

자극제의 종류에 따른 알칼리 활성화 슬래그 모르타르의 기초 특성

Fundamental Properties of Alkali Activated Slag Mortar with Different Activator Type

안 양 진^{*}
An, Yang Jin

문 경 주^{**}
Mun, Kyoung Ju

소 승 영^{***}
Soh, Seung Young

소 양 섭^{***}
Soh, Yang Seob

Abstract

The purpose of this study is to investigation the fundamental properties of alkali activated slag of type and concentration of alkali activator. In this paper sodium silicate, sodium carbonate and sodium hydroxide were used as alkaline activator and their concentration were 1, 3, 5 and 7 Na₂O weight percent. The physical properties of alkali activated blast furnace slag cement mortar (AAS) were investigated by flow test and compressive strength. And the hydration properties of AAS characterized by X-ray diffraction and scanning electron microscope.

Result show that Alkali activated slag mortar strengths were continuously increased with adding amount and ages. C-S-H were formed to be the main products up to 28days of hydration.

1. 서 론

고로슬래그는 물과 접촉하면 슬래그 입자표면에 불투수성 산성피막이 형성되어 수화반응이 없지만, 강알칼리 혹은 황산염 계열의 첨가제를 넣으면 Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺ 등의 수식이온들이 용출되어 고로슬래그의 수화반응이 일어난다. 이러한 특성을 이용하여 생산에서 소성과정의 필요 없는 에너지 소비가 적고 이산화탄소 배출량도 적어 친환경적인 장점 또한 지닌 알칼리 활성화 슬래그에 대한 연구가 진행되고 있다.

알칼리 활성화 슬래그는 자극제의 종류 및 투입량에 따라 수화반응 속도와 수화물의 종류 및 구조가 달라지기 때문에 알칼리 활성화 슬래그의 강도발현 및 기타 물성에 미치는 영향도 다르게 나타날 것이라고 판단되고 있다. 따라서 본 연구에서는 알칼리 자극제의 종류 및 첨가량에 따른 알칼리 활성화 슬래그의 강도 및 수화특성을 살펴보기 위해 각기 다른 세 알칼리 자극제 즉, NaOH, Na₂CO₃ 그리고 Na₂SiO₃의 첨가량을 달리하여 실험하였다.

2. 실험 계획 및 방법

2.1 사용재료

2.1.1 고로슬래그 미분말

본 실험에서는 고로슬래그 미분말(GBFS)을 분말도 4,600cm²/g 수준으로 선별하여 사용하였으며, 물성 비교를 위한 시멘트는 보통포틀랜드시멘트(OPC)를 사용하였다. 잔골재로는 No.6(0.25~0.6mm)의 규사를 사용하였다.

* 정희원, 전북대학교 건축·도시공학부 박사과정

** 정희원, 전북대학교 건축·도시공학부 강사, 공학박사

*** 정희원, 전북대학교 건축·도시공학부 교수, 공학박사, 공업기술연구센터

2.1.2 알칼리자극제

수화반응 유도를 위한 알칼리 자극제로는 수산화나트륨(NaOH)과 탄산나트륨(Na₂CO₃) 그리고 규산나트륨(Na₂SiO₃)을 사용하였다. 자극제를 고로슬래그 중량에 대해 각각 1%, 3%, 5%, 7%를 첨가하여 첨가량에 따른 특성을 살펴보았으며, 이때 수산화나트륨을 제외한 알칼리 자극제는 Na₂O량을 기준으로 배합하였다.

2.2 시험 방법

본 실험의 배합은 표 2와 같이 KS L 5105 및 KS L 5111에 따라 슬래그와 규사를 1:2.45 비로 배합하고 W/B 비를 0.5로 고정하여 제작하였다. 자극제는 혼합수에 미리 용해하여 투입하였으며, 압축강도 측정용 몰드(5cm×5cm×5cm)를 사용하여 공시체를 제작하였다. 제작된 공시체는 20±2℃인 수중에서 소정 재령까지 양생한 후 각 3일 7일 28일 그리고 56일의 압축강도를 측정하였다. 그리고 알칼리 자극제의 종류와 첨가량에 따른 알칼리 활성화 슬래그의 수화생성물 및 형상을 확인하기 위하여 각 재령의 압축강도를 측정한 시편을 채취하였다. 채취한 시편을 아세톤에 24시간 이상 침지시켜 수화물의 변동이 생기지 않도록 수화정지 시킨 후 XRD 및 SEM 분석을 실시하였다.

