

압축강도 1800kg/cm²의 초고강도콘크리트 개발에 관한 실험적 연구

(제 1 보 실험계획 및 예비실험)

An Experimental Study on the Manufacture Ultra-High Strength Concrete of 1800 kg/cm² Compressive Strength

(Part 1 The Experimental Program and Preliminary Experiment)

김 규 용* 김 진 만** 이 상 수** 남 상 일** 김 무 한***
Kim, Gyu Yong Kim, Jin Man Lee, Sang Soo Nam, Sang Ill Kim, Moo Han

ABSTRACT

To reduce the size of structural members, high strength concrete has recently been utilized for structure such as ultra-high-rise buildings and prestressed concrete bridges in North America, and its compressive strength has gone up to 1300 kg/cm². In Japan, research on high-strength concrete has been undertaken on a large scale by the national enterprise so-called New RC Project. And high-strength concrete with a design compressive strength over 450 kg/cm² has recently been employed for high rised reinforced concrete building. As a result of the serious land availability situation of metropolitan areas in the world, buildings will become taller, and even higher strengths will be required. In the future, the utilization of high-strength concrete will spread widely through the development of new structural concepts, application of steels of a higher yield stress, silica fume, and other new materials.

Considering these circumstance, the aim of this experimental study is to develop ultra-high-strength concrete with compressive strength over 1800 kg/cm² with domestic current materials. There are so many factors which influence the manufacturing of ultra-high-strength concrete. The experimental factors selected in this study are mixing methods, curing methods, water-binder ratio, maximum size of coarse aggregate, absorption state and coating method of coarse aggregate, and the replacement proportion of cement by silica fume. The results of this experimental study show that it is possible to develop the ultra-high-strength concrete with compressive strength over 1700kg/cm² at 28 days, 1800kg/cm² at 56 days.

1. 서론

고강도 콘크리트의 사용은 세계적인 추세이며, 고강도 콘크리트를 사용함으로써 얻어지는 잇점을 고려할 때 고강도 콘크리트의 적용은 앞으로 계속 증가할 것으로 사료된다. 고강도콘크리트에 관한 연구가 축적된 미국의 경우에는 80년대말에 이미 압축강도 1300 kg/cm²의 고강도콘크리트를 실제 시공한 예가 보고되고 있으며, 일본에서도 주거용 건축물을 중심으로 고강도 콘크리트의 적용이 이루어져 왔으며, 최근에는 New RC Project를 성공적으로 완료함에 따라 앞으로 급속히 증가할 것으로 생각된다. 선진국에 비하여 비교적 최근에 연구가 이루어진 국내의 경우 고강도콘크리트에 대한 연구성과는 아직 선진국과 많은 격차를 보이고 있다. 그러나 금년도 콘크리트 학회에서 주관한 콘크리트의 압축강도 콘테스트가 개최됨으로써 국내의 고강도콘크리트의 제조기술은 한단계 발전될

것으로 기대된다.

본 실험은 콘크리트의 압축강도 콘테스트에 출품하기 위하여 행한 몇가지의 실험을 요약한 것으로서 실험의 진행과정은 그림 1과 같으며, 본 보는 제 1 보로서 실험계획 및 예비실험에서 검토한 사항을 고찰한 것이고 제 2 보에서는 압축강도 1800kg/cm²의 초고강도 콘크리트의 제조방법에 관하여 고찰하였다.

2. 초고강도콘크리트의 제조를 위한 예비실험

2.1 조골재의 함수상태 및 코팅에 관한 실험

콘크리트의 강도는 물시멘트비에 의하여 결정되는 페이스트 강도에 의하여 영향을 크게 받게 되지만, 콘크리트의 강도가 높아질 수록 골재와 페이스트의 부착강도와 골재자체의 강도에 의한 영향이 증가하게 된다. 그러므로 초고강도콘크리트를 제조하는데 있어 표면이 거칠고 평평세장하지 않은 경질의 골재를 사용하는 것은 매우 중요하게 되며, 또한 골재의 함수량을 저하시키는 것은 골재와 페이스트의 계면 강도 증진에 기여할 수 있을 것이다.

