

슬래그 활용 콘크리트의 동절기 적용 성능 평가

유조형¹, 김우재^{2*}

Application Properties of Slag Concrete in Winter Season

Jo-Hyeong Yoo¹, Woo-Jae Kim^{2*}

Abstract: Concrete made with ground granulated blast-furnace slag(GGBS) has many advantage, including improved durability, workability and economic benefits. GGBS concrete is that its strength development is considerably slower under standard 20°C curing conditions than that of portland cement concrete, although the ultimate strength is higher for same water-binder ratio. GGBS is not therefore used in application where high early age strength is required. In this study, to overcome the limitation of the initial strength decrease due to the use of slag, the slag substitution rate was changed to 30% under the low temperature curing temperature condition and the slag used concrete composition with the same or higher strength performance as OPC(Ordinary Portland Cement).

Keywords: Ground granulated blast-furnace slag(GGBS), Alkali-activator, Winter-Season

1. 서 론

콘크리트의 고성능화 및 자원의 유효활용, 환경부하 저감, 지구온난화의 요인인 CO₂ 배출량 저감 등의 관점에서 산업부산물인 고로슬래그를 대량으로 혼입한 콘크리트에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며 그 사용량 또한 급증하고 있는 추세이다(Ferraris et al., 2001).

현재 고로슬래그 시멘트는 보통포틀랜드 시멘트에 고로슬래그 미분말을 혼합하거나 클링커와 고로슬래그를 혼합분쇄 또는 단독분쇄 후 혼합 제조하는 혼합시멘트로서 고로슬래그시멘트에서는 슬래그의 함유량에 따라 1종, 2종, 3종으로 규정되어 있으며, 국내에서 유통되고 있는 고로슬래그 시멘트의 약 90% 이상은 2종으로 슬래그의 함유량은 30~60%이다. 또한 국내 고로슬래그 미분말 판매량의 대부분은 시멘트용 혼화재료로 사용되고 있으며 별도의 소성이 필요 없기 때문에 콘크리트 제조시 치환율에 비례해서 대량의 CO₂ 저감효과를 기대할 수 있을 뿐만 아니라 원가절감이 가능한 시멘트 대체 재료이다(Chan and Wu, 2000).

이러한 고로슬래그를 혼입한 콘크리트는 수화발열량 감소, 수밀성 증대, 장기강도 향상, 알칼리골재반응 억제, 염해 및 동결융해 저항성, 화학적 부식저항성 등이 현저히 향상되는 것으로 알려져 있으며 이에 반해 초기강도 발현저하, 자기수축 및 초기 건조수축 증대, 중성화 촉진 등은 문제점으로 지적되고 있다. 특히 고로슬래그의 치환율 증가에 따른 저온에서의 초기강도 저하 문제 때문에 국내 동절기 공사에 있어서 초기강도 저하에 따른 동해 및 거푸집 존치기간의 증가로 인한 현장적용의 어려움이 있는 것이 실정이다. 이에 본 연구의 목적은 동절기에도 일정량 이상의 고로슬래그를 사용할 수 있도록 알칼리 활성화재를 활용하여 동절기 콘크리트 제조시 문제점인 슬래그 사용에 대한 문제점을 해결하고 동절기에 현장적용이 가능한 고로슬래그의 최적 혼입율을 산정하고자 한다(Hester et al., 2005).

따라서 본 연구에서는 슬래그의 사용으로 인한 초기강도 저하의 한계점을 극복하기 위하여 저온 양생온도 조건하에서 슬래그 치환율을 최대 30%까지 치환하면서 OPC(Ordinary Portland Cement) 동등 이상의 강도발현 성능을 가지는 슬래그 활용 동절기 콘크리트 배합을 제안하고자 한다.

또한, 경제성을 고려한 최소한의 알칼리 자극제를 사용하여 동절기에서도 슬래그 치환 콘크리트의 초기강도를 OPC수준으로 확보하는데 그 목적이 있다.

¹정회원, 포스코건설 엔지니어링본부 과장

²정회원, 포스코건설 엔지니어링본부 부장, 교신저자

*Corresponding author: wjkim@poscoenc.com

Engineering Center, POSCO Engineering & Construction, Incheon Songdo 22009, Korea

•본 논문에 대한 토의를 2017년 12월 1일까지 학회로 보내주시면 2018년 1월 호에 토론결과를 게재하겠습니다.

