

## 잔골재의 투입시점에 따른 알칼리 활성화 슬래그 모르타르의 강도와 건조수축에 대한 기초적 연구

### The Fundamental Study of Strength and Drying Shrinkage on Alkali-activated Slag Cement Mortar with Different Entering Point of Fine Aggregate

김 태 완<sup>1)\*</sup>      엄 장 섭<sup>2)</sup>      서 기 영<sup>3)</sup>      박 현 재<sup>4)</sup>  
Tae-Wan Kim      Jang-Sub Eom      Ki-Young Seo      Hyun-Jae Park

#### Abstract

This paper examines the fundamental properties of alkali-activated slag cement (AASC) activated by sodium hydroxide (NaOH). The water to binder (W/B) ratio was 0.4 and 0.5. And concentration of activator were 2M and 4M. Five mix design of each W/B ratios was considered. The N0 mixture was KS L 5109 method and N1~N4 were varied in different mixing time, mix step and entering points of fine aggregate. Test results clearly showed that the flow value, strength and drying shrinkage development of AASC were significantly dependent on the entering point of fine aggregate. The flow value tended to decrease with delaying entering point of fine aggregate. The compressive strength and flexural strength increases with delaying entering point. Moreover, the XRD analysis confirmed that there were sustain these results. The drying shrinkage increases with delaying entering point of fine aggregate. Furthermore, a modified mixing method incorporating all hereby experimentally derived parameters, is proposed to improve the physical properties of AASC.

Keywords : Alkali-activated slag cement mortar, Fine aggregate, Entering point

#### 1. 서 론

최근 알칼리 활성화 시멘트 (alkali-activated cement; AAC)에 대한 연구가 국내외적으로 많이 이루어지고 있다 (Yang et al., 2007; Yang et al., 2011; Song et al., 2012; Kim et al., 2013; Pacheco-Torgal et al., 2012). 현재까지 다양한 AAC 관련 연구가 발표되고 있으며, 이러한 연구들에 의해 명확하지 않은 AAC의 반응 메커니즘과 영향요인에 대한 결과들이 조금씩 밝혀지고 있다 (Moon and Shin, 2005; Li et al., 2010; Bernal et al., 2011; Saout et al., 2011). 현재까지 연구결과를 보면 AAC에 영향을 주는 인자는 다양한 것으로 알려져 있다. 예를 들어, AAC의 주원료인 포졸란재료의 성질, 활성화제의 종류와 성질, 혼화제, 배합 방법, 양생조건 등 다

양한 요인들이 AAC의 특성에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다 (Kim et al., 2012; Bakharev et al., 1999; Ravikumar and Neithalath, 2012; Zivica, 2007; Escalante-Garcia et al., 2003; Fernandez-Jimenez and Puertas, 2003). 이러한 다양한 요인들의 연구를 통해 AAC의 특성을 파악하고 명확한 메커니즘을 규명하여, 환경친화적인 시멘트의 제조기술을 확립하고 실제 구조물에 적용할 수 있는 자료가 될 것이다. 그러나 지금까지의 대부분의 연구는 AAC의 구성요소 중 포졸란재료와 활성화제의 특성에 많은 초점이 맞추어져 왔다. 따라서 상대적으로 AAC의 배합에 관련된 특성연구는 미흡하였다. AAC의 배합은 현재까지 연구결과를 보면 페이스트 (paste), 모르타르 (mortar), 그리고 콘크리트 (concrete)로 구분된다. 모든 배합은 AAC의 배합에 관한 표준이 정해지지

1) 정회원, 부산대학교 생산기술연구소 특별연구원, 공학박사, 교신저자  
2) 정회원, 창신대학교 토목공학과 부교수  
3) 정회원, HK 이앤씨  
4) 정회원, HK 이앤씨

\* Corresponding author : ring2014@naver.com

• 본 논문에 대한 토의를 2014년 4월 30일까지 학회로 보내주시면 2014년 5월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

않은 만큼 연구자들 마다 다양한 배합 방법과 요인들을 고려하여 연구가 이루어지고 있다. AAC의 다른 여러 영향 요인들과 함께 배합에 관한 특성 연구도 동시에 이루어져야 할 것으로 판단된다. 본 연구에서 고려된 모르타르의 경우 콘크리트의 배합에서 사용되는 굵은골재의 영향을 배제하고, AAC 페이스트와 잔골재와의 특성을 살펴보고 이를 통해 최종목표인 콘크리트 배합의 기초자료로 활용하고자 선정하였다.

본 연구의 목적은 AAC의 연구에서 고로슬래그 미분말 (ground granulated blast slag; GGBS)을 100% 사용한 알칼리 활성화 슬래그 시멘트 (alkali-activated slag cement; AASC)의 특성 연구 중 최적배합에 관한 영향인자를 연구하는 것이다. 특히 선행 연구를 바탕으로 AASC의 특성에 미치는 여러 영향요인 중 배합방법에 따른 물리적인 기초 특성에 대한 연구를 수행하여, AASC의 활용을 위한 기초 자료로 제시하고자 한다.

## 2. 실험계획

본 연구는 배합방법에 따른 AASC의 특성에 관한 연구로 다음과 같은 재료와 실험 요인을 고려하였다.

### 2.1 사용재료

본 연구에 사용된 고로슬래그 미분말은 포항의 K사 제품을 사용하였으며, 성분은 XRF 분석을 통해 Table 1에 나타내었다.