표1. 고로슬래그의 화학조성

Item.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	FeO	MnO	P ₂ O ₃	TiO ₂	SO ₃	Na ₂ O
slag	35.80	13.87	41.10	3.60	0.52	0.33	0.02	1.20	2.36	0.39

표 2.배합표

Item	Dosage (%)	Binder(g)		W/B(%)	sand(g)
		cement	slag		
Alkali Activator Type	0	500	500	50	2450
	1	-	1000		
	3				
	5				
	7				

3. 결과 및 고찰

3.1 경화체의 압축강도 특성

그림 1은 자극제의 종류 및 첨가량에 따른 알칼리 활성화 슬래그 모르타르의 플로우를 나타낸 것이다. 수산화나트륨을 첨가한 경우 첨가량 1~5%까지는 플로우 값이 점점 증가하나 7% 첨가 시 플로우 값이 저하하였다. 일반적으로 NaOH는 물과 만나면 다량의 열을 발생하며, 그 용해도를 높이는 것으로 알려져 있다. 그러나 7% 이상 첨가할 경우 수용액의 강한 알칼리성과 첨가량의 증가로 인한 높은 발열반응으로 슬래그의 수화반응이 급격히 일어남으로써 플로우가 감소¹⁾하는 것으로 판단된다. 탄산나트륨의 경우 또한 5% 이상 첨가한 경우 플로우 값이 저하되는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 규산나트륨을 첨가한 경우에는 수산화나트륨과 탄산나트륨을 첨가한 경우와는 달리 1%를 첨가한 경우 고로슬래그시멘트에 비해 현저히 낮은 유동성을 나타내나 첨가량이 증가할수록 플로우 값도 증가하여 7%이상 첨가한 경우에는 플로우가 약 20cm 이상으로 나타나 고로슬래그 시멘트에 비해 우수한 유동성을 보임을 확인할 수 있었다.

그림 2에서 4까지는 자극제를 첨가한 경화체의 재령별 압축강도를 나타낸 것으로 자극제의 종류에 상관없이 첨가량이 증가할수록 압축강도도 증가하였다. 수산화나트륨을 첨가한 경우 첨가량이 작은 경우 압축강도가 거의 발휘되지 않아 고로슬래그에 대한 수화 활성화 반응이 거의 일어나지 않는 것을 확인할 수 있었으며 탄산나트륨을 첨가한 경우 또한 같은 현상을 나타내었다. 그러나 수산화나트륨을 첨가한 경우 탄산나트륨과는 달리 첨가량이 증가할수록 3일 강도가 꾸준히 증가하는 것을 알 수 있었는데 이는 NaOH의 경우

초기에 $Al(OH)_4^-$ 의 활발한 용출에 의해 결정성 칼슘알루미네이트 상을 생성시킴으로써 슬래그 표면의 Al 성분의 부족으로 C-S-H의 형성이 가속화되어 빠른 수화가 일어나기 때문으로 사료^{2,3,4)}된다. 규산나트륨을 첨가한 경우도 1%를 첨가한 경우에는 압축강도가 10MPa 이하로 매우 낮게 나타났으나 첨가량과 재령이 증가할수록 꾸준한 강도 증진으로 인해 7%를 첨가한 경우 3일 재령에서부터 20 MPa 이상의 높은 압축 강도 발현하여, 56일에는 40MPa를 기록하였다. 이는 첨가량이 증가할수록 경화체 제작 시 주수 후 빠른 이온 용출이 일어나면서 1차 반응 후의 유도기의 기간이 짧아지기 때문으로 판단^{2,5)}된다. 즉, 규산나트륨의 경우 첨가량이 증가할수록 고농도의 $[SiO_4]^{4-}$ 을 가지기 때문에, 그 반응으로 인하여 이온 용출이 활발하게 일어나는 동시에 그 시기 또한 빨라지기 때문이다. 또한 이러한 반응으로 인해 C-S-H 상은 더욱 두꺼워지며, 높은 강도발현을 하는 것으로 판단할 수 있었다.