2. 실험 계획 및 방법

2.1 실험 계획 및 콘크리트 배합

본 연구의 결과를 도출하기 위하여 다음 Table 1과 같이 슬래그 치환율별 강도발현 성능, 알칼리 활성화 자극제의 종류별 성능, 압축강도 및 양생온도에 따른 강도발현 성능 등을 종합적으로 평가하여, 최종적으로 슬래그 치환율을 30%까지 사용하면서 동절기에도 초기강도 발현이 가능한 최적배합을 도출하였다. 콘크리트의 배합은 현재 국내 레미콘에서 일반적으로 사용되고 있는 24 MPa, 35 MPa 배합의 결합재량 및 물결합재비를 기준으로 선정하였으며, OPC를 사용하는 배합을 기준으로 슬래그 치환율에 따른 단위수량 및 골재량을 조정하여 배합설계를 진행하였다 (Lee et al., 2007, Architectural Institute of Japan 1996).

알칼리 활성화 자극제의 경우 저온에서의 초기강도 확보를 위해 Na₂O 및 SO₃의 함량 조정을 통하여 초기강도 발현성능 및 유동성이 우수한 최적의 알칼리 활성화 자극제를 선정하여 사용하였으

며, 경제성을 고려하여 그 사용량을 결합재의 1.0% 이하로 설정하였다(Yang, 2014).

굳지 않은 콘크리트의 특성으로서 목표 슬럼프 값은 150±25 mm, 공기량은 4.5±0.5%를 만족하도록 하였으며, 블리딩 및 응결 특성을 비교 검토하였다. 또한 경화 콘크리트의 특성으로서 양생온도에 따른 강도발현 성능을 검토하였다.

2.2 사용재료

본 연구에서 사용한 재료의 물리적 성질은 Table 2에 나타난 바와 같이 시멘트는 1종 보통포틀랜드 시멘트 (KS L 5201, 비중 3.15 g/cm³), 고로슬래그는 3종 고로슬래그 미분말 (KS F 2563, 비중 2.90 g/cm³, 분말도 4,341 cm²/g), 알칼리 자극제는 Modified-Alkali-Calcium-Sulfate 계를 사용하였으며, 이들의 화학적 성질은 Table 3 및 Table 4와 같다. 굵은 골재는 최대치수 25 mm인 부순 자갈을 사용하였으며, 잔골재는 세척사를 사용하였다. 화학 혼화제로는 폴리카르본산계 AE감수제를 사용하였다.

Table 1 Factors of experiment

Experiment No.	Compressive Strength(MPa)	Contents
1	24	GGBS replacement 0, 10, 20, 30(%)
2		GGBS replacement 0, 20, 30(%) Alkali Activator type 1, 2, 3 Curing Temperature 20, 5(°C)
3	24, 35	GGBS replacement 0, 10, 20, 30(%) Alkali Activator 1.0(%) Curing Temperature 20, 10, 5(°C)
4		GGBS replacement 30(%) Alkali Activator 1.0, 1.2% Curing Temperature 20, 5(°C)
5 (Final)		GGBS replacement 30(%) Alkali Activator 1.0(%) Curing Temperature 20, 5(°C)

Table 2 Physical properties of Materials

Type	Items	Specific gravity(g/cm ³)	Blaine (cm ² /g)	Absorption (%)
Cement(OPC)		3.15	3,419	-
	GGBS	2.90	4,341	-
Alkali activator		2.75	-	-
Coarse aggregate		2.62	-	1.03
Fine aggregate		2.59	-	0067

3. 실험내용

3.1 슬래그 치환율별 강도발현 성능(실험 I)

실험(I)은 OPC 배합을 기준으로 고로슬래그 치환율에 따른 초기강도 발현성능을 평가하기 위해 다음 Table 5 나타난 압축강도 24 MPa 기준으로 슬래그 제조사(국내 S사, P사) 및 치환율에 따른 초기강도 발현성능을 평가하였다. 각 인자별 콘크리트

Table 3 Chemical analysis of OPC and GGBS(%)

