고로슬래그 모르타르의 초기 강도에 대한 알칼리자극제의 영향

Effect of Alkali Activators on Early Compressive Strength of Blast-Furnace Slag Mortar

문 한 영* 신 동 구**

Moon, Han-Young Shin, Dong-Gu

Abstract

In the construction industry, due to the cost rise of raw material for concrete, we have looked into recycling by-products which came from foundry. When using the Ground Granulated Blast-Furnace Slag(SG), it is good for enhancing the qualities of concrete such as reducing hydration heat, increasing fluidity, long-term strength and durability, but it has some problems : construction time is increased or the rotation rate of form is decreased due to low development of early strength. In this study, therefore, to enhance the early strength of SG mortar, we used some alkali activators(KOH, NaOH, Na_2CO_3, Na_2SO_4, water glass, $Ca(OH)_2$, alum. This paper deals with reacted products, setting time, heat evolution rate, flow and the strength development of SG cement mortar activated by alkali activators. From the results, if alkali activators were selected and added properly, SG is good for using as the materials of mortar and concrete.

요 지

콘크리트용 혼화재료로 고로슬래그미분말은 경제적, 환경적 이점뿐만 아니라, 고강도, 내해수성, 내화학성과 같은 성능개선의 효과도 있다. 고로슬래그미분말이 콘크리트용 재료로서 아주 유용한 자원임에도 불구하고, 초기 강도의 저하로 인한 거푸집의 해체 및 순환의 문제로 공사기간이 지연되어 공사비의 증가 등의 단점이 있다. 따라서 본 연구에서는 고로슬래그미분말 혼합 모르타르의 초기 강도의 증진을 위하여, 다양한 알칼리 자극제를 혼합 사용하여, 모르타르의 유동성 및 압축강도 특성을 평가하였다. 또한 알칼리 자극제의 혼합에 따른 수화 반응 성상을 알아보기 위하여, XRD 분석, 미소수화열 및 $Ca(OH)_2$를 정량하였다. 실험결과 유동성과 응결시간에 대한 단점을 고로슬래그미분말로 보완하고, 적당한 알칼리 자극제의 선택과 첨가량을 조절하여 사용한다면, 고로슬래그미분말을 콘크리트에 사용하여도 초기 강도 저하 없이 사용가능할 것으로 판단된다.

Keywords : Alkali activator, Compressive strength, Hydration, Flow, Setting time

핵심 용어 : 알칼리 자극제, 압축강도, 수화, 플로우, 응결시간

* 정회원, 한양대학교 토목공학과 교수

** 정회원, 한양대학교 토목공학과 박사수료

E-mail : donggus@freechal.com 016-704-2810

• 본 논문에 대한 토의를 2005년 9월 30일까지 학회로 보내주시면 2006년 1월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

1. 서 론

최근 산업부산물의 재활용에 대한 방안으로 고로슬래그미분말의 사용이 시멘트 및 철강업계에 커다란 파장을 줄 것으로 예상되고 있다.

고로슬래그는 고로에서 선철을 제조할 때 발생되는 용융슬래그를 물로 급냉 시킨 후 분쇄한 산업부산물로서 시멘트 혼화재로 사용할 경우 석회석과 같은 광물자원의 채취를 줄임으로써 산림자원의 훼손을 방지할 수 있고, 산업부산물의 매립에 따른 환경 및 경제적 부담을 감소시킬 수 있다.

이러한 경제적, 환경적 이점뿐만 아니라 고로슬래그를 콘크리트에 사용하여 고강도, 내해수성, 내화학성과 같은 성능개선의 효과도 볼 수 있다.[(1),(2)]

고로슬래그는 콘크리트용 혼화재로서 아주 유용한 자원임에도 불구하고, 그 활용방안에 대한 체계가 구축되지 않고 이용되고 있으며, 다른 광물질 혼화재와 비교하여 사용실적이 극히 한정되어 있다. 이렇게 이용이 저조한 이유는 콘크리트 타설 후 초기 강도 값이 매우 작은 것이 주원인이라 할 수 있다. 즉, 초기 강도의 저하로 인해 거푸집의 해체 시기 및 순환에 있어서 지장을 주고 따라서 전체적으로 공사기간의 지연으로 인한 공사비의 증가를 초래한다.

고로슬래그를 혼합 사용한 모르타르 및 콘크리트의 초기 강도를 증가시키는 방법으로는 크게 3가지가 있다.

