

시멘트 혼합재로서 천연포졸란의 사용 가능성 검토

정 현 일
〈아세아시멘트(주) 제천공장〉

1. 서 론

포졸란은 일반적으로 가용성의 규산을 주성분으로 하고 그 자신만으로는 수경성이 없지만, 이 미분말을 시멘트에 섞으면 불용성 규산염인 경화물질을 형성하게 된다.¹⁾

포졸란 혼합시멘트는 방수성과 내구성이 풍부하고, 화학적 침식 저항성이 우수하기 때문에 해수나 기타 하수공사에 적합하며, 시멘트 수화열을 낮추고 건조 수축현상이 적어 범건설용 시멘트로도 적당한 것으로 알려져 있다.²⁾ 이렇게 시멘트에 혼합재로 첨가하는 포졸란의 종류에는 천연 포졸란과 인공 포졸란으로 나누어지며 인공 포졸란에는 Fly Ash 등도 포함하고 있다. KS, JIS에도 이러한 혼합재 첨가 시멘트를 실리카 시멘트, Fly Ash 시멘트 등으로 규정하고 있으며, 혼합재의 실리카 성분을 60% 이상, 시멘트에의 첨가량을 5~30%까지 규정하고 있다.^{3),4)}

본 실험에서는 천연 포졸란을 혼합분쇄 및 분리분쇄 방법으로 시험시료를 제조, 첨가량별 물

성비교 시험을 실험실적으로 행하였다.

2. 실험재료, 조건 및 방법

2-1 실험 재료

1) 크링카 : Kiln에서 소성한 크링카를 채취하여 실험실 Jaw Crusher에서 5mm 이하로 전량 조쇄한 것을 사용하였다.

2) 포졸란 원석 : 실험실 Jaw Crusher에서 5mm 이하로 전량 조쇄한 것을 사용하였다.

3) 석고, 슬래그 : 45°C에서 24시간 이상 충분히 건조시킨 뒤, 석고는 Jaw Crusher에서 5mm 이하로 분쇄한 것을 사용하였다.

원재료 화학성분은 습식분석 방법으로 행하였으며, 그 결과는 <표-1>과 같다.

2-2 실험 조건

1) 혼합분쇄

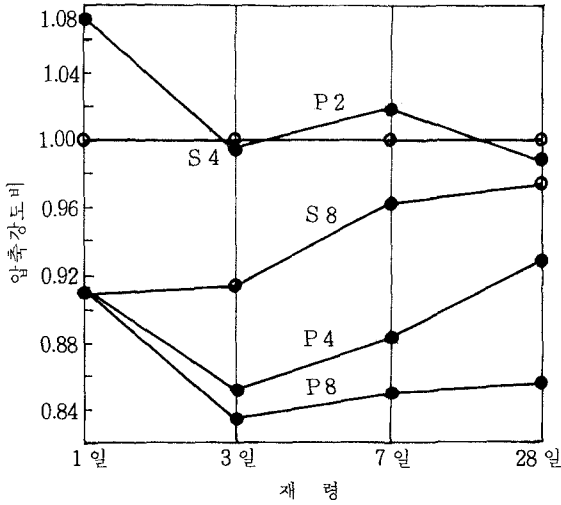
시험용 시멘트 제조는 실험실 Pot Mill (DX L : 45 × 45 cm)을 사용하였으며 일정량의 석고 (3.7% 첨가)에 크링카 및 혼합재의 첨가량을

원재료의 화학 성분

<표-1>

(단위 : %)

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	LSF	SM	IM
크링카	22.2	5.6	3.4	64.4	2.4	0.7	90.1	2.45	1.63
포졸란	61.8	18.4	7.9	2.3	1.2	-	K ₂ O 1.99, Na ₂ O 0.51		
슬래그	34.2	14.2	2.4	43.4	7.2	0.8			
석 고	3.5	1.3	0.2	31.9	0.5	41.6			



