

온도조건 및 시간경과에 따른 고강도 콘크리트의 시공성에 관한 실험 연구

An Experimental Study on the Workability of High Strength Concrete according to Temperature and Elapsed time

박 준 호* 윤 명 덕* 임 병 호** 김 태 곤*** 박 정 민**** 김 화 중*****
Park, Jun Ho Yoon, Myung Duk Lim, Byung Ho Kim, Tae Gon Park, Jung Min Kim, Wha Jung

ABSTRACT

The purpose of this study is to present a basic data about the workability of high strength concrete to apply to a field of construction work. The main parameters are as follows; environmental temperature, elapsed time and the use of mineral admixture or not under the same mixing proportions.

From the result, Adding amounts of superplasticizer to get a target slump were different in the respective temperature condition. Slump loss according to elapsed time was influenced by environmental temperature. the amount of superplasticizer and the slump loss were decreased by using mineral admixture(garnet powder) and by making concrete under lower temperature.

1. 서 론

현대 건축물에 있어서 가장 보편적인 건설재료인 콘크리트의 고품질화가 적극적으로 추진되고 있으며, 이의 일환으로 고강도 콘크리트의 고품질화가 적극적으로 추진되고 있다. 그러나, 고강도 콘크리트의 적용에 있어서 특히 굳지않은 콘크리트의 특성은 재료의 종류, 지역적 차이, 주변환경조건에 아주 민감하기 때문에 현장적용을 위한 배합이 그 상황에 따라 아주 유동적이지만 정확한 배합지침이 마련되지 않은 것이 현실이다.

따라서 본 실험은 고강도 콘크리트의 현장적용을 위한 배합설계를 위한 기초 단계로서 동일한 기본배합에서 이용하여 각 온도조건에 따라 콘크리트를 제조하여 단위수량, 물결합재비, 혼화재의 사용유무에 따라 목표슬럼프를 얻기위한 초기 고성능 감수제의 첨가량 및 슬럼프의 경시변화 특성을 제시하고자 한다.

또한 혼화재로서는 산업부산물인 가네트 미분말을 이용하여 혼화재의 사용에 따른 공기량 및 슬럼프의 경시변화에 미치는 영향을 함께 검토하였다.

* 정회원, 경북대 건축공학과, 석사과정
** 정회원, 경북대 건축공학과, 박사과정
*** 정회원, 경북전문대 건축과, 전임강사
**** 정회원, 경북전문대 건축과, 조교수, 공박
***** 정회원, 경북대 건축공학과 교수, 공박

2. 실험

2.1 사용재료

(1) 시멘트, 골재 및 혼화제

본 실험에 사용된 시멘트 및 골재, 혼화제의 특성을 표 1에 나타내었다.

표 1 시멘트 및 골재의 물리적성질

재료		특 성						
시멘트		국내산 1종 보통 포틀랜드 시멘트, 비중=3.15						
골재	항목	비중	최대치수 (mm)	단위용적중량 (kg/m ³)	흡수율 (%)	공극율 (%)	실적율 (%)	조립율
	잔골재	2.54	5	1,564	1.05	47	53	2.8
	굵은골재	2.64	25	1,569	0.9	41	59	6.49
혼화제		비중 1.20 암갈색의 나프탈렌계 고성능 감수제						

(2) 가네트 미분말

본 실험에 시멘트의 대체재로서 사용된 가네트 미분말은 경북 영주의 D회사에 발생되는 산업부산물로서 비중은 4.04이며, 분말도는 13,950(cm²/g)으로 측정되었으며, 입경의 분포는 10 μ m에서 최대를 나타내며, 그 화학조성은 표 2와 같다.

표 2 가네트 미분말의 화학조성

성분	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	Mn ₂ O ₃	P ₂ O ₅	Ig.loss
조성비 (%)	33.4	17.29	32.51	2.16	7.36	0.02	0.01	0.94	0.04	-2.65

2.2 실험 계획

본 연구의 배합사항은 각각의 온도조건 28~32, 18~22, 8~12℃에서 단위수량을 160kg/m³으로 고정하고, W/B 30, 35%, S/A 40, 42, 44%의 수준에 대하여 가네트 미분말을 시멘트에 대해 0, 10%치환한 것으로 시리즈 I, II로 대별하여 각 배합에 대해 온도조건에 따라 3번씩 총 36배치를 계획하였다. 측정 항목에서는 굳지 않은 상태에서는 초기 목표슬럼프 20 \pm 2cm를 계획하여 경시변화를 비빔 직후부터 60분까지 15분 간격으로 측정하도록 계획하였고, 공기량시험은 비빔직후에 측정하도록 계획하였다. 경화상태에서는 3, 7, 28일에 압축강도를 측정하였고, 인장강도를 재령 28일에 측정하였다. 실험의 배합사항을 표 3에 나타내었다.