첫째, 고로슬래그미분말의 분말도를 높이는 방법이다. KS F 2563 "콘크리트용 고로슬래그미분말"에서는 슬래그미분말의 비표면적에 따라 고로슬래그 1, 2 및 3종으로 분류하고 있다.[(3)]

슬래그의 화학성분이나 유리질 함량이 동일한 경우에는 슬래그의 분말도가 클수록 그 표면적이 크고 슬래그의 잠재수경성이 충분히 발휘되므로 반응성이 크다. 하지만 분말도가 높아질수록 생산원가가 높아지기 때문에 사용용도 별로 구분하고 있다.

둘째, 양생온도를 높이는 방법이다. 초기 재령에서 양생온도가 높으면 슬래그 입자가 활성화되어 기존의 잠재수경성이 촉진되는데 이러한 경향은 분말도와도 밀접한 관계가 있다.[(4),(5),(6)]

셋째, 알칼리 자극제를 첨가하는 방법이다. 슬래그가 물과 접하게 되면 슬래그 입자의 표면에 치밀한 불투수성의 산성피막이 형성되기 때문에 강알칼리나 황산염을 첨가하여 피막을 파괴함으로써 초기 강도를 증가시킬 수 있다.

앞서 언급한 고로슬래그미분말의 분말도를 높이는 것은 고로슬래그미분말의 생산 원가의 상승을 요구하며, 양생온도를 높이는 것은 현장 적용 콘크리트에 대한 적용성의 어려움으로 인해 실용적인 방안으로 인정받지 못하고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 위에서 언급한 세 번째 방법으로 고로슬래그미분말 혼합 모르타르의 초기 강도의 증진을 목적으로, 다양한 알칼리 및 황산염 등의 자극제를 첨가하여 기존의 우수한 특성을 유지하면서 가장 큰 단점인 초기 강도발현 지연을 개선하기 위하여 시멘트 페이스트 및 모르타르를 대상으로 그 기초 물성을 평가하였다.

2. 슬래그미분말의 수화기구 및 알칼리 자극제의 작용

고로슬래그미분말의 주성분은 SiO_2, Al_2O_3, CaO, MgO로 시멘트의 성분과 거의 비슷하여 시멘트의 수화반응과 유사한 반응 작용을 한다. 그러나 고로슬래그미분말의 경화반응은 보통 포틀랜드시멘트의 수경성 반응과는 다소 차이가 있는 잠재수경성이라는 반응 기구를 지닌다.

즉, 수경성은 물 분자와 접하게 되면 성분들의 용출이 시작되면서 수화물을 형성하여 경화하는 성질인 반면, 잠재수경성은 단순히 물과의 접촉만으로는 성분들의 용출되지 않고 자극제의 존재가 반드시 필요하며, 이 자극제가 고로슬래그의 반응을 촉진한다. 고로슬래그는 물과 접한 직후 Ca^{2+}가 용출되고 그 표면에 투과성이 나쁜 부정형의 ASH_6의 피막이 형성되며 이 피막으로 인해 고로슬래그미분말 입자 속으로 물의 침투 및 고로슬래그미분말 입자로부터의 이온의 용출이 억제되기 때문에 수화반응은 진행되지 않는다.

그러나 알칼리 자극제에 의해 고로슬래그미분말 입자에 OH^-가 흡착되면 유리구조가 파괴되어, SiO_2,

Al_2O_3, CaO, MgO의 용출이 촉진된다.

즉, 고로슬래그미분말 입자의 유리질을 구성하고 있는 불규칙한 $-O-Si-O-Al-O-$의 3차원 그물구조의 쇄상결합이 pH=12 이상의 강알칼리에 의해 절단되고, 그 그물구조 속에 있는 Al_2O3, CaO, MgO 등이 쉽게 용출할 수 있어 반응이 시작하는 것이다.

반응이 시작되면 시멘트 매트릭스는 고로슬래그미분말에서 용출되는 알칼리성분에 의해 높은 pH 상태가 유지된다. 이후 반응은 고로슬래그미분말에 함유되어 있는 Ca^{2+}와 SiO_2가 용출하여 지속적인 수화반응을 하며 $C-S-H$계의 수화물을 형성하게 되는 것이다. 이러한 반응 메커니즘을 Fig. 1에 나타내었다.

따라서 이와 같은 수화진행 메커니즘으로 인해 고로슬래그미분말의 잠재수경성은 보통포틀랜드시멘트의 수화반응보다 수화진행속도가 느리고, 고로슬래그 혼합 경화체의 초기 강도 지연을 가져오게 된다.

따라서 알칼리 자극제를 첨가함으로써 고로슬래그미분말의 잠재수경성을 수화 초기에 이끌어 내어 조기강도를 증진시킬 수 있는 것이다.

