

양생온도변화에 따른 고로슬래그 시멘트를 사용한 콘크리트의 강도증진 성상

Strength Development of Concrete Using Blast-Furnace Slag Cement under Various Curing Temperatures

윤 기 원^{*} 유 호 범^{**} 한 민 철^{***} 한 천 구^{****}
Yoon, Gi Won Ryu, Ho Bum Han, Min Cheol Han, Cheon Goo

ABSTRACT

In this paper, strength development of concrete using blast-furnace slag cement(BSC) and ordinary portland cement(OPC) are discussed under various W/C and curing temperatures. According to the experimental results, strength development of BSC concrete is lower than that of OPC concrete in low temperature at early age and maturity. In high curing temperature, BSC concrete has higher strength development than that of low temperature regardless of the elapse of age and maturity. BSC has much effect on the strength development of concrete at the condition of mass concrete, hot weather concreting and the concrete products with the steam curing, which is influenced by high temperature.

1. 서론

콘크리트의 강도증진은 시멘트의 수화반응에 의존하는 것으로 온도와 시간간의 이력을 고려하는 적산온도에 의해 비교적 정확한 추정이 가능한 것으로 알려지고 있다.

그러나, 이러한 적산온도에 따른 콘크리트의 강도증진 성상에 관한 기존의 연구들은 주로 보통포틀랜드 시멘트(OPC)를 대상으로 진행되어 왔는데, 최근 우리나라의 건축공사 현장에서는 공사비의 절감, 자원의 재활용 및 콘크리트의 품질향상이라는 측면에서 산업부산물의 일종인 고로슬래그를 사용하는 고로슬래그 시멘트(BSC)의 사용이 많아지고 있는 실정이나, 실제적으로 BSC 콘크리트의 양생온도 변화에 따른 강도증진과 관련한 연구는 거의 없었다.

그러므로 본 연구에서는 BSC를 사용한 콘크리트를 대상으로 양생온도와 시간과의 함수인 적산온도 변화에 따른 콘크리트의 강도증진성상을 검토하므로써 BSC 콘크리트의 실무 적용시에 한 참고자료로 제시하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

*정회원, 주성대학 건설재료공학과 전임강사, 공학박사 **정회원, 청주대학교 대학원 건축공학부, 석사과정
****정회원, 청주대학교 대학원 건축공학부, 박사과정 *****정회원, 청주대학교 교수, 공학박사

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 1과 같고 콘크리트의 배합사항은 표 2와 같다.

2.2 사용재료

본 연구에 사용한 OPC(비중:3.15, F_{28} :346kg/cm²)는 국내산 S사제, BSC는 국내산 S사제의 고로슬래그 30% 혼입품으로, 그 물리적 성질은 표 3과 같다. 유동성 및 공기량 확보를 위하여 사용되는 혼화제는 표 4와 같다.

골재로서 잔골재는 충남 병천산 강모래(비중:2.58, 조립율:2.43)를 사용하며, 굵은 골재는 충북 괴산산 20mm 화강암 부순돌(비중:2.61, 조립율:6.70)을 사용한다.

2.3 실험방법

콘크리트의 혼합, 굳지 않은 콘크리트의 슬럼프, 공기량 시험 및 경화콘크리트의 압축강도시험은 KS 규격에 의거 실시한다. 단, 압축강도 측정재령은 표 5와 같다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 재령 및 적산온도에 따른 강도증진

그림 1은 OPC와 BSC를 혼입한 콘크리트의 W/C별 및 양생온도별 재령경과에 따른 강도증진 성상을 나타낸 것이다.

먼저, 시멘트의 종류별로는 OPC의 경우 양생온도가 높을수록 초기재령에서는 높은 강도증진을 보이고 있으나, 재령이 경과할수록 오히려 저온양생의 경우보다 강도증진이 둔화되는 강도증진의 역전현상이 나타남을 알 수 있었고, 저온양생의 경우 초기재령에서는 강도증진이 미약하나 장기재령으로 진행할수록 강도증진이 높게 됨을 알 수 있었다. 한편, -10℃의 경우 W/C 40~60%에서는 재령이 경과하여도 강도증진은 미미한 것으로 나타났으나, W/C 30%의 경우는 재령이 경과함에 따라 어느 정도의 강도증진을 나타내고 있어 고강도

