

설계강도 150 MPa 초고강도 콘크리트 개발

Development of 150 MPa Ultra High Strength Concrete

손유신* 김한준* 김규동** 이승훈***
Sohn, Yu-Shin Kim, Han June Kim, Gyu-Dong Lee, Seung Hoon

ABSTRACT

The techniques related to ultra-high strength concrete(UHSC) became the key issue in recent days since requirements of the high-rise building which story is over than 100 gradually increases. Therefore, for the deveopment of 150MPa UHSC this research is generally categorized by 4 parts: development of pre-mixed binders, evaluation for the fire performance of coarse aggregate, optimization of the mixture proportion, and mock-up test.

Finally, based on the optimized mixture and its laboratory tests, mock-up test for wall and column specimens were carried out to simulate and evaluate the UHSC in real situation. The mechanical properties of core specimens were compared with the cylinder specimens made in laboratory. For instance, it showed the reasonable results that the strength at the age of 91 days is 183MPa.

1. 서론

최근 초고층 구조물에 대한 관심이 증대되고 국내외적으로 100층 이상의 초고층 구조물에 대한 시도가 이뤄지고 있는 시점에서 초고강도 콘크리트 기술은 필수적인 요소기술로 인식되고 있다.

이웃 일본에서는 2003년 설계강도 150MPa 수준의 초고강도 콘크리트가 개발되었으며, 120MPa 수준의 초고강도 콘크리트가 실용화 단계에 있다. 반면 국내 대부분의 건설사에서는 50~60MPa의 고강도 콘크리트가 일반적으로 사용되고 있고 타워팰리스 3차 현장에 적용된 설계강도 80MPa의 고강도 콘크리트가 최고 강도의 콘크리트로 기록되고 있으며, 설계강도 120MPa 이상의 초고강도 콘크리트는 초기 연구 단계에 있다.

따라서 본 연구에서는 일본에 이어 세계에서 두 번째로 설계강도 150MPa의 초고강도 콘크리트를 개발하고자 하였으며 이를 위하여 1종 보통 포틀랜드 시멘트와 고로 슬래그 미분말, 무수석고 및 실리카 폼으로 구성되는 4성분계 시멘트 결합재를 개발하였고 초고강도 콘크리트의 내화성능 확보를 위해 저융점 성분을 포함한 골재를 선정하였으며 배합변수 및 실험변수 등을 설정하여 실내배합을 진행함으로써 최적배합비를 도출하였다. 또한 실물모형실험을 통해 생산, 타설, 운반 및 양생 시 발생할 수 있는 문제점을 사전에 검토하고자 하였다.

* 정회원, 삼성물산(주) 건설부문 기술연구소 전임연구원
** 정회원, 삼성물산(주) 건설부문 기술연구소 선임연구원
*** 정회원, 삼성물산(주) 건설부문 기술연구소 수석연구원

2. 사용재료 개발 및 선정

초고강도 콘크리트 개발을 위하여 4성분계 혼합형 시멘트를 개발하였으며 골재 및 고성능 감수제는 관리기준을 정하여 이에 부합되는 재료를 선정하였다.

2.1 4성분계 혼합형 시멘트(C)의 개발

초고강도 콘크리트용 시멘트는 1종 보통 포틀랜드 시멘트, 고로 슬래그 미분말, 무수석고 및 실리카 폼을 일정 비율로 혼합한 4성분계 혼합형 시멘트를 사용하였으며, 물리·화학적 특성은 표 1에 나타난 바와 같다.

표 1 초고강도 콘크리트용 시멘트 물성

평균입경	비중	분말도	응결시간(분)		압축강도(MPa)				
			초결	종결	1일	3일	7일	14일	28일
10.7 μ m	2.89	8,340cm ² /g	313	320	9.9	34.0	46.0	54.6	63.0

2.2 굵은 골재(G) 및 잔골재(S)의 선정

사용된 골재의 물성 시험결과는 표 2에 나타난 바와 같으며 굵은 골재의 최대치수는 13mm이며 압축강도는 204MPa로 콘크리트의 설계기준강도인 150MPa 이상인 골재를 사용하였다. 또한 초고강도 콘크리트의 내화성능 확보를 위하여 1,200℃ 가열시험을 통해 용출물이 없는 굵은 골재를 선정하였다. 잔골재는 콘크리트의 점성을 저하시키기 위하여 조립율 2.9~3.0인 골재를 사용하였다.

