고로슬래그 알칼리 활성 모르타르의 유동성 및 압축강도 평가

Evaluation of the Flowability and Compressive Strength of Alkali-Activated Blast Slag Mortar

류 금 성* 강 현 진* 고 경 택** 이 장 화** 강 수 태*

Ryu, Gum Sung Kang Hyun Jin Koh, Kyung Taek Lee, Jang Hwa Kang Su Tae

ABSTRACT

Many researches on alkali-activated concrete that does not need the presence of cement as a binder have been carried out recently. Instead, the source of material such as fly ash and blast slag, that are rich in Silicon(Si) and Aluminium(Al), are activated by alkaline liquids to produce the binder. Hence concrete with no cement is effect reduction of CO_2 gas.

In this study, we investigated the influence of the workability and compressive strength of mortar on water reducing agent, alkaline activator and curing method in oder to develop cementless blast slag based alkali-activated mortar. In view of the results, we found out that the flowability of mortar was lowered as increasing to mole concentration of NaOH, but not large the loss of flowability to 9M NaOH, most of water reducing agent was not effect. The compressive strength was improved as increasing to mole concentration of NaOH, was the most effect in 9M NaOH. The curing temperature and curing conditions on compressive strength of blast slag based alkali-activated mortar didn't influence.

요 약

최근 결합재로 시멘트를 사용하지 않은 알칼리 활성 콘크리트에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이 알칼리 활성 콘크리트는 시멘트 대신에 실리콘(Si)과 알루미늄(Al)이 풍부한 플라이애시와 고로슬래그 등을 사용하여 알칼리 용액으로 활성화시킨 시멘트 ZERO 콘크리트로서 CO_2 가스를 저감하는데 효과적이다.

본 연구에서는 시멘트를 전혀 사용하지 않고 결합재로서 고로슬래그를 100% 사용한 알칼리 활성 콘크리트를 개발할 목적으로 감수제, 알칼리 활성화제 및 양생조건이 모르타르의 시공성 및 압축강도에 미치는 영향에 대해 검토하였다. 그 결과, NaOH의 몰 농도가 증가함에 따라 유동성은 저하되나, 9M까지는 유동성 저하가 크지 않고, 대부분의 감수제는 유동성 향상에 기여하지 못하는 것으로 나타났다. 그리고 압축강도는 NaOH의 몰 농도가 증가함에 따라 향상되나, 9M이 가장 효율적인 것으로 나타났다. 또한 양생온도 및 양생조건은 고로슬래그 알칼리 활성 모르타르의 강도에는 큰 영향이 없는 것으로 나타났다.

* 정회원, 한국건설기술연구원 구조재료연구실 연구원

** 정회원, 한국건설기술연구원 구조재료연구실 책임연구원

1. 서 론

최근 건설 산업에서는 친환경을 지향하는 미래 산업 환경의 변화를 고려하여 이산화탄소의 배출을 줄이기 위한 노력과 시멘트를 대체할 수 있는 새로운 재료의 개발에 많은 관심을 기울이고 있다. 최근 전 세계적으로 친환경적인 콘크리트에 대한 다양한 연구가 수행되고 있다. 이런 연구로는 플라이애시 및 고로슬래그 등의 산업부산물을 혼합 시멘트 및 혼화재로 사용하기 위한 연구가 가장 많았고, 실제 건설 현장에서도 많이 적용되고 있다. 그러나 이런 형태의 사용으로는 시멘트 사용량을 획기적으로 줄일 수 없을 뿐만 아니라 이산화탄소 발생, 자원 고갈 및 에너지 문제 등 지구환경에 부하되는 문제점을 저감하는데 한계가 있다.

본 연구에서는 시멘트를 전혀 사용하지 않고 고로슬래그를 100% 사용하여 시멘트 ZERO 모르타르를 제조한 후 NaOH 몰농도에 따른 유동성 및 압축강도를 검토하였으며, 감수제 종류에 따른 유동성과 양생온도 및 양생조건에 따른 압축강도를 검토하였다.

2. 실험 방법 및 사용재료

2.1 사용재료

본 연구에 사용된 결합재로는 국내 K사의 고로슬래그를 사용하였으며, 또한 고로슬래그의 중합반응을 활성화시키기 위하여 쇼듐실리케이트 및 NaOH를 6~9M로 제조하여 사용하였다. 고성능 감수제는 나프탈렌, 멜라민, 리그닌 및 폴리칼본산계를 사용하였다. 고로슬래그의 물리 화학적 성질은 <표 1>과 같다.

