

고속철도 교량상판 슬래브용 고내구/고강도 콘크리트의 수화열 및 건조수축 특성 개선연구

A Study on Hydration Heat and Dry Shrinkage of High Durability /Strength Concrete for the Bridge Slab of Express Railway

박정준^{*} 백상현^{**} 정재현^{**} 박경재^{***} 윤원기^{****} 엄태선^{*****}
Park, J. J. Paik, S. H. Jeong, J. H. Park, K. J. Yun, W. G. Um, T. S.

ABSTRACT

The bridge slab of express railway was designed for high strength concrete (design strength 400 kgf/cm²). In case the slab is made with the concrete using type I cement, used much amount of cement can cause cracks through concrete by hydration heat or dry shrinkage. In this study we targeted to solve above problems using type III cement. We could decrease the cement ratio in concrete using type III cement than type I cement. The concrete using type III cement showed good workability and compressive strength, and showed better properties in hydration heat and dry shrinkage than that using type I cement

1. 서론

고속철도의 교량 박스거더 상판 슬라브는 고강도 콘크리트(설계강도 : 400 kgf/cm²)로 설계되어 있으나 1종 시멘트를 사용하여 현장품질 변동계수를 고려한 할증값이 고려된 고강도콘크리트를 배합설계할 경우 많은 양의 단위시멘트 사용이 요구되며, 이에 따라 수화열 및 건조수축에 의한 균열이 발생되어 내구성이 떨어질 염려가 있다. 따라서 상기와 같은 문제점을 해결하기 위해서는 적은 단위 시멘트량으로 고강도와 내구성이 발휘되면서 상기 특성이 해결되는 시멘트가 필요하다. 이러한 목적과 용도로 조강시멘트는 1종시멘트에 비해 분말도가 높고 응결시간이 빠르며, 초기·장기강도가 클 뿐만 아니라 내구성도 우수하므로 잘 적용할 경우에는 상기의 물성을 크게 개선할 수 있을 것으로 판단된다. 지금까지 대형부재 제작에서 1종시멘트에 비해 장기내구성(수화열, 건조수축, 내구성 등)이 불리한 것으로 알려져 있어, 600 kgf/cm² 이상의 고강도 콘크리트와 같은 제한적인 용도로만 활용되어 왔으나, 본 연구에서는 설계강도 400kgf/cm²의 강도를 요하는 고속철도 교량의 대형부재에 조강시멘트의 장점을 살려 적용성을 모색하고자, 조강시멘트를 사용하여 요구되는 작업성 및 강도의 배합을 설계하고, 선정된 배합의 수화열·건조수축·균열특성 등을 검토하였다.

* 쌍용중앙연구소 콘크리트연구실 연구원

** 쌍용양회 특수시멘트 사업팀원

*** SK건설(주) 고속철도 9-1공구 현장품질시험실장

**** 고속철도 9-1공구 현장소장

***** 쌍용중앙연구소 콘크리트연구실 책임연구원(공학박사)

2. 실험개요

2.1 사용재료

시멘트는 S사의 조강 및 1종시멘트를 사용하였으며, 골재는 김천의 고속철도 현장의 부순골재 및 모래를 사용하였고, 혼화제는 E사의 나프탈렌계 유동화제 및 리그닌계 AE감수제를 사용하였다.

2.2 콘크리트 요구특성

고속철도 교량 박스거더 상판 슬라브에 타설하는 고강도 콘크리트의 요구특성은 표 1과 같다.

표 1 콘크리트 요구특성

	G _{MAX} (mm)	혼화제	압축강도(kgf/cm ²)		슬럼프 (cm)	* 비고 : 한국공업규격(KSF 4009)의 변동계수 8%적용(할증 약 1.15)
			설계	*배합		
SPEC	19	유동화제+AE감수제	400	460	↑ 15	

2.3 실험방법

콘크리트 배합선정 실험은 W/C 선정, 단위시멘트량 선정, 최종배합 선정실험으로 진행하였고, 내구성 평가시험은 부재 및 Adiabatic Tester를 이용한 수화열시험과 40 x 10 x 10 cm의 직육면체 물드를 이용한 길이변화 및 부재의 균열축진실험에 의한 건조수축시험을 하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 배합선정 실험

3.1.1 W/C 비 결정실험

배합강도 460 kgf/cm²를 기준으로 할 때, 7일의 요구강도는 400 kgf/cm²으로 추정되며 이때의 요구되는 W/C 비는 약 43 %로 추정되었다.(그림 1 참조)