2.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로 콘크리트의 혼합은 강제식 팬믹서를 이용하여 골재를 개량하여 1분간 건비빔 하고 시멘트와 혼화제를 투입하고 다시 1분간 건비빔한 후 물과 혼화제를 개량하여 섞은 다음 투입하여 1분 저속, 1분 고속으로 혼합하였다. 굳지 않은 콘크리트에서의 슬럼프 시험 및 공기량 시험은 각각 KS F 2402, 2421에 따라 실시하였다.

표 3 배합표

시리즈	실험 조건				단위 배합량(kg/m ³)								
	W/B	S/A	혼화제 치환율 (%)	슬럼프 (cm)	물	시멘트	혼화제	모래	자갈	혼화제 (B×wt%)			
										28~32 (S)	18~22 (F)	8~12 (W)	
I	30	40	0	20±2	160	533.3	0	653.5	1014.8	1.1	1	1	
		42				533.3	0	686.2	981.0	1.1	1	0.9	
		44				533.3	0	718.9	947.2	11.	1	0.9	
	35	40				457.1	0	678.2	1053.2	0.8	0.8	0.9	
		42				457.1	0	712.1	1010.1	0.8	0.8	0.8	
		44				457.1	0	746.0	983.0	0.8	0.8	0.8	
II	30	40	10		20±2	160	480.0	53.3	567.3	1020.8	0.9	0.9	0.9
		42					480.0	53.3	690.2	986.7	0.9	0.9	0.8
		44					480.0	53.3	723.0	952.7	0.9	0.9	0.8
	35	40				160	411.4	45.7	681.4	1089.8	0.7	0.7	0.7
		42					411.4	45.7	715.5	1053.5	0.7	0.7	0.6
		44					411.4	45.7	749.6	1017.4	0.7	0.7	0.5

3. 실험 결과 및 고찰

표 4 실험결과

온도조건 (℃)	실험 조건				굳지않은 상태							
	단위 수량	W/B	S/A	혼화제 치환율	공기량 (%)	혼화제 첨가율 (%)	슬럼프 경시변화(cm)					
							0분	15분	30분	45분	60분	
28~32 (S)	160	30	40	0	3.1	1.1	21	13	9	6	4	
			42		3.0	1.1	20	11	8.5	6	3	
			44		3.2	11.	21	14	10	7.5	4	
			35		40	2.8	0.8	22	18	12	8	5
					42	2.7	0.8	21	14	10	6	3
					44	3.1	0.8	21	12	7.5	4	3
		30	10	40	3.5	0.9	22	17	12	8.5	7.5	
				42	2.7	0.9	19	11	7.7	5.4	4.5	
				44	3.0	0.9	20	13	8.7	6.7	5.8	
				35	40	2.2	0.7	18	15	8.6	7.8	6.6
					42	2.5	0.7	22	20	17	14	10
					44	2.5	0.7	19	11	9	7.2	6
18~22 (F)	160	30	0	40	3.3	1.0	21.0	9.0	6.0	4.0	3.0	
				42	3.1	1.0	22.0	8.5	4.5	3.0	2.5	
				44	3.4	1.0	21.5	16.0	7.0	5.5	4.0	
				35	40	2.9	0.8	21.5	9.0	6.0	4.0	3.0
					42	2.8	0.8	21.0	17.0	10.0	7.0	5.0
					44	3.0	0.8	19.0	15.0	7.0	5.0	3.0
		30	10	40	3.1	0.9	21.0	19.5	17.6	14.0	8.0	
				42	2.9	0.9	22.0	20.0	18.7	16.4	12.0	
				44	3.2	0.9	21.1	15.5	11.0	6.5	4.0	
				35	40	2.7	0.7	19.3	13.5	10.5	7.4	4.4
					42	2.8	0.7	22.0	19.5	18.3	17.6	14.3
					44	2.6	0.7	22.0	19.3	12.5	9.0	7.2

