

알칼리 활성화 3성분계 혼합시멘트의 레미콘 적용 시험

Application of Alkali-Activated Ternary Blended Cement in Manufacture of Ready-Mixed Concrete

양 완 희^{1*}

황 지 순¹

이 세 현²

Yang, Wan-Hee^{1*}

Hwang, Ji-Soon¹

Lee, Sea-Hyun²

R&D CENTER, Intchem Co., Ltd., Suwon-si, Gyeonggi-do, 443-370, Korea ¹

Advanced Building Research Division, Korea Institute of Construction Technology, Goyang-si, Gyeonggi-Do, 411-712, Korea ²

Abstract

Cement industry is typical carbon-emission industry. If the industrial by-products (granulated blast-furnace slag (GGBFS), fly ash, etc.) are used a large amount, it might be able to reduce cement consumption and mitigate carbon emissions. In this case, however, decrease of early strength is relatively large. Therefore, there is a limitation in increase of the amount of substitute. Considering these circumstances, it would be a good solution to reduce carbon emissions in cement industry to improve the performances of mixed cement through proper alkali-activation in Portland blended cement using GGBFS or fly ash. Therefore, this study prepared concrete in ready-mixed concrete manufacturing facilities with an addition of a binder which used 2.0% modified alkali sulfate activator after mixing Portland cement, GGBFS and fly ash in the ratio of 4:4:2 and assessed its basic properties. The results found the followings: The use of modified alkali-sulfate activator slightly reduced slump and shortened setting time. As a result, bleeding capacity decreased while early strength improved. In addition, there is no big difference in carbonation resistance. It appears that there should be continued experiments and analyses on the related long-term aged specimens.

Keywords : ground granulated blast-furnace slag(GGBS), fly ash, blended cement, alkali activated cement, ready-mixed-concrete, carbonation

1. 서 론

1.1 연구의 목적

시멘트 산업은 대표적인 탄소 배출 산업으로서[1], 콘크리트에 산업부산물인 고로슬래그 미분말과 플라이애시를 다량 사용할 경우 시멘트 사용을 줄이고 탄소 배출을 저감할 수 있으나, 이러한 경우 초기강도의 저하가 비교적 크기 때문에 대체량 증대에 한계가 있다[2,3,4,5,6].

또한 알칼리 활성화 시멘트 콘크리트는 포틀랜드 시멘트

와 비교하여 저에너지 소비, 우수한 강도 성능과 내화화성능 등의 이유로 최근 20여년 동안 전 세계적으로 많은 관심을 받고 있으며[7], 이러한 건설재료의 주요 원료가 되는 고로슬래그나 플라이애시와 같은 산업부산물은 국내에서도 많은 양이 발생되고 있으므로, 알칼리 활성화 시멘트 콘크리트는 국내 산업 환경을 고려할 때 유효한 활용이 가능하다[4,8].

해외의 경우 포틀랜드 시멘트의 사용을 배제하고 알칼리 활성화 시멘트로 콘크리트를 제조하여 건설 공사에 활용한 경우가 다수 보고[7]되고 있지만, 국내의 경우에는 아직 그 사례가 많지 않고 구조용 재료로 활용하는 것에 대한 충분한 검증도 부족한 실정이다.

이러한 현실을 고려할 때 고로슬래그 미분말이나 플라이애시를 다량 활용한 포틀랜드 혼합 시멘트에 적절한 알칼리 활성화를 통해 혼합 시멘트의 성능을 보완하는 방안은 시멘트 산업 분야에서 탄소 배출을 저감할 수 있는 현실적인 방안

Received : September 30, 2016

Revision received : October 18, 2016

Accepted : November 24, 2016

* Corresponding author : Yang, Wan-Hee

[Tel: 82-31-273-0663, E-mail: dangchan74@empas.com]

©2017 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

이 될 수 있다.

또한 이러한 목적을 가지고 알칼리 활성화 혼합시멘트와 관련된 여러 가지 시도와 보고[2,3,4,6,7,8]도 꾸준히 이루어지고 있다.

이에 따라 본 보고에서는 보통포틀랜드 시멘트, 고로슬래그 미분말, 플라이애시를 4:4:2로 혼합하고 알칼리 설페이트계 활성화제(Modified Alkali Sulfate type)를 결합재 중량 대비 2.0%를 혼입하여 레미콘(Ready-Mixed Concrete) 제조 시설에서 콘크리트를 제조하고 재령 초기의 강도향상 여부와 기초적인 특성을 평가한 사례를 보고하고자 하였다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획 및 콘크리트 배합

실험에 사용한 콘크리트의 결합재 구성은 보통포틀랜드 시멘트와 고로슬래그 미분말, 플라이애시를 4:4:2로 혼합한 결합재에 알칼리 설페이트계 활성화제를 2.0% 사용하였다. 이 때 단위결합재량은 360kg/m^3 와 400kg/m^3 두 가지 경우를 대상으로 하였으며 자세한 콘크리트 배합은 Table 1과 같다.

