

초고강도 콘크리트의 강도발현에 관한 기초적 연구

Study of strength Development of Ultra High-Strength Concrete

○ 민 홍 준*

Min, Hong-Jun

공 민 호**

Gong, Min-Ho

임 남 기***

Lim, Nam-Gi

이 영 도****

Lee, Young-Do

정 상 진*****

Jung, Sang-Jin

Abstract

Recently, more highly effective construction materials are needed for the reasonable and economical structure system is required as the construction structures become more multi storied, large-sized and diversified. That is to say, the highly qualified concrete is positively promoted as a part of plan to establish the effective space according to the dead load of structures and diminish of segment profile and to build up the economic structures. However, the high strength concrete has the problems such high brittleness and low ductility. Specially, for the high strength concrete, it has different strength from normal concrete as the internal temperature goes up steadily due to high heat of hydration by the quantities of highly level of cement, so the concrete which is mixed with various miscible materials is used. As the development and study for high strength concrete (more than 100N/mm²) is under way actively and the strength of high strength concrete increases, the strength different from the existing high strength concrete of less than 100N/mm², but the study for this is not adequate and indefinite. In addition, the study and report to apply the strength expression and analysis results of internal structure. Therefore, this study is an experiment about using the miscible materials affects what happens to the longitudinal physical property.

키 워 드 : 초고강도콘크리트, 압축강도,
Keyword : Ultra High-Strength Concrete,

1. 서 론

최근 건축구조물이 초고층화, 대형화, 다양화 되어감에 따라 합리적이며 경제적인 구조시스템이 요구되고 있다. 이에 따라 구조물의 자중경감이나 부재단면 축소에 따른 유효공간의 확보와 경제적인 구조물을 축조하기 위한 방안의 일환으로 가장 보편적인 건설재료인 콘크리트의 고품질화가 적극적으로 추진되고 있다. 고강도콘크리트에 관한 관심이 증대되면서 연구가 활발히 진행되고 있으며 부분적으로 고강도콘크리트를 사용한 철근콘크리트조의 시공사례가 점차 증가하고 있는 추세이다. 고강도 콘크리트의 경우 높은 취성과 낮은 연성 등이 문제가 되고 있으며 다량의 분체량에 의한 수화열 상승에 따른 내부온도 증가로 인하여 강도발현에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

또한 초고강도콘크리트의 강도발현 특성은 기존의 100MPa 미만의 고강도콘크리트와는 상이한 강도발현을 보인다. 그리고, 이에 대한 논문은 미흡한 실정이며 초고강도콘크리트의 혼화재료 사용에 따른 장기적인 물성에 관한 특성에 관한 연구는 아직 보고되지 않고 있다.

따라서 본 연구에서는 초고강도 콘크리트에 혼화재료를 사용함으로써 장기적 물성에 어떠한 경향을 나타내는지 파악하

기 위해 실험을 실시하였다. 초고강도 콘크리트의 장기적 경향을 파악하기 위해 모르타 공시체로 초고강도 콘크리트를 구성하는 시멘트 경화체의 강도를 확인함으로써 초고강도 콘크리트를 현장에 적용할 수 있는 기초적 자료로 제시하고자 한다.

2. 실험개요

2.1 연구내용 및 실험인자

표 1. 요인과 수준

구분	요인	인자	
		W/B	B/W
결합재	보통포틀랜드시멘트	28.1%	3.6
		36.7%	2.7
	저열포틀랜드시멘트	25.0%	4.0
		28.1%	3.6
		36.7%	2.7
		30.0%	3.3
저열포틀랜드시멘트 + 실리카폼 10%	14.3%	7.0	
	16.7%	6.0	
	20.0%	5.0	
	25.0%	4.0	
	30.0%	3.3	

본 실험에 사용한 시멘트의 종류는 보통포틀랜드시멘트와 저열포틀랜드시멘트 2종류이며 저열포틀랜드시멘트와 실리카

* 정회원, 단국대학교 대학원 석사과정

** 정회원, 단국대학교 대학원 박사과정

*** 정회원, 동명정보대학교 건축공학과 교수

**** 정회원, 경동대학교 건축공학과 교수

***** 정회원, 단국대학교 건축대학 건축공학과 교수

폼을 첨가한 결합재로 구성하여 요인을 정하였다. 인자는 물시멘트비를 설정하여 총 10종류로 구성하였으며 요인 및 인자는 표 1과 같다.