<표 1> 플라이애시의 물리적 · 화학적 성질

	SiO_2 (%)	Al_2O_3 (%)	Fe_2O_3 (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO_3 (%)	L.O.I	Surface area (㎠/g)	Density (g/㎤)
고로슬래그	33.33	15.34	0.44	42.12	5.70	2.08	0.03	4,159	2.90

2.2 실험 방법

<표 2> 배합표

No.	W	BS	NaOH	Sodium silicate	Sand (#6)
1	160	1600	300 (6M)	300	2400
2	160	1600	300 (9M)	300	2400
3	160	1600	300 (12M)	300	2400

* 2번 배합으로 고성능 감수제의 유동성 검토

배합은 <표 2>와 같이 알칼리 자극제의 몰농도에 따라 각각 실시하였다. 배합방법은 10리터 믹서에 먼저 고로슬래그와 잔골재를 넣어 30~40 rpm 속도로 2분간 건비빔을 실시한 다음, 1일 전에 제조된 알칼리 자극제와 소듐실리케이트로 구성된 알칼리 활성화제 및 배합수를 넣어 다시 70~80 rpm 속도로 3분간 믹싱하여 시멘트 ZERO 모르타르를 제조하였다. 또한 고성능 감수제(나프탈렌계, 멜라민계, 리그닌계 및 폴리칼본산계)를 결합재의 2% 적용하여 별도로 제작하였다.

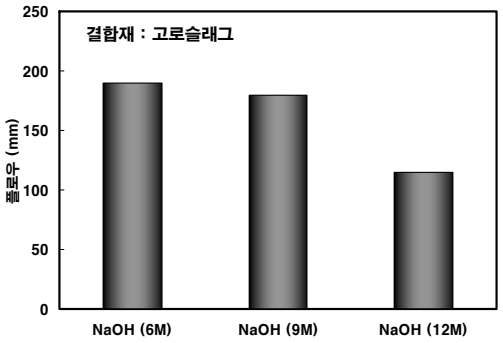
이렇게 제조된 시멘트 ZERO 모르타르의 시공성을 평가하기 위해 KS L 5105에 준하여 플로우 실험을 실시하였다. 그리고 압축강도 시험은 50×50×50mm의 모르타르 공시체를 제작하여 상온 및 60에서 고온양생을 실시하였으며, 그 후 상온(23±2℃)에서 기건양생을 실시한 후 재령 1, 3, 7 및 28일 압축강도를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 유동성

<그림 1>은 NaOH 알칼리 자극제의 몰농도가 유동성에 미치는 영향을 나타낸 것이다. NaOH의

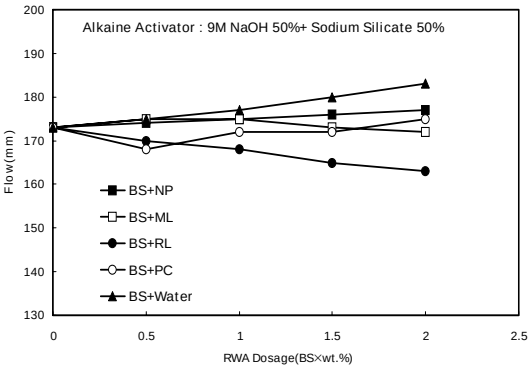
몰 농도가 증가할수록 유동성이 저하되는 것으로 나타났으며, 이것은 자극제의 농도가 증가함으로써 결합재의 수화 및 중합반응을 촉진하였기 때문으로 사료된다. 고로슬래그의 경우 플라이애시와는 다르게 중합반응에 필요한 Al-Si 성분이 표면에 있어 알칼리 활성화제와 직접적으로 반응하여 알칼리 활성화제의 몰 농도가 증가할수록 빠른 반응 때문에 표면에 급결 현상이 발생되며, 유동성이 크게 저하되는 것으로 분석된다.



<그림 1> NaOH 몰농도에 따른 유동성

3.2 감수제 종류에 따른 영향

<그림 2>는 고로슬래그 기반 시멘트 모르타르에서 감수제의 종류와 양이 유동성에 미치는 영향을 나타낸 것이다. 나프탈렌계 감수제를 사용한 경우에는 약간 슬럼프 증진 효과가 있었으며, 폴리칼본산계와 멜라민계는 거의 영향을 주지 못했다. 리그닌계 감수제는 오히려 유동성이 저하되는 것으로 나타났다. 본 연구에 사용된 감수제의 감수효과는 정전기적인 반발력과 고분자 흡착층의 상호작용에 의한 입체반발력(입체장해 작용)에 단독 또는 종합적으로 발휘되어 나타난다. 본 연구에 사용된 고로슬래그 기반 시멘트 ZERO 모르타르에서 알칼리 활성화제의 사용으로 인한 높은 알칼리 환경을 조성하므로 감수제의 감수 작용이 발휘되지 않거나 방해를 받아 감수제 종류 및 양에 상관없이 유동성 증진에 효과가 없거나 오히려 저하되는 것으로 분석된다. 물을 추가로 사용한 경우에는 감수제를 사용하는 것보다 유동성이 증진되어 알칼리 환경에서는 배합수의 증가가 유동성 확보에 효과적인 것으로 판단된다.