Table 1. Mix proportions of ready-mixed concrete

Specimen	W/B	S/a	Unit weight (kg/m^3)										
			W	Total Binder	OPC	BS	FA	AS	S	G	Ad.(%)		
360-Plain	50.0	49.0	170	360	144.0	144.0	72.0	-	-	-	-	-	-
					-	-	-	-	831	878	1.0		
360-AS	-	-	-	-	141.6	141.6	69.6	7.2	-	-	-	-	-
400-Plain	43.4	44.6	165	400	160.0	160.0	80.0	-	-	-	-	-	-
					-	-	-	-	769	917	1.0		
400-AS	-	-	-	-	157.3	157.3	77.3	8.0	-	-	-	-	-

OPC : Ordinary portland cement
 BS : Blast furnace Slag Powder
 FA : Fly Ash
 AS : Alkali Activator(Modified Alkali Sulfate type)

레미콘 제조 시설은 Figure 1과 같이 인천 송도 지역의 E사의 시설을 활용하여 각 배치별로 레미콘 2m^3 를 제조하였으며, 레미콘 혼합 믹서는 Twin-shaft spiral 타입의 3.5m^3 용량의 배치식 믹서를 활용하였다. 이 때 레미콘 제조에 필요한 모든 원재료는 레미콘사에서 생산용으로 사용하고 있는 재료를 활용하였으며, 알칼리 활성화제의 경우 배치

별 소요량을 개량하여 믹서에 별도로 투입하였다.

생산된 레미콘의 평가를 위해 굳지 않은 콘크리트의 성능으로 공기량과 슬럼프 및 블리딩과 응결 시험을 실시하였으며, 경화 콘크리트의 경우에는 재령에 따라 압축강도 및 축진 탄산화 시험을 실시하여 알칼리 설페이트계 활성화제의 사용에 따른 콘크리트 성질의 변화를 관찰하고자 하였다.

실험 계획에 의한 콘크리트 성능평가 시험 항목은 Table 2와 같다.



Figure 1. Ready-mixed concrete plant and manufacture

Table 2. Measurement items

Items	Time of measurement
Slump / Air contents	initial / 60min
Bleeding	~ 5hours
Setting time	~ 8hours
Compressive strength	2 / 3 / 7 / 28 / 56 days
Carbonation	4 / 8 / 12 weeks

2.2 사용재료

본 연구에서 사용한 재료의 특성은 Table 3 및 Table 4에 나타낸 바와 같이 시멘트는 1종 포틀랜드 시멘트(밀도 3.14g/cm^3 , 분말도 $3,350\text{cm}^2/\text{g}$), 고로슬래그는 3종 고로

슬래그 미분말(밀도 2.89g/cm³, 분말도 4,100cm²/g), 플라이애시는 2중 플라이애시(밀도 2.24g/cm³, 분말도 3,430cm²/g)를 사용하였으며, 굵은 골재와 잔골재는 최대 치수 25mm인 부순 자갈과 세척사를 사용하였다. 알칼리 활성화제는 Table 5와 같이 국내 I사에서 제조한 알칼리 설페이트계 재료를 사용하였으며, 화학 혼화제로는 고흡분함량 16%의 폴리카르복산계 고성능 감수제(Polycarboxylate-based superplasticizer)를 사용하였다.

Table 3. Physical properties of cementitious materials

	Density (g/cm ³)	Blaine (cm ² /g)	Compressive Strength (MPa)			Activity Index (%)	
			3d	7d	28d	28d	56d
OPC	3.14	3,350	34.8	44.1	55.6	-	-
BS	2.89	4,100	-	-	-	93	107
FA	2.24	3,430	-	-	-	94	98

Table 4. Physical properties of aggregate

	Density(g/cm ³)	Fineness Modulus	Absorption (%)
Coarse aggregate	2.62	6.84	1.17
Fine aggregate	2.54	2.64	1.03

Table 5. Properties of alkali activator

Type	Appearance	Density (g/cm ³)	Chemical composition(%)	
Modified Alkali Sulfate type	Light gray inorganic Powder	2.75±0.05	CaO	27~34
			SiO ₂	2~6
			Al ₂ O ₃	< 5
			Fe ₂ O ₃	< 5
			Na ₂ O	10~14
			K ₂ O	< 4
			SO ₃	45~55

2.3 시험방법

콘크리트의 슬럼프 및 공기량의 측정은 KS F 2402 「콘크리트의 슬럼프 시험방법」[9]과 KS F 2421 「압력법에 의한 굳지 않은 콘크리트의 공기량 시험방법」[10]에 의해 시험을 실시하였다.

