

저온기 콘크리트의 조기압축강도 확보방안에 관한 연구

A Study on Securing Early Strength of Concrete in a Low Temperature Time

이 도 범*
Lee, Do Bum

최 일 호**
Choi, Il Ho

ABSTRACT

Recently, cold weather constructions were popularized because of the importance of construction term. The special method about mix design and curing of concrete was being planned to conduct cold weather constructions, but these method were not considered in a low temperature time. A Strength revelation of concrete is delayed in a curing condition of low temperature. If a construction was loaded in this case, cracks or remaining deformations are generated in a construction.

So, a strength revelation characteristic in early age was investigated to secure early strength of concrete in curing condition of a low temperature. In this study, the method about concrete mix design was presented to secure construction safety in a low temperature time

1. 서론

최근 건설현장에서는 건설공기의 중요성이 강조됨에 따라 연중시공이 필수적으로서 한중콘크리트 공사의 필요성이 부각되고 있다. 이러한 한중콘크리트의 적용기간에는 콘크리트가 초기 동해를 입지 않도록 초기양생계획을 실시하고, 소정의 재령에서 소요강도를 확보할 수 있도록 콘크리트의 배합설계, 양생온도 및 보온양생방법 등에 특별한 계획이 이루어지지만, 춘·추절기의 저온기에는 그러한 계획 없이 공사가 이루어지고 있는게 현실이다. 한편, 콘크리트는 양생온도가 낮아지면 응결 및 경화반응이 매우 지연되어 조기에 하중을 받는 구조물에서는 균열이나 잔류변형 등의 문제가 발생한다. 따라서, 이러한 문제를 고려하여 동절기만이 아닌 춘·추절기의 저온기에도 콘크리트의 소요강도 확보를 위한 계획이 필요하다.

따라서, 본 연구에서는 저온기 콘크리트의 조기압축강도 확보를 목적으로 배합에 따른 콘크리트의 양생온도별 강도발현특성을 검토한 후, 춘·추절기의 저온기에 구조물의 안전성 확보를 위한 콘크리트 배합상의 방안을 제시하고자 한다.

* 정회원, 대림산업(주) 건축연구지원팀 부장

** 정회원, 대림산업(주) 건축연구지원팀 대리

2. 콘크리트 배합실험

2.1 실험개요

본 배합실험에서는 저온기 조기재령에서의 압축강도 확보를 목적으로 시멘트 종류(A, B 표기) 변경, 단위시멘트량 증가, 플라이애쉬 사용량(0, 10 표기) 저감, 혼화제 종류(a, b, c 표기) 변경 및 양생온도 증가의 방법에 대한 검토를 실시하였다. 각각의 실험인자에 대한 실험수준은 표 1과 같다.

배합실험 시 측정항목으로 슬럼프는 KS F 2402에 의거하여 측정하였고, 공기량은 KS F 2421에 의거하여 측정하였으며, 염화물량은 건설현장에서 일반적으로 사용되는 염분농도계 KG-100을 사용하여 측정하였다. 그리고, 배합별 압축강도 발현성상은 KS F 2405에 의거하여 1일, 2일, 3일, 7일 및 28일 재령에 압축강도를 측정하여 확인하였고, 동결온도는 -10°C 의 양생온도 조건에서 데이터로거와 열전대를 이용하여 콘크리트온도를 5분마다 계측하여 확인하였다. 한편, 굳지않은 콘크리트의 품질관리기준으로 슬럼프는 $15\pm 2.5\text{cm}$, 공기량은 $4.5\pm 1.5\%$ 및 염화물량은 $0.3\text{kg}/\text{m}^3$ 이하로 하였다.