잔골재는 강모래를 사용하였고, 조립률 (FM) 2.62, 밀도 0.0026 g/mm<sup>3</sup>, 흡수율 1.32이다. 본 연구에 사용된 알칼리 활성화제는 수산화나트륨 (NaOH)이며, 사용된 시약은 국내

S사의 제품으로 고순도 (extra pure)시약이다. 또한 고성능 감수제는 폴리카르본산계로 C사에서 판매하는 것으로, 갈색 분말 성상의 밀도 0.0021g/mm<sup>3</sup>인 제품을 사용하였다.

### 2.2 배합 및 실험방법

배합방법에 따른 AASC의 기초적인 특성을 알아보기 위한 배합요인은 다음과 같이 선정하였다. 우선 활성화제인 수산화나트륨의 농도는 여러 국내외 문헌의 유동성, 응결 및 플로우 등의 특성변화를 고려하고, 예비 실험을 통해 본 연구에 사용된 고로슬래그 미분말의 알칼리 활성화에 따른 특성을 참고하여 2M과 4M로 정하였다. 수산화나트륨 (sodium hydroxide; NaOH)은 기존의 선행 알칼리 활성화 시멘트에 관한 연구에 다수 사용되었던 재료이고, 지금까지 많은 연구 결과가 발표되어 있다.

모르타르 배합은 중량비로 고로슬래그 미분말 : 잔골재를 1.0 : 2.0으로 하였고, 물-결합재 (W/B) 비는 0.4 (W1), 0.5 (W2)의 두 경우를 고려하였다. 모든 배합은 고로슬래그 미분말의 중량을 일정하게 유지하고 배합수의 양만을 조절하여 W/B 비를 맞추었다. 이때 W/B=0.4의 모든 배합에는 고성능 감수제 (SP)를 결합재 중량의 0.3%만큼 혼합하여 원활한 작업을 위한 최소 유동성인 120±10mm 이상을 유지할 수 있도록 하였다. 배합비는 Table 2에 나타내었다.

배합은 잔골재의 투입시기가 달라짐에 따라 고로슬래그 미분말과 알칼리 활성화제를 미리 투입하여 제작된 알칼리 배합수를 혼합한 AASC 페이스트 상태가 지속되는 시간 등에 따른 영향을 고려하고자 하였다. 본 연구에서 사용한 배합방법은 KS L 5109 규정에 제시되어있는 모르타르 배합방법 (N0)을 기준으로 잔골재의 투입순서 또는 배합 시간 등을 변형시킨 N1~N4의 방법을 선정하였다.

N1방법은 배합수와 고로슬래그 미분말 그리고 잔골재를 미리 배합용기에 동시에 모두 투입하여 N0와 동일한 시간으로 배합하는 방법이다. N2방법은 배합수와 고로슬래그 미분말을 투입 후 저속으로 30초 혼합 후 다시 저속으로 30초 혼합하면서 잔골재를 투입하고 중속으로 30초를 배합하고 정지시간을 60초로 조정하여 전체 배합시간을 다른 배합과 동

Table 1 Chemical and physical properties of blast furnace slag

	Slag	
	Chemical components (%)	
	SiO <sub>2</sub>	29.67
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9.90
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.68
	CaO	56.03
	MgO	1.99
	TiO <sub>2</sub>	0.78
	MnO	0.37
Physical properties	Ig-loss	0.34
	Blain (m <sup>2</sup> /kg)	420
	Density (g/mm <sup>3</sup> )	0.0029

Table 2 Mix design of mortars by mass ratio

W/B	Water	Binder	Fine Aggregate	SP (%)
0.4	0.4	1.0	2.0	0.3
0.5	0.5	1.0	2.0	-

일하게 맞추었다. N3방법은 N0와 같은 시간의 저속과 중속 후, 혼합 정지시간을 60초로 한 후 저속으로 30초 혼합하는 동안 잔골재를 투입하고 중속으로 60초를 배합하는 방법이다. N4방법은 N0와 같은 배합속도와 시간으로 정지시간 90초까지 배합 후 저속 30초 동안 잔골재를 투입하고 중속으로 30초를 배합한 뒤 마무리 하는 방법이다. 즉, 각 배합방법의 차이점은 잔골재의 투입 시기인데, 잔골재의 투입시기에 따라 잔골재를 투입하기 전까지 페이스트 상태가 유지되는 시간, 그리고 잔골재 투입 시기에 따른 모르타르의 특성을 알아보고자 하였다. 배합 시간 및 방법의 개요를 Table 3에 나타내었다.

각각의 배합 방법에 따라 재료를 혼합한 후 압축강도 측정은 50×50×50mm 몰드에 타설하고, 휨강도 측정은 40×40×160mm 몰드에 타설하여 상대습도 70±5%, 23±2℃ 항온항습기에 넣고 1일 (24h) 후 몰드를 탈형한 뒤 측정일까지 수중 양생하였다. 압축강도는 각 측정 재령 (1, 3, 7 그리고 28일)에서 3개의 시험체를 실험하고 그 평균값을 사용하였다. 길이변화

측정은 KS F 2424의 다이얼게이지 방법으로 측정하였다. 길이변화 측정용 시험체는 40×40×160mm 몰드를 사용하였고, 길이변화는 182일까지 측정하였다.

### 3. 결과 및 고찰

배합 방법에 따른 AASC의 강도 특성을 살펴보기 위해 수행한 본 연구에서 플로우, 응결시간, 압축강도, 휨강도 그리고 건조수축 등을 측정하였다.