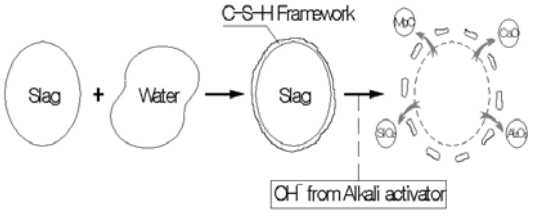


Fig. 1 알칼리 자극제에 의한 고로슬래그미분말 입자의 활성 메카니즘

고로슬래그의 수화특성을 촉진시키기 위해 많은 연구자들이 알칼리 자극제를 사용하였다.[7),(8),(9)]

알칼리 자극제로서 사용한 활성제의 종류는 매우 다양하지만 크게 분류하면 다음과 같다.

- caustic alkalies: MOH
- non-silicate weak acid salts: M_2CO_3, M_2SO_3, M_3PO_4
- silicates: $M_2O \cdot nSiO_2$
- aluminate: $M_2O \cdot nAl_2O_3$
- alumino-silicates: $M_2O \cdot Al_2O_3 \cdot nSiO_2$
- non-silicate strong acid salts: M_2SO_4

3. 실험개요

3.1 사용재료

3.1.1 결합재

보통포틀랜드시멘트(OPC)와 보통포틀랜드시멘트에 블레인 4,559cm^2/g의 고로슬래그미분말(SG)을 50% 혼합하여 사용하였다.

시멘트 및 고로슬래그미분말의 화학 성분 및 물리적 성질은 Table 1과 같다.

Table 1 사용재료의 화학성분 및 물리적 특성

	SiO_2 (%)	Al_2O_3 (%)	Fe_2O_3 (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO_3 (%)	Ig. loss (%)	비 중	블레인 (cm^2/g)
OPC	20.68	5.16	3.02	62.42	4.71	2.42	1.36	3.15	3,438
SG	31.93	13.27	0.26	42.73	6.53	3.11	0.21	2.94	4,559

Table 2 골재의 물리적 성질

	비 중	흡수율 (%)	조립률 (%).	단위중량 (kg/m^3)	실적율 (%)	마모율 (%)
잔 골재	2.63	0.00	2.10	1,453	55.2	-
굵은 골재	2.65	0.78	6.51	1,741	64.9	28.6

3.1.2 골재

잔골재로는 KS L 5100에서 규정하는 비중 2.63, 조립률 2.1의 표준사를, 굵은 골재로는 비중 2.65, 최대치수 25mm인 부순 골재를 사용하였다. 이들 사용 골재의 물리적 성질은 Table 2와 같다.

3.1.3 알칼리자극제 및 화학혼화제

자극제는 KOH, $NaOH$, Na_2CO_3, Na_2SO_4, 및 Alum.($KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$)을 SG의 중량비로 2, 4, 6 및 8%를 배합수에 혼합 사용하였다.

화학혼화제로는 연행공기의 확보와 단위수량 저감을 위하여, 비중 1.2±0.02의 AE감수제 표준형을 사용하였다.

3.2 실험방법

3.2.1 시멘트페이스트에 대한 측정

3.2.1.1 미소수화열 측정

시멘트페이스트의 수화 반응에 미치는 알칼리 자극제의 영향을 알아보기 위하여, $Ca(OH)_2$, KOH 및 Na_2SO_4을 SG의 중량비로 2% 혼합한 페이스트에 대하여 미소수화열을 67시간 동안 측정하였으며, 측정조건은 Table 3과 같다.

3.2.1.2 $Ca(OH)_2$의 정량분석

SG 50% 혼합 및 SG의 중량비로 4%의 알칼리 자극제를 첨가한 시멘트페이스트를 대상으로, ASTM C 114, CAJS I-01에 준하여 $Ca(OH)_2$양을 측정하였다.

즉 재령 3 및 7일에서 분말시료를 채취하여 전기로에서 350℃에서 10분간 가열한 후 550℃에서 60분간 가열하여 그 중량의 감소를 측정하여 $Ca(OH)_2$ 양을 정량하였다.

Table 3 시멘트 페이스트의 수화열 측정조건

	알칼리자극제	OPC (g)	SG (g)	물 (㎖)	온도 (℃)
P1	Non	3.5	1.5	2.1	20
P2	$Ca(OH)_2$	3.5	1.5	2.1	20
P3	KOH	3.5	1.5	2.1	20
P4	Na2SO4	3.5	1.5	2.1	20

3.2.1.3 기기분석: XRD

알칼리 자극제를 첨가한 시멘트페이스트의 수화 생성 물질을 알아보기 위하여, X선 회절분석을 CuK (Ni, filter) 40kV, 전류량 20mA, 스캔 속도는 8°/min, 2Θ=5°~60°의 조건으로 측정하였다.