표 1. 실험계획

실험요인		수준	
배합사항	결합재	3	보통포틀랜드시멘트(이하 OPC) 고로슬래그 1급 시멘트(이하 BSC)
	W/C(%)	4	30, 40, 50, 60
	목표 슬럼프	1	21 ± 1cm (W/C 30~40%) 18 ± 1cm (W/C 50~60%)
	목표 공기량	1	4.5 ± 1.5(%)
	양생온도(℃)	4	-10, 5, 10, 20, 35, 50, 65
실험사항	굳지않은 콘크리트	2	슬럼프, 공기량
	경화 콘크리트	1	압축강도

표 2. 콘크리트의 배합표

구분	W/C (%)	S/A (%)	AE/C (%)	SP/C (%)	W (kg/m ³)	용적배합 (ℓ/m ³)		
						C	S	G
OPC	30	38	0.003	1.90	172	195	219	357
	40	39	0.002	0.84	179	146	244	382
	50	39	0.26*	-	182	116	256	401
	60	40	0.18*	-	181	96	264	414
BSC	30	36	0.004	1.4	184	208	203	360
	40	37	0.003	0.85	183	156	228	388
	50	39	0.4*	-	181	123	254	397
	60	41	0.4*	-	180	102	275	398

*는 AE 감수제를 의미한다.

표 3. 고로슬래그 시멘트의 물리적 성질

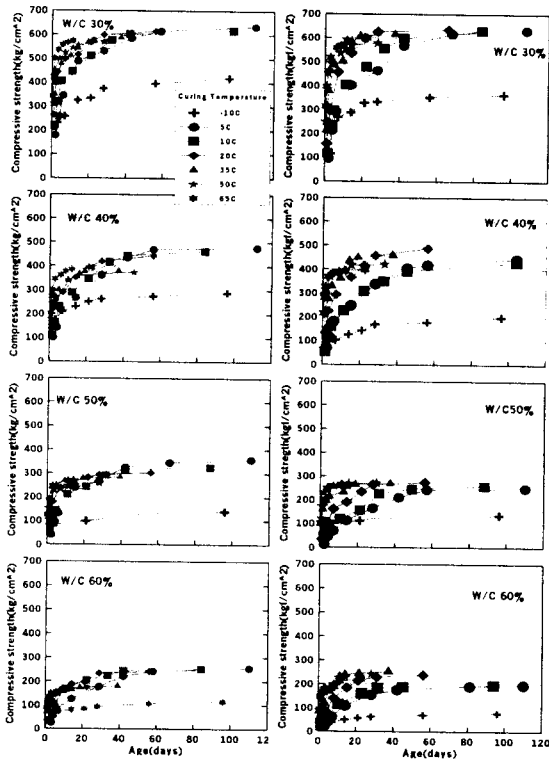
응결시간		압축강도 (kg/cm ²)			분말도 (cm ² /g)	비중	안정도 (%)	강열감량 (%)
초결(분)	종결(분)	3일	7일	28일				
250	460	189	277	397	3,720	2.94	0.08	0.8

표 4. 혼화제의 물리적 성질

구분	주성분	형태	색상	비중
고성능감수제	술폰산 멜라민계	분말	흰색	-
AE제	Synthetic Tensides	액상	암갈색	1.02
AE 감수제	나프탈렌계	액상	암갈색	1.14 ± 0.02