2.2 사용재료 및 시험체

실험에 사용한 재료는 보통포틀랜드시멘트, 저열포틀랜드시멘트, 실리카푼(silica-fume), 표준사, 폴리카본산계의 고성능감수제를 사용하였다. 공시체의 규격은 $\varnothing 50 \times 100\text{mm}$ 원추형공시체를 제작하였다. 사용재료 및 재료의 품질은 표 2와 같다.

표 2. 사용재료 및 품질

구분	품질
시멘트	보통포틀랜드시멘트(N) 밀도 : 3.15g/cm ³ , 비표면적 : 3330cm ² /g
	저열포틀랜드시멘트(L) 밀도 : 3.24g/cm ³ , 비표면적 : 3280cm ² /g, C ₂ S 56%
혼화재	실리카푼(SF) 밀도 : 2.2g/cm ³ , 비표면적 : 22m ² /g, SiO ₂ 97%
잔골재	규사(S) 밀도 : 2.66g/cm ³ , SiO ₂ 91.7~98.2%, Igloss 0.2%
혼화제	초고강도 콘크리트용 고성능 감수제(SP) : 폴리카본산계

2.3 배합계획

본 실험은 총 10배합으로 계획하였다. 보통포틀랜드시멘트를 사용한 물시멘트비 28.1%, 36.7%의 2인자와 저열포틀랜드시멘트를 사용한 물시멘트비 25.0%, 28.1%, 36.7%의 3인자로 하였다. 저열포틀랜드시멘트에 실리카푼을 10%를 치환한 물결합재비(W/B) 14.3%, 16.7%, 20.0%, 25.0%, 30.0% 5인자로 계획하였다. 각 모르타의 타설온도는 20°C~25°C였으며 배합조건은 표 3과 같다.

2.4 양생조건

표 3. 모르타 배합조건

기호	W/B (%)	질량(kg/m ³)				타설 온도 (°C)
		W	C	SF	S	
N36	36.7	227	618	0	1429	20
N28	28.1	228	811	0	1302	23
L36	36.7	222	606	0	1417	20
L28	28.1	230	817	0	1330	21
L25	25.0	239	954	0	1168	22
LSF30	30.0	224	673	75	1348	21
LSF25	25.0	226	812	90	1231	21
LSF20	20.0	226	1016	113	1044	22
LSF16	16.7	224	1208	134	849	23
LSF14	14.3	223	1405	156	660	25

N : 보통포틀랜드시멘트 L : 저열포틀랜드시멘트
LSF : 저열포틀랜드시멘트(90%) + 실리카푼(10%)

양생조건은 표준수중양생, 20°C 밀봉양생, 구조체 콘크리트의 온도상승을 고려하여 최고온도 60°C로 가열하고 최고온도 유지시간을 28h와 70h까지로 한 4종류의 양생을 실시하였다. 표준양생의 경우 재령일까지 수조에서 20°C±3의 온도를 유지하였으며, 밀봉양생의 경우 타설 후 밀봉을 하여 20°C±3의 실

온에서 양생을 실시하였다.

가열양생의 경우 증기양생기를 사용하여 온도를 관리하여 최고온도시간을 28시간 및 70시간까지 유지하였으며 온도하강은 170시간까지 20°C가 되도록 하였다. 양생방법은 사진 1과 같으며 양생온도이력은 그림 1과 같다.