표 2 골재물성 시험결과

구분	산지	조립율	흡수율	비중	마모율	압축강도
굵은골재	경북 칠곡	5.89	1.13	2.65	19.9%	204MPa
잔골재	인천 세척사	2.99	0.9	2.59	-	-

2.3 고성능 감수제(AD)의 선정

고성능 감수제는 분산력과 감수력이 우수한 제품으로 주성분은 폴리칼본산계이며, 고형분은 30.1%인 제품을 사용하였다.

3. 설계강도 150MPa 초고강도 콘크리트 개발

3.1 배합변수 결정

(1) 물-결합재비(W/B) 결정

물-결합재비를 결정하기 위하여 물-결합재비 12%, 14%, 16%에 대하여 실험을 실시하였으며, 그 결과는 그림 1에 나타난 바와 같이 재령 91일에 모든 경우에서 150MPa를 만족하는 결과를 나타내었다. 하지만 레미콘 생산에 따른 강도감소를 고려할 때 물-결합재비 14% 이하가 적정 수준인 것으로 판단된다.

(2) 단위수량(W) 결정

단위수량 결정을 위하여 물-결합재비 14%에 대하여 단위수량을 130kg/m³, 140kg/m³, 150kg/m³에 대하여 실험을 실시하였으며, 그 결과는 그림 2에 나타난 바와 같다. 단위수량이 10kg/m³ 증가함에 따라 압축강도가 약 2~3% 증가되는 경향을 나타내었다. 따라서 안정적인 강도발현과 콘크리트 물성을 고

려하여 140kg/m³ 이상을 적용하는 것이 적절할 것으로 판단된다.

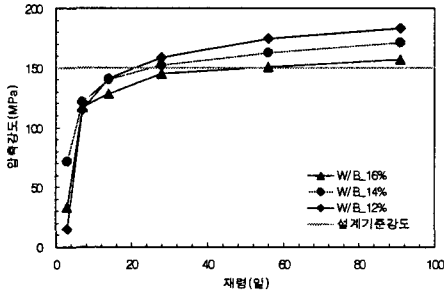


그림 1 물-결합재비에 따른 강도발현 특성

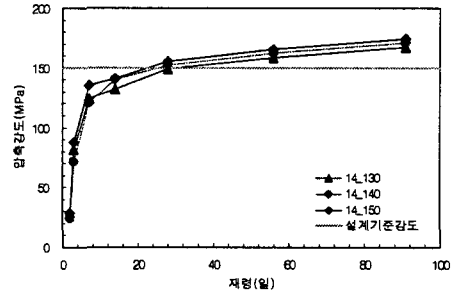


그림 2 단위수량 변화에 따른 강도발현 특성

(3) 잔골재율(S/a) 결정

잔골재율은 물-결합재비 14%에 대하여 30%, 35%, 40%로 변화시키며 실험을 진행하였는데 잔골재율의 변화에 따른 유동성 및 강도결과는 유사한 경향을 나타내어 초고강도 콘크리트에서 중요한 변수는 아닌 것으로 판단되나 육안관찰시 잔골재율 30%에서는 페이스트의 점성이 다소 낮은 것으로 판단되어 잔골재율은 35~40%가 적절한 것으로 판단된다.

3.2 최적배합비 범위

실내실험 결과를 통한 최적배합비 범위는 표 3에 나타난 바와 같다.

표 3. 최적배합비 범위

물-결합재비	잔골재율	단위수량	굵은골재	잔골재	고성능 감수제
14% 이하	35~40%	140~150kg/m ³	13mm 이하	조립율 2.9~3.0	B×3.0%~3.5%

4. 실물모형실험 (Mock-Up Test)

개발된 설계강도 150MPa 초고강도 콘크리트에 대한 실내배합 결과를 근거로 레미콘 배치플랜트에서의 시험생산과 실물모형실험을 실시하여 현장 적용 시 발생할 수 있는 문제점을 사전에 해결하고 효율적인 품질관리가 가능하도록 하였다.

4.1 실험계획 및 내용

실험부재는 그림 3에 나타난 바와 같이 기둥부재와 벽체부재로 계획하였으며 기둥 #1과 벽체에는 PP섬유를 포함하지 않은 초고강도 콘크리트의 타설을 계획하였고 기둥 #2에는 PP섬유를 포함한 초고강도 콘크리트 타설을 계획하였다. 또한 실물모형실험에 사용된 배합은 실내실험과 레미콘 시험생산을 통해 결정하였으며 표 4에 나타난 바와 같다.