#### 3.1 플로우 (flow)

잔골재의 투입 시점에 따른 AASC 모르타르의 특성에 관한 연구에서 초기 유동특성은 플로우를 측정하였다.

Fig. 1은 유동성 측정 결과이다. Fig. 1에서, N0와 비교하여 전반적으로 잔골재를 투입하는 시점이 늦어질수록 플로우 값은 대체적으로 감소하고 있는 것을 알 수 있었다. 특히

Table 3 Summized Mixing method

Method	Ready	Slow speed <sup>2)</sup> (30sec)	Medium speed <sup>3)</sup> (30sec)	Stop (90sec)	Medium speed (60sec)	
N0	Place all the mixing water in the bowl then add the slag to the water (W+GGBS).	Add the entire quantity of sand(F) while mixing at slow speed.		The mixer and let the mortar stand		
N1	Place all the mixing water, sand and slag in the bowl (W+GGBS+F) <sup>1)</sup> .			The mixer and let the mortar stand		
	Ready	Slow speed (30sec)	Slow speed (30sec)	Medium speed (30sec)	Stop (60sec)	Medium speed (60sec)
N2	Place all the mixing water in the bowl then add the slag to the water (W+GGBS).		Add the entire quantity of sand(F) while mixing at slow speed.		The mixer and let the mortar stand	
	Ready	Slow speed (30sec)	Medium speed (30sec)	Stop (60sec)	Slow speed (30sec)	Medium speed (60sec)
N3	Place all the mixing water in the bowl then add the slag to the water (W+GGBS).			The mixer and let the mortar stand	Add the entire quantity of sand(F) while mixing at slow speed.	
	Ready	Slow speed (30sec)	Medium speed (30sec)	Stop (90sec)	Slow speed (30sec)	Medium speed (30sec)
N4	Place all the mixing water in the bowl then add the slag to the water (W+GGBS).			The mixer and let the mortar stand	Add the entire quantity of sand(F) while mixing at slow speed.	

1. W : Water, GGBS :ground granulated blast slag, F : Fine aggregate (=sand).
2. slow speed : revolve the paddle at a rate of 140±5 rpm, with a planetary motion of approximately 62 rpm.
3. medium speed : revolve the paddle at a rate of 285±10 rpm, with a planetary motion of approximately 125 rpm.

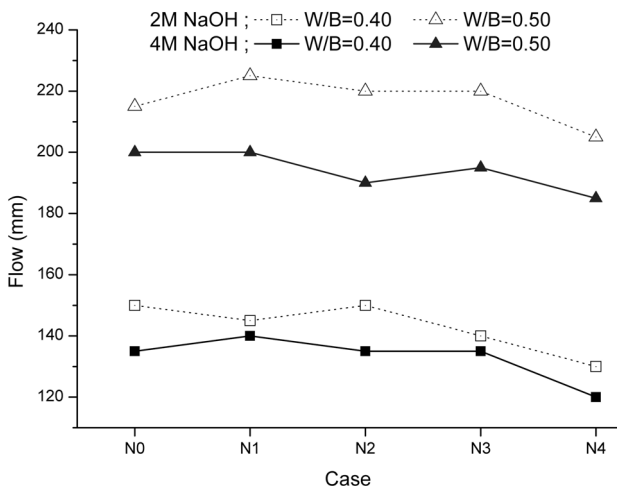


Fig. 1 Flow test

배합의 마지막 단계에 잔골재를 투입하는 N4의 경우, 모든 배합 중 가장 낮은 유동성을 나타내었다. 이는 한정된 배합 시간에서 잔골재의 투입이 늦어지면 알칼리 활성화 페이스트와 잔골재의 균질한 배합을 이루기 위한 혼합 시간이 충분하지 않아서 발생하는 것으로 판단된다.

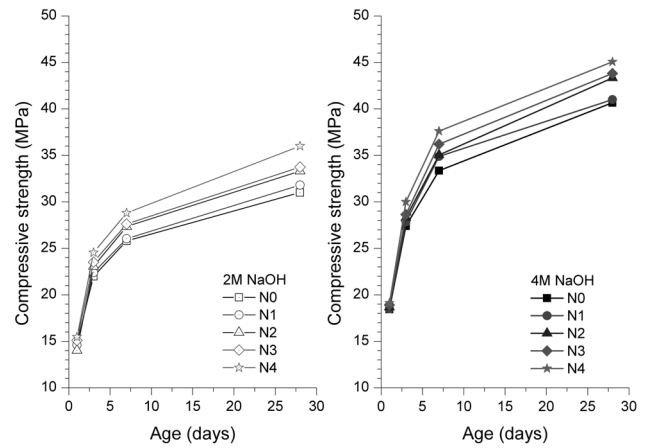
### 3.2 강도 특성 (strength properties)

배합에 따른 압축강도 특성은 Fig. 2~Fig. 3에 나타내었다. 재령 28일 까지 측정된 압축강도의 특성은 두 W/B 비 모두에서 활성화제의 농도가 2M에서 4M로 증가하면 강도가 증가한 것을 알 수 있었다. 이는 기존의 AASC 논문들에서도 관찰된 보편적인 현상 (Vladimir Živica, 2007; Fernandez-Jimenez and Puertas, 2003)으로 활성화제의 농도가 증가함에 따라 고로슬래그 미분말의 반응성이 촉진되었기 때문으로 판단된다.