3.2.1.4 응결시간 측정

SG 혼합 시멘트페이스트의 응결시간을 KS L 5103 및 KS L 5108에 준하여 측정하였다. 먼저 표준반죽질기를 구한 후 페이스트를 만들어 Vicat 장치로 15분마다 측정하여 30초 동안 25mm의 침입도를 얻을 때까지 측정하였다.

3.2.2 시멘트 모르타르에 대한 측정

SG 중량비로 알칼리 자극제 7종류에 대하여 0~8%를 첨가한 모르타르 배합을 정리하여 나타낸 것이 Table 4이다. 알칼리 자극제의 용출을 방지하기 위하여 모르타르 공시체를 20℃, RH 60%인 항온 항습실에서 양생하였다.

3.2.2.1 플로우 및 압축강도

플로우는 모르타르 믹싱 직 후 플로우 몰드에 넣고 다짐 한 후 몰드를 제거하고 플로우 테이블을 15초 동안에 25회 낙하시킨 후 4개의 지름을 측정하여 원 지름의 백분율로 플로우 값을 결정한다.

또한 알칼리 자극제가 혼합 모르타르의 초기강도 발현에 미치는 영향을 알아보기 위하여, 재령 1, 3, 7 및 28일에서 모르타르의 압축강도를 측정하였다.

Table 4 혼합모르타르의 배합표

	W/C (%)	W (g)	C (g)	SG (g)	SS (g)	Dosage* (g)
OPC	48.5	369	760	0	1862	0
SG	48.5	369	380	380	1862	0~8%

*알칼리 자극제의 사용량: 고로슬래그미분말의 중량비

4. 실험결과 및 고찰

4.1 시멘트페이스트에 대한 실험결과

4.1.1 미소수화열 특성

알칼리 자극제를 첨가한 시멘트페이스트의 수화열 분석 결과를 Table 5 및 Fig. 2에 나타내었다.

이 그림에서 Na_2SO_4을 첨가한 시료의 경우 초기 피크에서 알루미네이트와 석고의 반응에 의한 에트린자이트의 생성에 따라 발열 피크가 크게 나타났으며, 초기피크치가 9.48cal/g/h로 가장 높았다. 또한 67시간 동안의 총 발열량도 54.1cal/g로 가장 크게 나타남을 알 수 있었다.

이는 SG 본래의 잠재수경성을 초기 수화에서 이끌어 냈음을 의미한다. KOH을 첨가한 시료의 경우, 초기피크가 알칼리 자극제를 첨가하지 않은 시멘트 페이스트보다 작게 나타났지만 측정 1시간동안의 발열량이 기준시료보다 크게 나타남을 알 수 있다. 이후에 나타나는 수화피크는 C_3S의 수화로 인한 $C-S-H$의 생성에 기인되며, 이 피크의 크기는 초기피크보다 낮음을 알 수 있다.

Table 5 알칼리 자극제별 미소수화열 특성

알칼리 자극제	초기 피크 (cal/g/h)	총 발열량 (cal/g.)
Non	8.37	42.4
Na_2SO_4	9.48	54.1
$Ca(OH)_2$	7.85	41.8
KOH	4.01	46.7

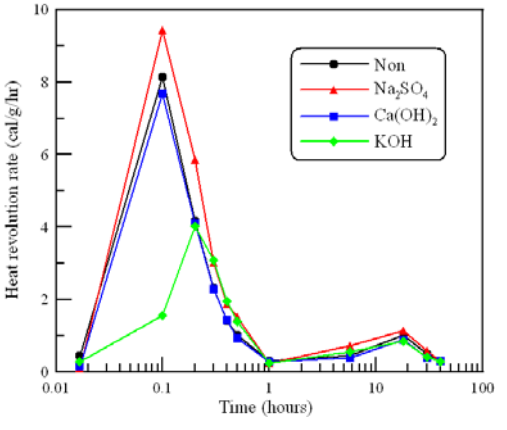


Fig. 2 시멘트 페이스트의 수화 발열 곡선

4.1.2. $Ca(OH)_2$의 정량분석

알칼리 자극제의 종류를 따른 시멘트페이스트의 $Ca(OH)_2$양을 측정한 결과를 알칼리 자극제를 첨가하지 않은 SG 50% 혼합 시멘트페이스트에 대한 상대비로 나타낸 것이 Fig. 3이다.

재령 3일에서 알칼리 자극제를 첨가한 시료의 $Ca(OH)_2$양이 무첨가 시멘트페이스트보다 최소 15% 이상 크게 나타났다.

