

壓縮強度 2300kg/cm²의 超高強度콘크리트의 開發에 관한 實驗的 研究

-제 2보, 초고강도콘크리트의 제조에 관한 실험을 중심으로-

An Experimental Study on Manufacturing Ultra-High Strength Concrete of 2300kgf/cm² Compressive Strength

-Part 2, The Experiment on the Manufacture of the U-H-S Concrete-

○ 김진만^{*} 최희용^{**} 김규용^{**} 김무한^{***}

Kim, Jin Man Choi, Hee Yong Kim, Gyu Yong 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 1300kgf/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 this Project purposed to develop the design compressive strength of 1200kgf/cm².

Considering these circumstance, the aim of this experimental study is to develop ultra-high-strength concrete with compressive strength over 2300kgf/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, 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 2300kgf/cm².

1. 서론

본 연구는 현재 국내에서 유통되고 있는 재료를 이용하여 압축강도 2300kgf/cm²의 초고강도콘크리트의 개발이 가능한지를 실험·실증적으로 알아보기 위한 일련의 실험적 연구이며, 본 보는 압축강도에 영향을 주는 각 요인에 대하여 고찰한 제 1보 예비실험에 이은 제 2보로써 압축강도 2300kgf/cm²의 초고강도콘크리트의 제조에 관한 것이다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 표1에 나타낸 바와같이 초고강도콘크리트의 압축강도 발현에 영향을 미치는 요인들을 검토한 제 1보의 예비실험결과를 바탕으로 불결합재비를 0.18로 하고, 단위결합재량을 900, 1000, 750 kg/m³의 3수준으로 하였다. 또한, 단위수량은 각각 162, 180, 135 kg/m³으로 하였으며, 실리카흙의 대체율은 25%로 하였으며, 고성능감수제의 첨가율을 소요의 유동성을 확보할 수 있는 정도의 양을

* 正會員, 忠南大 大學院 (碩士課程)

** 正會員, 忠南大 大學院 (博士課程)

*** 正會員, 忠南大 教授 工·博

표 1. 실험의 요인 및 수준

요 인	수 준
단위결합재량 (kg/m ³)	900, 1000, 750
물 결합재비	0.18
실리카흙의 대체율(%)	25
단위수량 (kg/m ³)	162, 180, 135
잔골재율 (%)	38
양생온도 및 방법	80℃ 고온수증양생

첨가하였다.

또한, 콘크리트의 시험형복은 3일 및 7일 압축강도로 하였다.

2.2 사용재료

2.2.1 시멘트

시멘트의 물리·화학적 성질은 콘크리트의 강도에 매우 큰 영향을 주게 된다. 현재 초고강도화에 적합한 것으로는 *high belite* 시멘트, 구상형시멘트, 최밀충진형 시멘트등이 제안되고 있으나 국내의 경우에는 생산이 되고 있지 않기 때문에 분말도가 높고 조강화의 경향이 강한 국내 S사의 초조강시멘트를 사용하였으며, 그 물리적 성질은 표2와 같다.

표 2. 시멘트의 물리적 성질

종류	분 말 도		응결시간 (h:m)		압축강도 (kg/cm ²)			
	Blain (cm ² /g)	+44 μ (%)	초결	중결	1일	3일	7일	28일
초조강 시멘트	6000	1.6	3:20	5:15	199	362	450	527
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	f-CaO
20.8	4.1	3.2	62.4	3.0	0.09	0.53	4.7	1.0
LSF	SM	IM	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	강열 안정도 감량 (%)	
90.8	2.83	1.29	50	22	5.6	9.7	1.0	0.12

2.2.2 실리카흙

실리카흙은 대단히 미세한 결정질로써 실리카 함유량이 많고, 분말도가 크기 때문에 수화 초기부터 수산화칼슘과 결합하는 포졸란 반응

을 보인다. 그리고, 시멘트입자의 약 1/25 정도로 미세하여 공극을 충전하는 역할을 하므로 초고강도콘크리트의 제조에 있어서 꼭 필요한 재료이다.

본 실험에서 사용한 실리카흙은 E사의 마이크로실리카이며, 그 물리·화학적 성질은 다음 표 3과 같다.