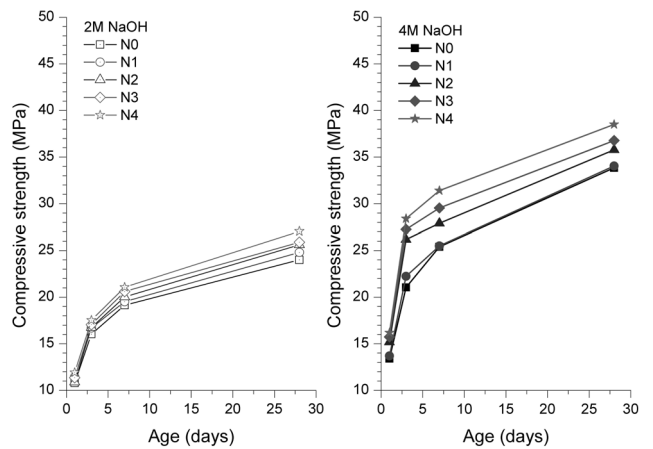
Fig. 2에서 W/B 비와 활성화제의 농도에 관계없이 잔골재의 투입시점이 늦어질수록 압축강도는 증가하는 것으로 나타났다.

Fig. 3은 압축강도의 변화를 배합방법의 차이에 따라 나타낸 것이다.

W/B 비가 0.4인 경우 배합방법에 따른 압축강도의 차이는 W/B 비가 0.5인 경우에 비해 상대적으로 적게 나타났다. 이는 W/B 비가 낮은 AASC의 배합에서는 잔골재의 영향보다 활성화된 고로 슬래그 페이스트의 화학적 반응에 의한 페이스트의 영향이 강도에 지배적인 것으로 판단된다. W/B 비가 0.5인 경우는 활성화제의 농도가 4M일 때가 2M일 때보다 강도변화가 크게 나타났다. 따라서 W/B 비가 큰 경우 AASC



(a) W/B = 0.4



(b) W/B = 0.5

Fig. 2 Compressive strength of curing ages

의 압축강도는 활성화제의 농도와 잔골재의 투입시점에 따른 배합방법의 차이가 강도에 영향을 미치는 영향이 상대적으로 더 큰 것으로 판단된다.

W/B 비에서 잔골재의 투입시점을 달리한 배합방법에 따른 28일 압축강도를 N0의 28일 압축강도에 대한 상대적인 비로 나타내어 정리한 것이 Table 4이다.

두 W/B 비 모두에서 N0와 N1의 배합방법에 따른 강도차이는 3% 이내의 미미한 차이를 보였다. 그러나 잔골재의 투입시점이 늦어지는 N4의 경우 10.8~15.1%의 강도가 증가하는 것을 볼 수 있었다. 이는 잔골재의 투입시기가 늦어질수록 활성화제와 고로슬래그 미분말의 접촉시간이 증가하고, 이에 따라 활성화 반응이 촉진되어 알칼리 활성화 고로슬래그 페이스트의 반응생성물이 증가하였기 때문으로 판단할 수 있다. 이러한 결과를 볼 때 활성화된 고로 슬래그 페이스트 상태가 유지되는 일정시간이 AASC 모르타르의 강도 특성에 영향을 미치는 요인 중 하나로 판단된다. 활성화된 고

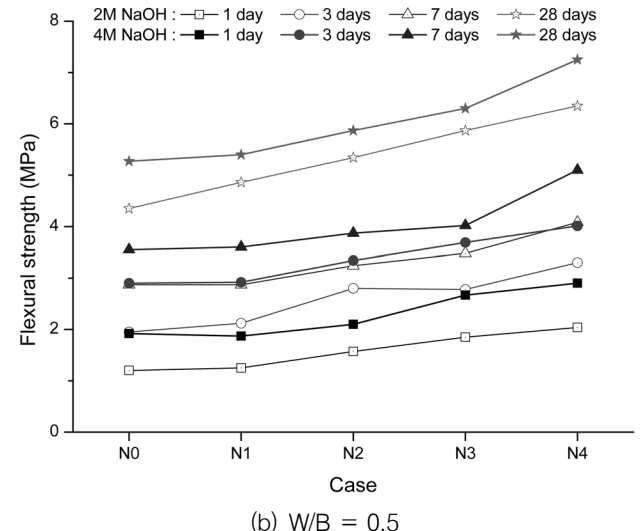
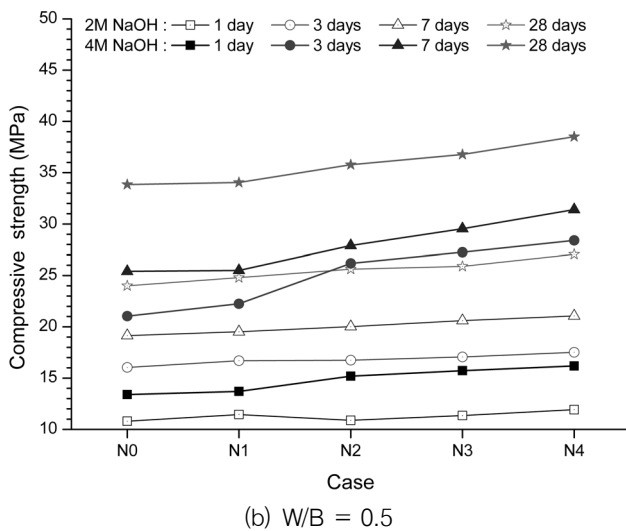
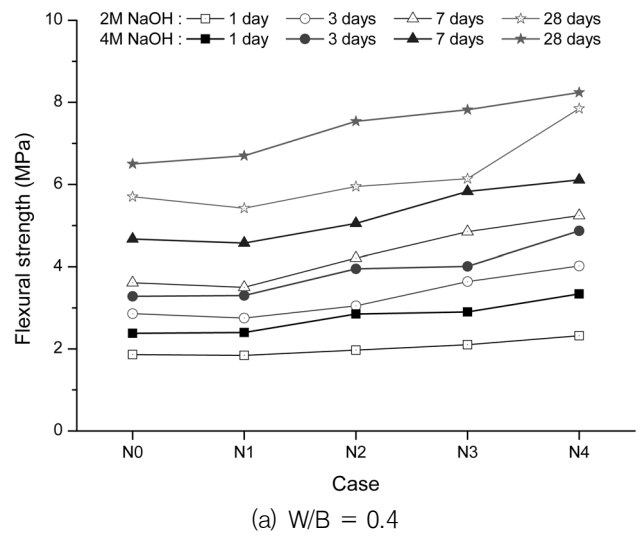
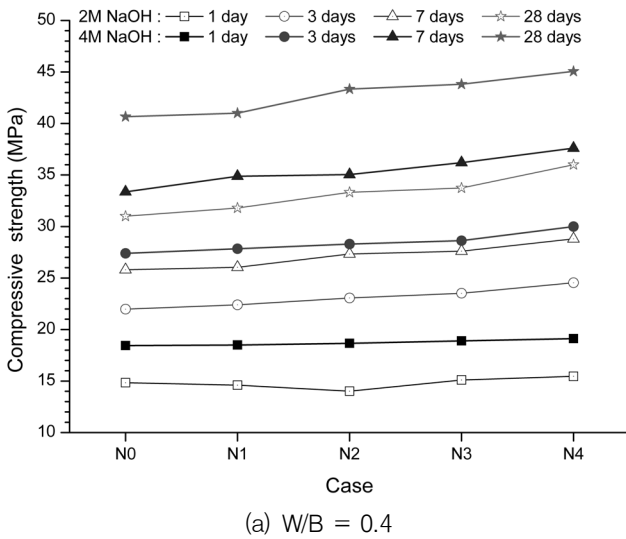