8~12 (W)	160	30	40	0	3.3	1.0	23.0	17.5	14.0	11.0	8.0
			42		3.1	0.9	22.0	19.5	16.5	9.5	7.0
			44		3.4	0.9	21.0	16.5	13.5	7.5	5.0
		35	40		2.9	0.9	23.0	18.0	15.0	11.0	8.0
			42		2.8	0.8	21.0	17.0	15.0	12.0	8.0
			44		3.0	0.8	21.0	16.0	15.0	11.0	8.5
	10	30	40	3.1	0.9	21.0	14.5	11.0	7.5	6.0	
			42	2.9	0.8	23.0	19.0	17.0	15.0	12.0	
			44	3.2	0.8	23.0	15.0	12.0	9.0	7.0	
		35	40	2.7	0.7	23.5	18.0	16.0	15.0	11.0	
			42	2.8	0.6	22.0	18.0	15.0	13.0	9.0	
			44	2.6	0.5	22.0	17.0	14.0	10.0	7.0	

3.1 굳지 않은 콘크리트의 결과

(1) 고성능 감수제의 첨가량

그림 1, 2는 배합설계상에서 단위수량 160kg/m^3 , W/B=30, 35%에서 각 온도조건에서 초기 목표슬럼프 $20\pm 2\text{cm}$ 를 만족시키기 위한 고성능 감수제의 첨가량을 나타내고 있다. 전반적으로 동일한 물결합재비에서는 온도가 높을수록 고성능 감수제의 첨가량이 0.1~0.3%이 높아졌으며, 동일한 온도조건에서는 물결합재비가 낮을수록 고성능 감수제의 첨가량은 0.2~0.3% 정도씩 높아졌으며, 물결합재의 비가 낮을수록 고성능 감수제의 첨가량은 차이가 많이 났다. 가네트미분말을 10% 치환한 경우에는 동일한 온도 및 물결합재비에서는 고성능 감수제의 첨가량이 그렇지 않은 경우보다 상대적으로 0.1~0.2%정도로 낮게 나타났다. 또한 본 실험에서 계획된 잔골재율의 변화에 대해서는 그다지 영향을 받지 않은 것으로 나타났다. 이는 온도가 높을수록 고성능 감수제의 첨가량이 본 실험에서는 어느 일정한 비율로 증가한다는 실험결과와 함께 단위수량 및 W/B의 변화를 통한 보완 실험을 통하여 각 배합조건에서 고성능 감수제의 첨가량에 대한 정량적인 양을 산출할 수가 있다고 기대되며, 혼화제로서 사용된 가네트 미분말은 시멘트에 대해 높은 분말도를 나타내지만 치밀한 입자로 구성되어 있어 콘크리트의 시공성의 향상에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

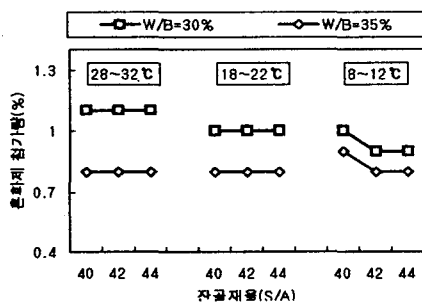


그림 1 고성능 감수제 첨가량, 혼화제 0%

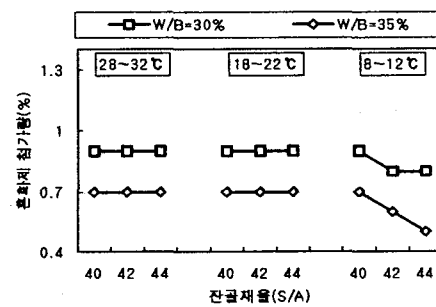


그림 2 고성능 감수제 첨가량, 혼화제 10%

(2) 공기량

그림 3, 4는 각 배합 및 온도조건에 측정된 공기량을 나타내고 있다. 대체적으로 측정된 공기량은 2.2~3.5%의 값을 나타내고 있으며, 물결합재비가 높을수록 조금 낮게 나타났으며, 온도조건에 따라서는 그다지 큰 차이는 없었다. 또한 가네트 미분말을 10% 치환한 경우에 공기량이 낮은 경향을 나타내었는데, 이는 가네트 미분말의 사용시 미세한 입자가 콘크리트의 공극충전효과 및 고성능 감수제의 첨

가량이 낮게 된 복합적인 작용에 따른 것으로 사료된다.