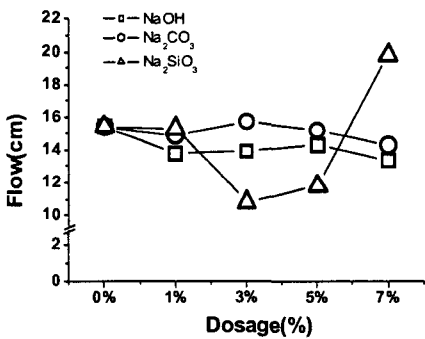


그림1. 자극제의 종류 및 첨가량에 따른 플로우

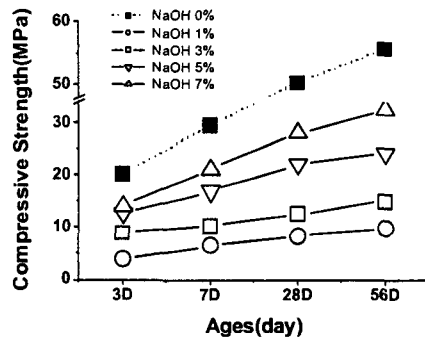


그림2. NaOH를 첨가한 슬래그의 압축강도

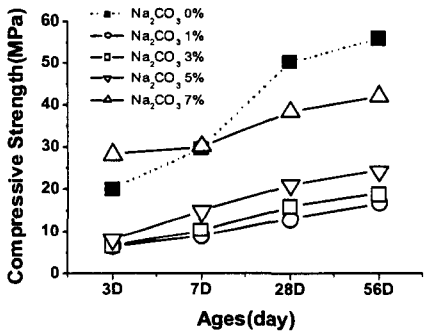


그림3. Na₂CO₃를 첨가한 슬래그의 압축강도

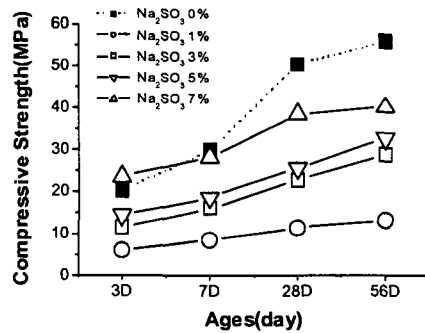


그림4. Na₂SiO₃를 첨가한 슬래그의 압축강도

3.2 자극제의 종류에 따른 수화생성물

그림 4는 자극제의 종류 및 첨가량에 따른 28일 재령의 XRD분석 결과이다. 분석결과를 살펴보면 첨가량에 상관없이 수화되지 않은 비정질의 슬래그와 수화생성물의 중첩으로 인해 일반 시멘트의 경우와는 달리 두드러진 특정 피크는 나타나지 않았으나, 주로 생성되는 수화생성물은 C-S-H임을 확인할 수 있었으며, 자극제의 첨가량이 증가할수록 피크도 점점 증가하고 있음을 확인할 수 있었다. NaOH를 자극제로 사용한 경우 주생성물은 C-S-H와 C_2ASH_3 그리고 $CaCO_3$ 로 나타났으며, Na_2CO_3 를 첨가한 경우에도 C-S-H와 $CaCO_3$ 가 발견됨으로써 자극제의 종류에 따른 수화생성물은 거의 차이가 없는 것을 확인할 수 있었다.

사진 1에서 3은 각각의 자극제를 7% 첨가한 28일 재령 경화체를 3000배로 SEM 관찰한 결과로 모든 경우 경화체 시료의 파단면이 binding 현상이 일어나 유리상과 같은 매끄러운 면이 전체적으로 보이고 있었다.