Fig. 3 Compressive strength of mixing method

Fig. 4 Flexural strength of mixing method

Table 4 Relative ratio of compressive strength at 28days

W/B	NaOH	N1/N0	N2/N0	N3/N0	N4/N0
W/B=0.4	2M	1.025	1.074	1.088	1.161
	4M	1.008	1.065	1.077	1.108
W/B=0.5	2M	1.033	1.067	1.078	1.127
	4M	1.005	1.057	1.086	1.137

로 슬래그 페이스트는 페이스트-페이스트의 결합력과 페이스트-잔골재 간의 부착력에 영향을 미치는데, 이러한 페이스트의 활성화 정도가 증가하면 결합력과 부착력이 증가하여 강도 증가에도 효과적인 결과를 나타내는 것으로 생각된다. 이는 Fig. 4에 나타난 배합방법에 따른 휨강도 결과를 통해서 살펴볼 수 있다. Fig. 4에 나타난 바와 같이, 페이스트 상태를 유지하는 시간이 길어지면 (잔골재의 투입 시점이 늦어지

면), 휨강도도 서서히 증가하고 있는 것을 알 수 있었다. 이러한 결과는 압축강도의 특성과 유사한 경향을 나타내었다.

### 3.3 XRD 분석 (XRD)

재령 28일에서 시험체의 XRD 분석 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 활성화제인 수산화나트륨의 농도가 2M에서 4M로 증가한 경우와 물-결합재 비 (W/B)가 0.5에서 0.4로 감소할 때 반응물질의 생성이 많은 것을 관찰할 수 있었다. 또한 배합방법에 따른 특성을 보면 잔골재의 투입시점이 늦어질수록 활성화 반응이 증대되어 반응생성물질들이 증가하고, 그에 따라 강도의 증가가 이루어지는 것으로 판단된다. 따라서 AASC 모르타르의 배합에서 잔골재의 투입시점을 늦게 하