<그림 2> 감수제 종류에 따른 유동성

3.3 압축 강도

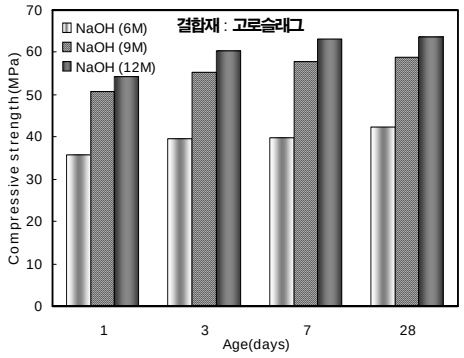
3.3.1 몰농도

<그림 3>은 알칼리 자극제의 몰농도가 압축강도에 미치는 영향을 분석한 결과이다. 결합재로서 고로슬래그를 사용한 경우 몰 농도가 증가할수록 강도가 증진되는 결과를 나타내고 있으나, 9M과 12M은 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 이런 결과로부터 NaOH의 몰 농도를 높게 하더라도 9M 이상부터는 고로슬래그의 중합반응 활성화에 큰 영향을 미치지 못하는 것으로 판단된다. 이러한 원인은 12M의 경우 높은 알칼리성으로 급결 반응이 빠르게 일어나 타설하는 순간에도 높은 발열반응이 발생된다. 높은 발열 반응은 작업성의 급격한 저하 및 초기 급결로 인한 다짐 작업이 제대로 이루어 지지 않아 몰드 내부가 밀실하지못하기 때문으로 판단된다.

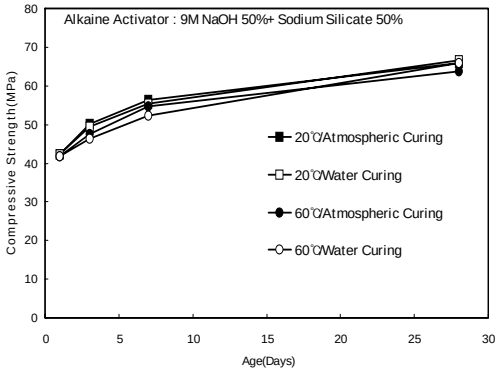
3.3.2 양생조건

<그림 4>는 양생온도 및 양생조건이 고로슬래그 기반 시멘트 ZERO 모르타르의 압축강도에 미치는 영향을 나타낸 것이다. 실험결과 20℃ 상온에서 양생한 것과 60℃ 고온에서 양생한 경우 압축

강도의 차이를 나타내지 못하였으며, 28일 장기강도 까지도 거의 비슷한 압축강도를 나타내었다. 또한 수중양생과 기건양생을 실시한 결과 양생조건에 따른 압축강도는 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 이러한 원인은 고로슬래그의 경우 초기 급결 및 발열반응으로 인하여 재령 초기 높은 압축강도를 발현하여, 양생온도는 큰 영향을 미치지 못한 것으로 판단되며, 양생조건에서는 수분증발이 필요한 중합반응으로 모르타르의 강도발현이 이루어지는 것이 아니라 고로슬래그의 잠재수경성이 강하게 나타나 양생조건은 압축강도에 큰 영향을 미치지 못한 것으로 판단된다.



<그림 3> NaOH 몰농도에 따른 압축강도



<그림 4> 양생조건에 따른 압축강도

4. 결 론

알칼리 활성 고로슬래그 모르타르의 유동성 및 압축강도를 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) NaOH의 몰농도가 증가함에 따라 유동성은 저하되지만 9M까지는 유동성 저하가 크지 않은 것으로 나타났다. 또한 압축강도는 몰농도가 증가함에 따라 증가하였으나 9M 정도의 농도가 가장 효율적인 것으로 나타났다.
2) 감수제 종류에 따른 유동성은 대부분 강알칼리 환경에서는 성능을 발휘 못하는 것으로 나타나 전용 감수제 개발이 필요할 것으로 사료된다.
3) 양생온도 및 양생조건이 압축강도에 미치는 영향은 거의 없는 것으로 나타나, 상온에서도 강도발현이 충분한 것으로 분석된다.

감사의 글

본 연구는 산업기술연구회 협동연구사업의 연구비지원(Q21. 건설용 신소재・재활용기술-시멘트 ZERO 콘크리트 개발 및 활용)의 지원 하에 수행되었습니다.

참고문헌

1. 유엔환경계획 한국위원회, 2002 ; 교토의정서, 유넵프레스(UNEP Press), pp.12~18.
2. 이화영 외 4인, “자극제의 혼입에 따른 활성화 슬래그 시멘트 모르타르의 특성”, 한국콘크리트학회 가을학술발표회 논문집, 2007, pp.465~468
3. Fernandez-Jimenez, A., et. al., "Alkali-activated slag mortars : mechanical strength behaviour," Cement and Concrete Research, Vol. 29(3), 1999, pp.593~604.