이는 알칼리 자극제가 시멘트 구성 화합물중의 C_2S와 C_3S의 수화반응을 초기 재령에서 촉진시켰기 때문으로 볼 수 있다. 또한 알칼리 자극제가 SG 입자의 불투수성 막을 파괴하여, SG 입자내부의 Ca^{2+}을 용출시켜 $Ca(OH)_2$ 양이 많아졌다고 생각된다.

한편 재령 7일의 경우, $Ca(OH)_2$ 생성 양은 재령 3일과 비교하여 그 차이가 작은 것을 알 수 있다. 이것으로 보아 알칼리 자극제를 첨가하여도 최종적으로 생성되는 $Ca(OH)_2$ 양은 양쪽 시료 모두 거의 비슷할 것으로 생각된다.

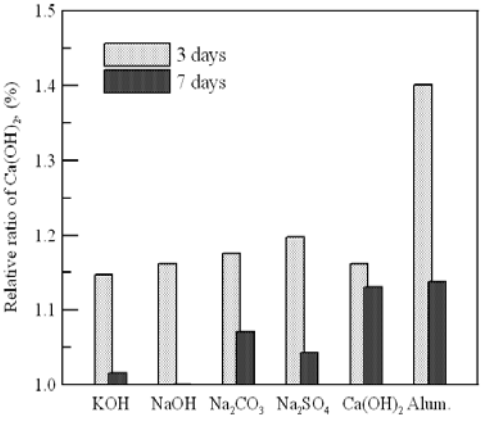


Fig. 3 시멘트 페이스트의 $Ca(OH)_2$ 정량

4.1.3 XRD

X-Ray 회절분석을 실시한 결과를 Fig. 4에 나타내었다.

OPC와 SG을 50%씩 혼합한 시료에서는 시멘트의 수화생성물인 $Ca(OH)_2$가 주피크로 나타나고 있으며, 이 시료에 Na_2SO_4및 Alum.을 첨가한 경우, 생성된 에트린자이트가 페이스트의 초기 강도 발현에 기여함을 알 수 있다.

또한 알칼리 자극제의 첨가로 인해 pH=12 이상으로 지속됨으로서 에트린자이트는 안정화되고 SG의 수화는 가속화된다.

4.1.4 응결시험

Fig. 5는 시멘트페이스트의 응결시간의 측정 결과를 정리하여 나타낸 것이다.

그림에서 알칼리 자극제로 인한 응결시간의 단축경향을 뚜렷이 볼 수 있는데, 첨가량이 많을수록 초결 및 종결시간이 크게 단축됨을 알 수 있다.

Fig. 5(a)와 5(b)에서 KOH와 Alum.을 첨가한 시료의 경우 초결과 종결시간이 2시간 이내에 끝나는 현상이 나타났는데, 이러한 원인으로는 우선 KOH와 Alum.의 K^+이온이 물과 반응하면서 규산염 이온의 용해도를 촉진시켰기 때문인 것으로 판단된다. 또한 C_3A의 급결 반응을 지연시켜주는 황산이온이 K^+ 이온과 결합해서 K_2SO_4를 생성했기 때문에 모노설페이트와 칼슘알루미네이트 수화물의 육각판상결정이 급속히 다량 생성된 결과라 생각된다.

4.2 시멘트 모르타르에 대한 실험결과

4.2.1 모르타르의 플로우

Fig. 6은 알칼리 자극제 첨가량에 따른 모르타르의 플로우 값을 나타낸 것이다.

일반적인 경향으로 OPC보다 SG를 50% 치환한 경우가 유동성에 있어서 약 10% 정도 좋음을 알 수 있다. 하지만 Na_2SO_4을 제외하고 모든 알칼리 자극제에서 유동성의 저하를 보이고 있다.