콘크리트의 블리딩 시험은 KS F 2414 「콘크리트의 블리딩 시험방법」[11]에 의해 측정하였으며, 블리딩량은 다음식과 같이 계산하였다.

$$B_q = \frac{V}{A} \text{-----} (1)$$

여기에서,

B_q : 블리딩량(m³/m²)

V : 마지막 까지 누계한 블리딩에 의한 물의 용적(m³)

A : 콘크리트 윗면의 면적(m²)

콘크리트의 응결시간은 KS F 2436 「관입 저항침에 의한 콘크리트 응결 시간 시험 방법」[12]에 의해 측정하였으며, 시험체의 경화 정도에 따라 관입침에 의한 관입저항이 28MPa 이상이 될 때까지 시험을 실시하였다. 이 때 실험실의 온도는 20~25℃ 범위를 유지하였으며, 초결시간은 관입저항이 3.5MPa가 될 때까지의 소요 시간, 종결시간은 관입저항이 28.0MPa가 될 때까지의 소요 시간으로 하였다.

압축강도 시험은 KS F 2405 「콘크리트의 압축강도 시험 방법」[13]에 의해 Ø100×200mm의 원주 공시체를 제작하여 계획된 재령까지 수중양생(20±1℃)을 실시한 후 재령 2, 3, 7, 28, 56일에 각각 시험체 3개를 측정하여 평균값을 얻었다.

콘크리트의 탄산화 저항성을 평가하기 위한 시험은 100×100×400mm 크기의 시험체를 제작한 후 KS F 2584 「콘크리트의 촉진 탄산화 시험방법」[14]에 의해 온도 20±2℃, 상대습도 60±5%, CO₂ 농도 5±0.2% 조건의 촉진 탄산화 환경에 시험체를 노출하였다. 시험체는 촉진 탄산화 환경에 노출하기 전 양생으로서 탈형 후 20±1℃ 수중양생을 4주간 실시한 후 온도 20±2℃, 상대습도 60±5%의 항온항습실에서 4주간 기중양생을 실시하였다. 탄산화 깊이의 측정은 촉진 탄산화 환경에 노출 후 재령 4, 8, 12주에서 시험체 할렬 후 페놀프탈레인 1% 용액을 분무하여 색깔의 변화가 없는 부분을 각 시험체당 상하면의 10군데를 0.01mm까지 측정하여 그 평균값을 탄산화 깊이로 산정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 슬럼프 및 공기량

레미콘 제조 시설을 통한 콘크리트의 제조시 알칼리 활성화제의 활용에 따른 제조상의 특이사항은 없었으나, 분말형의 알칼리 설페이트계 활성화제를 소량 사용하므로 혼합시간은 90초를 유지하였다.

제조된 콘크리트의 공기량과 슬럼프 시험결과는 Table 6 및 Figure 2, Figure 3과 같다.

Table 6. Properties of fresh concrete

Specimen	Air Content(%)		Slump(mm)	
	0min	60min	0min	60min
360-Plain	4.00%	3.60%	190	160
360-AS	3.70%	3.70%	180	155
400-Plain	4.30%	3.70%	180	180
400-AS	4.10%	3.90%	175	170

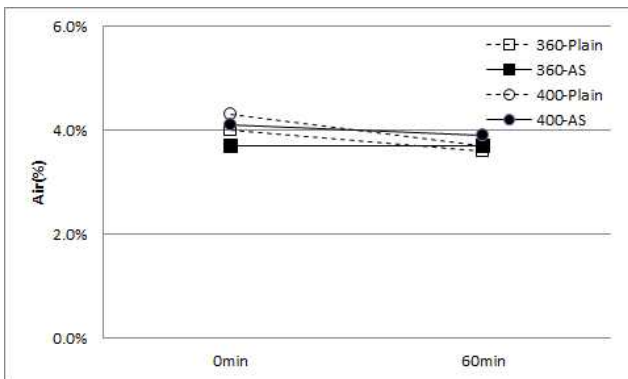


Figure 2. Air content (%)

