

# 초고강도 콘크리트의 강도편차 분석연구

## Analysis Study on The Strength Range of Ultra High Strength Concrete

박희곤\*      이진우\*\*      배연기\*\*\*      김우재\*\*\*\*      이재삼\*\*\*\*\*      정상진\*\*\*\*\*  
 Park, Hee-Gon      Lee, Jin-Woo      Bae, Yeoun-Ki      Kim, Woo-Jae      Lee, Jae-Sam      Jung, Sang-Jin

### Abstract

Modern society is experiencing a high population density and a centralization of facilities. The clear trends in the construction field are aggrandizement, elevation and specialization of building structures. Such trends require improvements of skills in raising material performances, structuring, planning, designing, and increasing construction capacities. In order to procure high performance materials and construction techniques, a top-quality concrete should be used since it takes up a large part of the material. In recent years, active researches have been done on the ultra high strength concrete. Therefore, this experimental study is strength management to fixed quantity in the field of ultra-strong concrete.

키워드 : 초고강도 콘크리트, 압축강도, 편차  
 Keywords : Ultra High Strength Concrete, Compressive Strength, Range

### 1. 서론

현대사회는 도시집중화에 따른 인구 과밀화와 시설의 집중이 이루어지고 있다. 이중 건설분야에 뚜렷이 나타나는 현상으로 구조물의 초고층화, 대형화 및 특수화 경향이 두드러진다. 이에 적합한 재료성능향상, 구조 및 설계기술개발, 시공능력 향상이 요구되고 있다. 고성능 재료와 시공기술을 위해서는 건설재료의 상당 부분을 차지하고 있는 콘크리트의 성능이 우수해야 할 것으로 생각된다.

최근 몇 년 사이에 고성능 콘크리트 중 가장 중요한 부분을 차지하고 있는 초고강도 콘크리트의 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 높은 강도를 발현해야 하는 초고강도 콘크리트에서는 미세한 공극에 있어서도 압축강도에 큰 영향을 미치고 있어 시험체 마다의 강도에 있어서 큰 차이를 보이고 있다. 이러한 강도 편차로 인하여 초고강도 콘크리트 압축강도의 신뢰성에 대하여 의구심을 갖게 된다.

따라서 본 연구에서는 초고강도 콘크리트 영역에서 재령별 시험체에 대한 강도 편차의 범위를 파악하고 이에 대한 범위 설정을 통하여 초고강도 콘크리트에 있어서 합리적인 강도 관리를 할 수 있도록 하는데 기초적 자료로 제시하고자 한다.

### 2. 사용재료 및 시험방법

#### 2.1 사용재료

본 연구에 사용된 시멘트는 4성분계로 이루어진 국내 H사에서 제조되어진 분말도 약 6,500cm<sup>2</sup>/g의 Premixed Cement를 사용하였다. 또한 혼화제는 국내 B사의 폴리카르보산계 고성능 AE감수제를 사용하였으며, 골재는 잔골재 5mm이하, 굵은 골재 13mm이하를 사용하였다. 사용골재의 물리적 성질은 표 1에 제시하였으며, 시멘트의 물리적 화학적 특성은 표2, 3에 나타내었다.

표 1. 잔골재와 굵은 골재의 물리적 성질

항목	생산지	최대 치수 (mm)	표준 밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	흡수율 (%)	단위용적 질량 (kg/m <sup>3</sup> )	실적율 (%)	조립율 (%)
잔골재	인천산 세척사	5.0	2.59	0.98	1,590	61.2	2.87
굵은 골재	경북 군위	13.0	2.68	0.19	1,570	58.55	5.84

표 2. 시멘트의 물리적 성질

시멘트 종류	비중	응결시간(분)		압축강도(MPa)			분말도 (cm <sup>2</sup> /g)
		초결	종결	3일	7일	28일	
Premixed-cement	2.88	130	200	39	50	62	6,480