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Ig.loss
OPC	21.96	2.27	3.44	63.41	2.13	1.96	0.79
GGBS	32.74	13.23	0.41	44.14	5.62	1.84	0.44

Table 4 Chemical analysis of Alkali Activator(%)

	CaO	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃
Alkali Activator	12~25	3~11	22~35	5 or less	38~56

Table 5 Factors and levels of the experiment(I)

Factors	Levels
Compressive Strength(MPa)	24 MPa
GGBS replacement(B×%)	0, 10, 20, 30
Measurement Items (Curing age · Temperature)	1, 2, 3, 7 days Temperature 20°C
GGBS Manufacture Co.	S Company P Company

Table 6 Mix proportions of concrete

Type	W/B (%)	S/a (%)	Unit Weight(kg/m ³)					(B×%)	
			W	T.B	OPC	S/P	S	G	SP
Plain				340	-	870	940		-
SP10	49.4	48.0	168	340	306	34	869	939	0.7
SP20					272	68	868	938	
SP30					238	102	867	937	

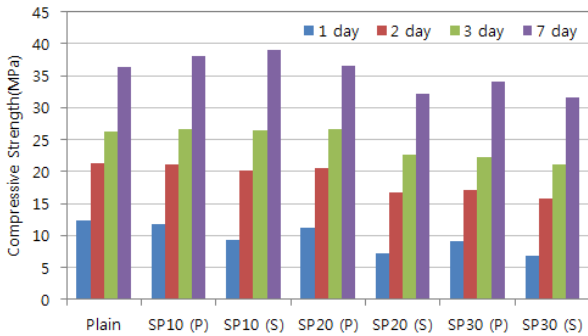


Fig. 1 Results of Compressive Strength(Experiment I)

배합은 Table 6과 같다. 압축강도 측정결과는 Fig. 1에 나타내었다.

상온양생(20°C)조건에서 슬래그 치환율별 초기강도 성능을 평가한 결과 다음 Fig. 1과 같은 결과를 얻었다. 슬래그 치환율이 증가할수록 초기강도 발현율이 OPC(Plain) 대비해서 저하하는 것을 알 수 있었다. 슬래그 치환율이 최대 10%정도 까지는 슬래그 치환율에 따른 초기강도 저하가 거의 없는 것으로 나타났으며, 20% 이상 슬래그를 치환할 경우 초기강도가 저하하는 것으로 나타났다. 다만, 3일 이후에서는 20% 치환율까지 OPC(Plain)과 유사한 강도발현 성능을 나타내는 것으로 나타났다. 또한 슬래그 제조사별 평가결과는 국내 P사의 슬래그를 치환한 강도가 S사보다 초기강도 발현 성능이 좋은 것으로 나타났다. 따라서 실험(II)에서는 국내 P사의 슬래그를 사용하여 실험을 진행하였다.

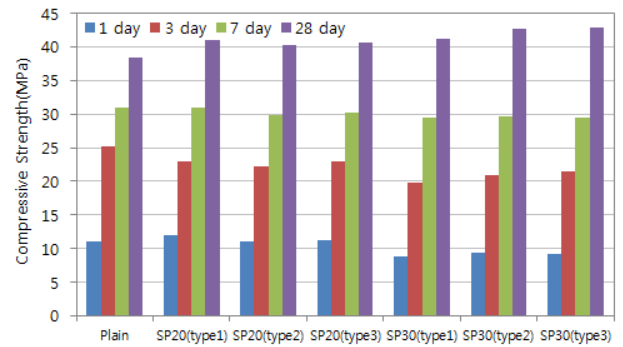
3.2 알칼리 활성화 자극제 종류별 강도발현 성능(실험 II)

실험 I에서 도출한 결과 슬래그 치환율이 20%가 넘어가면 알칼리 활성화 자극제 없이 OPC(Plain) 대비 초기강도 발현이 떨어지는 것을 알 수 있었다. 따라서 실험 II에서는 Table 7과 같이 OPC 배합을 기준으로 고로슬래그 치환율 20% 이상을 대상으로 알칼리 활성화 자극제의 Type을 조정해 가면서 저온에서의 초기강도 발현성능이 뛰어난 알칼리 활성화 자극제를 선정하여 슬래그 치환율 20, 30% 대상으로 OPC(Plain) 대비 초기강도 발현 성능을 평가하였다. 각 인자별 배합은 실험(I)에 배합과 동일하다.