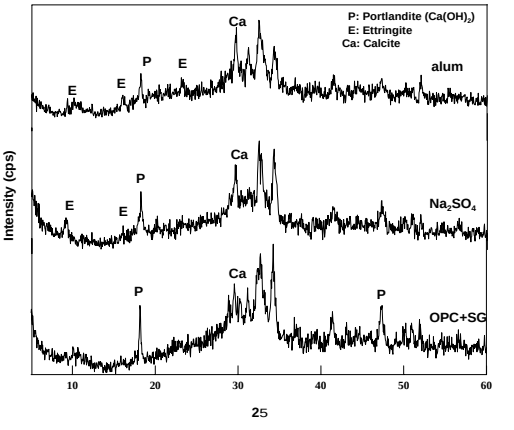
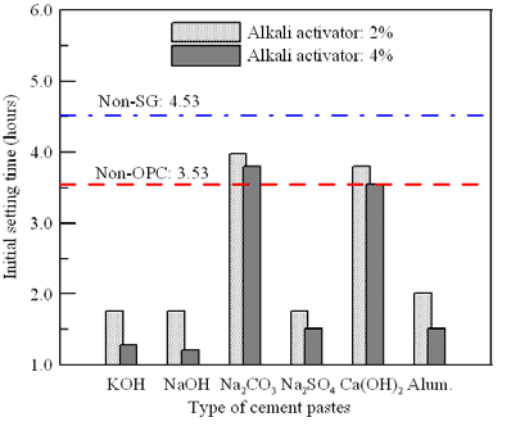
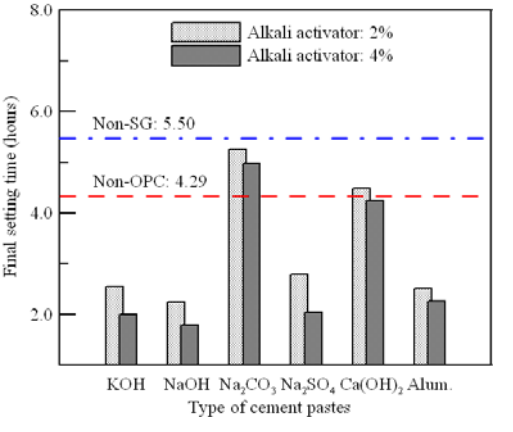


Fig. 4 Alum과 Na_2SO_4를 첨가한 시료의 XRD



(a) 시멘트페이스트의 초결시간



(b) 시멘트페이스트의 종결시간

Fig. 5 시멘트페이스트의 응결시간

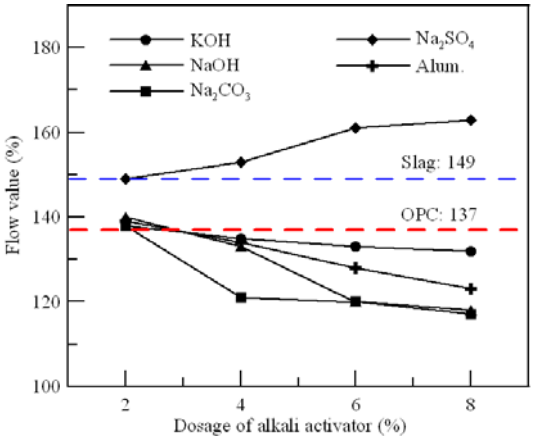
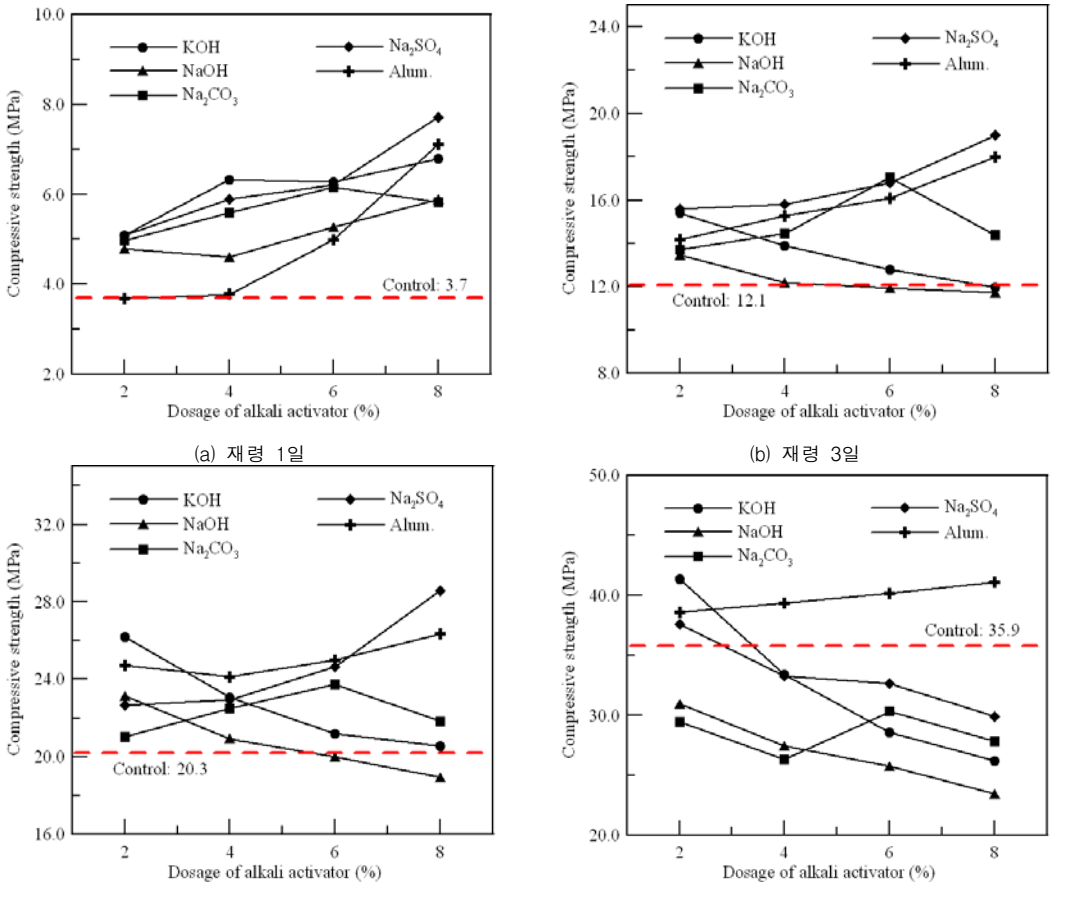