\* (주)렉스콘 연구개발팀, 전임연구원, 공학박사, 정회원  
 \*\* (주)렉스콘 연구개발팀, 전임연구원, 정회원  
 \*\*\* (주)렉스콘 연구개발팀, 과장, 정회원  
 \*\*\*\* 포스코건설 기술연구소, 과장, 공학박사, 정회원  
 \*\*\*\*\* (주)렉스콘 연구개발팀, 팀장, 정회원  
 \*\*\*\*\* 단국대학교 건축대학, 교수, 공학박사, 정회원



사진 1. 강제식2축믹서



사진 2. 300t U·T·M



사진 3. 콘크리트 Mixing 상태

표 3. 시멘트의 화학적 성분

구분	화학적 성분(%)							
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	F-CaO	Ig.loss
Premixed-cement	32.34	7.50	1.84	49.04	0.93	5.04	0.48	1.04

### 2.2 실험 방법

시료 제작은 강제식 2축 믹서(Twin Shaft Mixer)를 사용하여 비빔은 건믹싱 1분 후 물과 혼화제 투입하고 6분 믹싱을 하였으며, 이후 굵은골재 투입하고 약 3~4분 비빔을 실시하여, 총 비빔 시간을 약 10분으로 하여 시료를 제작하였다.

압축강도는 KS F 2405에 의거하여 실시하였으며, 재령은 3, 7, 14, 28, 56, 91일 마다 3개씩의 시험체를 300t 만능재료시험기(U·T·M)를 이용하여 측정하였다.

실험에 사용한 장비와 배합상태를 사진 1~3에 나타내었다.

### 2.3 배합 및 시험 수준

본 연구에 사용한 배합 범위 및 수준은 아래 표 4와 같으며, 압축강도 100MPa 이상을 목표로 설계하여 W/B, S/a, W에 변화를 주어 배합을 실시하였다.

재령은 3, 7, 14, 28, 56, 91일 6수준으로 하였으며, 총 압축강도 시험용 공시체는 630개를 사용하였으며, 양생은 1일 대기양생 후 탈형 하였으며, 이후 표준수중양생을 실시하였다.

표 4. 배합 범위 및 수준

항 목	배 합 범 위	수 준	기 타
물결합재비 (W/B)	13~20%	*배합 : 35개	* 목표강도 100MPa이상
잔골재율 (S/a)	20~40%	*시험체: 630EA	* 시료는 UC-1~35로 구분
단위수량 (W)	120~160kg/m <sup>3</sup>	*재령(일) : 3,7,14,28,56,91	

## 3. 실험결과 및 고찰

35개의 배합을 W/B, S/a 높은 순으로 1번에서 35번까지

나열하여 시료명을 UC-1~UC-35로 명기하였다. 그림 1과 그림 2는 대표적인 W/B를 선별하여 압축강도 성장과 표준편차를 살펴보았다. 선별된 시료의 W/B는 UC-19, 16, 13, 10, 8순으로 W/B 13%, 14%, 15%, 17%, 20%로 선별하였다. 그 결과 압축강도에 있어서는 기존 연구에서 나타내어진 결과와 유사하게 W/B가 높을수록 강도는 낮게 나타나고 있었다. 하지만 재령 경과에 따라 이전 재령의 강도보다 다소 낮게 나타나는 경향을 보이는 시료도 있었다. 이는 재령별 시료의 편차가 발생되어 나타나는 결과로 사료된다. 그림 2에서는 압축강도 시험결과에서 사용된 배합으로 재령 압축강도 표준편차를 산출하였다. 그 결과 강도가 떨어지는 재령에서 표준편차 또한 크게 나타나고 있었으며, 재령 14일에서 가장 큰 표준편차 값을 나타내고 있었다. 하지만 재령 14일이 지나면서 표준편차가 다소 낮아지고 있다. 하지만 보통 콘크리트에서 발생하는 표준편차인 2~4MPa에 비해서 매우 높은 편차값을 보이고 있어, 초고강도 영역에서의 시료별 강도 편차가 큰 것으로 나타났다. 이는 콘크리트 자체가 매우압축력에 대하여 매우 민감하게 작용하고 있기 때문에 미세 공극이나 이물질이 함유되어도 강도 성장에 영향을 미치는 것으로 판단된다.