표 1 실험인자 및 수준

실험인자	시멘트 종류	단위시멘트량	플라이애쉬 사용량	혼화제 종류	양생온도
실험수준	보통포틀랜드시멘트(A)	450kg/m ³	0%	일반AE감수제(a)	5℃
		400kg/m ³		축진AE감수제 I (b)	10℃
	조강포틀랜드시멘트(B)	360kg/m ³	10%	축진AE감수제 II (c)	15℃
					20℃
					30℃

2.2 사용재료

본 배합실험에 사용된 시멘트는 S사의 보통포틀랜드시멘트와 조강포틀랜드시멘트를 사용하였으며, 그 물리적·화학적 특성은 표 2와 같다. 잔골재는 인천 용진군 지역의 바닷모래를 사용하였고, 굵은골재는 경기 화성 비봉지역에서 생산되는 부순돌을 사용하였으며, 혼화재료로 플라이애쉬는 충남 태안산을 사용하였고, 혼화제는 E사의 일반AE감수제와 조강제를 첨가한 축진AE감수제를 사용하였다.

표 2 시멘트의 물리적·화학적 특성

종류	비중	분말도 (cm/g)	안정도 (%)	강열감량 (%)	응결시간(분)		압축강도 (kgf/cm ²)				MgO (%)	SO ₃ (%)	C ₃ A (%)
					초결	종결	1일	3일	7일	28일			
보통(1종)	3.14	3,476	0.07	2.2	240	380	-	228	303	411	2.9	2.0	-
조강(3종)	3.13	4,514	0.05	1.5	220	320	179	293	383	448	2.7	3.5	10.7

표 3 콘크리트 배합표 및 물성 실험결과

배합종류	W/B (%)	S/a (%)	FA/B (%)	단위중량(kg/m ³)						실험결과					
				W	C	FA	S	G	AD	슬럼프(cm)		공기량(%)		염화물량 (kg/m ³)	동결온도 (℃)
										0분	60분	0분	60분		
40-A0a	40.0	43.0	0	180	450	0	705	958	2.25	18.5	12.0	4.9	4.1	0.072	-1.9
45-A0a	45.0	44.4	0	180	400	0	746	958	2.00	19.5	15.0	4.4	4.2	0.075	-1.5
50-A0a	50.0	45.5	0	180	360	0	779	958	1.80	19.5	17.0	5.2	5.3	0.077	-1.1
50-A0b	50.0	45.5	0	180	360	0	779	958	1.80	19.5	15.5	4.6	4.8	0.047	-1.1
50-A0c	50.0	45.5	0	180	360	0	779	958	1.80	19.5	16.0	4.1	4.2	0.148	-1.1
50-B0a	50.0	45.5	0	180	360	0	779	958	1.80	17.0	10.5	5.0	4.7	0.076	-1.2
50-A10a	50.0	45.5	10	180	324	36	776	955	1.80	19.5	15.0	4.4	3.5	0.054	-1.2

2.3 콘크리트 배합 및 실험결과

단위시멘트량, 시멘트 종류, 혼화제 종류 및 플라이애쉬 사용 유무에 따른 콘크리트 배합은 표 3과 같다. 콘크리트 배합은 표 1의 실험인자 및 수준에 따라 7배합으로 결정하였으며, 배합은 단위시멘트량에 따라 물시멘트비 40%, 45% 및 50%의 3종류 배합, 시멘트 종류에 따라 A 및 B의 2종류 배합, 혼화제 종류에 따라 a, b 및 c의 3종류 배합, 플라이애쉬 치환율에 따라 0% 및 10%의 2종류 배합으로 구분하였다. 각각의 배합에 대한 물성실험결과와 양생온도 및 재령별 압축강도결과는 표 3 및 표 4와 같다.