〈그림-2〉 포졸란 및 슬래그 첨가 시멘트의 재령별 압축강도비

용액에 침지시켜,

② 침지일수에 따라 시편의 무게 및 외관 변화를 측정 관찰하였다. (침지일수 50 일)

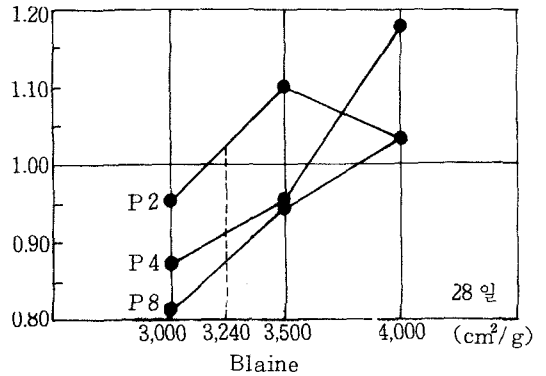
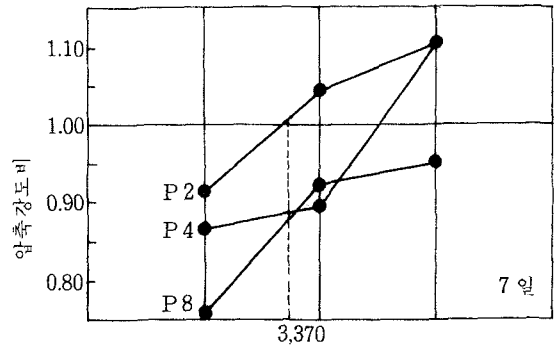
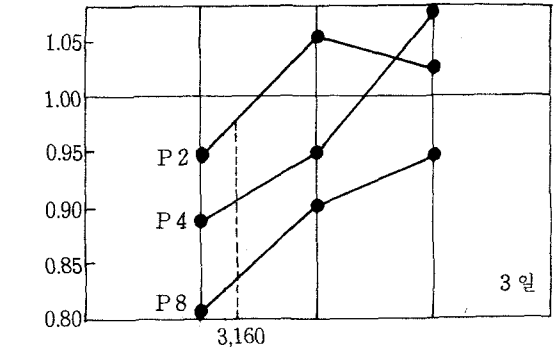
3. 시험 결과 및 고찰

3-1 혼합재(포졸란) 첨가량이 압축강도에 미치는 영향

혼합분쇄 및 분리분쇄 공히 포졸란 첨가에 따라 압축강도가 크게 하락하고 있으나, 혼합분쇄의 경우, 소량 첨가한 P2(포졸란 2% 첨가) 시료에 있어서 표준시료와 유사하거나 오히려 초기강도(1, 3 일)가 상승하는 양호한 결과를 나타내고 있다 (〈그림-1〉).

3-2 포졸란 및 슬래그 첨가 시멘트의 압축강도 비교

최저 포졸란 첨가량인 P2시료의 경우 가장 양호한 강도특성을 나타내고 있으나 2% 이상 첨가한 시료는 슬래그 첨가시료보다도 저조한 강도특성을 보여준다 (〈그림-2〉).



〈그림-3〉 Blaine 상승시 압축강도 상승 효과

3-3 Blaine 상향조정에 따른 압축강도 상승 효과

〈그림-3〉에서 포졸란 투입에 따른 압축강도 하락은 Blaine 을 상승시킴으로써 보상되고 있음을 알 수 있다. 예로서 P2시료의 경우 압축강도 하락 보상을 위한 Blaine 상향 조정폭은

변동시켜 혼합분쇄를 하였다.(Blaine : 3,500 cm²/g, SO₃ 함량 : 2.2% 기준)

2) 분리분쇄

포졸란 원석을 Grinding Mill에서 별도 분쇄하여 기존 시멘트(크림카+석고)에 첨가량별로 혼합하여 시험시료를 하였다.