* 정희원, 충남대학교 대학원 건축공학과 석사과정

** 정희원, 충남대학교 대학원 건축공학과 박사과정

*** 정희원, 충남대학교 교수, 공학박사

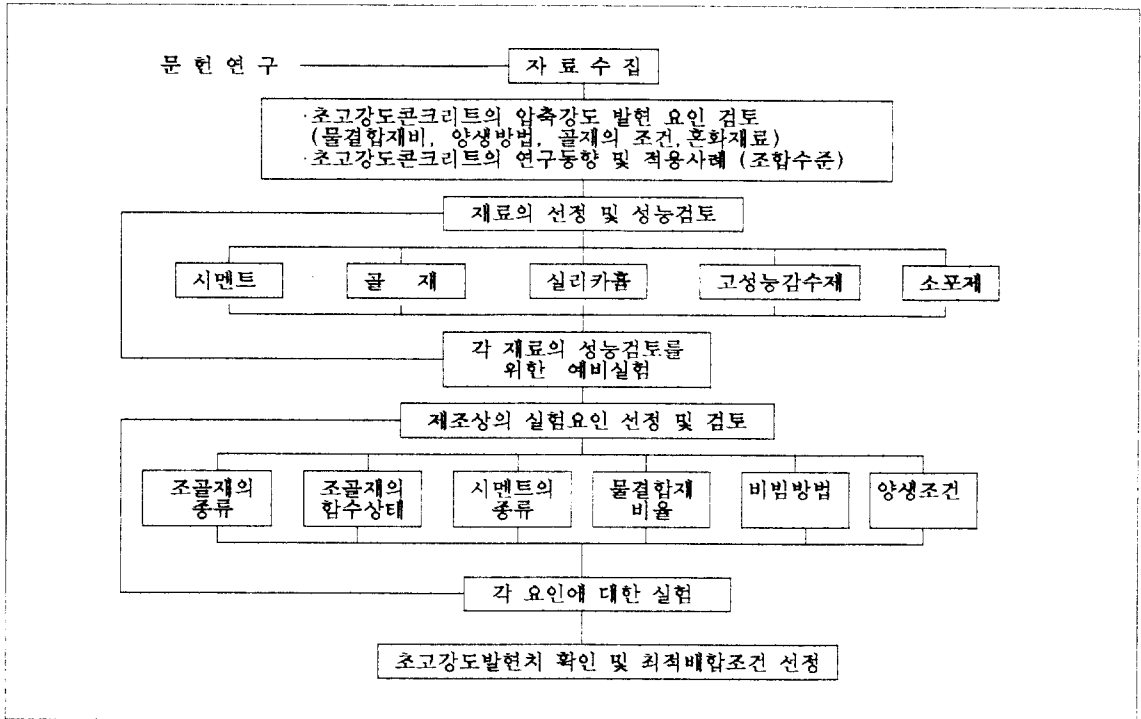


그림 1 초고강도콘크리트 개발에 관한 실험 추진계획

본 실험은 골재의 함수상태 및 코팅에 의한 영향을 알아보기 위한 실험의 일환으로 표 1과 같이 골재의 함수상태를 표건상태 및 절건상태로 하고 골재의 코팅재를 3가지 수준으로 하여 실험을 행하였다.

실험결과에 의하면 재령 3일의 경우에 절건상태의 골재를 사용한 경우는 표건상태의 골재를 사용한 경우와 동등한 수준의 강도발현을 보이고 있으나 조골재를 코팅한 경우에는 모두 표건상태의 골재를 사용한 경우 보다 낮은 강도를 보이고 있다. 그러나 재령

7일에는 표건상태의 것에 비하여 조골재를 코팅한 경우 물결합재비(W/B) 1.0으로 한 것을 제외하면, 40-50kg/cm² 정도의 강도를 더 발현하고 있으며, 절건상태의 것도 25 kg/cm² 정도의 강도를 더 발현하는 것으로 나타나고 있다.