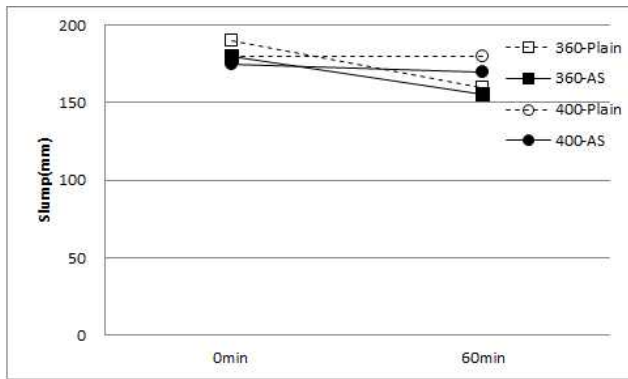


Figure 3. Slump(mm)

공기량의 경우 콘크리트 제조 1시간 이후 배치에 따라 3.6~3.9%의 범위로 다소 낮은 수준을 나타내었는데, 알칼리 설페이트계 활성화제의 활용에 따른 변화는 크지 않았다.

슬럼프의 경우에는 콘크리트 제조 1시간 이후 배치에 따라 155~180mm를 나타냈으며, 단위분체량이 상대적으로 많은 400-series가 360-series 보다 다소 높은 수준을 나타내었다. 또한 1시간 이후의 슬럼프 손실량은 360-series

가 25~30mm를 나타냈으나 400-series는 5mm 내외로 손실량이 크지 않은 것으로 나타났다.

알칼리 설페이트계 활성화제의 활용에 따른 슬럼프의 변화는 배합별로 5~10mm 정도 감소하는 경향을 나타내므로 우려할 수준은 아니지만 향후 현장 적용시 이러한 현상을 고려할 필요가 있을 것으로 판단된다.

3.2 블리딩 및 응결

콘크리트 제조 후 5시간까지의 블리딩 시험에 의한 블리딩량의 측정 결과는 Table 7 및 Figure 4, Figure 5와 같다.

Table 7. Result of bleeding test(bleeding capacity(cm^3/cm^2))

Specimen	0hr	1hr	2hr	3hr	4hr	5hr
360-Plain	0.00	0.06	0.11	0.15	0.18	0.20
360-AS	0.00	0.04	0.09	0.12	0.16	0.17
400-Plain	0.00	0.03	0.07	0.09	0.11	0.13
400-AS	0.00	0.02	0.06	0.08	0.10	0.12

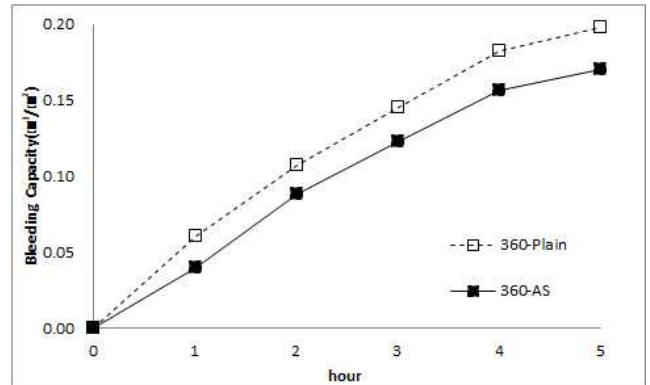


Figure 4. Bleeding capacity(unit binder : 360kg/m³)

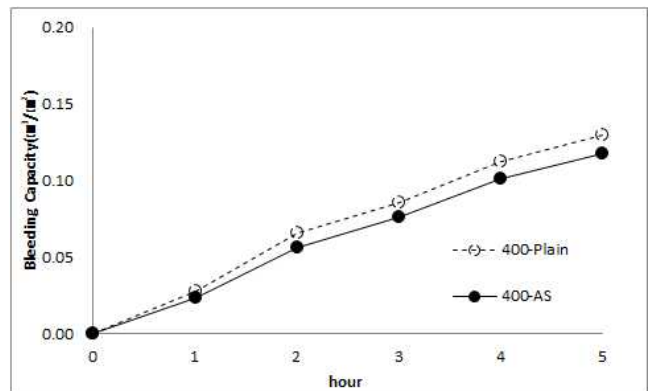


Figure 5. Bleeding capacity(unit binder : 400kg/m³)

5시간까지 블리딩량은 360-series가 $0.17\sim 0.20\text{cm}^3/\text{cm}^2$ 의 범위를 나타내었으며, 400-series는 $0.12\sim 0.13\text{cm}^3/\text{cm}^2$ 의 범위를 나타내어 단위분체량이 다소 높은 400-series가 블리딩량이 상대적으로 적었다. 또한 알칼리 설페이트계 활성화 화제의 활용에 따라 360-series나 400-series 모두 블리딩량이 다소 감소하는 경향이 있었다. 이는 알칼리 활성화에 따라 수화반응시 결합재의 반응성 향상과 이에 따른 결합수의 소모와 일부 관련이 있는 것으로 추정된다.