2-3 실험 방법

1) 압축강도 시험

KS 압축강도 시험용 Mould를 사용하였으며 시편제조는 시멘트 모르타의 압축강도 시험방법(KS L 5105)에 준하였다.

2) 분쇄성 시험

① 동일 분쇄시간의 분말도 비교 : 분쇄성 시험용 Ball Mill (32×32 cm)을 사용하였으며 동일 분쇄시간의 44 μmR, Blaine, 분쇄 잔량 (149 μmR)을 측정 비교하였다. 분쇄전량은 1 kg으로 하였다.

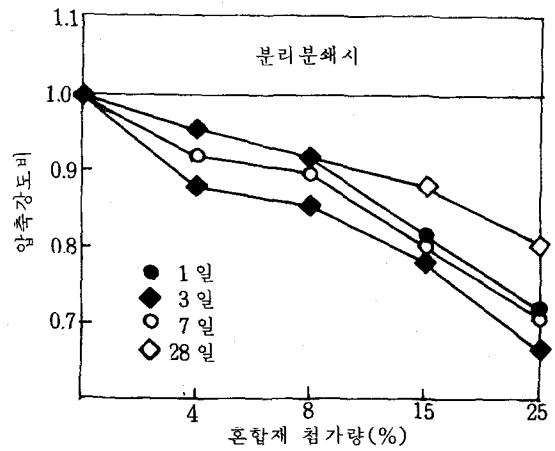
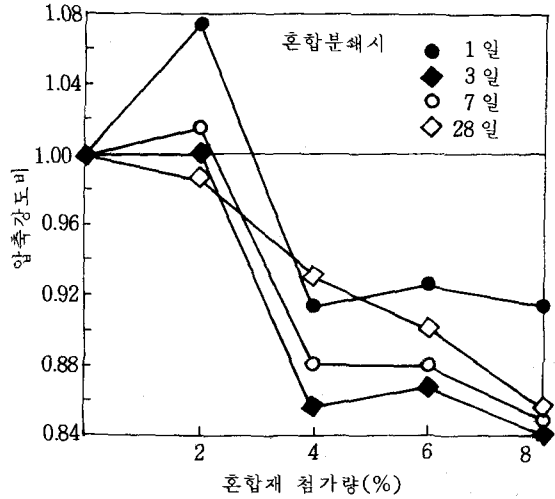
② 동일 Blaine의 분쇄시간을 비교하였다. (Pot Mill 사용)

3) 수화열 시험

포틀랜드 시멘트의 수화열 시험방법(KS L 5121)에 준하였다.

4) 내황산염성 시험

① 압축강도 시험용 시편을 7일간 수중 양생시킨 후 각각 10%, 30% 농도의 MgSO₄



<그림-1> 포졸란 첨가량에 따른 압축강도비

압축강도 시험 data

<표-2>

		기 호	압 축 강 도 (kg/cm ²)				Blaine (cm ² /g)	44 μmR (%)	
			1 일	3 일	7 일	28 일			
표준 시료		BS	81	243	324	393	3,561	22.5	
포졸란 첨가 시료	혼합 분쇄	2%	P 2	87	243	329	388	3,540	27.6
		4%	P 4	74	208	285	366	3,488	31.6
		6%	P 6	75	211	285	354	3,549	32.7
		8%	P 8	74	204	275	336	3,478	35.0
	분리 분쇄	4%	P 4'	77	213	297	372	3,468	23.2
		8%	P 8'	74	207	290	360	3,738	25.5
		15%	P 15	66	190	260	345	3,925	28.8
		25%	P 25	58	161	229	316	4,135	33.2

160~370 cm²/g 임을 나타낸다.