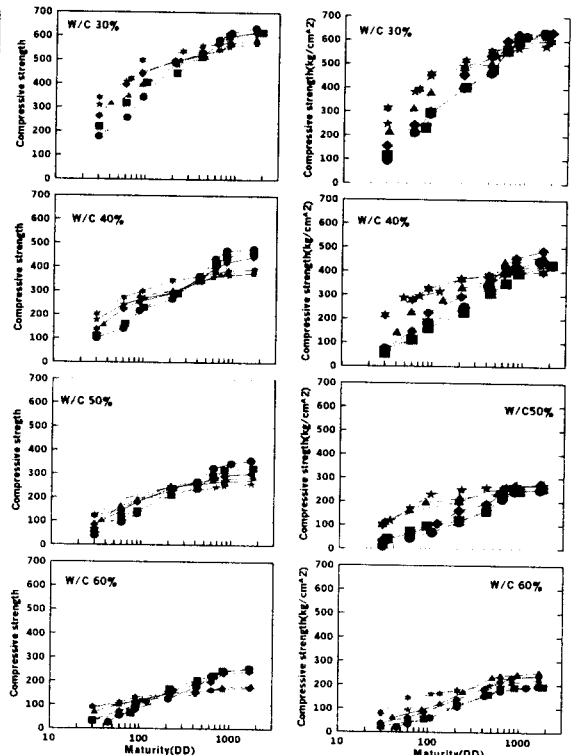
표 5. 압축강도측정 재령 및 적산온도

W/C(%)	양생온도(℃)	압축강도 측정재령 및 적산온도									
		일	3	7	14	28	56	96	-	-	
30	-10	일	3	7	14	28	56	96	-	-	
		DD	45	45	45	45	45	45	-	-	
	5	일	2	6	14	28	42	56	110	182	
		DD	30	90	210	420	630	840	1725	2730	
40	10	일	1.5	3	4.5	10.5	31.5	42	84	136.5	
		DD	30	90	210	420	630	840	1680	2730	
	20	일	1	3	7	14	21	28	56	96	
		DD	30	90	210	420	630	840	1680	2730	
50	35	일	0.7	2	4.7	9.3	14	18.7	37.3	60.7	
		DD	31.5	90	211	418	630	841	1678	2731	
	50	일	0.5	1.5	3.5	7	10.5	14	28	45.5	
		DD	30	90	210	420	630	840	1680	2730	
60	65	일	0.4	1.2	2.8	5.6	8.4	11.2	22.4	36.4	
		DD	30	90	210	420	630	840	1680	2730	



(1) OPC (2) BSC

그림 1. 재령경과에 따른 콘크리트의 강도 증진성상



(1) OPC (2) BSC

그림 2. 적산온도에 따른 콘크리트의 강도 증진성상

콘크리트의 경우 적산온도 개념에서의 기준온도 설정에 대한 재검토가 필요할 것으로 사료된다. 한편, BSC의 경우는 OPC의 경우에 비하여 35℃ 이상 고온양생의 경우 양생온도가 높을수록 초기에 높은 강도증진을 나타내며 재령이 경과하여도 고온에 의해서 촉진된 포졸란 반응에 기인하여 지속적으로 높은 강도증진을 나타내고 있었는데, 이는 매스콘크리트, 서중콘크리트 및 증기양생의 경우에 BSC를 이용하게 되면 높은 강도의 발휘와 그에 따른 경제성을 성취할 수 있음을 시사해주는 것으로 분석된다. 단, 저온양생의 경우 전반적으로 초기재령에서는 낮은 강도값을 나타내고 재령이 경과하여도 강도의 역전현상이나 커다란 강도의 증진은 없는 것으로 나타나고 있어 한중콘크리트와 같은 저온환경에서 BSC의 사용은 신중을 기하여야 할 것으로 사료된다.

그림 2는 OPC 및 BSC사용 콘크리트의 W/C별 적산온도경과에 따른 강도증진성상을 양생온도별로 구분하여 나타낸 것이다. 전반적으로 20℃이하의 온도에서는 적산온도에 따라 유사한 강도증진을 보이고 있으나, 양생온도 35℃이상에서는 OPC의 경우 장기적산온도에서 강도의 역전현상이 나타나고 있었고, BSC의 경우는 양생온도가 높을수록 전반적으로 큰 강도를 유지함을 알 수 있었다. 따라서 저온 및 고온영역에서는 적산온도에 따른 OPC와 BSC의 강도증진 성상이 다른 경향으로 나타나고 있어 강도증진해석 및 활용면에서는 충분한 검토가 요망된다.