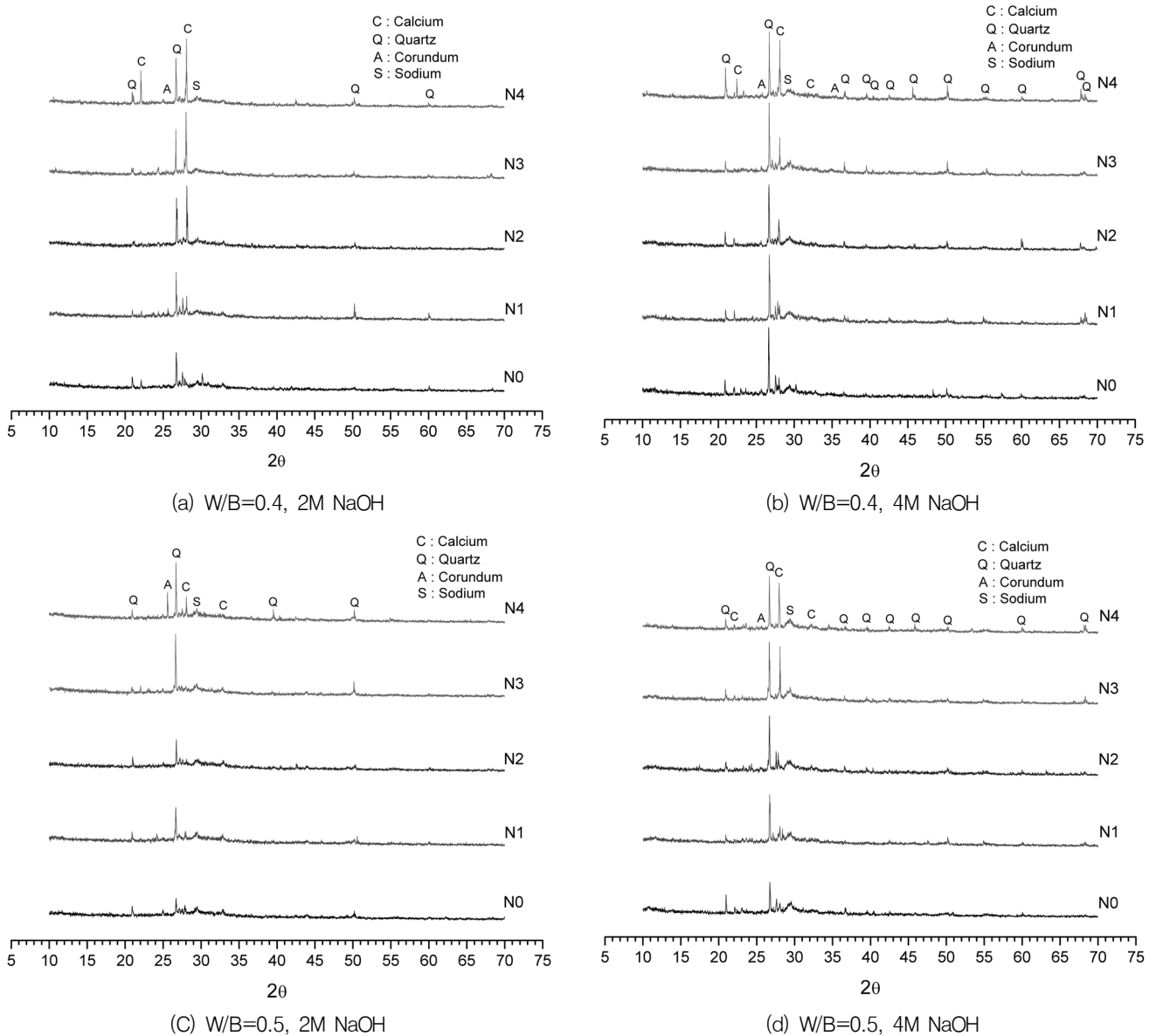


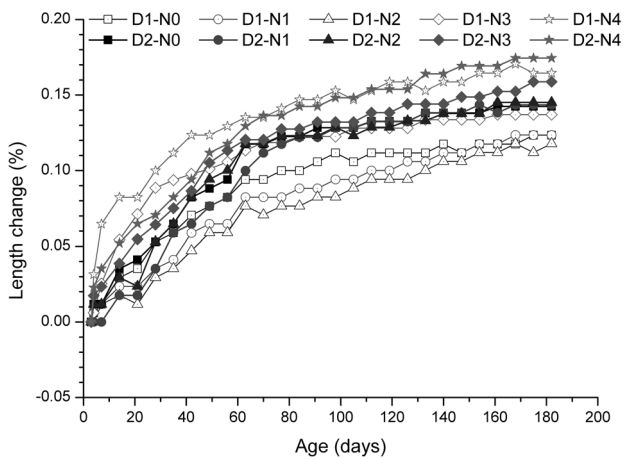
Fig. 5 XRD analysis at 28 days

는 것은 알칼리 활성화제와 고로슬래그 미분말이 혼합된 페이스트 상태의 활성화 반응을 증대시켜 반응생성물질의 생성을 촉진시키고 이를 통해 강도 증대에 기여하는 것으로 판단된다. 본 연구 결과를 통해 기존의 AASC의 특성에 영향을 주는 영향인자들 중에 배합시 고려사항으로 잔골재의 투입시점 또는 페이스트 상태를 유지하는 시간도 함께 고려되어야 할 것으로 생각된다. 이는 추후 AASC를 활용한 프리캐스트 부재의 제작이나 2차 제품의 개발, 나아가서는 건설 현장에서 현재의 포틀랜드 시멘트를 대체한 건설재료로서 사용할 수 있는 배합과 배합 방법의 연구에 기초적인 자료가 될 수 있을 것으로 판단된다.

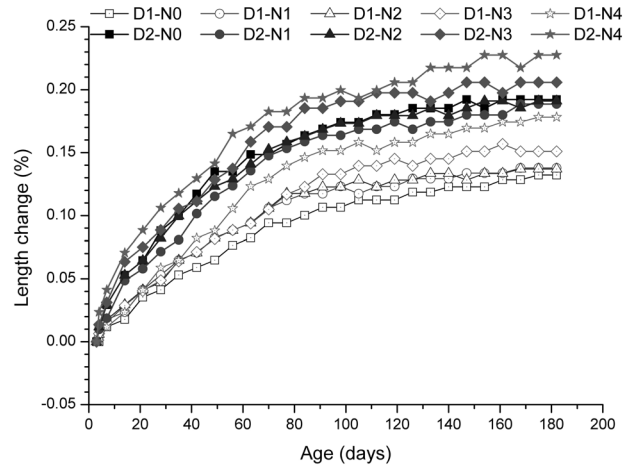
### 3.4 길이변화 (length change)

Fig. 6은 잔골재의 투입 시점을 변화시킨 배합방법에 따른 길이변화를 측정한 결과이다.