따라서 강도 편차를 줄이기 위해서는 시험체 제작시 관리와 압축강도 측정시 편심이 발생하지 않도록 하는 것이 매우 중요한 것으로 사료된다.

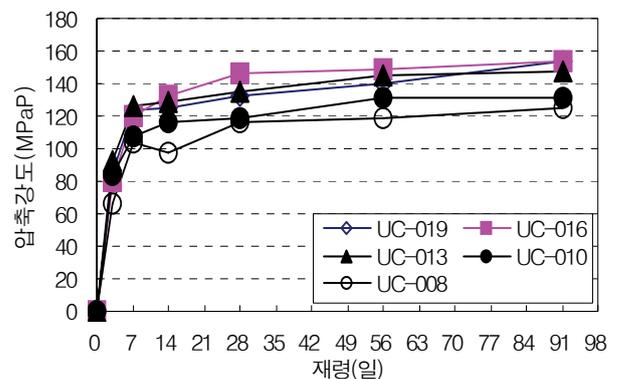


그림 1. 압축강도 시험결과

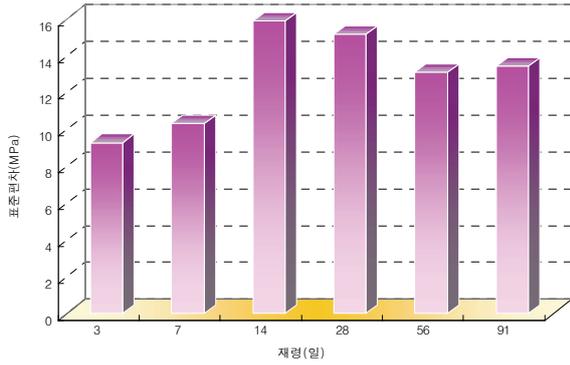


그림 2. 표준편차 결과

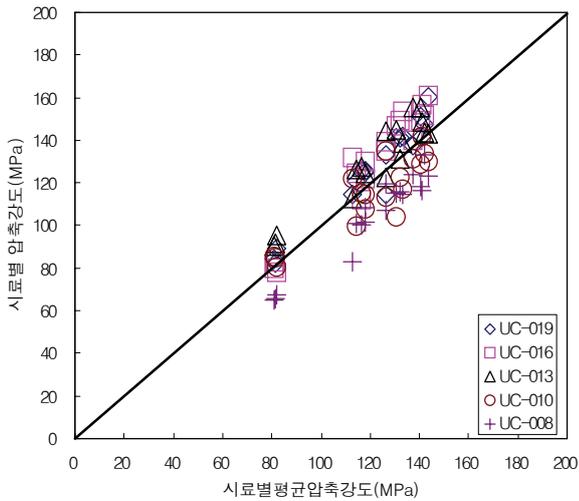


그림 3. 압축강도 평균값과 시료별 압축강도 상관도

그림 1, 2에서 사용했던 배합으로 각각의 시료별 압축강도 평균값과 각 시료별 압축강도 값의 상관성을 그림 3에 나타내었다.

분석전 예상한 바와 같이 W/B 13~20%사이에서 기준이 된 부분이 UC-13으로써 W/B 15%가 평균 강도를 나타내고 있었다.

또한 동일 시료평균 압축강도에 있어서 100MPa이상이 되면서 상하로 중심선에서 넓게 분포되고 있음을 할 수 있다. 이러한 결과로 미루어 보아 100MPa이상 초고강도에 있어서 강도 편차가 큰 것으로 사료된다.

그림 4에서는 시료별 압축강도 편차를 재령 경과에 따라 구분하여 분석하였다. 그 결과 재령이 지남에 따라 시료별 강도의 편차가 크게 나타나고 있었으며, 재령28일 기준으로 이후 재령에서는 강도편차가 다소 줄고 있음을 알 수 있었다. 따라서 100MPa이상의 초고강도 콘크리트 영역에서는 28일 강도 관리 보다는 장기강도로 강도를 관리 하는 것이 다소 유리 할 것으로 사료된다.