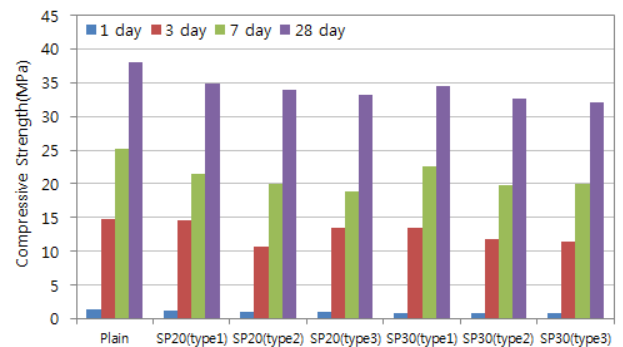
알칼리 활성화 자극제 종류별 양생온도별 압축강도를 측정하고 결과 Na₂O의 함량이 가장 많은 Type 1의 알칼리 활성화 자극제가 초

Table 7 Factors and levels of the experiment(II)

Factors	Levels
Compressive Strength(MPa)	24 MPa
GGBS replacement(B×%)	0, 20, 30
Alkali Activator(B×%)	1.0
Measurement Items (Curing age · Temperature, Alkali Activator type)	1, 3, 7, 28 days Temperature 5, 20°C Alkali Activator type 1, 2, 3



(a) Curing Temperature(20°C)



(b) Curing Temperature(5°C)

Fig. 2 Results of Compressive Strength(Experiment II)

기강도 발현성능이 가장 뛰어난 것으로 나타났다. 또한 슬래그 20%이상 치환하여도 알칼리 활성화 자극제를 혼입한 콘크리트는 OPC(Plain) 동등 이상의 강도 발현 성능을 나타내는 것으로 나타났으나, 5°C 저온양생에 경우에는 OPC(Plain)대비 알칼리 활성화 자극제를 혼입하면 초기강도는 OPC(Plain)와 동일수준의 강도발현 성능을 나타내는 것으로 나타났으나, 슬래그의 특성이 장기강도는 저온양생 조건에서는 강도발현이 떨어지는 것으로 나타났다.

3.3 콘크리트 물성에 따른 강도발현 성능(실험 III)

실험 III에서는 콘크리트 물성에 따른 최적 강도발현성능을 평가하기 위해 Table 8과 같이 실험 인자를 도출하여 실험을 진행하였다. 본 실험에서는 슬래그 치환량 증가에 따라 콘크리트

Table 8 Factors and levels of the experiment(IV)

Factors	Levels
Compressive Strength(MPa)	24, 35 MPa
GGBS replacement(B×%)	10, 20, 30
Alkali Activator(B×%)	1.0
Measurement Items	3, 7 days
(Curing age · Temperature, Alkali Activator type)	Temperature 5, 10, 20°C Alkali Activator type 1

Table 9 Mix proportions of concrete(Experiment III)

C.S	Type	W/B (%)	S/a (%)	Unit Weight(kg/m ³)							(B×%)
				W	T.B	OPC	S/P	S	G	SP	
24 MPa	Plain	49.4	48.0	168	340	340	-	870	940	-	
	SP10	48.8		166	340	306	34	872	941	1.0	
	SP20	47.9		163	340	272	68	874	945		
	SP30	47.0		160	340	238	102	877	948		
35 MPa	Plain	37.2	47.2	164	440	440	-	821	916	-	
	SP10	36.8		162	440	396	44	823	917	1.0	
	SP20	35.9		158	440	352	88	826	922		
	SP30	35.5		156	440	308	132	828	923		

의 물성을 맞추기 위해 단위수량을 조정한 실험을 통해 도출한 최적 배합을 가지고 강도발현 성능을 평가하였다. 또한 저온에서의 강도발현성능을 객관적으로 평가하기 위해 양생온도를 5, 10, 20°C로 세분하여 양생온도별 최적 슬래그 치환량을 산정하였으며, Table 9는 예비실험을 통해 도출한 슬럼프를 조정하여 단위수량을 조정한 최적 배합비를 나타내었다.