3. 시험방법

3.1 압축강도시험

모르타의 압축강도시험은 $\varnothing 50 \times 100\text{mm}$ 원통형의 공시체를 사용하여 재령 3일, 7일, 28일, 91일에 실시하였다. 공시체는 각 재령마다 6개씩 제작하였으며 압축강도측정용 5개, 세공경분포 측정용 1개를 제작하였다. 압축강도는 최대값 및 최소값을 제외한 3개 시험체의 강도평균값을 산출하여 압축강도로 하였다. 공시체 재하속도는 매초 0.2N/mm²으로 하였다.

4. 실험결과

4.1 시멘트 및 혼화재 사용에 따른 압축강도

실험결과 각 시멘트 및 혼화재 치환 및 양생방법에 따른 압축강도의 관계를 그림 2에 나타내었으며 압축강도의 특성은 다음과 같다.

4.1.1 보통포틀랜드시멘트

보통포틀랜드시멘트의 경우 재령 91일에서 120MPa을 넘지 못하였으며 초기재령에서 압축강도의 차이는 작지만 장기재령으로 갈수록 표준양생과 가열양생의 압축강도의 차이가 커지는 것으로 나타났다. 보통포틀랜드시멘트는 결합재물비가 증가할수록 가열양생에 의한 장기강도의 저하가 발생하였다.

4.1.2 저열포틀랜드시멘트

저열포틀랜드시멘트의 경우 재령 91일에서 125MPa를 넘지 못하였으며 초기재령에서 결합재물비에 상관없이 가열조건에 따라 압축강도의 차이가 큰 것으로 나타났다. 그러나 장기재령에서는 양생방법에 따른 압축강도의 차이가 크지 않은 것으로 나타났다.

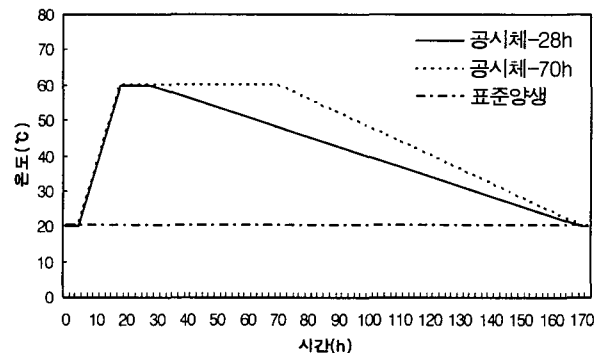
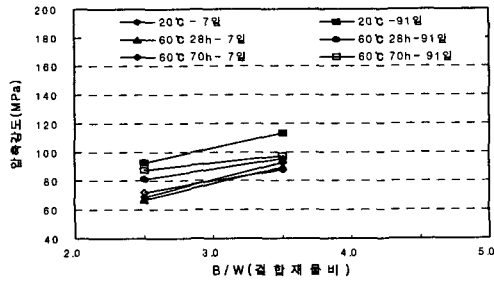
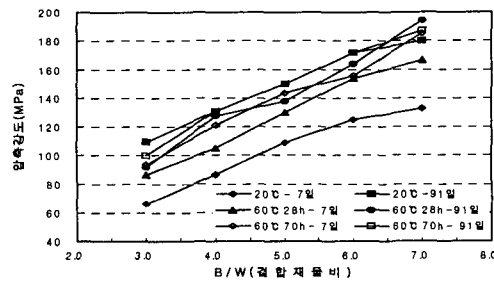
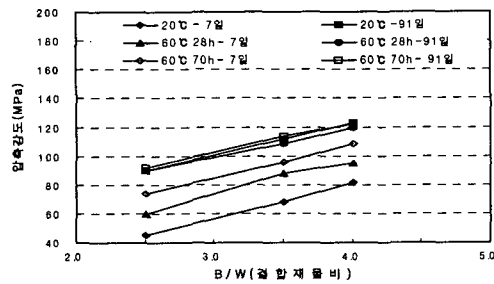


그림 1. 가열시간 온도 및 시간과의 관계



a. 보통포틀랜드시멘트(N)



4.1.3 저열포틀랜드시멘트+실리카 폼

저열포틀랜드시멘트(90%)+실리카 폼(10%)의 경우 재령 91일에서 195MPa까지 나타났으며 초기재령에서 가열양생의 최고온도 유지시간이 길수록 압축강도가 높은 것으로 나타났으며 결합재물비가 증가할수록 강도의 차는 줄어드는 것으로 나타났다.