표 4 양생온도별 압축강도 측정결과

배합 종류	압축강도(MPa)																				
	5℃ 양생				10℃ 양생				15℃ 양생				20℃ 양생				30℃ 양생				
	1일	2일	3일	7일	1일	2일	3일	7일	1일	2일	3일	7일	1일	2일	3일	7일	28일	1일	2일	3일	7일
40-A0a	-	6.8	15.2	29.1	1.9	11.0	20.3	26.2	6.0	15.4	22.1	33.3	8.0	14.6	22.7	33.1	41.5	18.0	28.0	32.9	39.0
45-A0a	-	5.5	12.8	24.7	1.4	8.2	15.4	22.2	4.0	11.6	16.8	25.8	5.5	11.0	18.1	27.6	36.5	12.8	21.2	25.2	33.8
50-A0a	-	4.1	9.4	21.4	1.1	7.0	11.2	20.0	3.2	9.5	14.8	20.8	4.2	9.4	15.1	23.4	31.0	10.0	16.3	21.1	30.4
50-A0b	-	5.8	11.6	22.1	1.9	7.9	12.6	20.2	4.1	10.0	15.1	21.1	5.5	10.2	15.5	23.5	30.5	11.3	17.4	20.9	28.5
50-A0c	-	6.5	12.6	23.7	2.5	9.3	14.2	20.3	4.5	10.1	15.5	20.4	6.7	11.8	16.9	24.8	30.9	11.4	17.8	20.1	29.1
50-B0a	-	7.3	16.3	25.0	2.3	11.7	19.3	27.6	4.8	12.9	18.8	24.7	7.7	12.5	20.5	25.9	32.8	16.9	22.1	25.1	29.5
50-A10a	-	3.5	9.0	18.6	0.6	5.9	10.9	19.1	2.7	7.7	12.8	20.9	3.5	7.3	14.1	21.0	31.9	9.6	16.0	21.1	25.5

3. 실험결과 분석 및 검토

3.1 굳지않은 콘크리트의 물리적 특성

콘크리트의 배합 종류별 슬럼프, 공기량 및 염화물량 측정결과는 그림 1과 같다. 60분 경과 후의 슬럼프값은 시멘트량이 높은 40-A0a 배합과 응결시간이 짧은 조강포틀랜드시멘트를 사용한 50-B0a 배합을 제외한 나머지 배합의 콘크리트는 품질관리기준을 만족하였으며, 공기량은 모든 배합의 콘크리트가 품질관리기준을 만족하였다. 염화물량은 촉진형 혼화제Ⅱ를 사용한 50-A0c 배합의 콘크리트가 0.148kg/m³로 가장 높게 나타났으나, 0.3kg/m³ 이하의 품질관리기준은 만족하였다. 50-A0c 배합에 사용된 촉진형 혼화제Ⅱ에는 조강형의 성분으로 인해 가장 높은 염화물량을 나타냈지만, 시방서의 염화물량 기준을 만족하여 사용가능한 것으로 판단되었다.

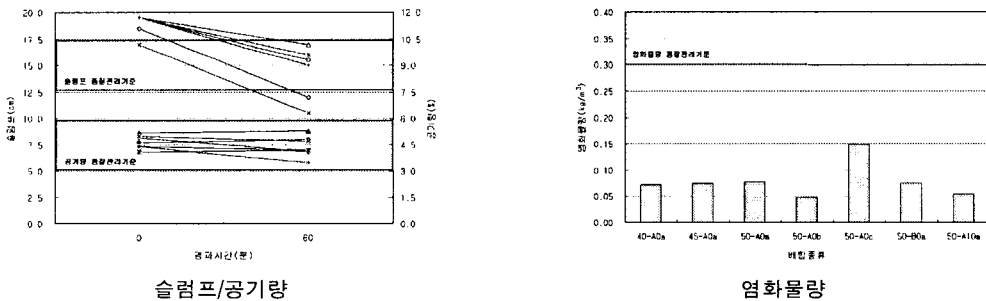
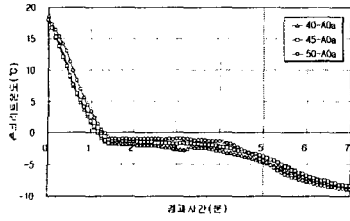


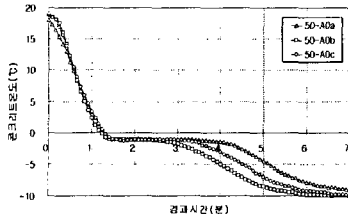
그림 1 물성실험결과

3. 2 콘크리트 동결온도

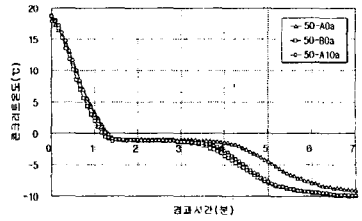
배합별 콘크리트의 온도측정결과는 그림 2와 같다. 그림 2와 같이 혼화제 및 결합제의 종류가 콘크리트의 동결온도에 미치는 영향은 없었지만, 단위시멘트량이 증가함에 따라 콘크리트의 동결온도는 낮아졌다. 이는 증가된 수화생성물이 콘크리트내 배합수의 결빙온도를 낮춘 것으로 판단된다.