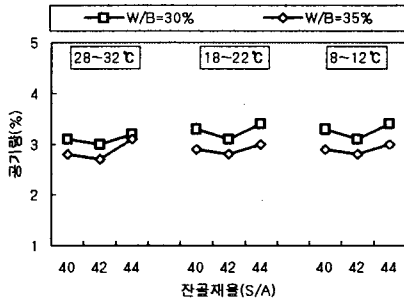


그림 3 공기량, 혼화제 0%치환

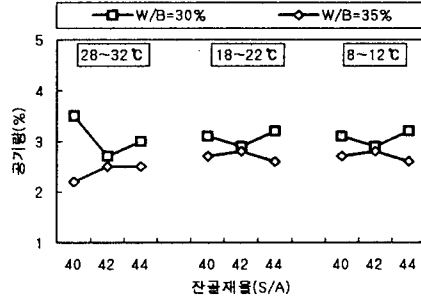


그림 4 공기량, 혼화제 10%치환

(3) 슬럼프 경시변화

그림 5~8은 각 온도조건별로 물결합재비, 혼화제의 사용유무에 따라 시간에 따른 슬럼프의 변화를 나타내고 있다. 전반적으로 15분이 경과하면서 슬럼프의 값이 급속히 저하하였으며, 혼화제를 사용과는 관계없이 온도가 증가할수록 경과시간에 따른 슬럼프의 손실이 상대적으로 높게 나타났으며, 가장 온도가 낮은 8~12°C에서 슬럼프의 저하가 가장 완만하였다. 동일한 온도조건에서는 물결합재비가 높을수록 시간에 따른 슬럼프의 손실이 약간 완만하였다.

가넷트 미분말의 치환율 0%에서는 초기 슬럼프 20±2cm에서 시작하여 15분 경과 후 급격히 감소하여 9~19.5cm의 슬럼프를 보이며, 경과시간 60분에서의 슬럼프는 2.5~8.5cm로 나타났다. 온도가 높은 조건일수록 상대적으로 슬럼프의 손실이 높게 나타났다.

