

압축강도 1800kg/cm²의 초고강도콘크리트 개발에 관한 실험적 연구

(제 2 보 초고강도콘크리트의 제조에 관한 실험)

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

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

남 상 일* 김 진 만* 최 민 수* 김 규 용** 최 희 용** 김 무 한***
Nam, Sang Ill Kim, Jin Man Choi, Min Soo Kim, Gyu Yong Choi, hee 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 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

본 연구는 초고강도콘크리트 개발에 관한 일련의 실험적 연구이며, 본 보는 압축강도에 영향을 주는 각 요인에 대하여 고찰한 제 1보의 예비실험에 이은 제 2보로써 압축강도 1800kg/cm²의 초고강도 콘크리트 제조에 관한 것이다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 실험계획은 표 1에 나타난 바와 같이 초고강도콘크리트의 압축강도 발현에 영향을 미치는 요인들을 검토한 제 1 보의 결과를 기준으로 물결합재비 0.18, 0.17의 2수준, 단위수량 137, 127, 117kg/m³의 3수준, 실리카흙의 대체율 15, 20, 25 %의 3수준으로

Table 1. Experimental factors and levels

Factors	Levels
W/B (%)	0.18, 0.17
Water Content (kg/m ³)	137, 127, 117
Rep. of SF (%)	15, 20, 25
S/A (%)	38
Test items of fresh and hardened concrete	· Slump and Slump-Flow · Compressive strength
Method of Curing	· Curing in Water · Autoclave Curing

* 정희원, 충남대학교 대학원 건축공학과 박사과정

** 정희원, 충남대학교 대학원 건축공학과 석사과정

*** 정희원, 충남대학교 교수, 공학박사

결정하여 실험을 실시하였다. 또한 양생방법으로써 수증양생과 고압증기양생(autoclave curing)을 채용하였으며, 측정항목으로써는 슬럼프, 슬럼프-플로우 및 각 재령에 따른 압축강도로 하였다.

2.2 사용재료

본 실험에서 사용된 시멘트, 골재, 고성능감수제, 소포제 및 실리카 흙의 물리적 성질은 다음과 같다.

- (1)시멘트 : 초조강시멘트 분말도 6,150 cm²/g,
비중 3.11, 28일 압축강도 536kg/cm²
- (2)세골재 : 입경 2.5mm, 비중 2.57
- (3)조골재 : 입경 13mm, 비중 2.59
- (4)고성능감수제: 칼폰산계(초고강도영역콘크리트용)
SP1 액상, 비중 1.1
SP2 액상, 비중 1.1
- (5)소포제 : 액상 비중 1.1
- (6)실리카흙 : 비중 2.20, 분말도 200,000cm²/g

2.3 콘크리트의 조합 및 비빔방법

콘크리트의 조합은 예비실험을 통하여 최적의 물

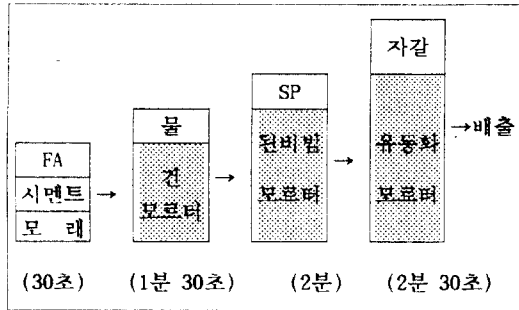


Fig 1. Mixing Method of Concrete

결합재비의 수준을 0.18, 0.17로 설정하고 단위수량을 137, 127, 117kg/m³, 실리카흙의 대체율을 15, 20, 25%로 변화를 주어 표 2와 같이 작성하였다.