Fig. 6 모르타르의 플로우 값

이는 응결시간과 밀접한 상관관계를 나타내며, 콘크리트의 워커빌리티에 영향을 줄 것으로 생각된다.

Na_2SO_4을 첨가한 경우 다른 알칼리 자극제를 첨가한 경우와 반대의 현상이 나타나는데 이는 Na_2SO_4이 감수제 역할을 하여 시멘트 입자의 표면에 전기적 이중층을 형성함으로서 정전기적으로 서로 반발하여 분산시킴으로서 유동성이 향상되었다고 생각된다.

이러한 효과로 인해 수화물의 응집을 막음으로서 응결시간을 지연시킬 수 있다. 이와 같은 사실은 Fig. 5에서 Na_2SO_4을 첨가한 경우의 응결시간 지연효과와 잘 일치한다.



(a) 재령 1일

(b) 재령 3일

(c) 재령 7일

(d) 재령 28일

Fig. 7 모르타르의 재령별 압축강도

4.2.1 모르타르의 압축강도

고로슬래그미분말을 50% 혼합한 시멘트 모르타르를 기준으로 알칼리 자극제의 첨가량을 달리하여, 모르타르의 압축강도를 재령 1, 3, 7 및 28일에 측정한 결과를 정리하여 나타낸 것이 Fig. 7이다. 이들 그림 중 점선은 Control로 SG 50% 혼합하고 알칼리 자극제를 첨가하지 않은 모르타르의 압축강도를 나타낸 것이다.

Fig. 7(a)에서 여러 종류의 알칼리 자극제에 의한 SG 혼합 모르타르의 초기 강도 개선효과를 명확하게 볼 수 있다. Alum의 경우를 제외하고 모든 알칼리자극제를 첨가한 모르타르의 압축강도는 Control의 압축강도와 비교하여 1.2~2.7배 정도 크게 나타났다.

재령 3일의 압축강도를 나타낸 Fig. 7(b)에서도 SG 입자의 자극효과를 볼 수 있는데, Na_2CO_3와 Alum.을 첨가한 경우 첨가량이 증가할수록 압축강도가 증가하는 경향을 보인다. 한편 Na_2CO_3은 6%, KOH와 $NaOH$의 경우는 2%까지 첨가량이 증가할수록 압축강도가 증가하다가 그 이상의 알칼리 자극제가 첨가되면 오히려 압축강도가 저하하는 경향을 나타내었다. 이와 같은 현상은 재령 7일의 압축강도를 나타낸 Fig. 7(c)에서도 알 수 있다. 즉 Na_2SO_4는 시멘트의 수화에서 생성된 $Ca(OH)_2$와 반응하여 $NaOH$와 석고를 생성하며,

$$Ca(OH)_2 + Na_2SO_4 + 2H_2O \rightarrow 2NaOH + CaSO_4 \cdot 2H_2O$$

생성된 석고가 C_3A와 반응하여 에트린자이트를 생성하여 초기 강도를 증진시키고 $2NaOH$는 알칼리 자극효과로 SG 입자의 수화를 재 촉진시키기 때문으로 생각된다. Fig. 7(d)에서 Na_2CO_3과 $NaOH$의 경우는 오히려 Control보다 압축강도가 작게 나타났다.

재령 28일에서 측정한 모르타르의 압축강도를 나타낸 Fig. 9에서 한 가지 뚜렷하게 나타난 점은 Alum.을 첨가한 경우를 제외하고 알칼리 자극제의 첨가량이 클수록 압축강도가 저하한다는 점이다.

이는 1일 재령에서의 경우와 명백한 차이점을 보인다. 그 원인으로 다량의 알칼리 자극제를 첨가했을 때 정상적인 $C-S-H$가 형성되지 않았다고 생각되며, 과도한 $Ca(OH)_2$의 조기생성도 그 원인중의 하나라고 사료된다.