표 2 콘크리트 배합조건

	W/C (%)	S/a (%)	C/M (kg/m ³)	슬럼프(cm)		공기량(%)	
				0분	30분	0분	30분
C400	51.3	41.5	400	19.3	16.3	4.2	5.2
C425	48.7	41.0	425	19.0	16.0	4.5	5.4
C450	46.4	40.5	450	18.8	14.8	4.3	4.5

$$fcr = a+b \cdot C/W \Rightarrow 400 = 7.8333 + 170 X$$

$$X = 2.307$$

$$\therefore W/C(\%) = (1/2.307) \cdot 100 = 43.35 (\%)$$

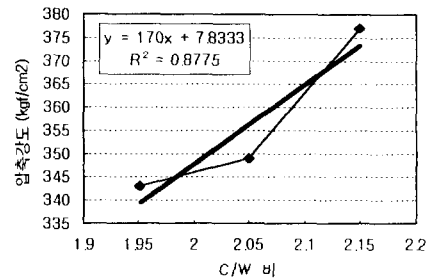


그림 1 C/W와 7일 압축강도와의 직선관계식

3.1.2 단위시멘트량 선정실험

앞서 강도-W/C 비에서 선정된 W/C 43%의 28일강도는 단위시멘트량을 375kg/m³에서 425kg/m³까지 변화시킨 배합조건 모두 요구강도 460kgf/cm² 이상을 나타냈으며, 단위시멘트량 375 kg/m³ > 400 kg/m³ > 425 kg/m³의 순으로 특성이 양호하였다.(그림 2) 이것은 상대적인 단위수량 감소에 기인하며 후기 슬럼프나 공기량 감소 등을 고려할 때 단위수량 또는 혼화제의 조정 등 배합수정이 요구되었다

3.1.3 최종배합 선정실험

공기량을 6.0±1.0 %에서 레미콘화 했을 때 조강배합에서 약간 작업성의 저하가 인정되나 1종배합과 유사한 경향을 나타내고 있다. 압축강도에서는 조강시멘트를 적용한 배합이 1종시멘트를 적용한 배합에 비해 높게 나타나고 있다.(표 4)

표 3 단위시멘트량 선정실험 배합조건

	W/C (%)	S/a (%)	C/M (kg/m ³)	SP/C (%)	슬럼프(cm)		공기량(%)	
					0분	30분	0분	30분
1종	37.0	43.0	470	1.1	23.1	19.8	4.2	6.3
조1	43.0	43.5	375	1.2	20.0	11.8	4.9	3.5
조2	43.0	42	400	0.8	20.0	11.0	4.0	2.8
조3	43.0	40.5	425	0.77	20.8	15.3	3.5	2.9

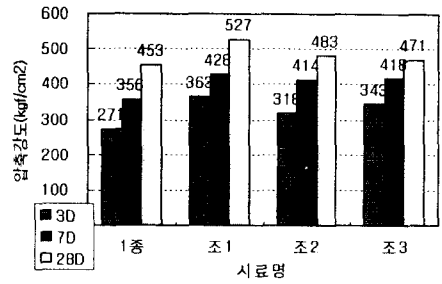


그림 2. 재령별 압축강도 특성

표 4 최종배합 선정실험 배합조건 및 물리특성

	W/C (%)	S/a (%)	C/M (kg/m ³)	SP/C (%)	슬럼프(cm)			공기량(%)			압축강도(kgf/cm ²)		
					0분	30분	60분	0분	30분	60분	3일	7일	28일
1종	37.0	43.0	470	1.1	22.6	20.0	14.0	5.7	7.4	6.2	285	370	466
조강	44.0	42.0	375	1.5	23.2	19.8	13.2	6.5	7.8	6.9	349	419	478

3.2 균열특성 평가시험

균열특성 평가시험은 표 4의 배합조건으로 실험하였다.

3.2.1 수화열 평가시험

Adiabatic Tester를 이용한 단위 온도상승의 실험결과, 1종시멘트 배합은 약 25 °C에서 80 °C로, 조강시멘트의 배합은 약 27 °C에서 73 °C로써, 부재의 온도상승은 1종시멘트 배합이 약 55°C, 조강시멘트 배합이 약 46°C 이었다. 따라서 조강시멘트를 적용한 배합이 1종시멘트를 적용한 배합에 비해 최고 상승온도 값이 약 7°C 정도 낮았다.(그림 3) 이것은 조강시멘트를 적용한 배합이 1종시멘트를 적용한 배합에 비해 사용 시멘트의 절대량이 작은 것에 기인한다.

부재 수화열 실험결과 콘크리트 내부의 최초온도는 1종배합이 23.2 °C 조강배합이 약 24.3 °C, 최고온도는 1종시멘트의 배합이 65.4°C, 조강시멘트의 배합이 61.9°C로 수화열에 의한 온도상승은 1종시멘트를 적용한 배합에 비해 3.5 °C정도 조강시멘트를 사용한 배합이 작았다.(그림 4)

