

## 용광로슬라크-세멘트소성로먼지에 의한 흙경화특성에 대한 연구

홍영범, 김영준, 박진수

경애하는 최고령도자 김정은동지께서는 다음과 같이 말씀하시였다.

《과학기술을 확고히 앞세우고 과학기술과 생산을 밀착시키며 경제건설에서 제기되는 모든 문제들을 과학기술적으로 풀어나가는 기풍을 세워 나라의 경제발전을 과학기술적으로 확고히 담보하여야 합니다.》

콩크리트포장도로는 강도는 높지만 균열 또는 파괴시 보수가 어렵고 미학적으로도 좋지 않은것으로 하여 세계적으로 도로포장용재료로 흙-세멘트를 리용하고있다.[3] 그러나 세멘트는 생산과정에 많은 량의 이산화탄소를 발생시키는것으로 하여 환경오염의 중요한 원인의 하나로 되고있다.

현재 세계적으로는 세멘트를 대신하여 연재, 슬라크, 세멘트소성로먼지와 같은 공업 폐설물을 리용하여 흙을 경화시키기 위한 연구[1, 2]가 심화되고있다.

우리는 용광로슬라크와 세멘트소성로먼지를 흙경화에 리용하기 위한 연구를 하였다.

### 실 험 방 법

흙은 항온건조기에서 24h동안 건조시키고 불밀분쇄기로 분쇄하여 표준채(규격 1)로 선별하였다. 용광로슬라크는 수분이 4%이하인것을 4 900메쉬채에서 남은 잔사률이 5%이하가 되도록 미분하여 리용하였다.

실험에서 리용한 흙과 용광로슬라크 및 세멘트소성로먼지의 화학조성은 표 1-3과 같다.

표 1. 흙의 화학조성

성분	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	작열감량
함량/%	69.82	18.74	3.94	2.38	0.86	0.54	3.72

표 2. 용광로슬라크의 화학조성

성분	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	작열감량
함량/%	34.80	14.99	1.290	40.68	4.28	3.96

표 3. 세멘트소성로먼지의 화학조성

성분	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	작열감량
함량/%	14.34	4.89	2.24	48.71	3.17	13.06	3.84	9.75

첨가제로는 석고와 염화칼시움, 염화마그네시움, 염화칼리움을 일정한 비율로 혼합한 것을 리용하였다.

흙경화시편의 제조방법 흙에 일정한 량의 용광로슬라크와 세멘트소성로먼지, 해당한 량의 첨가제, 흙량의 18%에 해당한 물을 넣고 잘 혼합한다. 이것을 원통형불수강형타( $\phi 50\text{mm} \times 100\text{mm}$ )에 넣고 내열내압측정장치(《ZCES-300》)에서 10kN의 힘으로 3min동안 눌러 시편들을 제작하였다.

시편제작이 완료될 때까지 소요되는 시간을 30min이내로 하였다.

시편들을 비닐박막에 넣고  $(20 \pm 1)^{\circ}\text{C}$ 의 항온건조기에서 3일동안 양생시킨 다음 박막을 벗기고 자연상태에서 일정한 기간 양생시켰다.

흡경화체의 특성검토 내절내압시험장치로 28일동안 양생시킨 시편들의 누름세기를 측정하였다. 측정전에 시편의 양끝을 연마기로 갈아 직각이 되도록 하였다.

구부림세기는 내절내압측정장치에서  $0.06\text{N}/(\text{mm}^2 \cdot \text{s})$ 의 속도로 힘을 주면서 시험체가 파괴될 때의 힘을 측정하여 다음식으로 계산하였다.

$$f_{cf} = \frac{3Fl}{2d_1d_2^2}$$

여기서  $f_{cf}$ 는 구부림세기( $\text{N}/\text{mm}^2$ ),  $F$ 는 최대파괴힘( $\text{N}$ ),  $d_1$ ,  $d_2$ 는 시편의 너비와 높이( $\text{mm}$ ),  $l$ 은 받침대사이 거리( $\text{mm}$ )이다.

내수성결수는 28일동안 양생시킨 시편을  $(20 \pm 1)^{\circ}\text{C}$ 의 물속에서 48h동안 포화시킨 다음 시편결면의 물기를 습한 천으로 닦아내고 누름세기를 측정하여 건조상태에서의 누름세기와 비교 평가하였다.

내동성시험은 다음과 같은 방법으로 하였다.

28일동안 경화시킨 시편에 대하여 먼저  $(20 \pm 1)^{\circ}\text{C}$ 의 물속에서 48h동안 포화시킨 다음 시편결면을 습한 천으로 닦아내고  $(-20 \pm 1)^{\circ}\text{C}$ 의 극동기에서 4h동안 팽동시켰다. 다음  $(20 \pm 1)^{\circ}\text{C}$ 에서 4h동안 녹이고 습한 천으로 물기를 제거하였다. 이 조작을 15회 반복하고 부풀음, 균열 등 파괴현상이 나타났는가를 관찰하였다.

시편을 물로 포화시킨 다음 누름세기를 측정하고 세기손실(%)을 다음식으로 계산하였다.

$$\Delta f_1 = \frac{f_0 - f}{f_0} \times 100$$

여기서  $f_0$ 은 실험하기 전 누름세기( $\text{MPa}$ ),  $f$ 는 실험후 누름세기( $\text{MPa}$ )이다.