경화 과정에서 콘크리트의 관입저항에 의한 응결 시간을 측정한 결과는 Figure 6 및 Table 8과 같다.

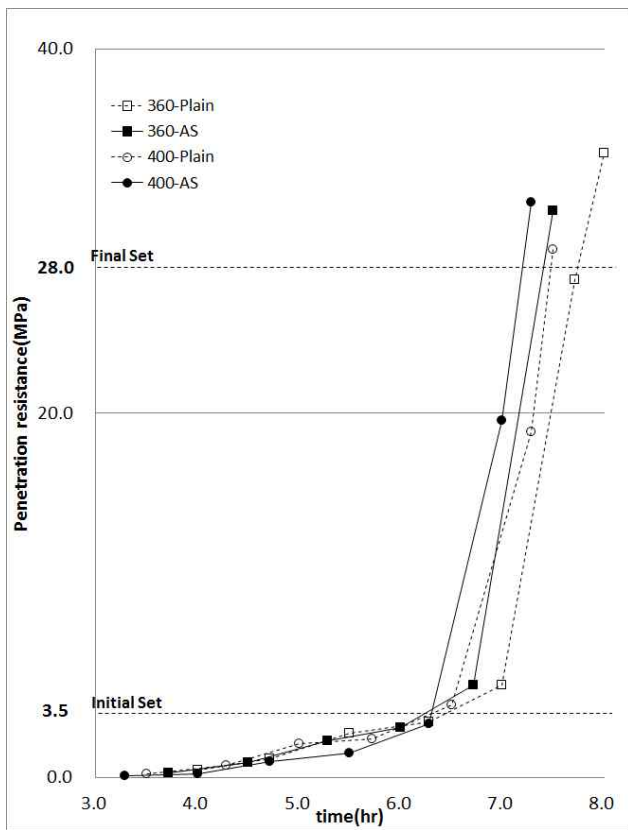


Figure 6. Penetration resistance of fresh concrete

Table 8. Setting time of concrete

Specimen	Initial setting time	Final setting time
360-Plain	6hours 26min.	7hours 45min.
360-AS	6hours 15min.	7hours 24min.
400-Plain	6hours 19min.	7hours 33min.
400-AS	6hours 15min	7hours 12min.

초결 시간의 경우 시험체에 따라 6시간 15분에서 6시간 26분의 범위를 나타냈으며, 종결의 경우 7시간 12분에서 7시간 45분의 범위를 나타냈다.

단위결합재량이 많은 400-series가 전반적으로 다소 빠른 응결 시간을 나타냈으며, 알칼리 설페이트계 활성화제의 활용에 따라 배합별로 초결 시간은 4~11분, 종결 시간은 19~21분이 단축되는 것으로 나타났다. 하지만 시험체 제조 후 4~5시간까지는 알칼리 설페이트계 활성화제의 활용에 따른 관입저항의 차이가 거의 없었으며 6시간 이후부터 관입저항이 변화하였으므로 급격한 작업시간의 손실에 대한 우려는 없는 것으로 판단된다.

3.3 압축강도

재령에 따른 압축강도의 측정 결과는 Table 9 및 Figure 7, Figure 8과 같다.

360-series의 경우 알칼리 설페이트계 활성화제의 활용에 따라 재령 2일, 3일, 7일에 10~12%의 강도 증진이 있었으며, 재령 28일에서는 강도증진효과가 거의 없고, 재령 56일에서는 오히려 약 2% 수준의 강도 감소가 있었다.

400-series의 경우 알칼리 설페이트계 활성화제의 활용에 따라 재령 2일, 3일, 7일에 11~27%의 강도 증진이 있었으며, 재령 28일에서는 약 6%의 강도 증진이 있었으나, 재령 56일에서는 역시 약 2% 수준의 강도 감소가 있었다. 특히 400-series의 경우 재령 3일에 알칼리 설페이트계 활성화제의 활용에 의한 강도 증진 효과가 27%로 비교적 우수한 효과가 나타났다.

알칼리 설페이트계 활성화제를 사용한 경우 재령 초기의 강도 향상은 기존의 연구[2,3,4,6,8]와 같이 알칼리 설페이트계 활성화제에 의해 고로슬래그나 플라이애시가 좀 더 빠르게 반응이 이루어진 결과로 판단된다.