잔골재의 투입시점을 달리한 배합방법에 따른 길이변화의 특성을 살펴보면, N0, N1, N2의 배합들의 건조수축경향은 W/B 비에 관계없이 거의 유사한 값들과 경향을 나타내었다. 그러나 N3과 N4의 경우는 다른 배합들과 달리 건조수축이 증가한 것을 볼 수 있었다. 본 연구의 잔골재 투입 시점에 따른 배합방법에 의한 차이가 건조수축에 미치는 영향은 잔골재의 투입시점이 늦은 N3와 N4의 경우를 제외하고는 나



(a) W/B=0.4



(b) W/B=0.5

Fig. 6 Length change

Table 5 Summeryzed length change of different mixing method

W/B ratio	Dosage	Age (days)	Length change (%)				
			N0	N1	N2	N3	N4
W1 (0.4)	D1 (2M)	7	0.0120	0.0117	0.0118	0.0245	0.0646
		28	0.0528	0.0353	0.0295	0.0886	0.0994
		91	0.1058	0.0882	0.0825	0.1225	0.1468
	D2 (4M)	182	0.1234	0.1235	0.1178	0.1371	0.1646
		7	0.0117	0.0054	0.0127	0.0234	0.0353
		28	0.0529	0.0353	0.0530	0.0642	0.0706
W2 (0.5)	D1 (2M)	91	0.1284	0.1221	0.1231	0.1321	0.1425
		182	0.1425	0.1435	0.1451	0.1588	0.1745
		7	0.0117	0.0176	0.0176	0.0153	0.0117
	D2 (4M)	28	0.0412	0.0529	0.0470	0.0487	0.0586
		91	0.1065	0.1173	0.1227	0.1328	0.1517
		182	0.1322	0.1378	0.1381	0.1510	0.1782
D2 (4M)	7	0.0293	0.0187	0.0293	0.0312	0.0412	
	28	0.0880	0.0715	0.0821	0.0885	0.1059	
	91	0.1688	0.1637	0.1684	0.1853	0.1934	
		182	0.1921	0.1885	0.1910	0.2058	0.2275

머지 배합에서는 그 영향이 크지 않은 것으로 나타났다. Table 5는 7, 28, 91, 182일 재령에서의 길이변화를 측정하여 정리한 것이다. 최종 측정인 182일에서의 길이변화를 보면 N0와 비교하여 N4의 길이감소율은 0.031~0.83% 정도 크게 나타나고, N3은 0.013~0.018% 정도의 감소를 나타내었다. 이러한 결과는 알칼리 활성화제와 고로슬래그 미분말을 혼합한 페이스트의 배합시간이 길어짐에 따라 활성화 반응이 증가한 것과, 잔골재의 투입이후 페이스트와의 배합시간이 충분하지 않아 잔골재가 건조수축을 억제하는 효과가 충분히 발현되지 않았기 때문으로 판단된다.

알칼리 활성화 시멘트의 건조수축 발생 원인은 아직까지 명확하지 않지만, 많은 연구자들에 의해 다양한 연구결과를 발표하고 있다. 본 연구의 결과를 통해 살펴본 건조수축의 특성은, 알칼리 활성화 슬래그 페이스트의 활성화 정도, 잔골재의 투입시점과 잔골재 투입 후의 혼합시간 등이 건조수축에 영향을 주는 요인으로 생각된다.

#### 4. 결론

잔골재의 투입 시점을 달리한 배합방법에 따른 알칼리 활

성화 고로 슬래그 모르타르의 강도와 건조수축 특성에 관한 연구결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

## References

- (1) 잔골재의 투입시점은 AASC 모르타르의 유동성에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 잔골재의 투입시점이 늦어질수록 잔골재와 페이스트의 충분한 혼합이 이루어지지 않아 시험체가 균질한 배합 상태를 형성하지 못한 것으로 판단된다.
- (2) 잔골재의 투입 시점이 늦을수록 알칼리 활성화제와 고로슬래그 미분말이 혼합된 페이스트가 충분한 배합시간을 통해 반응생성물의 생성활동을 촉진하고, 반응생성물간의 결합력을 증대시키는 것으로 판단된다. 이러한 결과는 XRD 분석을 통해 확인 할 수 있었다. 그러나 잔골재의 투입시점이 늦어지면 일부 시험체의 강도 향상 정도가 낮은 경우가 발생하였는데, 이는 잔골재와 활성화된 페이스트가 충분히 혼합되어 균질한 모르타르를 형성하는데 필요한 혼합 시간이 부족함으로 판단된다.
- (3) 잔골재의 투입시점이 늦은 N3과 N4의 경우 건조수축이 다소 증가하는 것으로 나타났다. 이는 잔골재 혼합이 균질한 모르타르 시험체를 형성하여 건조수축을 억제하는 효과를 발휘하여야 하는데, 잔골재의 투입시점이 늦을 경우 혼합시간이 상대적으로 작아서 잔골재가 골고루 분포되어 페이스트와의 접촉면적을 증대시키는 효과가 미흡한 것으로 판단된다.
- (4) 본 연구의 결과를 바탕으로 잔골재, 활성화제, 고로슬래그의 특성 등의 고려한 추가적인 연구를 통해, KS의 배합방법 (N0)이외에 AASC의 특성을 고려한 새로운 배합방법 또는 개선된 방법이 필요할 것으로 판단된다. 이는 알칼리 활성화제와 고로 슬래그 미분말이 혼합된 페이스트의 배합 시간을 늘리고, 잔골재의 투입시점 이후 균질한 배합이 될 수 있도록 추가적인 배합시간 또는 균질한 배합을 위해 적절한 혼화제의 사용을 고려한다면 향상된 AASC의 특성을 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

## 감사의 글

본 연구에 도움을 주신 (주)케이알티 (포항)에 감사드립니다.