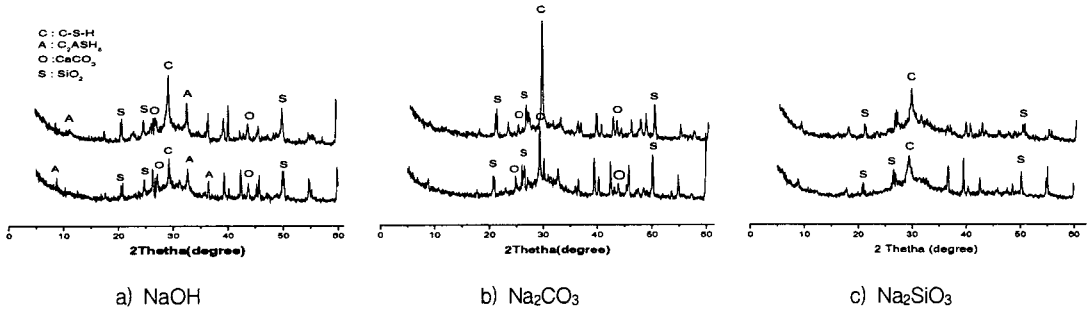


그림5. 자극제의 종류 및 첨가량에 따른 XRD 분석 결과



사진1. NaOH 7% SEM Image

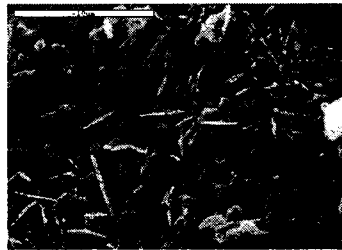


사진2. Na2CO3 7% SEM Image

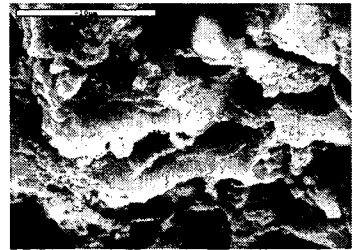


사진3. Na2SiO3 7%SEM Image

4. 결론

이상의 실험을 통해 얻어진 결론을 살펴보면 다음과 같다.

- 1) 자극제의 종류 및 첨가량에 따른 압축강도 실험 결과 자극제의 종류에 상관없이 자극제의 첨가량이 증가할수록 높은 강도를 발현하였으며, NaOH의 경우에는 작은 양을 첨가한 경우에도 초기강도가 발현하였으나, Na₂CO₃는 첨가량 7%이하인 경우 첨가량의 증가에 상관없이 초기강도가 거의 발현되지 않았다.
- 2) 알칼리 자극제의 종류에 따른 알칼리 활성화 슬래그의 수화생성물을 관찰한 결과, 주요 수화생성물은 NaOH, Na₂CO₃ 그리고 Na₂SiO₃ 모두 공통적으로 C-S-H상이 생성되었으며, 첨가량이 증가하고 수화가 진행될수록 자극제의 binding 현상으로 전체적으로 매우 밀실한 형태의 미세구조를 가지게 됨으로써 40MPa 이상의 강도 발현이 가능한 것으로 판단된다.

참고문헌

- 1) 이용민, "규산나트륨에 의한 고로수쇄 슬래그의 수화반응", 단국대학교 석사학위논문, 1994
- 2) 박시운, "알칼리 자극제를 이용한 고로 수쇄슬래그의 활성화에 관한 연구", 순천대학교 산업대학원 석사학위논문, 2003
- 3) F. G. Collins, "Wakability and mechanical properties of alkali activated slag concrete", Challenger, Cem. Concr. res. 1999
- 4) Brough A. R., Atkinson A. "Sodium silicate-based, alkali-activated slag mortars - Part I. Strength, Hydration and microstructure" Cement and Concrete Research, Volume 32, no.6, 2002
- 5) Caijun Shi, Pavel V. K., Della R. "Alkali-Activated Cements and Concretes", Taylor & Francis, 2006