또한 재령 28일 이후의 경우에는 알칼리 설페이트와 보통 포틀랜드 시멘트의 C_3A 가 재령 초기에 에트링자이트 (Ettringite, $3CaOAl_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O$)를 생성하는 반응이 촉진되었고, 이러한 반응에 의해 C_3A 의 소모가 많았던 것이 압축강도가 다소 감소한 원인인 것으로 추정된다. 참고적으로 포틀랜드 시멘트의 반응과 관련된 기존의 문헌[15]에서는 알칼리 설페이트가 존재할 때 재령 초기의 포틀랜드 시멘트의 C_3S 는 반응이 증가하나 최종강도는 재령초기 C_3A 의 소모량과 반비례하여 감소하는 경향이 있다고 기술하고 있다.

따라서 알칼리 설페이트계 활성화제의 활용은 재령 2일, 3일, 7일과 같은 비교적 초기 재령에 우수한 효과가 있으며, 재령 28일에서는 plain 시험체와 유사한 수준을 나타내다가 그 이후의 장기 재령에서는 강도 증진이 다소 감소하는 현상이 있으나, 고로슬래그나 플라이애시와 같은 혼화재료를 다량 사용할 경우 초기강도의 저하가 비교적 크게 나타나는데 이러한 현상을 일부 완화 시키는 데에 효과적으로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

Table 9. Result of compressive strength(MPa)

Specimen	2d	3d	7d	28d	56d
360-Plain	8.1	11.9	19.8	37.5	43.1
360-AS	9.1	13.2	21.8	37.3	42.4
400-Plain	9.6	12.4	23.5	38.2	44.7
400-AS	10.7	15.8	26.9	40.4	43.8

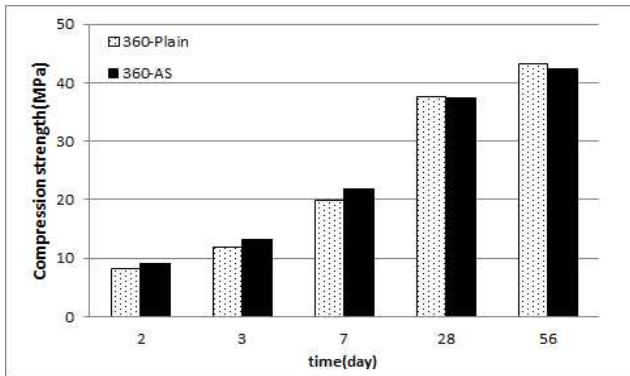


Figure 7. Compressive strength(unit binder : 360kg/m³)

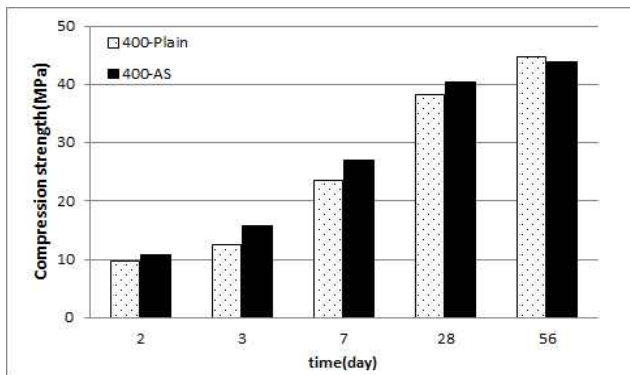


Figure 8. Compressive strength(unit binder : 400kg/m³)

3.4 탄산화 저항성

Table 10 및 Figure 9는 촉진 탄산화 시험에 의한 시험체

별 탄산화 깊이를 측정된 결과를 나타낸 것이다.

360-series의 경우 12주간 촉진탄산화 양생을 한 결과 13.33~13.53mm의 범위를 나타냈으며 400-series의 경우 13.05~13.67mm의 범위를 나타냈다.

각 배합별 알칼리 설페이트계 활성화제의 활용에 따라 탄산화 깊이가 다소 감소하였으나 알칼리 설페이트계 활성화제를 사용하지 않은 경우와 큰 차이는 없었다.

Table 10. Results of carbonation depth

Weeks	Specimen	Carbonation Depth(mm)
4	360-Plain	5.61
	360-AS	5.96
	400-Plain	5.98
	400-AS	5.66
8	360-Plain	12.61
	360-AS	11.50
	400-Plain	11.57
	400-AS	10.71
12	360-Plain	13.53
	360-AS	13.33
	400-Plain	13.67
	400-AS	13.05