콘크리트의 강도발현을 위해서는 각 구성재료의 균질성을 확보하는 것이 중요한 요인으로써 이것은 콘크리트의 비빔과정에서 고려되어야 할 것이다. 특히 시멘트의 입자를 균질하게 분산시켜 수화도가 향상되도록 해야 하지만 일반 현장에서의 일괄투입법을 고강도영역콘크리트 제조에 채용한다면 믹서의 부하량이 증대될 뿐만 아니라 콘크리트의 균질성을 확보하기가 곤란하다. 따라서 그림 1에서와 같이 각 재료를 분할 투입하는 방법을 채용하여 구성재료의 균질성을 확보하고자 하였다.

- (1)단계 : 시멘트, 모래, 혼화재료 등의 건재료를 먼저 믹서에 투입하여 소정의 시간 동안 혼합을 한다.
- (2)단계 : 건재료가 잔골재와 함께 균질하게 분산이 된 상태에서 물을 첨가하여 원비빔 모르터를 형성시킨다.
- (3)단계 : 원모르터에 고성능감수제를 첨가하여 유동화 모르터를 형성시킨다.
- (4)단계 : 충분히 유동화된 모르터에 골재를 투입하여 소정의 시간동안 비빔을 함으로써 균질한 콘크리트를 제조한다.

2.4 공시체의 제작 및 시험방법

공시체의 제작은 콘크리트의 강도시험용 공시체 제작방법에 준하여 $\phi 10 \times 20$ cm의 실린더형 강제몰드를 사용하여 제작하였으며, 다짐은 손다짐과 진동다짐을 병용하였다.

Table 2 Mix Proportion of concrete

W/B	Rep. of SF (%)	Size of Agg. (mm)	S/A (%)	Kind of SP	Water Cont. (kg/m ³)	Absolute Volume (l/m ³)				Unit Weigth (kg/m ³)			
						C	SF	S	G	C	SF	S	G
0.18	15	13	38	SP.1	137	209	52	225	367	650	115	578	950
0.17						221	55	219	357	687	121	563	926
0.18	20			SP.1	127	182	64	234	382	565	141	602	990
						192	68	229	374	598	150	588	967
0.17	25			SP.1	117	155	73	245	400	481	160	630	1036
0.18						163	77	240	392	508	169	618	1016
0.17	20			SP.2	127	218	54	221	360	677	119	567	932
						189	67	230	376	589	147	592	974
0.17	25	SP.2	117	163	77	240	392	508	169	618	1016		

캐핑은 콘크리트 성형후 상면의 레이턴스를 제거 시키고 콘크리트제작에 사용된 시멘트페이스트로 실시하였다.

탈형후 공시체는 20±2℃의 수증양생과 180℃ 10 기압하에서 고압증기양생을 10시간 실시하였으며 슬럼프, 슬럼프-플로우 및 압축강도 측정은 KS 및 각 규정에 의하여 실시하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 굳지않은 콘크리트의 유동성 검토

표 3은 본 실험의 실험결과를 나타낸 것이다. 고

성능감수제의 과도한 첨가는 콘크리트의 응결을 지연 시키므로 가능한한 적게 사용하는 것이 좀더 높은 강도를 발현하는데 유리할 것으로 생각하여 당초에는 고성능감수제의 첨가율을 3.0% 이내로 고정하려 하였으나 물결합제비가 매우 낮았기 때문에 고성능감수제를 2.8-4.7%로 많은 량을 사용하게 되었다.

슬럼프, 슬럼프-플로우 및 고성능감수제의 첨가율을 각 조합조건별로 나타낸 그림 2 및 그림3에서 알 수 있는 바와 같이 슬럼프가 20cm 이상일 경우에도 슬럼프-플로우치는 30-40cm로 낮은 수준을 보이고 있는데 이는 많은 단위결합제의 사용에 따른 점성 증가가 주원인으로 사료된다.