표 3. 실리카흙의 물리·화학적 성질

비중	비표면적 (cm ² /g)	입경 (>44 μ, %)						
2.2	220,000	1.0						
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	S	C
86	0.4	0.1	0.1	0.4	0.3	0.3	0.1	0.5
96	1.0	1.5	0.5	0.5	3.0	2.0	0.4	2.5

2.2.3 골재

골재는 현재 대전지역에서 생산되고 있는 2.5mm 이하의 세골재와 10mm 이하의 조골재를 사용하였으며, 골재의 함수상태는 절건상태를 유지시켜 골재와 시멘트페이스트 사이의 잉여수를 흡착시켜 시멘트페이스트와 골재 사이의 전이영역(轉移領域) 강도를 증진시키고자 하였으며, 그 물리적 성질은 표 4와 같다.

표 4. 골재의 물리적 성질

최대 입경 (mm)	비중	흡수율 (%)	산 지
세골재 (쇄사) 2.5mm, 조골재 (쇄석) 10mm	2.59	2.40	대전산

2.2.4 고성능감수제 및 소포제

고강도화, 고밀도화를 위해서는 시멘트페이스트에서 고도의 분산작용이 이루어져야 한다. 이를 위해서는 감수성능과 유동성능이 우수한 고성능감수제 또는 고성능AE감수제의 사용이 필요하게 된다.

표 5. 고성능감수제의 물리 성질

품명	주성분	비중	고형분량 (%)	형상	독성	용도
SSP-104	Graft Copolymer	1.1 ± 0.03	30	액상	무	초고강도 콘크리트용

표 6. 소포제의 물리적 성질

품명	비중	색상	형상
AFK-2	1.1	황색	액상

본실험에서 사용한 고성능감수제 및 소포제의 물리적 성질은 표5 및 표6과 같다.

2.3 콘크리트의 비법, 성형 및 양생방법

2.3.1 비법방법

콘크리트의 강도발현을 위해서는 각 구성재료의 균질성을 확보하는 것이 중요한 요인으로써, 이것은 콘크리트 비법과정에서 충분히 고려되어야 할 사항이다.

특히, 시멘트입자를 균질하게 분산시켜 수화도가 향상되도록 해야 한다. 현재 일반 현장에서 행해지는 재료의 일괄투입법은 고강도영역 콘크리트제조에 채용한다면, 믹서의 부하량이 증대될 뿐만 아니라, 콘크리트의 균질성 확보에 어려움이 있다.

그러므로 본 실험에서는 그림1 및 그림2와 같이 시멘트, 실리카흄과 세균제(약1/2)를 먼저 투입하여 건비법을 한 후, 물과 고성능감수제

및 소포제를 투입하여 모르터를 충분히 유통시킨 후, 나머지 세균제 (1/2)를 투입하여 다시 비비는 분할투입방법을 채용하였다.

또한 비법시 사용한 믹서는 된비법콘크리트의 균질성을 좀더 향상시키기 위해 용량 30ℓ의 Omni-Mixer를 사용하였다.

2.3.2 성형방법

콘크리트를 2층으로 나누어 몰드에 부은 후, 각 층을 붓미이브레이터로 60초간 다진하고 다시 테이블 바이브레이터로 30초간 진동시킨 후 마감을 하였으며, 측정하기전 공시체의 상하면은 연마하였다.

2.3.3 양생방법

공시체 성형 12시간 후, 발현을 하여 80±3℃의 고온수에서 5일간 양생을 한 후, 소정의 재령이 될때까지 40±3℃, 상대습도 100%의 항온항습조에서 양생을 실시하였다.

2.4 콘크리트의 조합

콘크리트의 조합은 최고치의 압축강도를 가지는 초고강도콘크리트를 제작키 위해 여러

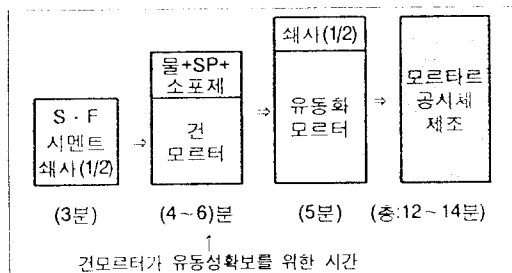


그림 1 모르타르배합 비법방법

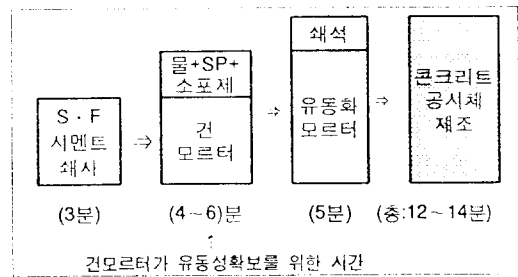


그림 2 콘크리트배합 비법방법

표 7. 콘크리트 조합

단위결합재량 (kg/m ³)	물결합재 비	실리카흄의 대체율(%)	잔골재율 (%)	단위량 수 (kg/m ³)	절대용적 (ℓ/m ³)				단위중량 (kg/m ³)			
					C	SF	S	G	C	SF	S	G
900	0.18	25	100	162	217	102	539	-	675	225	1396	-
1000			100	180	241	114	488	-	750	250	1264	-
750			38	135	265	125	233	381	563	187	604	986