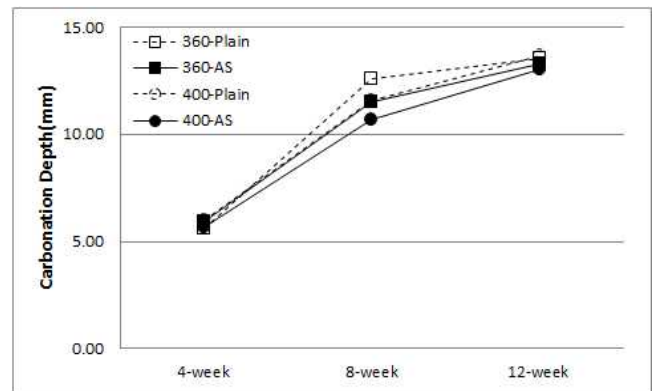


Figure 9. Results of carbonation depth(mm)

기존의 연구[16,17]에서는 알칼리 활성화 시멘트 콘크리트가 보통 포틀랜드 시멘트보다 탄산화 저항성이 더 낮다고 보고되고 있는데, 본 보고에서는 보통 포틀랜드 시멘트 콘크리트에 의한 시험체와의 직접적인 비교가 아닌, 동일한 결합재의 구성에서 알칼리 설페이트계 활성화제의 활용 여부에 따른 비교 관찰을 진행하였으므로 알칼리 설페이트계 활성화제의 활용이 탄산화 저항성의 변화에 큰 영향이 없는 것으로 나타났다.

4. 결 론

보통포틀랜드 시멘트, 고로슬래그 미분말, 플라이애시를 4:4:2로 혼합한 3성분계 시멘트에 알칼리 설페이트계 활성화제(Modified Alkali Sulfate type)를 2.0% 사용한 결합재를 이용하여 레미콘(Ready-Mixed Concrete) 제조 시설에서 콘크리트를 제조하고 그 기초적인 특성을 평가한 결과는 다음과 같다.

- 1) 알칼리 설페이트계 활성화제의 활용에 따른 공기량의 변화는 크지 않았으며, 슬럼프의 변화는 배합별로 5~10mm 정도 감소하는 경향을 나타내므로 향후 현장 적용시 이러한 현상을 고려할 필요가 있을 것으로 판단된다.
- 2) 알칼리 설페이트계 활성화제의 활용에 따라 블리딩량이 다소 감소하는 경향이 있었으며, 경화 과정에서 콘크리트의 관입저항에 의한 응결 시간을 측정된 결과는 알칼리 설페이트계 활성화제의 활용에 따라 배합별로 초결 시간은 4~11분, 종결 시간은 19~21분이 단축되는 것으로 나타났으나 시험체 제조 후 4~5시간까지는 알칼리 활성화제의 활용에 따른 관입저항의 차이가 거의 없었으므로 급격한 작업시간의 손실에 대한 우려는 없는 것으로 판단된다.
- 3) 알칼리 설페이트계 활성화제의 활용에 따라 360-series의 경우 재령 2일, 3일, 7일에 10~12%의 강도 증진이 있었으며, 400-series의 경우 재령 2일, 3일, 7일에 11~27%의 강도 증진이 있었다. 따라서 알칼리 설페이트계 활성화제의 활용은 고로슬래그나 플라이애시와 같은 혼화재료를 다량 사용할 경우 초기강도가 저하하는 현상을 일부 완화 시키는 데에 효과적으로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.
- 4) 각 배합별 알칼리 설페이트계 활성화제의 활용에 따라 탄산화 깊이가 다소 감소하였으나 알칼리 설페이트계 활성화제를 사용하지 않은 경우와 큰 차이는 없었으며, 이에 따라 동일한 결합재 조건에서 알칼리 설페이트계 활성화제의 활용이 탄산화 저항성의 변화에 큰 영향이 없는 것으로 판단된다.

이상과 같이 고로슬래그 미분말 및 플라이애시를 사용한

3성분계 혼합시멘트에서 알칼리 설페이트계 활성화제의 활용으로 슬럼프는 다소 감소하고 응결 시간이 단축되는 현상이 있었으나, 블리딩이 감소하고 초기 강도가 개선되었으며, 탄산화 저항성은 큰 차이가 없었다. 향후 이와 관련하여 장기 재령의 시험체를 대상으로 한 실험과 분석이 지속적으로 이루어져야 할 것으로 판단된다.

또한 본 보고에서와 같은 다양한 혼합시멘트의 알칼리 활성화 현상에 대해 미세구조, 성분, 성상 분석 시험 등을 통하여 그 화학반응과 관련된 규명이 지속적으로 수행될 필요가 있다고 생각된다.