장기강도의 경우 표준양생이 가열양생보다 높은 강도를 나타내고 있으나 결합재물비 7.0에서는 가열양생 쪽이 높은 것으로 나타났으며 60°C에서 70시간 가열양생의 경우 7일 강도와 91일 강도가 유사하게 나타났다.

4.2 결합재물비에 따른 압축강도

결합재물비와 압축강도의 관계를 살펴보면 재령 7일과 91일의 시멘트 및 결합재의 종류나 양생방법과 관계없이 결합재물비와 압축강도의 사이에는 수평적인 선형 관계가 성립됨을 알 수 있다. 양생방법에 따른 강도발현은 보통포틀랜드시멘트의 경우 장기재령에서 저열포틀랜드시멘트의 경우 초기재령에서 큰 강도의 차이를 나타내었다. 실리카 폼을 치환한 경우 가열양생에 의한 효과가 높은 고강도로 나타내었다. 재령 7일과 91일에 다른 결합재물비와 압축강도의 관계를 그림 2에 나타내었다.

재령에 따른 압축강도와와의 관계를 그림 3에 나타내었다. 그림 4에 a는 결합재물비 25%인 배합으로 저열포틀랜드시멘트에

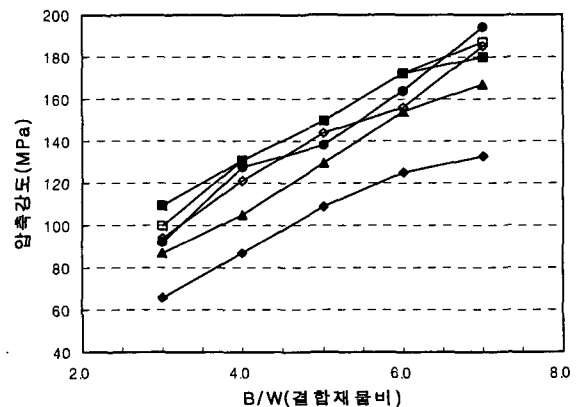
실리카폼을 10% 중량 치환한 경우의 재령별 압축강도를 나타내고 있다. 강도발현을 살펴보면 초기에는 고온이력을 받은 공시체가 높은 강도를 나타내고 있다. 그러나 장기재령에서는 강도발현이 적어 20°C 표준양생과 가열양생의 압축강도 차이가 없는 것으로 나타났다. 그림 b는 결합재물비 16%인 배합으로 저열포틀랜드시멘트에 실리카폼을 10% 중량 치환한 경우의 재령별 압축강도를 나타내고 있다. 강도발현을 살펴보면 앞에서와 유사한 강도경향을 나타내고 있다. 그러나 장기강도에서는 결합재물비 25%와는 달리 강도차이가 있는 것으로 나타났다. 그림 c는 결합재물비 14%인 배합으로 저열포틀랜드시멘트에 실리카폼을 10% 중량 치환한 경우의 재령별 압축강도를 나타내고 있다. 강도발현을 살펴보면 앞에서와 유사한 강도경향을 나타내고 있으며 장기강도에서 강도의 차이는 크지 않은 것으로 나타났다. 그림 d는 저열포틀랜드시멘트와 보통포틀랜드시멘트를 사용한 경우이며 재령별 압축강도를 나타내고 있다. 강도발현을 살펴보면 저열포틀랜드시멘트의 경우 장기강도인 재령 91일에서 유사한 강도를 나타내고 있으나 보통포틀랜드시멘트의 경우 초기고온을 받은 공시체가 가장 낮은 강도를 나타내고 있다.