실험 요인들을 검토한 제 1보의 예비실험 결과와 본 실험실에서 다년간 실시한 실험 결과에 비추어 최적의 배합을 선정하고자 노력하였으며, 표7과 같이 결정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

실험결과를 나타낸 표8 및 그림3에서 알수 있는 바와같이 재령에 상관없이 단위결합재량 900kg/m³인 모르타르 배합에서 재령7일에 2223kgf/cm², 재령 28일에 2167kgf/cm²의 압축강도를 발휘하여 가장 높은 강도를 보였다.

또한, 단위결합재량 1000kg/m³의 경우에는 900kg/m³의 경우에 비하여 약간 낮은 수준인 평균압축강도 2010~2150kgf/cm²의 수준을 보이고 있으며, 단위결합재량 750kg/m³의 콘크리트의 경우에는 다른 조함에 비하여 약 200kgf/cm² 정도 낮은 수준의 강도를 발휘하고 있다.

표 8. 압축강도의 시험결과

단위결합재량 (kg/m ³)	7일 압축강도 (kg/cm ²)				28일 압축강도 (kg/cm ²)			
				ave.				ave.
900	2184	2253	2227	2223	2223	2127	2152	2167
1000	2285	2014	2151	2150	2050	1943	2038	2010
750	2130	1920	2145	2065	2070	1786	1985	1947

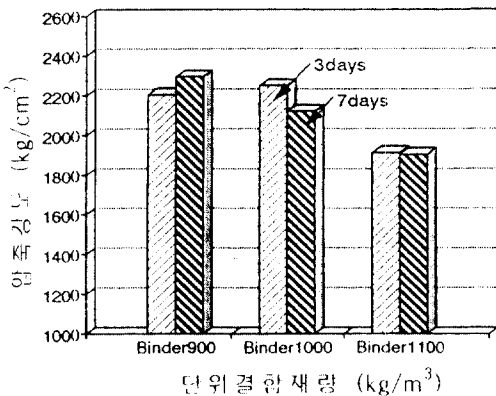


그림3. 단위결합재량 따른 압축강도의 변화

각 시험체간의 강도의 편차를 살펴보면, 공시체를 제조할 때 편차를 줄이고자 노력한 결과 제 1보의 예비실험에서 나타났던 것과 같은 크기는 발생하지 않았다.

4. 결 론

본 실험결과 예비실험에서 각기 다른 조합 조건의 2개 공시체에서 목표치인 2300kgf/cm²를 초과하였으나, 3본의 평균강도는 목표치에 도달하지 못하였다. 그러나 그림 4에 나타낸 바와같이 제조시에 좀 더 엄정한 관리와 조합 조건에 관한 세밀한 검토를 수행한다면, 국내에 유통중인 재료로도 충분히 압축강도 2300kgf/cm²의 초고강도 콘크리트의 제조가 가능할 것으로 사료된다.

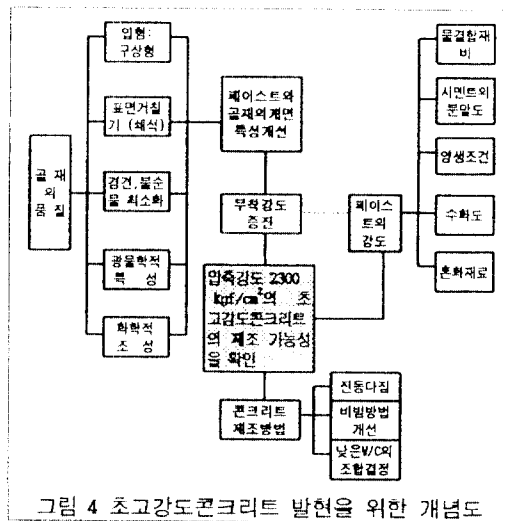


그림 4 초고강도콘크리트 발전을 위한 개념도