실험 II에서 도출한 알칼리 활성 자극제를 1.0% 사용하여 콘크리트의 물성 척도인 슬럼프 기준에 맞추어 슬래그 치환율에 따라 단위수량을 조정한 배합의 강도를 양생온도별 측정하였다. 상온양생(20°C)조건에서는 슬래그 치환율에 따른 강도가 30%까지 치환했을 때 기준인 OPC(Plain)의 초기강도와 유사하게 발현되는 것을 알 수 있었다. 저온환경인 10, 5°C에서 양생한 결과 저온환경에서도 슬래그 치환율에 따른 초기강도의 변화가 없는 것으로 나타났다. 따라서 슬래그 치환율에 따른 초기강도 발현 성능을 올리기 위해서는 알칼리 활성 자극제 및 물성에 따른 단위수량 감소로 충분히 저온환경하에서도 슬래그를 혼입한 콘크리트의 강도발현이 저하되지 않는 것을 확인할 수 있었다.

3.4 치환율 30%에서 최적 강도발현 성능(실험 IV)

실험 IV은 본 연구의 목적인 슬래그 치환율 30%에서 동결기 콘크리트 제조시의 OPC(Plain)과 동일한 초기강도 발현성능을 확인하기 위해 Table 10과 같이 실험 인자를 도출하여 실험을 진행하였다. 실험 IV에서는 실험 II에서 도출한 알칼리 활성 자극

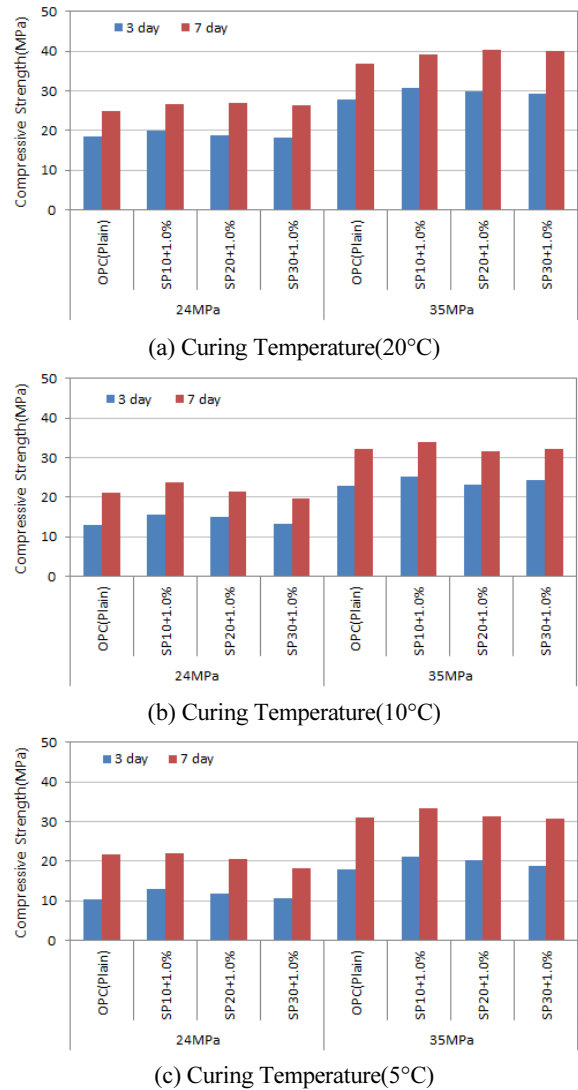


Fig. 3 Results of Compressive Strength(Experiment III)

제 type 1을 사용하였으며, 슬래그 혼입율이 증가함에 따라 슬래그의 특성이 슬럼프 증가분을 고려하여 단위수량을 감소시켜 강도발현성능을 평가하였다. 실험 IV에서는 보다 실질적인 성능을 평가하기 위해 목표 슬럼프인 150 mm에 맞추어 단위수량을 각각 8 kg/m³씩 조정하였다. 실험 IV의 배합표는 Table 11과 같다.