절건상태의 골재를 사용한 콘크리트에서 강도의 증진이 발생한 것은 조골재 주변의 수분을 골재가 흡수하여 계면의 물결합재비를 저하시킴으로써 강도의 증진이 이루어진 것으로 사료되며, 또한 골재를 코팅한

표 1 실험요인 및 압축강도 결과

골재의 조건		W/B	SF 대체율 (%)	압축강도 (kg/cm ²)	
				3일	7일
표건 상태	24시간 흡수 후 표면 건 조상태로 만듦	0.18	15	668	813
절건 상태	건조기에서 정중량으로 건조함			694	839
코팅 (1)	시멘트 페이스트(W/B 1.0, SF 15%)에 24시간 침적 후 2시간 방치함			608	751
코팅 (2)	시멘트 페이스트(W/B 0.3, SF 15%)로 코팅한 후 2시간 건조함			726	845
코팅 (3)	시멘트 페이스트(W/B 0.2, SF 15%)로 코팅한 후 2시간 건조함			729	851

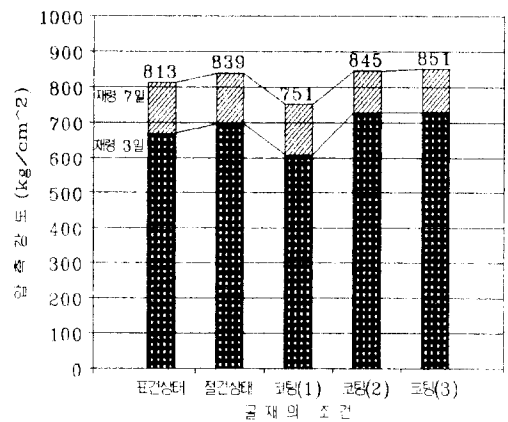


그림 2 조골재의 조건에 따른 압축강도의 변화

경우에 발생한 강도의 증진은 조골재 주변을 물시멘트비가 낮은 재료로 코팅한 후 건조시킴으로써 절건 상태의 조골재를 사용하였을 경우와 동일하게 계면을 강화하여 나타난 현상으로 사료된다. 그러나 골재의 코팅이 매우 어렵고 대량화 하기 어려운 단점이 있어 실용화에는 좀더 연구가 필요할 것으로 사료된다.

2.2 시멘트의 종류에 관한 실험

시멘트의 강도는 콘크리트의 강도에서 매우 중요한 부분을 차지하여 시멘트의 각종 물리·화학적 특성은 콘크리트의 품질에 많은 영향을 주게 된다. 그러므로 본 실험에서는 시멘트의 종류에 따른 초고강도 콘크리트의 강도에 미치는 영향을 알아 보고자 표 2와 같이 3종류의 시멘트를 사용하여 제조한 콘크리트의 물리적 성상을 비교·검토하고자 하였다.

시멘트의 종류에 따른 재령별 압축강도 발현 성상을 나타낸 표 2 및 그림 3에서 알 수 있는 바와 같이 초기재령에서 분말도가 높은 시멘트일 수록 강도발현이 상대적으로 높게 나타났으며, 특히 초조강시멘트의 강도발현치가 보통포틀랜드시멘트보다 높았으며 장기재령에서도 꾸준한 강도발현을 보이고 있는데, 이는 시멘트의 분말도가 높을 수록 수량과 접촉할 수 있는 표면적이 증대하여 수화속도와 강도발현속도가 증대된다는 기존의 실험보고와 일치하고 있다.

표 2. 단위시멘트량에 관한 실험계획 및 압축강도 시험결과

시멘트 종류	비중	분말도	강열감량	W/B	단위 수량	압축강도 (kg/cm ²)			
						1주	4주	8주	12주
H사 보통	3.15	3247	1.33	0.25	150	563	714	758	777
S사 보통	3.15	3320	0.9			653	751	777	836
S사 초조강	3.11	6150	0.8			738	833	813	891

