

# 150MPa 초고강도 콘크리트 배합 및 강도발현 특성

## Mixing and Strength Properties of 150MPa Ultra High Strength Concrete

안 종 문\*      강 훈\*\*      김 종 근\*\*\*      신 성 우\*\*\*\*  
Ahn Jong Mun,      Kang Hoon,      Kim Jong Keun,      Shin Sung Woo

### ABSTRACT

Ultra High Strength Concrete(UHSC) is necessary a clear presentation about mechanical property that is different from normal strength concrete and an evaluation of serviceability of high rise building which is used ultra high strength concrete. To mixing ultra high strength concrete with  $f_{ck}=150\text{MPa}$  pre-mix cement were manufactured and experimental study were conducted to evaluated on the mixing properties and compressive strength with major variables as unit cement contents, water-binder ratio and type of pre-mix cement. As a test result, it is shown that the concrete mixing time is required about 5~6 minute untill the each materials(ordinary portland cement, silica fume, blast-furnace slag powder and anhydrite) are revitalized enough. A slump flow of fresh concrete are shown about 700~750mm with proper viscosity. And average value of concrete compressive strength are shown about 77% in 7days, 87% in 14days and 102% in 56days for 28days of concrete material age. From this experimental study, a proper mixture proportion of pre-mix cement are recommended about 54~59% OPC, 25~30% blast-furnace slag powder and 10~15% silica fume for mix the ultra high strength concrete with  $f_{ck}=150\text{MPa}$ .

### 요 약

150MPa 수준의 초고강도 콘크리트를 제조하기 위하여 프리믹스형태의 시멘트를 제조하였고, 각 시멘트의 특성별로 초고강도 콘크리트 배합특성과 재령별 강도발현 특성을 비교하였다. 실험결과 콘크리트의 배합에 소요되는 시간은 콘크리트 각 재료가 충분히 활성화되기까지 대략 5분에서 6분 사이에 콘크리트 믹싱이 완료되는 것으로 나타났다. 콘크리트의 압축강도는 재령 28일을 기준으로 7일에서는 77%, 14일에서는 87%정, 56일에서는 약 102%정도로 나타났으며, 150MPa 정도의 초고강도 콘크리트 제조를 위하여 OPC는 54%내외, 슬래그미분말은 25~30%, 실리카흙은 10~15% 정도의 범위에서 프리믹스시멘트를 제조하여 콘크리트 배합에 적용할 수 있을 것으로 판단된다. 그리고 초고강도 콘크리트는 매우 큰 점성을 가질 수 있어 이러한 점성과 콘크리트 타설 및 작업과의 상관성을 고려하여 플로우치는 700~750mm정도를 확보하여야 할 것으로 판단된다.

\* 정회원, 안산1대학 건축설계과 조교수  
\*\* 정회원, 고려하이믹스(주) 상무  
\*\*\* 정회원, 한양대학교 대학원, 박사과정  
\*\*\*\* 정회원, 한양대학교 건축학부 교수

## 1. 서 론

최근 건축구조물이 초고층화, 대형화, 다양화 되어감에 따라 합리적이며 경제적인 구조시스템이 요구되고 있는 추세에 따라 고강도 콘크리트의 장점인 조기강도의 증대, 콘크리트 부재의 단면감소, 블리딩의 감소, 수밀성 및 기밀성 향상을 통한 내구성 증진 등으로 인해 고강도 및 초고강도 콘크리트에 대한 높은 관심과 연구가 이루어지고 있다. 일본의 경우 이미 130~150MPa급 초고강도 콘크리트의 제조 및 실용화 연구에 이어 실제 구조물에 적용되고 있으며, 국내의 경우도 150MPa의 초고강도 콘크리트의 실용화와 180~200MPa 초고강도 콘크리트의 개발이 진행되고 있는 상황이다<sup>1~4)</sup>. 따라서 60~70층 규모의 초고층 구조물의 건설이 활발하게 추진되고 있고, 향후 5년 이내에 100층 이상의 초고층 구조물이 다수 건설될 것으로 예상되는 상황에서 이러한 구조물에 적용이 요구될 것으로 판단되는 100~150MPa 수준의 초고강도 콘크리트 설계, 제조, 시공 및 구조성능에 이르기까지의 제반 역학특성에 대한 연구가 요구된다. 이에 본 연구에서는 150MPa 수준의 초고강도 콘크리트를 제조하기 위하여 프리믹스형태의 시멘트를 제조하였고, 각 시멘트의 특성별로 초고강도 콘크리트 배합특성과 재령별 강도발현 특성을 비교함으로써 초고강도 콘크리트 제조와 실용화를 위한 기본 정보를 제시하고자 한다.