실험 IV의 슬럼프와 공기량 측정결과 슬래그 치환율을 30%까지 올렸을 때 슬래그의 치환율 증가에 따른 슬럼프 증가가 보여 보다 정확한 강도평가를 하기 위해 슬래그 치환율을 올린 배합에서 단위수량을 조정하여 슬럼프값을 조정한 후 양생온도별 강도를 평가하였다. Fig. 4는 슬래그 치환율을 30%로 고정하고 알칼리 활성 자극제를 1.0%와 1.2%로 조정하면서 양생온도별 초기강도 발현성능을 평가한 결과이다. 평가 결과 기준배합인 OPC(Plain)기준으로 비교 분석한 결과 20°C 양생에서 초기강도 발현이 목표 슬럼프로 조정한 단위수량을 조정한 배합과

Table 10 Factors and levels of the experiment(IV)

Factors	Levels
Compressive Strength(MPa)	24, 35 MPa
GGBS replacement(B×%)	30
Alkali Activator(B×%)	1.0, 1.2
Measurement Items (Curing age · Temperature)	3, 7 days Temperature 5, 20°C

Table 11 Mix proportions of concrete(Experiment IV)

C.S	Type	W/B (%)	S/a (%)	Unit Weight(kg/m ³)							(B×%)	
				W	T.B	OPC	S/P	S	G	SP	A.A	
24 MPa	Plain	49.4	48.0	168	340	340	-	870	940	-	-	
	SP30			340	238	102	867	937	1.0	1.2		
35 MPa	Plain	37.2	47.2	164	440	440	-	821	916	0.7	-	
	SP30			440	308	132	817	913	1.0	1.2		

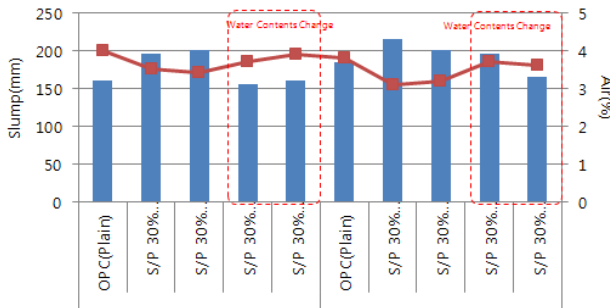
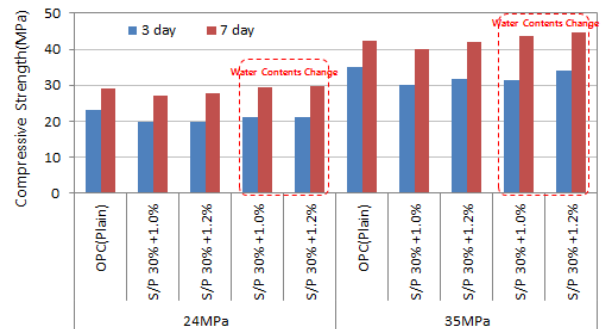


Fig. 4 Results of Slump & Air(Experiment IV)

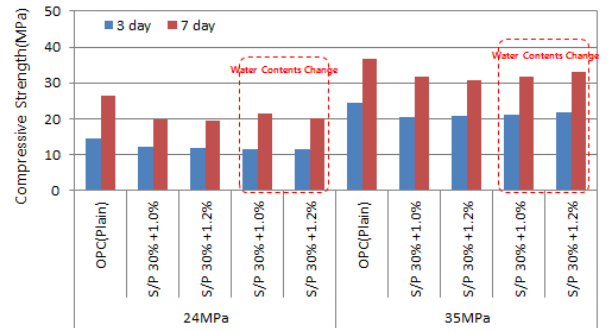
OPC(Plain)를 사용한 배합의 초기강도 발현이 거의 유사한 수준으로 발현하는 것을 알 수 있었다. 5°C 양생에서도 기준배합인 OPC(Plain)를 사용한 배합과 단위수량을 조정한 배합이 유사한 초기강도 발현 성능을 나타내는 것을 알 수 있었다. 또한 본 연구의 목적인 슬래그 치환율 30% 에서 동결기 콘크리트 제조시의 목표강도인 3일의 5 MPa 확보는 모든 배합에서 가능한 것으로 나타나 슬래그 30%를 치환하여도 알칼리 활성 자극제를 사용하여 5°C 양생에서도 안정적으로 초기강도 발현이 가능한 것으로 나타났다.