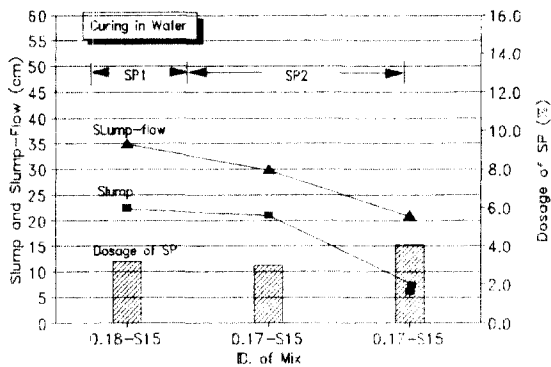


Fig. 2 The variation of slump, slump-flow and dosage of SP according to mixing condition. (Curing in Water)

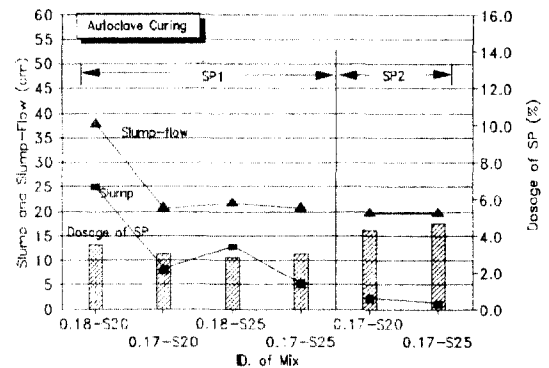


Fig. 3 The variation of slump, slump-flow and dosage of SP according to mixing condition. (Autoclave)

Table 3. The Result of the Experiment

W/B	Rep. of SF (%)	Curing Methods	Kinds of SP.	Dosage of SP. (%)	Water Content (kg/m ³)	Testing Value of the Fresh Concrete		Compressive Strength of the Handened Concrete			
						Slump (cm)	SL-FL (cm)	7 days	28 days	56 days	90 days
0.18	15	In Water	SP.1	3.2	137	22.5	35.0	1292	1448	1490	1517
0.17				3.0		21.0	30.0	1283	1427	1539	1478
			SP.2	4.1		6.2	21.0	1311	1427	1531	1557
0.18	20	Auto-clave	SP.1	3.5	127	25.0	38.0	1352	1506	1586	1524
0.17				2.8		12.7	22.0	1503	1571	1561	1548
0.18	25	Auto-clave	SP.1	3.0	117	7.8	21.0	1531	1569	1698	1781
0.17				3.0		5.0	21.0	1632	1720	1848	1844
	20		SP.2	4.3	127	2.0	20.0	1471	1425	1549	1678
	25			4.7	117	1.0	20.0	1406	1559	1522	1639

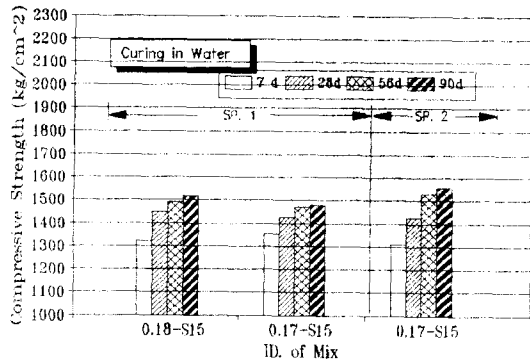


Fig. 4 Variation of compressive strength according to mixing condition. (Curing in Water)

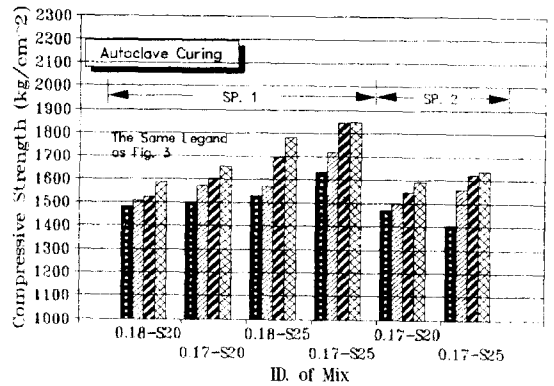


Fig. 5 Variation of compressive strength according to mixing condition. (Autoclave)