요 약

시멘트 산업은 대표적인 탄소 배출 산업으로서, 콘크리트에 산업부산물인 고로슬래그 미분말과 플라이애시를 다량 사용할 경우 시멘트 사용을 줄이고 탄소 배출을 저감할 수 있으나, 이러한 경우 초기강도의 저하가 비교적 크기 때문에 대체량 증대에 한계가 있다. 이러한 현실을 고려할 때 고로슬래그 미분말이나 플라이애시를 다량 활용한 포틀랜드 혼합시멘트에 적절한 알칼리 활성화를 통해 혼합시멘트의 성능을 보완하는 방안은 시멘트 산업 분야에서 탄소 배출을 저감할 수 있는 현실적인 방안이 될 수 있다.

이에 따라 본 보고에서는 보통포틀랜드 시멘트, 고로슬래그 미분말, 플라이애시를 4:4:2로 혼합하고 알칼리 설페이트계 활성화제(Modified Alkali Sulfate type)를 2.0% 사용한 결합재를 적용하여 레미콘(Ready-Mixed Concrete) 제조 시설에서 콘크리트를 제조하고 그 기초적인 특성을 평가하였다. 그 결과 알칼리 설페이트계 활성화제의 활용으로 슬럼프는 다소 감소하고 응결 시간이 단축되는 현상이 있었으나, 블리딩이 감소하고 초기 강도가 개선되었으며, 탄산화 저항성은 큰 차이가 없었다. 향후 이와 관련하여 장기 재령의 시험체를 대상으로 한 실험과 분석이 지속적으로 이루어져야 할 것으로 판단된다.

키워드 : 고로슬래그 미분말, 플라이애시, 혼합시멘트, 알칼리 활성화 시멘트, 레미콘, 탄산화

Acknowledgement

This research was supported by Embodied Impacts

of Building and Low Carbon Construction Materials of grant funded by the Ministry of Land, Infrastructure, and Transport.

References

1. International Energy Agency(IEA) and World Business Council for Sustainable Development(WBCSD). Cement technology roadmap 2009. Paris(France):Corlet, 2010.
2. Ryu DW, Kim WJ, Yang WH, You JH, Ko JW. An experimental study on the freezing–thawing and chloride resistance of concrete using high volumes of GGBS. *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, 2012 Jun;12(3):.315–23.
3. Ryu DW, Kim WJ, Yang WH, Park DC. Experimental study on the carbonation and drying shrinkage of concrete using high volumes of ground granulated blast–furnace slag. *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, 2012 Aug;12(4):393–400.
4. Yang WH, Ryu DW, Kim WJ, Park DC, Seo CH. An experimental study on early strength and drying shrinkage of high strength concrete using high volumes of ground granulated blast–furnace slag(GGBS). *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, 2013 Aug;13(4):391–99.
5. ACI Committee 206. Ground granulated blast–furnace slag as cementations constituent in concrete. *ACI Materials Journal*, 2009;84(34):327–42.
6. Yang WH, Hwang JS, Jeon CS, Lee SH. An experimental study on the chloride attack resistibility of alkali–activated ternary blended cement concrete. *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, 2016 Aug;16(4):321–9.
7. Shi C, Krivenko PV, Roy D. Alkali–activated cement and concretes. New York(USA): Taylor & Francis; 2006. p. 1–4.
8. Yang WH. Properties of alkali–activated portland blast–furnace slag cement concrete [Ph. D. Thesis]. [Seoul(Korea)]: Konkuk University; 2014. 98 p.
9. Korean Standards Association, Method of test for slump of concrete [KS F 2402]. Seoul(Korea):Korean Standards Association; 2012.
10. Korean Standards Association, Standard test method for air content of fresh concrete by the pressure method:air receiver method [KS F 2421]. Seoul (Korea):Korean Standards Association; 2011.
11. Korean Standards Association, Standard test method for bleeding of concrete [KS F 2414]. Seoul (Korea):Korean Standards Association; 2015.
12. Korean Standards Association, Testing method for time of setting of concrete mintures by penetration resistance [KS F 2414]. Seoul(Korea):Korean Standards Association; 2015.
13. Korean Standards Association, Standard test method for compressive strength of concrete [KS F 2405]. Seoul(Korea):Korean Standards Association; 2010.
14. Korean Standards Association, Standard test method for accelerated carbonation of concrete [KS F 2584]. Seoul (Korea):Korean Standards Association; 2015.
15. Taylor HFW. Cement chemistry. UK:Thomas Telford Publishing Company Ltd; 1990. p. 236–7.
16. Bakharev T, Sanjayan JG, Cheng YB. Resistance of alkali–activated slag concrete to carbonation. *Cement and Concrete Research*, 2001;31(9):1277–83.
17. Shi C. Corrosion resistance of alkali–activated slag cement. *Advances in Cement Research*, 2003;15(2):77–81.