4.3 압축강도와 적산온도

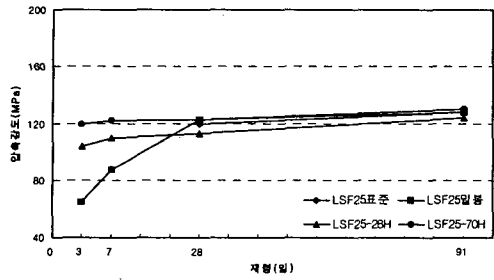
적산온도(D° D)와 압축강도의 관계를 그림 4에 나타내었다. 배합이나 양생에 상관없이 결과는 직선에 유사하게 나타났다. 배합별로 보면, LSF16의 경우 가열양생의 직선의 기울기가 전체적으로 완만하다.

또한 양생조건별로 보면 가열한 경우는 20°C 밀봉양생에 비하여 가열양생의 기울기가 완만하고 적산온도의 증가에 의한 압축강도의 증가는 작은 것을 알 수 있다. 가열시간에 따른 강도발현을 비교한 경우 N28에서는 가열양생한 28시간과 70시간에서 거의 동등한 회귀선을 나타냈었고, 재령 7일 이후의 강도 증가는 적었다.

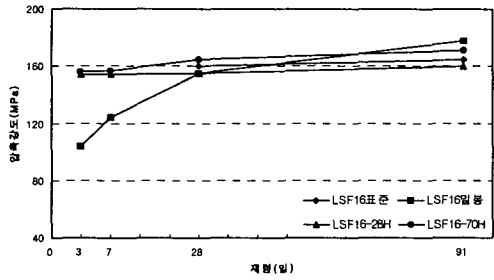
L28에서는 가열양생한 28시간과 70시간에서 가열시간이 긴 70시간 쪽이 초기재령에서의 강도가 높아지지만 유사하게 직선 구배가 완만하여 적산온도 증가에 따른 강도 증가량이 적은 것으로 나타났다. 가열양생 28시간이 재령이 증가할수록 강도를 따라가고 있다.



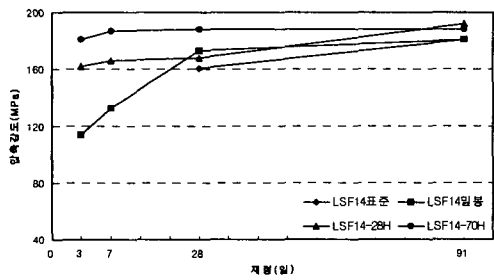
c. 저열포틀랜드시멘트+실리카폼(LSF)
그림 2. 결합재물비와 압축강도의 관계



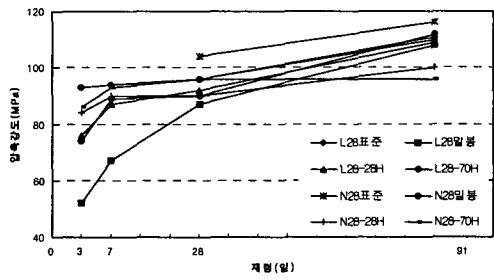
a. LSF25 양생에 따른 재령별 압축강도



b. LSF16 양생에 따른 재령별 압축강도



c. LSF14 양생에 따른 재령별 압축강도



d. L28 & N28 양생에 따른 재령별 압축강도
그림 3. 재령에 따른 압축강도와와의 관계

한편 LSF16에서는 초기강도가 가열양생한 곳에서 고강도가 되고 그 차이는 거의 없다. 가열양생의 경우 재령 3일에서의 강도가 표준양생 및 대기양생의 재령 91일에 가까운 강도를 나타내고 있다. 적산온도의 증가에 따른 강도의 차이는 보통포틀랜드시멘트가 큰 것으로 나타났다.