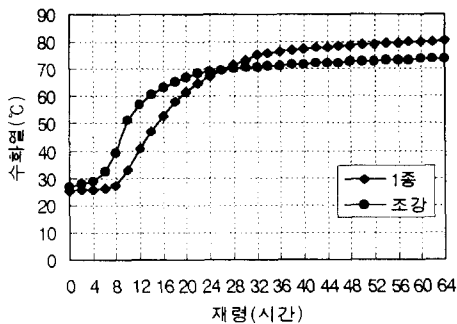


그림 3 단위온도상승 실험결과

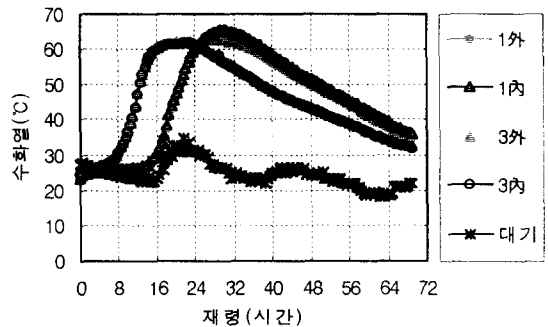


그림 4 간이부재 수화열 시험결과

3.2.2 건조수축

수중 7일양생 기준조건에서는 1종시멘트를 사용한 배합이 조강시멘트를 적용한 배합에 비해 4주 재령에서 수축량이 약 20-25% 정도 증가하였고(그림 5), 기건 2일 탈형기준조건에서도 약 10-15% 이상 증가하였다.(그림 6) 이런 경향은 측정재령이 길어질수록 증가할 것으로 판단된다.

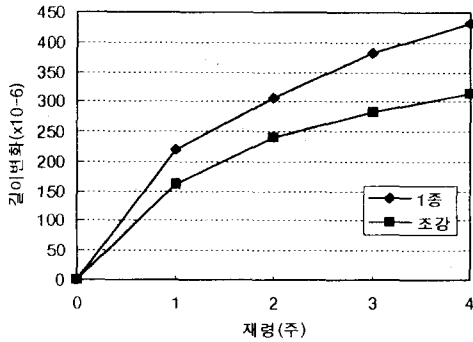


그림 5 수중양생 7일 후 길이변화

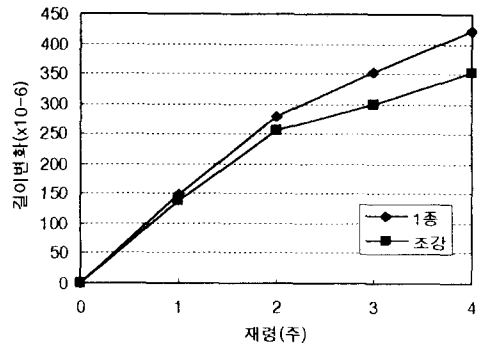


그림 6 기건양생 길이변화

3.2.3 구속균열 촉진실험

구속균열실험은 콘크리트의 수화열에 의한 초기균열(15일 이내 발생)현상은 해석할 수 없으나, 철근을 콘크리트 내에 부여하여 도입된 인장응력이 콘크리트의 인장강도에 비해서 큰 시점에 균열을 조기에 유도함으로써 콘크리트의 상대적인 균열현상을 조기에 진단할 수 있는 실험이며, 통상 보통 콘크리트는 약 30±5일 이내에 균열이 발생하고 혼합시멘트는 약 20±5일 이내에서 발생하며 사용된 W/C비에 콘크리트의 균열발생 일이 크게 영향을 받는 것으로 검토되고 있다.

본 조건은 고강도의 영역의 콘크리트 균열시험으로써 30일이 경과한 시점(99.9.12일)에서도 아직 모든 조건에서 균열이 발생되지 않고 있으나, 건조수축 실험으로 볼 때 1종시멘트의 사용배합이 조기에 균열이 발생할 것으로 예견되고 있다.

4. 결론

설계강도 400kgf/cm²의 상판슬래브(두께 약 50 cm)에서 조강시멘트를 사용하여 동일 작업성과 강도에서 콘크리트의 수화열, 건조수축, 균열특성 등의 내구특성을 조사하여 그의 적용성을 검토한 결과는 다음과 같다.

- 1) 조강시멘트는 1종시멘트에 비해 동일 시공성과 강도를 갖는 콘크리트를 배합설계할 때에 요구되는 단위시멘트량이 약 15% 이상 감소한다. 이는 조강시멘트의 특성상 1종시멘트에 비해 초기와 장기 강도가 향상하고 고내구성을 갖기 때문이다.
- 2) 설계강도 400kgf/cm²의 상판슬래브(두께 약 50 cm)에서 조강시멘트를 적용하면 1종시멘트에 비해서 수화열은 최고 7°C 정도 낮고 건조수축은 약 20-35% 정도 감소하고 있다. 이런 결과로 보아 초기 재령에서 발생하는 온도균열이나 장기재령에서 발생하는 수축균열 모두 조강시멘트 적용배합이 저항성이 커서 장기 내구성이 양호한 것으로 판단되며, 이러한 결과는 추가적인 실험에서 부재치수 100cm까지 동일 결과임을 확인하였다.
- 3) 이상과 같은 결과는 현장 기술자와 함께 그의 적용성을 현장에서 공동으로 검증하여 향후 유사한 구조물에 확대적용을 추진하고자 한다.

참고문헌

- 1 신성우, 정헌수, "최신 콘크리트공학", 한국콘크리트학회, 1997, pp.519-547
- 2 高強度コンクリートの技術の現況, 日本建築學會, 1991
- 3 高強度コンクリ트設計施工指針(案), 日本 土木學會, 昭和55년