즉, Alum.을 첨가했을 때 반응식은

$$2[KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O] = K_2SO_4 + 2Al(OH)_3 + 3H_2SO_4 + 6H_2O$$

이며, 우측 항은 다시 수산화칼슘과 반응한다.

$$K_2SO_4 + Ca(OH)_2 + 2H_2O = 2KOH + CaSO_4 \cdot 2H_2O$$
$$2Al(OH)_3 + 3Ca(OH)_2 = 3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6H_2O$$
$$3H_2SO_4 + 3Ca(OH)_2 = 3CaSO_4 \cdot 2H_2O$$

위 반응 중 2번째와 3번째는 삼차 반응을 일으켜 최종적으로 에트린자이트를 생성한다.

$$3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6H_2O + 3CaSO_4 \cdot 2H_2O + 2H_2O = 3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O$$

따라서 최종 생성물은 에트린자이트, 석고 그리고 수용성 KOH이다. 초기에 생성된 $Al(OH)_3$겔은 응결을 지연시키는 작용을 하지만 시간이 지날수록 에트린자이트를 생성하므로 28일 강도를 향상시켰음을 알 수 있다.

5. 결 론

알칼리 자극제의 종류를 달리한 시멘트 페이스트 및 모르타르의 시험결과를 고찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 알칼리 자극제를 첨가한 페이스트의 수화열은 KOH를 첨가했을 경우를 제외하고 모두 초기 피크가 기준 시료보다 크게 나타났다.

2) 알칼리 자극제를 첨가한 시료의 $Ca(OH)_2$양이 크게 나타났는데 이는 알칼리 자극제가 시멘트 구성 화합물중의 C3S 및 C2S의 수화반응을 촉진시켰기 때문이며, 슬래그 입자의 불투수성 막을 파괴하여 슬래그 입자내부 Ca^{2+}의 용출에 의한 $Ca(OH)_2$ 생성에 기인한다.

3) 알칼리 자극제를 첨가할 경우 응결시간은 첨가량이 많을수록 초결 및 종결시간이 크게 단축되었다. 또한 Na_2SO_4를 제외한 모든 알칼리 자극제를 첨가한 경우에서 유동성이 감소하였다.

4) 재령별 모르타르의 압축강도는 알칼리 자극제의 첨가량에 따라 다양한 양상을 보였으며, 특히 Na_2SO_4의 경우는 재령에 관계없이 그 첨가량이 많을수록 압축강도의 증진효과가 있었다.

이상의 실험결과를 종합해 보면, 알칼리 자극제의 종류에 따라 모르타르의 물성에 미치는 영향이 다르므로, 유동성, 수화열 및 시공성 등을 고려하여 사용 목적 및 용도에 맞게 적당한 알칼리자극제를 선택하여 사용하여야 함에 주의하여야 한다.

참고문헌

1. M.N. Haque and T. Chulilung, "Strength development of slag and ternary blended concrete", Cement and Concrete Research, Vol. 20, pp.120~130, 1990.
2. H.Y. Moon, H.S. Kim, and D.S. Choi, "Pore size distribution and chloride diffusivity of concrete containing ground granulated blast furnace slag", Journal of the Korea Concrete Institute, Vol. 16, No. 2, pp.277~282, 2004.
3. KS F 2563, "콘크리트용 고로슬래그 미분말", 2002.
4. C. Shi and R.L. Day, "Acceleration of strength gain of lime-pozzolan cements by thermal activation", Cement and Concrete Research, Vol. 23, pp.824~832, 1993.
5. J.I. Escalante, L.Y. Gomez, K.K. Johal, "Reactivity of blast-furnace slag in portland cement blends hydrated under different conditions", Cement and Concrete Research, Vol. 31, pp. 1403~1409, 2001.
6. L. Baoju, X. Youjun, Z. Shiqiong, L. Jian, "Some factors affecting early compressive strength of steam-curing concrete with ultrafine fly ash", Cement and Concrete Research, Vol. 31, pp.1455~1458, 2001.
7. C. Shi and R.L. Day, "Early hydration characteristics of alkali-slag cements", Cement and Concrete Research, Vol. 25, No.6, 1995.
8. R.L. Day, "Alkali-activated cements opportunities and challenges", Cement and Concrete Research, Vol. 29, pp.249~254, 1999.
9. S. Roy, S. Chanda, S.K. Bandopadhyay, S.N. Ghosh, "Investigation of portland slag cement activated by waterglass", Cement and Concrete Research, Vol. 28, No.7, pp.1049~10564, 1998.

(접수일자 : 2004년 12월 30일)