물시멘트비



혼화제 종류

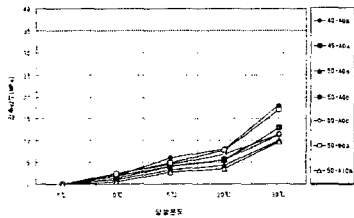


결합제 종류

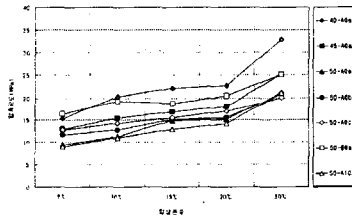
그림 2 배합별 콘크리트 온도측정결과

3. 3 조기재령 압축강도 발현특성

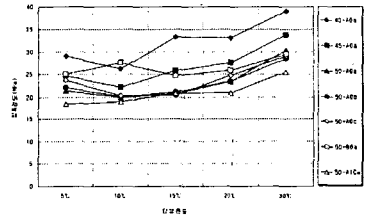
양생온도별 압축강도 및 50-A0a 배합을 기준으로 한 압축강도비율은 그림 3과 같다. 재령 3일 이전에는 양생온도의 증가에 따라 압축강도도 증가하였으나, 재령 7일에는 양생온도에 관계없이 유사한 수준의 압축강도가 확보되었다. 즉, 재령 3일 이내의 조기압축강도는 양생온도의 영향을 크게 받고, 재령 7일 이후의 압축강도는 양생온도에 관계없이 일정 값에 수렴되는 것을 알 수 있었다. 한편, 재령 3일 이내의 조기압축강도는 콘크리트 배합의 영향을 크게 받았는데, 10°C 양생온도에서 재령 1일 압축강도는 물시멘트비 5% 감소 시 기준 배합 대비 127%의 압축강도 확보가 가능하였고, 촉진형 혼화제 사용 시에는 기준 배합 대비 227%의 압축강도 확보가 가능하였다. 또한, 조강시멘트 사용 시에는 209%의 압축강도 확보가 가능한 것으로 보아 춘·추절기 저온기에 조기압축강도 확보를 위해서는 촉진형 혼화제의 사용이 가장 효과적인 방법인 것을 알 수 있었다.



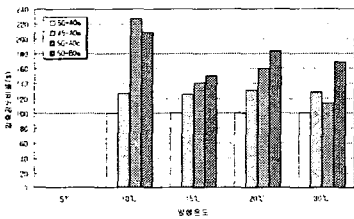
재령 1일



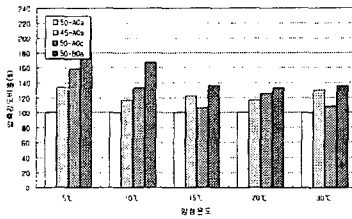
재령 3일



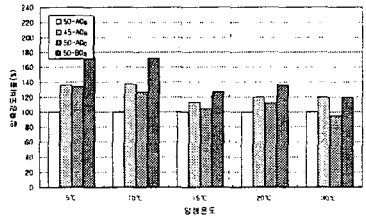
재령 7일



재령 1일



재령 2일



재령 3일

그림 3 재령별 압축강도 및 비율

4. 결론

- (1) 굳지않은 콘크리트의 물성에 큰 영향을 미치지 않고, 양생온도 10°C 이내의 저온기에 조기압축강도 확보를 위해서는 촉진형 혼화제를 사용한 배합설계 방법이 가장 효과적이었다.
- (2) 단위시멘트량을 증가시키거나, 조강포틀랜드시멘트를 사용하는 방법도 조기압축강도 확보에 유리하였지만, 굳지않은 콘크리트의 슬럼프 확보가 힘들어짐에 따라 단위수량이 증가되어 조기압축강도는 저하될 것으로 판단된다.