할 수 없었으며, 재령 28일에서는 0~0.06 mm, 재령 90일에서는 0.01~0.08 mm, 재령 180일에서는 0.01~0.1 mm로 나타나, 재령과 황토의 혼입량이 증가함에 따라 중성화 깊이가 증가하는 것으로 나타났는데, 이는 수중에서는 공기중의 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)와 시험체가 접촉할 수 없으므로 천연황토 자체의 pH가 산성으로 자체 중화

현상과 더불어 황토가 시멘트의 수화물인 수산화칼슘과 반응하여 수산화칼슘을 소비한 것으로 생각된다. 또한, 소성한 황토를 사용한 연구결과<sup>2)</sup>에서 황토의 첨가량이 증가하면 수산화칼슘의 양이 줄어든다는 연구보고와 유사한 결과라 할 수 있다.

한편, Photo 1은 주사전자현미경(SEM)으로 관찰한 각 시험체의 미세구조를 나타내고 있다.

Photo 1에서 보는 바와 같이 황토의 사용량이 증가할수록 침상결정(needle shaped crystal)이 관찰되고 있어 황토의 포졸란 반응이 이루어지는 것을 알 수 있다. 그러나, 황토가 50% 사용된 HS5에서는 반응하지 않은 구형의 황토 입자가 관찰되었는데, 이는 황토가 반응할 수 있는 수산화칼슘의 양이 다른 시험체보다 상대적으로 적기 때문이라 생각된다.

#### IV. 결 론

이 연구는 비활성 황토와 석분을 혼입한 모르타르의 비파괴 및 중성화 특성을 구명한 것으로서, 이 연구를 통해 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 흡수율은 8.25~16.49%의 범위로 나타났으며, 황토의 혼입량이 증가할수록 흡수율은 증가하는 경향을 나타내었다.

2. 초음파진동속도는 재령 7일에서 2,436~4,140 m/s, 재령 28일에서는 3,086~4,219 m/s의 범위로 나타났으며, 황토의 혼입량이 증가할수록 감소하였고, 초음파진동속도 증가율은 재령의 증가보다는 황토의 혼입량이 증가할수록 증가하였다.

3. 중성화 깊이는 수증양생으로 인한 표면 알칼리 성분의 용탈과 황토의 포졸란 반응 또는 황토의 중성화 효과로 인해 재령이 증가할수록, 황토의 혼입량이 많아질수록 증가하는 경향을 보였다.

4. 주사전자현미경에 의한 미세구조 관찰에서는 침상의 물질이 관찰되었으며, 황토가 50% 혼입된 시험체에서는 반응하지 못한 황토의 입자가 관찰되었다.

본 논문은 2002년도 농림기술개발 사업에 의하여 수행된 연구결과의 일부임.

#### References

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. Sung, C. Y. and 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)
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. Wild, S., J. M. Khatib and A. Jones, 1996, Relative strength, pozzolanic activity and cement hydration in superplasticised metakaolin concrete, *Cement and Concrete Research* 26(10) : 1,537~1,544.