## 실험결과 및 해석

용광로슬라크와 세멘트소성로먼지의 배합비의 영향 용광로슬라크와 세멘트소성로먼지의 배합비가 각이한 혼합물을 흙에 10%정도 첨가한 시편의 흡경화특성은 표 4와 같다. 이때 첨가제의 첨가량은 흙량의 0.1%이다.

표 4. 용광로슬라크와 세멘트소성로먼지의 배합비에 따르는 시편의 흡경화특성

배합비	누름세기/ $\text{MPa}$	구부림세기/ $\text{MPa}$	내수성		내동성	
			내수성결수	누름세기/ $\text{MPa}$	세기손실/%	
85 : 15	4.1	1.0	0.5	2.1	48.8	
75 : 25	7.4	1.8	0.8	5.6	24.3	
65 : 35	7.2	1.6	0.8	5.3	26.4	
55 : 45	6.6	1.2	0.7	3.4	48.5	

표 4에서 보는바와 같이 용광로슬라크와 세멘트소성로먼지를 75 : 25로 혼합하였을 때 시편의 력학적세기와 내수 및 내동성이 가장 좋다.

용광로슬라크-세멘트소성로먼지의 첨가량의 영향 용광로슬라크-세멘트소성로먼지의 첨가량을 변화시키면서 흡경화특성을 연구한 결과는 표 5와 같다. 이때 용광로슬라크와 세멘트소성로먼지를 75 : 25로 혼합하였으며 첨가제의 첨가량은 흡량에 대하여 0.1%로 하였다.

표 5. 용광로슬라크-세멘트소성로먼지첨가량에 따르는 흡경화특성

첨가량/%	누름세기	구부림세기	내수성		내동성	
	/MPa	/MPa	누름세기/MPa	내수성결수	누름세기/MPa	세기손실/%
0.0	2.2	0.5	0.0	0.0	0.0	100.0
4.0	5.6	1.1	3.8	0.7	3.7	33.9
6.0	6.9	1.3	5.1	0.7	4.9	29.0
8.0	7.4	1.8	5.9	0.8	5.6	24.3
10.0	7.4	1.8	5.9	0.8	5.6	24.3
12.0	7.4	1.8	5.9	0.8	5.6	24.3

표 5에서 보는바와 같이 용광로슬라크-세멘트소성로먼지의 첨가량이 증가함에 따라 흡경화특성값들이 커지다가 8%이상에서는 일정해진다. 따라서 합리적인 첨가량은 다른 흡에 대하여 8%이다.

첨가제첨가량의 영향 흡에 용광로슬라크와 세멘트소성로먼지를 75 : 25로 혼합한것을 8% 첨가하고 첨가제의 첨가량에 따르는 흡경화특성을 고찰한 결과는 표 6과 같다.

표 6. 첨가제의 첨가량에 따르는 흡경화특성

첨가량/%	누름세기	구부림세기	내수성		내동성	
	/MPa	/MPa	누름세기/MPa	내수성결수	누름세기/MPa	세기손실/%
0.00	4.2	1.1	1.0	0.2	0.0	100.0
0.06	6.5	1.6	4.9	0.8	4.5	30.8
0.08	7.0	1.7	5.5	0.8	5.0	28.6
0.10	7.4	1.8	5.9	0.8	5.6	24.3
0.12	7.7	1.9	5.8	0.8	5.4	29.9
0.14	7.8	1.9	5.7	0.7	5.3	32.1

표 6에서 보는바와 같이 첨가제의 첨가량이 증가함에 따라 흡경화특성이 좋아지다가 0.1%이상에서는 내수성 및 내동성이 나빠진다. 그것은 첨가제를 이루는 성분들이 대부분 수용성염들이므로 지나치게 많이 넣으면 흡경화에 부정적인 영향을 미치기때문이라고 볼 수 있다. 따라서 합리적인 첨가량은 0.1%이다.

세멘트와의 비교 흡에 세멘트와 용광로슬라크-세멘트소성로먼지를 각각 8% 첨가하고 첨가제를 0.1% 첨가할 때 흡경화특성은 표 7과 같다.

표 7. 용광로슬라크-세멘트소성로먼지와 세멘트의 흡경화특성비교

종류	누름세기/MPa					구부림세기/MPa	내수성결수	세기손실/%
	3d	7d	28d	120d	180d			
용광로슬라크-세멘트소성로먼지	2.1	5.2	7.4	11.7	12.1	1.8	0.8	24.3
세멘트	3.2	6.3	8.1	10.2	10.5	2.0	0.8	20.9

표 7에서 보는바와 같이 용광로슬라크-세멘트소성로먼지를 리용하는 경우 양생기간이 길어짐에 따라 세멘트를 리용하는 경우에 비하여 특성값들이 좋아진다.

### 맺 는 말

용광로슬라크와 세멘트소성로먼지를 리용하여 흙을 경화시킬수 있다는것을 확증하였다.

### 참 고 문 헌

- [1] Robert Brooks; Journal of Materials in Civil Engineering, **18**, 2, 175, 2011.
- [2] D. N. Little; Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, **1**, 110, 2010.
- [3] 王宇辉; CN 1721627, 2010.

주체107(2018)년 1월 5일 원고접수

### **On the Hardening Characteristics of Soil by Blast Furnace Slag-Cement Kiln Dust**

*Hong Yong Bom, Kim Yong Jun and Pak Jin Su*

We confirmed that soil was able to be harden, using blast furnace slag and cement kiln dust.

Key words: blast furnace slag, cement kiln dust, soil