고성능감수제의 종류에 따라서는 SP1의 경우 물결합재비 0.18-0.17에서 고성능감수제를 3.0-3.5% 첨가하여 슬럼프 21cm 이상의 매우 유동성이 높은 콘크리트 제조가 가능하였으나 SP2의 경우 동일한 물결합재 수준에서 고성능감수제를 4.1-4.7%까지 첨가하였으나 슬럼프는 1.0-6.2cm의 매우 낮은 수준을 유지하는 것으로 나타나 고성능감수제는 SP1이 유동성 측면에서 유리한 것으로 나타나고 있다.

3.2 압축강도 발현성상의 검토

그림 4 및 그림 5는 압축강도의 발현 현상을 나타낸 것으로써 수중양생의 경우는 재령 7일에 1300kg/cm² 이상, 재령 28일에 1400kg/cm² 이상을 발현하였고 오토클레이브를 사용한 경우에는 조합조건에 많은 차이를 보이고 있으나 재령 7일에 1406-1632kg/cm², 재령 28일에 1425-1720kg/cm²의 초고강도를 발현하는 콘크리트의 제조가 가능하였다. 특히 물결합재비 0.17, 실리카흄 대체율 25%인 콘크리트를 오토클레이브 양생함으로써 재령 56에 1848kg/cm²의 매우 높은 강도를 갖는 콘크리트의 제조가 가능하였다.

또한 슬럼프가 높은 경우에 강도의 저하가 발생하였는데 이는 고성능감수제 사용량의 증진 때문이 아니고 진동다짐의 채용에 따른 재료의 분리에 그 원인이 있는 것으로 사료되나 이에 관해서는 보다 심도 있는 연구가 진행되어야 할 것으로 사료된다.

SP1은 SP2에 비하여 압축강도의 발현이 낮게 나타나고 있는데 이는 상대적으로 과도한 고성능감수제를 사용함으로써 나타난 결과로 생각되며, 압축강도 측면에서도 SP1이 SP2보다 유리한 것으로 사료된다.

4. 결론

압축강도 1800kg/cm² 초고강도콘크리트의 제조에 대한 본 연구를 위하여 기초적인 실험을 수행한 결과

현재 국내에서 유통되는 품질이 우수한 재료의 선정, 최적의 물결합재비 영역, 골재의 처리상태, 양생방법 등 제조방법에 따른 각 요인을 검토함과 아울러 콘크리트의 균질성을 확보하기 위하여 개선된 비빔방법을 채용함으로써 압축강도 1800kg/cm²의 초고강도콘크리트 제조는 가능함을 알 수 있었다.

參 考 文 獻

- 1) 日本建築學會, 高強度コンクリートの技術の現状, 丸善, 1991, 1, pp. 7-21.
- 2) 金 武漢 : 構造材料實驗方法論, 學文社, 1982, pp.194-270.
- 3) Penttala, V.E., Finland, Effects of Delayed Dosage of Superplasticizer on High - Performance Concrete, High-Strength Concrete 1993, 20-24 June Vol.2, pp.874-888
- 4) State of Art Report on High-Strength Concrete, Reported by ACI Committee363, ACI Journal, 1992.
- 5) Novokshchenov, V., U.S.A. ; Factors Controlling in the range 100 to 150 MPa, High-Strength Concrete 1993, 20-24June Vol.2 pp.863-873
- 6) Malhotra, V.M. and G.G.; Silica Fume Concrete Properties, Application and Limitations, Concrete International, Vol.5, May 1983, pp.40-46.
- 7) Yoyendran, Langan, Hague and Word, Silica-fume in High-Strength Concrete, Vol.84, No.1-6, ACI Materials Journal, 1987, pp.124-129.