3.5 최종 슬래그 치환 배합 성능 평가(실험 V)

실험 V는 지금까지 실험(I~IV)까지의 실험을 통해 도출한 결과를 바탕으로 본 연구의 목적인 슬래그 치환율 30%에서 동결기 콘크리트 제조시의 Plain(OPC)와 동일한 초기강도 발현성을 확인하기 위해 Table 12와 같이 최종적으로 배합을 도출하여 최종 결과를 도출하였다. 실험(I~IV)에서 도출한 슬래그 30%를



(a) Curing Temperature(20°C)



(b) Curing Temperature(5°C)

Fig. 5 Results of Compressive Strength(Experiment IV)

Table 12 Factors and levels of the experiment(V)

Factors	Levels
Compressive Strength(MPa)	24, 35 MPa
GGBS replacement(B×%)	30
Alkali Activator(B×%)	1.0
Measurement Items (Curing age · Temperature)	3, 7, 14, 28 days Temperature 5, 20°C

Table 13 Mix proportions of concrete(Experiment V)

C.S	Type	W/B (%)	S/a (%)	Unit Weight(kg/m ³)							(B×%)	
				W	T.B	OPC	S/P	S	G	SP	A.A	
24 MPa	Plain	49.4	48.0	168	340	340	-	870	940	-	-	
	SP30	47.0	48.0	160	340	238	102	877	948	1.0	0.7	
35 MPa	Plain	37.2	47.2	164	440	440	-	821	916	-	-	
	SP30	35.5	47.2	156	440	308	132	828	923	1.0	-	

혼입한 동결기 초기강도 발현형 최종 배합을 Table 13에 나타내었다.

최종 실험을 통한 슬래그 30% 혼입 동결기 콘크리트의 초기강도 발현 성능을 평가한 결과 본 연구에서 제안한 알칼리 활성 자극제를 사용하여 슬래그 치환율에 따른 단위수량 저감을 통한 물성조정을 통해 초기강도 및 28일까지의 압축강도를 측정하고 결과 슬래그 30% 치환 콘크리트의 초기강도는 OPC(Plain)에 대

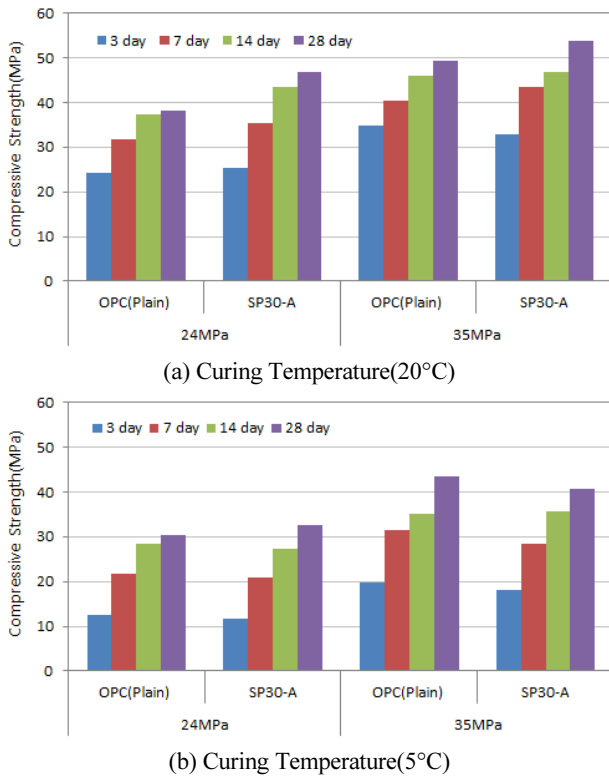


Fig. 6 Results of Compressive Strength(Experiment IV)

비해 동등이상의 강도발현 성능을 나타내는 것으로 측정되었으며, 24 MPa의 강도에서도 3일에 안정적으로 탈형강도인 5 MPa 이상의 강도확보가 가능한 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서 목표로 하는 동절기 콘크리트에서 고로슬래그 미분말을 활용한 콘크리트에서의 초기강도 확보가 가능할 것으로 판단되며, 그 동안 동절기 콘크리트 생산시 고로슬래그 활용성을 늘려 경제성 및 슬래그 활용을 통해 친환경을 확보할 수 있다고 판단된다. 다만, 슬래그 치환율에 따른 단위수량 조정이 필요하며, 알칼리 활성화 자극제의 사용이 필수적이라고 할 수 있다.