1. Bakharev, T., Sanjayan, J. G., Cheng, Y. B. (1999), Effect of elevated temperature curing on properties of alkali-activated slag concrete, *Cement and Concrete Research*, 29, 1619-1625.
2. Bernal, S. A., Mejia de Gutierrez, R., Pedraza, A. L., Provis, J. L., Rodriguez, E. D., Delvasto, S. (2011), Effect of binder content on the performance of alkali-activated slag concretes, *Cement and Concrete Research*, 41, 1-8.
3. Escalante-Garcia, J. I., Fuentes, A. F., Gorokhovskiy, A., Fraire-Luna, P. E., Mendoza-Suarez, G. (2003), Hydration Production and Reactivity of Blast-Furnace Slag Activated by Various Alkalis, *Journal of American Ceramic Society*, 86(12), 2148-2153.
4. Fernandez-Jimenez, A., Puertas, F. (2003), Structure of Calcium Silicate Hydrates Formed in Alkaline-Activated Slag: Influence of the Type of Alkaline Activator, *Journal of American Ceramic Society*, 86(8), 1389-1394.
5. Kim, T. W., Hahm, H. G., Lee, S. H., Eom, J. S. (2013), The Fundamental Properties of Alkali-Activated Slag Cement (AASC) Mortar with Different Water-Binder Ratios and Fine Aggregate-Binder Ratios, *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, 17(5), 77-86 (in Korean).
6. Kim, T. W., Park, H. J., Seo, K. Y. (2012), influence of blended activators on the physical properties of Alkali-activated slag mortar, *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, 16(6), 26-33 (in Korean).
7. Li, C., Sun, H., Li, L. (2010), A review: The comparison between alkali-activated slag (Si+Ca) and metakaolin (Si+Al) cements, *Cement and Concrete Research*, 40, 1341-1349.
8. Moon, H. Y., Shin, D. G. (2005), Effect of Alkali Activators on Early Compressive Strength of Blast-Furnace Slag Mortar, *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, 9(3), 120-128 (in Korean).
9. Pacheco-Torgal, E., Abdollahnejad, Z., Camoes, A. F., Jamshidid, M., Ding, Y. (2012), Durability of alkali-activated binders, A clear advantage over Portland cement or an unproven issue?, *Construction and Building Materials*, 30, 400-405.
10. Ravikumar, D., Neithalath, N. (2012), Effects of activator characteristics on the reaction product formation in slag binders activated using alkali silicate powder and NaOH, *Cement & Concrete Composites*, 34, 809-818.
11. Saout, G. L., Haha, M. B., Winnefeld, F., Lothenbach, B. (2011), Hydration Degree of Alkali-Activated Slags: A <sup>29</sup>Si NMR Study, *Journal of American Ceramic Society*, 94(12), 4541-4547.
12. Song, K. I., Lee, S. H., Hong, G. H., Gong, M. H., Song, J. K. (2012), Effects of Basicity on the Carbonation Characteristics of Alkali-Activated Slag Mortar, *Journal of the Korea Concrete Institute*, 24(5), 577-584 (in Korean).
13. Vladimir Živica (2007), Effects of type and dosage of alkaline activator and temperature on the properties of alkali-activated slag mixtures, *Construction and Building Materials*, 21, 1463-1469.



- 
14. Yang, K. H., Song, J. G. (2007), The Properties and Applications of Alkali-Activated Concrete with No Cement, *Magazine of the Korea Concrete Institute*, 19(2), 42-28 (in Korean).
15. Yang, K. H., Song, J. K., Lee, K. H. (2011), A Stress-Strain Relationship of Alkali-Activated Slag Concrete, *Journal of the Korea Concrete Institute*, 23(6), 765-772 (in Korean).

Received : 11/01/2013  
Revised : 12/18/2013  
Accepted : 01/02/2014

---

## 요 지

본 연구는 수산화나트륨(NaOH)으로 활성화된 알칼리 활성화 슬래그 시멘트(alkali-activated slag cement; AASC)의 기초 특성에 관한 실험에 관한 연구이다. 물-결합재 비(W/B)를 0.4와 0.5로 하였다. 그리고 활성화제의 농도를 2M과 4M을 사용하였다. 각 W/B 비에 대해 5가지의 배합을 고려하였다. N0는 KS L 5109의 방법이고 N1~N4는 배합시간, 배합 단계 그리고 잔골재의 투입시점을 다르게 변화시켰다. 시험결과 AASC의 플로우 값, 강도 그리고 건조수축은 잔골재의 투입시점에 영향을 받았다. 플로우 값은 잔골재의 투입시점이 늦춰짐에 따라 감소하는 경향을 나타내었다. 압축강도와 휨강도는 투입시점이 늦어짐에 따라 증가하였다. 더구나 XRD 분석은 이러한 결과들을 뒷받침하고 있었다. 건조수축은 잔골재의 투입시점이 늦어지면 증가하였다. 본 연구에 고려된 실험요인들을 통해 배합을 조절한다면 AASC의 특성을 향상시킬 수 있을 것이다.

**핵심 용어** : 알칼리 활성화 슬래그 시멘트 모르타르, 잔골재, 투입시점

---