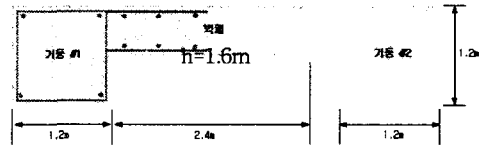


그림 3 실물모형실험 부재계획

표 4. 시방배합표 (설계강도 150MPa 초고강도 콘크리트)

	W/B	S/a	단위재료량				AD	PP 섬유
			W	C	S	G		
PP섬유 무혼입	14%	40%	140	1,000	520	813	B×3.0%	-
PP섬유 혼입							B×3.5%	Vol×0.35%

4.2 실험결과

실물모형실험 결과로서 굳지 않은 콘크리트 물성시험 결과는 표 5에 나타난 바와 같으며, 공시체 압축강도 및 코아 압축강도는 그림 4, 그림 5에 나타내었다.

표 5 굳지않은 콘크리트 물성시험 결과

구분	슬럼프 플로우(cm/cm)		50cm 도달시간(sec)		공기량 (%)		온도(℃)
	공장	현장	공장	현장	공장	현장	
PP섬유 무혼입	75/73	67/66	8.0	12.9	1.5	1.5	23.0
PP섬유 혼입	67/68	60/61	12.0	16.0	2.3	2.0	23.0

표 5에 나타난 바와 같이 현장 타설 시 슬럼프 플로우는 60cm 이상이고 자체 증진성이 있어 워커 빌리티는 우수하였으며, 압축강도 측정결과에서는 그림 4, 그림 5에 나타난 바와 같이 재령 91일에 모두 설계기준강도를 만족하는 결과를 나타내었다.

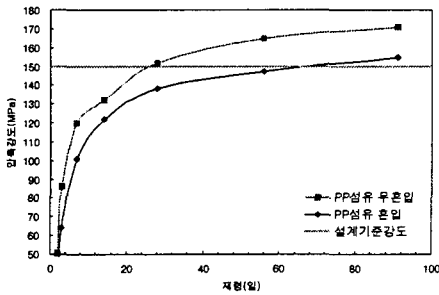


그림 4 공시체 강도 측정결과

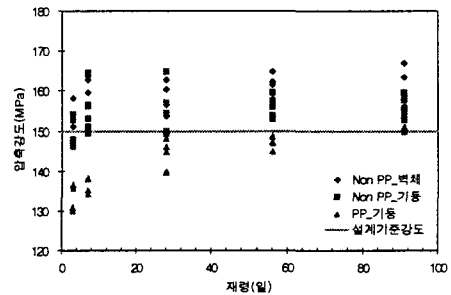


그림 5 코아 강도 측정결과

5. 결론

본 연구에서는 설계강도 150MPa 초고강도 콘크리트 개발을 목표로 사용재료 검토, 실내배합 및 실물모형실험을 진행하였으며, 이를 통한 결론은 다음과 같다.

1) 초고강도 콘크리트 개발을 위하여 4성분계 혼합형 시멘트를 개발하였으며 굵은골재는 낮은 저유점 성분을 함유하여 1,200℃에서의 내화능력이 확보되며 콘크리트의 설계기준강도 이상인 원압강도를 가진 골재를 선정하였다. 또한 잔골재는 콘크리트의 점성 증가를 막기 위하여 조립율이 2.9~3.0인 것을 선정하였다.

2) 설계강도 150MPa 초고강도 콘크리트를 개발한 결과 적정 물-결합재비 14%이하, 잔골재율 35~40%, 단위수량은 140~150kg/m³ 범위를 나타내었으며, 압축강도 측정결과 재령 91일에 최대 183MPa를 나타내었다. 또한 실물모형실험을 통해서 레미콘 생산, 운반, 타설 및 양생에 대한 전반적인 내용을 검토한 결과 우수한 워커빌리티와 높은 압축강도 및 미려한 표면상태를 확인할 수 있었다.

3) 본 연구를 통해 개발된 설계강도 150MPa 초고강도 콘크리트는 06년 6월 약 50층 규모의 주상복합 건물에 시험적용 할 계획이다.

참고문헌

1. 小室 努 外 ; 150N/mm²級の超高强度コンクリートを用いたRC柱の實用化研究, 콘크리트工学 Vol. 39, No. 10, 2001.10