4. 결론

동절기 고로슬래그를 사용한 콘크리트의 현장적용을 위해 알칼리 활성화재를 활용한 동절기 콘크리트에 대한 동절기 저온 양생온도 조건하에서 슬래그 치환율을 최대 30%까지 치환하면서 OPC(Ordinary Portland Cement) 동등 이상의 강도발현 성능을 가지는 슬래그 활용 콘크리트에 대한 결론을 다음과 같이 도출하였다.

- 1) 동절기 고로슬래그를 활용한 콘크리트에서의 초기강도 발현은 슬래그 치환율이 증가할수록 강도발현 성능이 떨어지는

것을 알 수 있었다.

- 2) 동절기 저온환경하에서 고로슬래그의 초기강도 발현성능을 확보하기 위해 알칼리 활성화 자극제를 사용하여 초기강도 확보가 가능한 것을 알 수 있었다.
- 3) 저온환경하에서 OPC(Plain)를 사용한 배합과 동등한 강도 발현성능을 확보하기 위해서는 알칼리 활성화 자극제 뿐만 아니라 슬래그의 특성인 단위수량 저감효과를 활용하여 단위수량 저감을 통하여 같은 양의 결합재를 사용하면서 초기강도 확보할 수 있는 동절기 슬래그 활용 콘크리트 배합을 제안하였다.
- 4) 따라서, 본 연구에서는 국내 동절기에 사용이 제한적인 고로슬래그의 대한 현장적용성을 확보할 수 있었으며, 고로슬래그 활용을 통한 경제성 및 친환경성을 확보할 수 있었다.

감사의 글

This Study is part of the output of research funding for Advanced-City Development project 2014 of the Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs(14CTAP-C078650-01).

References

Architectural Institute of Japan (1996), Recommendation for Practice of Concrete Make Use of Ground Granulation Blast Furnace Slag.

Chan, W. W. J. and Wu, C. M. L. (2000), Durability of concrete with high cement replacement, *Cement & Concrete Research*, 30(6), 865-79.

Ferraris, C. F., Obla, K. H., and Hill, R. (2001), The influence of mineral admixtures on the rheology of cement paste and concrete, *Cement & Concrete Research*, 31, 245-55.

Hester, D., McNally, C., and Richardson, M. G. (2005), Study of influence of slag alkali level on the alkali-silica reactivity of slag concrete, *Construction and Building Materials*, 19(9), 661-5.

Lee, S. S. and Song, H. Y. (2007), An experimental study on the durability and mechanical properties of high performance concrete using blast-furnace slag powder, *Journal of Architectural Institute of Korea*, 23(11), 119-26.

Yang, W. H. Properties of Alkali-Activated Portland Blast-furnace Slag Cement Concrete : Using Sodium Sulfate and Light-burnt Dolomite as Activators. KunKook University.

Received : 06/28/2017

Revised : 08/25/2017

Accepted : 10/30/2017

요 지 : 고로슬래그 미분말을 사용한 콘크리트는 내구성, 시공성 향상 및 경제성 등의 강점을 가지고 있으나, 20°C이하 저온환경이나, 동절기 등에서는 같은 물결합재비에서 OPC대비해서 초기강도 발현성능이 떨어지는 단점을 가지고 있으며, 고로슬래그 미분말을 사용한 콘크리트는 온도(저온환경)에 특히 민감하게 반응한다. 따라서 본 연구에서는 동절기 저온환경하에서 고로슬래그의 초기강도 발현성능을 확보하기 위해 알칼리 활성화 자극제를 사용하여 초기강도 확보가 가능한 것을 알 수 있었으며, 저온환경하에서 OPC(Plain)를 사용한 배합과 동등한 강도 발현성능을 확보하기 위해서 알칼리 활성화 자극제 뿐만 아니라 슬래그의 특성인 단위수량 저감효과를 활용한 단위수량 저감을 통하여 같이 결합재를 사용하면서 초기강도 확보할 수 있는 동절기 슬래그 활용 콘크리트 배합을 제안하였다.

핵심용어 : 고로슬래그, 알칼리 활성화 자극제, 동절기