세공경 분포를 측정하 N28, L28 및 LSF16의 강도발현을 그림 5에 나타내었다. N28을 보면 가열양생한 경우 초기재령에서의 강도발현은 신속하게 이루어지지만 그 후 강도증가량은 적다. 재령 91일에서는 20°C 밀봉양생한 것이 더 높은 강도를

나타내었다. L28을 보면, 가열양생한 경우

초기재령에서 강도발현이 빠르게 일어나지만 장기재령에서도 어느 정도의 강도증가를 볼 수 있다. 재령 91일에 있어서도 20°C 밀봉양생한 강도와 유사한 강도를 얻었다. LSF16을 보면 가열양생한 경우 재령 3일에서 빠른 강도발현을 나타내고 있지만 장기적인 강도증가량은 적다. 장기재령 91일에서의 강도는 표준양생 및 20°C 밀봉양생과 동등이상의 강도를 나타내고 있다.

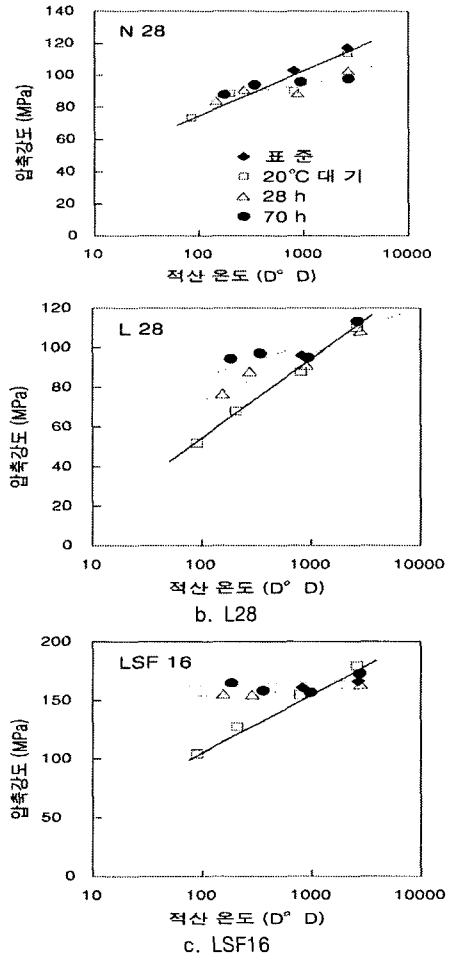


그림 4. 적산온도와 압축강도의 관계

5. 결 론

- 1) 가열양생한 초고강도 콘크리트는 재령 3일까지 우수한 강도발현을 하고 그 후는 일정하게 되고, 재령 91일에 있어서도 20°C 밀봉양생과 동등한 높은 강도를 나타낸다.
- 2) 초고강도 콘크리트나 보통포틀랜드시멘트에 의한 고강도 콘크리트에서는 60°C까지 가열한 경우 가열시간에 의한 강도발현의 차이는 초기재령에서는 작다. 저열포틀랜드시멘트를 사용한 고강도 콘크리트에서는 가열시간에 의한 차이가 특히 초기재령에서 현저히 나타났다.

참 고 문 헌

1. 이상수 외, 초고강도콘크리트의 특성에 미치는 시멘트 종류 및 혼화재 종류에 관한 실험적 연구, pp. 375~378, 2005.
2. 鄭尙鎭 外, 高強度コンクリートの強度發現と微細構造に関する研究 (2)微細構造と壓縮強度發現, 日本建築學會學術講演梗概集, pp. 397~398, 2005..
3. 鄭尙鎭 外, 高強度コンクリートの強度發現と微細構造に 關する研究 (1)實驗概要と強度發現, 日本建築學會學術講演梗概集, pp. 395~396, 2005.