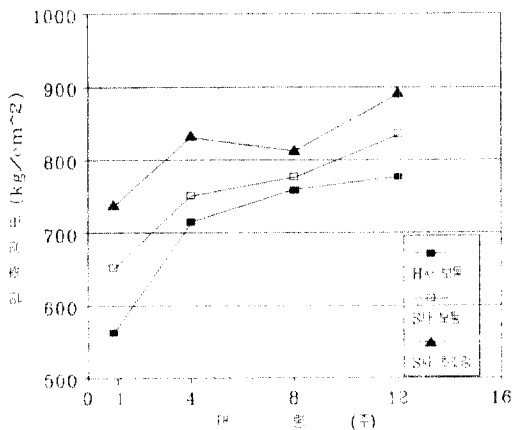


그림 3. 시멘트의 종류별 재령에 따른 압축강도의 발현

2.3 물결합재비의 영향에 관한 실험

콘크리트의 강도에 가장 많은 영향을 주는 것은 물과 결합재의 비율이지만 물결합재비가 0.20 이하로 되면 물결합재비의 법칙이 성립하지 않게 된다. 이에 본 실험에서는 표 4와 같이 물결합재비 0.15-0.18를 대상으로 물결합재비의 영향에 관하여 검토하였다.

실험결과에 의하면 표 3 및 그림 4에서 알 수 있는 바와 같이 재령 1주 및 4주에서 공히 물결합재비 0.17과 0.18에서 강도의 발현이 높게 나타나고 있다.

표 3 물결합재비의 영향에 관한 실험계획

W/B	SF의 대체율 (%)	시멘트 종류	단위 수량 (kg/m³)	압축강도 (kg/cm ²)	
				1주	4주
0.18	15	S사 초조강	160	938	1158
0.17				940	1101
0.165				930	1087
0.15				943	1103

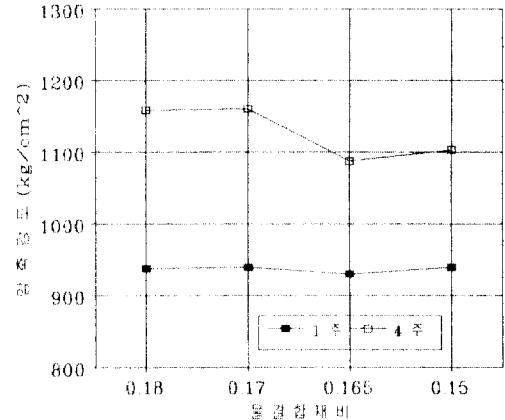


그림 4 물결합재비에 따른 압축강도의 변화

2.4 양생조건에 관한 실험

콘크리트의 제조후 강도의 발현을 높이기 위하여는 적절한 양생을 실시하여야 한다. 일반적으로 고압의 중기양생(오토클레이브 양생)은 단기간에 장기의 강도를 얻기 위한 방안으로써 많이 사용되고 있는 것으로 보고되고 있다. 이에 본 실험에서는 표 4와 같이 수중양생과 오토클레이브 양생을 채용하여 물결합재비 0.15-0.18 수준, 실리카흄의 대체율 15-30%를 대상으로 실험을 실시하였다.

본 실험의 결과에 의하면 재령 1주에는 오토클레이브양생의 경우가 전반적으로 높은 강도를 보이지만 재령 4주에는 오히려 수중양생의 경우가 약간 높은 강도를 보이고 있는 것도 있는데 이는 콘크리트를 형성하고 약 1주 후에 오토클레이브 양생을 실시함으로써 온도응력에 의한 내부 균열이 발생하여 나타난 결과로 사료된다.

표 4 양생방법에 따른 압축강도의 변화

비교	W/B	SF의 대체율 (%)	단수 위량 (kg/m ³)	양생 방법	압축강도 (kg/cm ²)	
					1주	4주
A1	0.18	15	160	수중양생	938	1158
B1	0.17				940	1101
C1	0.165				930	1087
D1	0.15				943	1103
A2	0.18	15	160	오토클레이브양생	1203	1274
		30			1103	1121
B2	0.17	15			1166	1027
		30			1106	1116
C2	0.165	15			1013	1124
D2	0.15				1062	1003

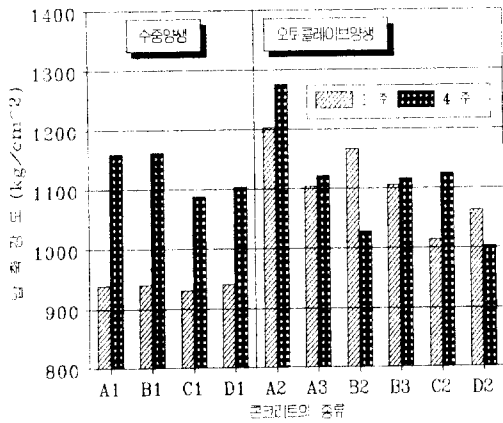


그림 5. 양생조건에 따른 압축강도의 변화

2.5 골재 종류의 영향에 관한 실험

골재 표면의 거칠어지면 골재와 페이스트의 결합면적이 넓어지고 역학적인 결합력을 증진시킬 수 있으므로 콘크리트의 강도발현에 유리하게 된다.