전체 35개 배합에서 각 재령에 따른 시료별 강도 편차 분포를 그림 5에 나타내었다. 그림에서 보이는 바와 같이 재령3일에서는 강도편차가 중심 부분으로 모여 있음을 알 수 있다. 하지만 재령이 경과함에 따라 그 범위가 넓어지고 있으며, 재령 28일을 기준으로 하여 이후 재령에서는 다시 중심으로 모이는 경향을 보이고 있다.

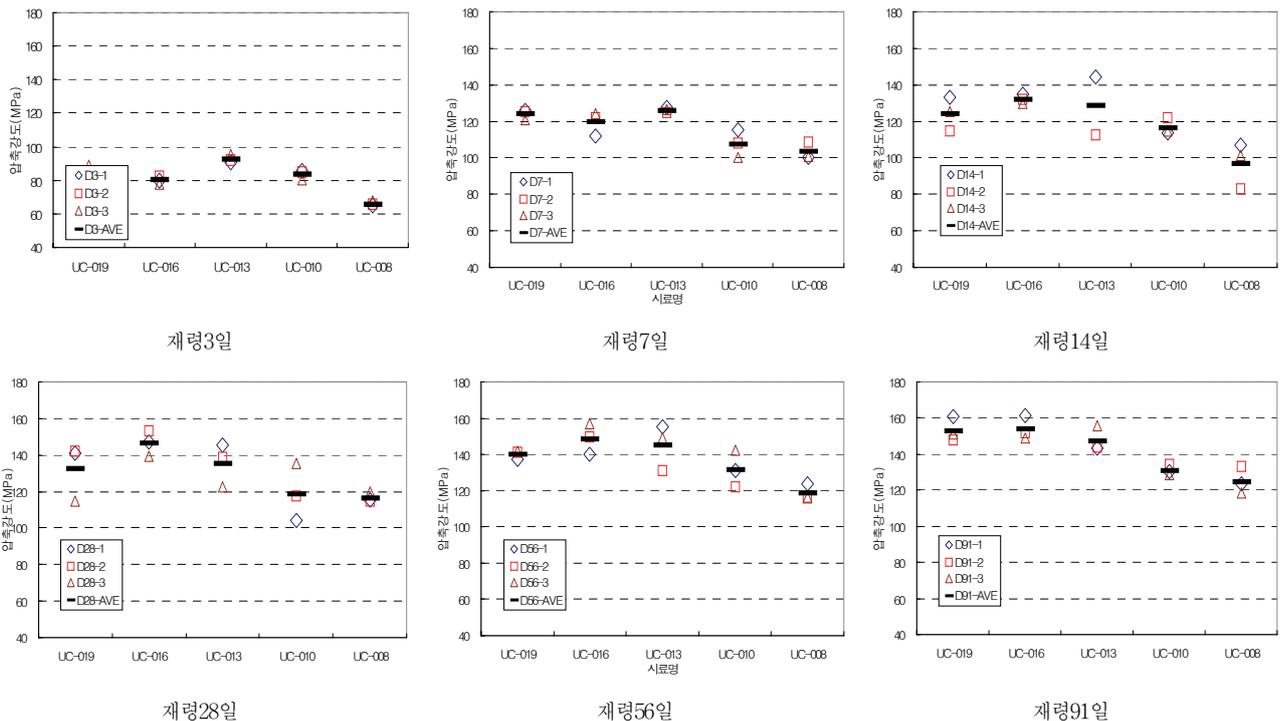


그림 4. 시료별 압축강도차

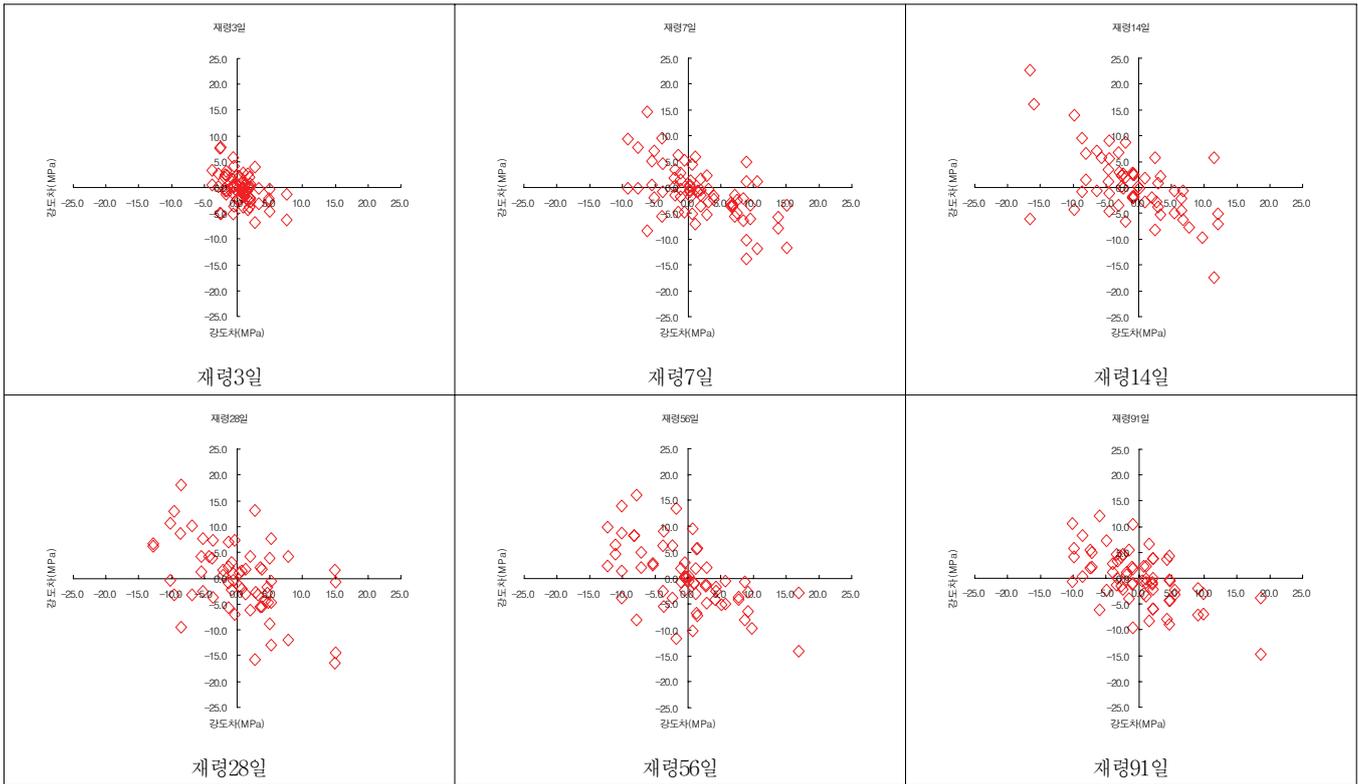


그림 5. 시료별 강도편차 분포(평균값대비)

#### 4. 결 론

100MPa급 이상 초고강도 콘크리트 영역에서의 강도편차를 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 초기 재령에서는 편차범위가 크지 않았으며, 재령28일까지는 그 편차 범위가 증가하다가 이후 재령에서는 다시 강도편차가 중심부로 분포하고 있어 편차 범위가 줄어들고 있음을 알 수 있었다.
- 2) 이상의 결과로 보아 초고강도 콘크리트 영역에서 강도관리는 재령28일 보다는 장기강도로 관리하는 것이 다소 유리할 것으로 판단된다.

이후 연구에서는 더 많은 데이터 확보를 통해서 정량적으로 100MPa 이상되는 초고강도 콘크리트의 강도 편차에 대해서 합리적으로 관리 될 수 있도록 할 것이다.

#### 감사의 글

이 연구를 위해 도움을 주신 포스코 건설, 한일시멘트, 바스프 코리아 지원에 감사드립니다.

#### 참 고 문 헌

1. 정상진외, 건축재료실험학, 태림문화사, 2007. 3
2. 최신콘크리트공학, 한국콘크리트학회, 2001.
3. 高強度 콘크리트 施工指針(案)·同解説, 日本建築學會, 2005.