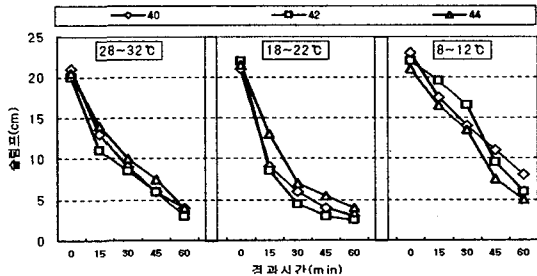


그림 5 W/B=30%, 혼화제 치환율 0%

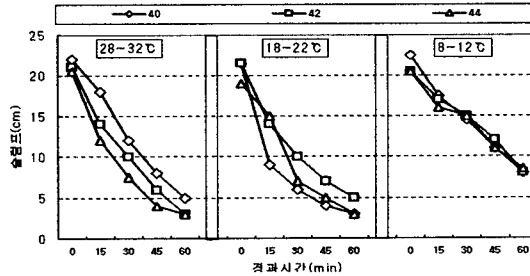


그림 6 W/B=35%, 혼화제 치환율 0%

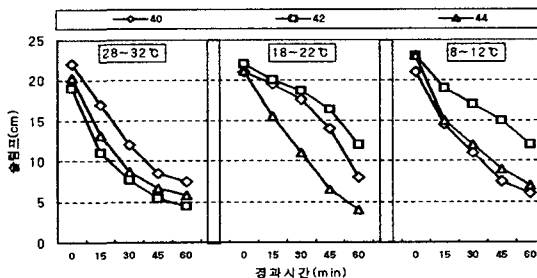


그림 7 W/B=30%, 혼화제 치환율 10%

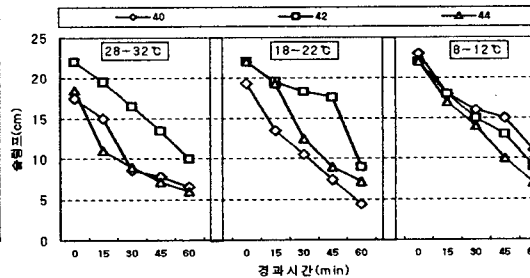


그림 8 W/B=35%, 혼화제 치환율 10%

가네트 미분말의 치환율 10%에서는 경과시간 15분에서 슬럼프는 11~20cm정도로 나타났으며, 마찬가지로 경과 시간 30분에서도 가네트 미분말을 사용한 배합의 슬럼프가 높게 나타났으며, 경과 시간 60분에서는 4~8cm로 나타났다.

또한 목표 슬럼프 20 ± 2 cm를 만들기 위해 가네트 미분말을 사용한 경우에 고성능 AE감수제의 첨가량(표 3)이 동일한 W/B에서 0.2% 정도 적게 첨가된 것을 함께 고려하면 유동성에 미치는 영향은 더 높다고 할 수 있다. 이는 가네트 미분말이 높은 분말도를 지니지만, 기존 실험^{(1),(2)}의 결과에 따르면 가네트 미분말 입자의 치밀하고 매끈한 유리질의 성질로 인하여 유동성이 증대되는 결과를 나타낸 것으로 사료된다.

4. 결 론

- 1) 목표 슬럼프를 얻기 위한 고성능감수제의 첨가량은 온도가 높을수록 많이 나타났으며, 단위수량이 낮고 물결합재비가 낮을수록 고성능감수제의 첨가량은 0.2~0.3%정도로 높게 나타났다. 가네트 미분말을 혼화재로서 10% 치환한 경우 고성능감수제의 첨가량이 0.1~0.2%정도 낮게 나타났다.
- 2) 공기량의 경우 비빔직후에 측정된 결과만으로 보면 전반적으로 고성능 감수제의 첨가량이 작을수록 공기량이 낮게 나타났으며, 혼화재인 가네트 미분말의 사용시 다소 낮게 나타났다. 그러나 온도에는 거의 영향을 받지 않는 것으로 나타났다.
- 3) 온도가 가장 낮은 8~12℃에서 시간에 따른 슬럼프의 손실이 가장 완만하였으며, W/B가 높을수록 슬럼프의 손실이 낮아졌다.
- 4) 혼화재로서 가네트 미분말을 치환하여 사용할 경우 본 실험의 부배합 조건에서도 가네트 미분말을 치환하지 않을 경우보다 슬럼프 손실감을 억제시키는 영향을 나타내어, 고강도 콘크리트의 작업성 향상을 위한 혼화재로서 가네트 미분말의 적용가능성을 기대할 수가 있었다.
- 5) 고강도 콘크리트의 온도조건에 따른 슬럼프의 손실에 미치는 온도의 영향을 나타내었지만, 추후 온도와 함께 고려되는 습도의 영향을 고려한 실험이 필요한 것으로 판단된다. 또한 강도 및 수화열 특성 등에 영향을 주지 않으면서 높은 온도조건에서도 유연하게 슬럼프의 손실에 대처할 수 있는 지속적인 연구가 필요하다고 사료된다

참 고 문 헌

1. 김화중 외 3인 : 산업부산물인 가네트를 이용한 콘크리트의 성질개선에 관한 연구, 한국콘크리트학회논문집, 제11권 1호, 1999.2., pp 183~190
2. 김화중 외 3인 : 산업부산물인 가네트 미분말을 이용한 콘크리트의 역학적 성상에 관한 연구, 한국콘크리트학회 논문집, 제 11권 3호, pp123~130
3. 문한영 외1인 : 굳지않은 콘크리트의 슬럼프손실 저감을 위한 혼화제의 활용, 한국콘크리트학회논문집, 1998.4 pp155~165
4. 박칠립 외3인 : 고강도 콘크리트용 혼화제의 품질 성능에 관한 실험적 연구, 한국콘크리트학회논문집, 1993.3 pp165~173
5. 한국콘크리트 학회 : 최신콘크리트공학, 기문당
6. 대한건축학회 : 고강도-고성능콘크리트 제조·시공 및 설계, 1996