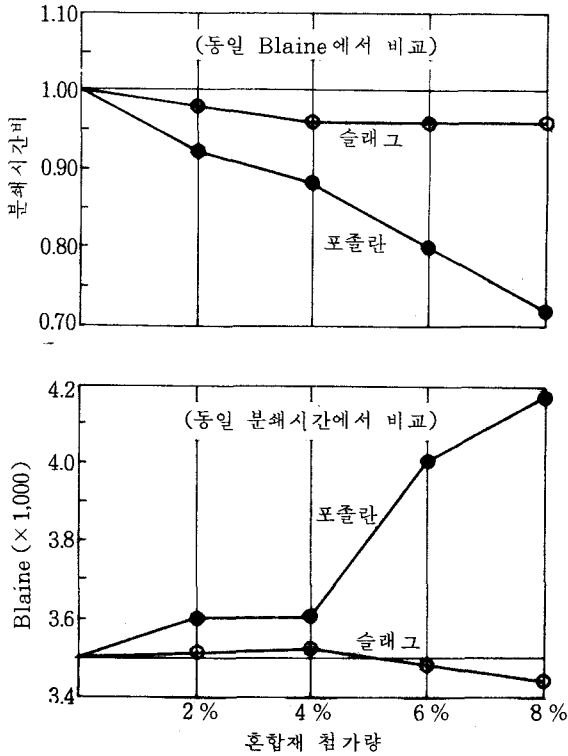
3-4 분쇄성 시험

위의 <그림-4>, <표-3>에서와 같이 포졸란을 첨가하였을 경우 분쇄성이 향상되는 것으

로 나타났다. 즉 포졸란 4% 첨가시 Blaine 90 cm²/g, 8% 첨가시 Blaine 600 cm²/g 각각 상승하였다.

3-5 응결시간

응결시연에 있어서 포졸란 첨가시료의 경우

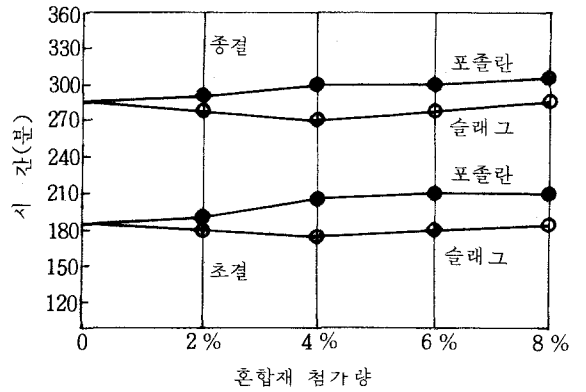


<그림-4> 혼합재 첨가량에 따른 분쇄성 비교

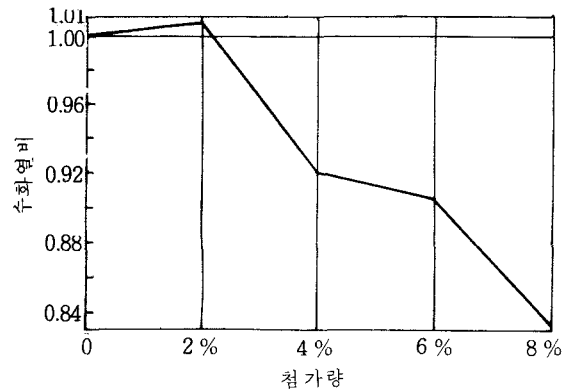
분쇄성 시험 data

<표-3>

시료	동일 분쇄시간에서 시험			동일 Blaine 에서 시험 (3,500 cm ² /g)
	Blaine (cm ² /g)	44 μmR (%)	149 μmR (g)	
BS	3,562	17.8	168	25 분
P 2	3,648	17.6	179	23 분
P 4	3,648	17.5	147	22 분
P 6	4,009	15.6	154	20 분
P 8	4,159	15.6	187	18 분