3.2 양생온도에 따른 강도증진 경향

그림 3은 OPC 및 BSC를 사용한 콘크리트의 적산온도 및 W/C별 양생온도변화에 따른 압축강도를

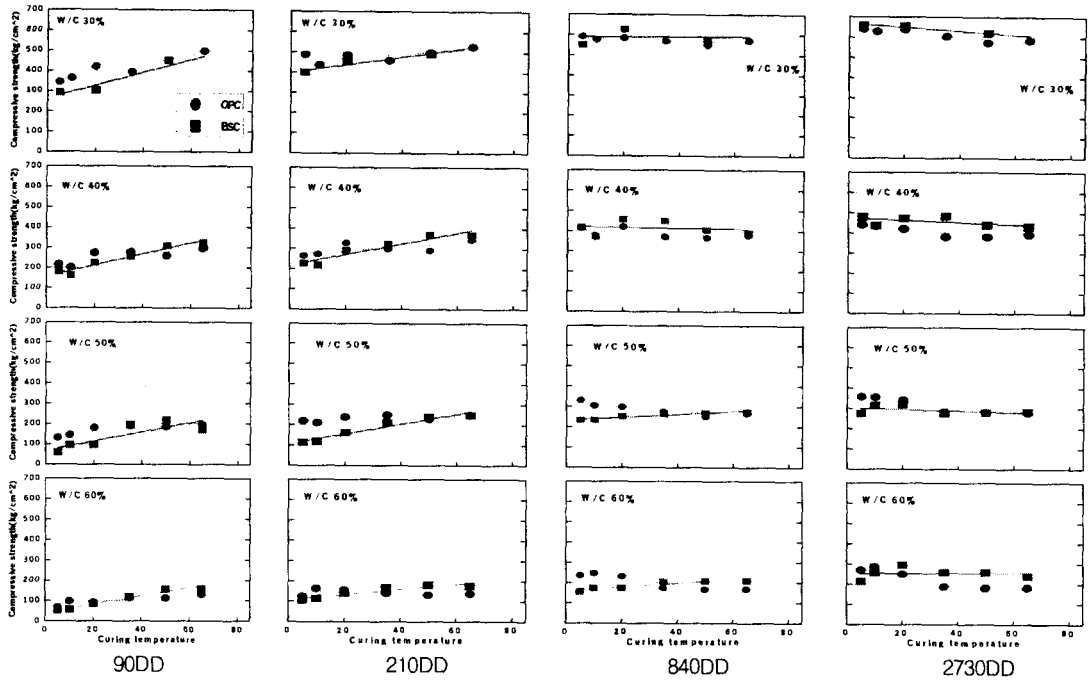


그림 3. 양생온도변화에 따른 W/B 및 적산온도별 압축강도

나타낸 것으로, 초기적산온도에서는 고온양생의 경우 양생온도가 증가함에 따라 강도가 증가하는 것으로 나타났는데, 이는 OPC, BSC 공히 동일 적산온도에서는 동일강도를 갖는다는 적산온도의 개념과는 불일치하는 것으로 사료된다. 또한, 적산온도가 증가함에 따라 OPC의 경우는 고온으로 될수록 강도가 낮게 나타나고 있어 적산온도 개념에 의문이 제기되고 있으나, BSC의 경우는 적산온도가 증가하여도 양생온도별 강도 값이 비교적 유사한 직선형태를 유지하고 있어 적산온도 개념을 비교적 양호하게 충족시켜주는 것을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

양생온도 변화에 따른 BSC 콘크리트의 강도증진성상을 OPC와 비교·검토한 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) BSC 콘크리트는 OPC콘크리트에 비하여 초기재령 및 저온양생에서는 낮은 강도를 발휘하고 있으므로 거푸집 탈형시기의 결정, 한중 및 한랭기 콘크리트 시공시에는 유의할 필요가 있다.
- 2) BSC콘크리트는 고온양생 및 장기재령에서 지속적으로 높은 강도증진을 보이고 있는데, 이러한 BSC 콘크리트를 배스콘크리트, 서중 콘크리트 및 중기양생제품 등의 고온환경에 사용하게 되면 강도의 향상과 그에 따르는 경제성을 추구할 수 있어 매우 유효할 것으로 사료된다
- 3) 적산온도방식에 의한 강도증진 해석시 저온 및 고온영역의 경우 BSC와 OPC의 강도증진 경향은 부분적으로 차이를 나타내고 있어 이에 대한 충분한 고려가 필요한 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 日本建築學會, 寒中コンクリート施工指針・同解説, 1999
2. 한국콘크리트학회, 콘크리트 표준시방서, 1999.1