본 실험에서는 강자갈을 일정한 크기로 분쇄하여 제조한 켄강자갈과 대전지역에서 유통되고 있는 채석을 사용하여 각각 입대를 조절하여 표 4와 같이 비교 실험을 행하였다.

시험결과를 나타낸 표 5 및 그림 6에서 알 수 있는 바와 같이 채석을 사용한 경우에는 켄강자갈을 사용한 콘크리트에 비하여 높은 강도를 발현하여 재령 28일의 경우에는 약 200kg/cm²의 강도를 더 발현하고 있다. 일반적으로 동일한 조골재를 사용할 경우 최대 크기가 줄어들수록 강도가 증가하게 되나 본 실험에서는 조골재의 크기가 줄어들수록 낮은 강도를 보이고 있는데 이는 골재의 크기가 작을 것이 연약질의 것을 많이 포함하고 있기 때문에 나타난 현상으로 사료된다. 또한 본 실험에서 수중양생을 실시하고도 재령 28일에 1300kg/cm²을 넘는 초고강도콘크리트의 제조가 가능하였다.

표 5 실험계획 및 압축강도의 시험결과

골재 종류	조골재 크기 (mm)	W/B	SP제거율 (%)	SF의 대체율 (%)	압축강도 (kg/cm ²)			
					1일	3일	7일	28일
켄강	15	0.17	3.4	15	-	975	990	1105
자갈	10				886	-	984	973
채석	13				951	1093	1145	1320
	10				-	959	1152	1318

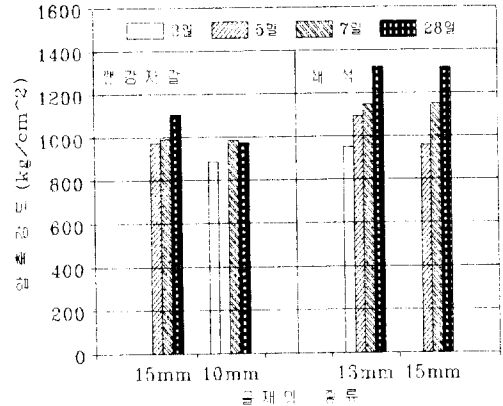


그림 6 조골재의 종류에 따른 압축강도의 변화

3. 결론

압축강도 1800kg/cm²의 초고강도콘크리트를 제조하기 위한 예비실험결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 조골재를 물시멘트비가 낮은 시멘트페이스트로 코팅을 실시하여 표준상태의 골재를 사용한 경우보다 재령 7일에 약 40kg/cm² 정도 높은 강도를 발현하는 콘크리트의 제조가 가능하였으며, 절건상태의 골재를 사용한 경우에도 양호한 결과를 얻을 수 있었다.
2. 보통포틀랜드시멘트에 비교하여 조강 또는 초조강 시멘트는 초기재령의 강도는 높지만 장기의 강도는 저하하는 결과들이 많이 보고되었지만 본실험에서는 재령 12주까지도 초조강시멘트가 높은 강도를 발현하고 있어 초고강도콘크리트의 제조에는 초조강시멘트를 사용하는 것이 유리할 것으로 사료된다.
3. 물결합재비 0.15-0.18의 수준을 대상으로 실시한 본 실험에서 초고강도 콘크리트를 제조하기 위한 적절한 물결합재비는 0.17-0.18의 수준으로 나타났다.
4. 콘크리트의 성형후 1주가 경과하여 오토클레이브 양생을 실시한 본 실험에서 수중양생에 비하여 7일 강도는 높았으나 재령 28일의 경우에는 낮은 강도를 발현하는 경우도 있어 오토클레이브양생시 많은 주의가 필요할 것으로 사료된다.