<그림-5> 혼합재 첨가량에 따른 응결시간 변화



<그림-6> 포졸란 첨가량에 따른 수화열비

수화열 data

<표-4>

시료	BS	P 2	P 4	P 6	P 8
수화열 (cal/g)	81.7	82.2	75.2	73.9	68.1

시험시편의 최종 압축강도

<표-5>

(단위 : kg/cm²)

		혼 합 분 쇄				분 리 분 쇄			
		P 2	P 4	P 6	P 8	P 4'	P 8'	P 15	P 25
MgSO ₄ 용액 농도	10 %	400	379	372	326	360	350	332	271
	30 %	384	343	322	325	334	314	304	271

첨가량이 증가할수록 응결시간이 지연되고 있으며 표준시료보다 초결에서 5~25분, 종결에서 5~20분 각각 지연되었다 (<그림-5>).

3-6 수화열 시험

포졸란 첨가량이 증가함에 따라 수화열이 감소하는 것으로 나타났다. 이것은 혼합재 첨가에 의해 크링카 수화광물의 함량이 상대적으로 낮아지기 때문으로 생각된다 (<그림-4> <표-4>).

3-7 내황산염성 시험

1) 외관상태 : 각 시편별 MgSO₄ 용액(10%, 30%)에서는 침지일수 28일 이후 각 시편에 걸쳐 공히 약간의 표면 박리현상을 보였으며, 침지일수 50일까지도 포졸란 첨가에 따른 내황산염성 개선효과는 나타나지 않았다.

2) 압축강도 : MgSO₄ 용액의 농도가 10%, 30%에서의 침지시험 후, 압축강도는 30%의 경우가 10%에 비해 낮게 나타났다 (<표-5>).

28일 17 kg/cm² ↓)

3) 포졸란 첨가에 따른 압축강도 하락은 Blaine을 상승시킴으로 보상할 수 있는데 그 상승폭은 포졸란 2% 첨가시 370 cm²/g에 해당된다.

4) 시험에 사용된 포졸란 원석은 분쇄성이 양호하여 혼합분쇄시 Mill 내에서 Blaine을 상승시키는 요인이 되어 동일 Blaine 관리시 분쇄시간이 단축됨을 알 수 있다.

5) MgSO₄ 용액(10%, 30%)에 침지시킨 후의 압축강도 변화는 MgSO₄ 용액이 짙은 30%에서 더 낮게 나타났으며, 침지일수 50일까지 포졸란 첨가에 따른 내황산염성 개선효과는 나타나지 않았다.

6) 기타 물성시험에서 포졸란 첨가량에 따라 응결시간이 지연되었으며 수화열이 낮아지는 것으로 나타났다. (수화열 : 첨가량 4%의 경우 6.9 cal/g ↓)

7) 시험에 사용된 포졸란 원석은 그 자체가 붉은색을 띠고 있어 시멘트에 혼합제로 사용시 시멘트 색상에 영향을 줄 것으로 생각된다.

4. 결 론

1) 혼합분쇄 및 분리분쇄 공히 포졸란 첨가에 따라 압축강도가 크게 하락하고 있으나, 혼합분쇄의 경우 소량 첨가한 P2(포졸란 2% 첨가) 시료가 표준시료와 유사하거나 오히려 초기강도(1, 3일)가 상승하는 양호한 결과를 나타내고 있다.

2) 현재 사용 중인 슬래그와 비교할 경우, 동일 투입비에서 슬래그보다 압축강도가 낮게 나타났다. (첨가량 4%의 경우 : 7일 8 kg/cm² ↓,

<참 고 문 헌>

1. 近藤連一, 大澤榮池, 松丸裕 : 石灰珪酸系 水熱反應, セメント 技術年報 21, 1967.
2. 吉田國夫 : 鑛産物の知識と取引, p. 330~333, 1978.
3. 日本工業標準調査會 : シリカ セメント, JIS R5212 1979.
4. 韓國工業標準協會 : 포틀랜드 포졸란 시멘트, KSL 5401, 1982.