## 2. 본 문

### 2.1 연구의 범위 및 방법

$f_{ck}=100\sim 150\text{MPa}$  범위의 초고강도 콘크리트 제조를 위한 배합특성과 7일, 14일, 28일, 56일 재령에 대한 압축강도발현 특성을 비교하여, 150MPa 초강도 콘크리트 제조를 위한 기본 배합특성을 평가한다.

### 2.2 실험

초고강도 콘크리트 제조 및 강도발현 특성을 평가하기 위해서 목표강도를 재령 56일에서 150MPa로 정하여 다음 표 1과 같이 프리믹스(Pre-mix)시멘트를 사전 제조하였다. 시멘트제조와 콘크리트 배합에 사용된 각 재료의 기본성질이 다음 표 2에 나타나 있다. 표 3과 같이 프리믹스형태의 시멘트 종류를 주요 변수로 정하여 물-결합재비, 단위시멘트량, 혼화제 첨가율 등을 변화시켜 배합하였다. 압축강도 측정을 위한 공시체는  $\varnothing 100\times 200\text{mm}$  공시체를 제작하여 재령별로 3개씩 연마하여 실험하였다.

표 1 시멘트유형별 배합 특성

시멘트종류	1종시멘트 (%)	슬래그미분말 (%)	실리카흙 (%)	무수석고 (%)
A	54	30	10	6
B	54	30	10	6
C	54	30	10	6
D	54	27.5	12.5	6
E	54	25	15	6
B1	54	30	10	6
B2	59	25	10	6
B3	64	20	10	6

표 2 사용재료의 특성

사용재료	비 중	조립율	분말도( $\text{cm}^2/\text{g}$ )
1종 시멘트	3.15	-	3,450
슬래그미분말	2.90	-	4,852
실리카 흙	2.20	-	76,114
무수석고	2.60	-	6,000
잔골재	2.60	3.02	-
굵은골재(13mm)	2.65	6.30	-

## 3. 실험 결과 및 분석

### 3.1 배합특성

콘크리트의 배합은 믹서에 잔골재와 굵은골재를 동시 투여한 후 30초간 건배합한 후 시멘트를 투여하고 다시 30초간 건배합 후 물과 혼화제를 동시투여하여 각 재료가 완전히 활성화되어 콘크리트로서의 물성을 가지게 될 때까지 믹서를 돌려 배합하였다.

각 배합별 배합시간은 그림 1에 나타난 것처럼 1, 2번 배합을 제외하고 310~420초정도가 소요되었

다. 1번과 2번 배합의 경우는 시멘트 제조시 분말도가 낮은 실리카흙을 사용하여 각 재료의 활성화까지 많은 시간이 소요된 것으로 판단되었고, 이 후 위의 표 2에 나타나 있는 것과 같이 분말도가 높은 실리카흙 제품을 사용하였을 경우 대략 5분에서 6분 사이에 콘크리트 믹싱이 완료되는 것으로 나타났다.

표 3 콘크리트 배합표 및 배합별 실험결과

No.	시멘트 종류	W/P	S/a	Unit Weight(kg/m <sup>3</sup> )				AD (C×%)	Slump Flow(mm)	Air (%)	압축강도 (MPa)			
				W	C	S	G				7일	14일	28일	56일
1	A	14.0	35	140	1000	476	897	2.8	-	-				
2	A	14.0	35	140	1000	476	897	2.9	740/740	-	89.54	89.51	115.94	115.93
3	A	14.0	32	140	1000	435	939	3.0	740/740	-	88.47	90.05	116.00	109.74
4	A	14.0	35	140	1000	476	897	2.9	790/800	-	88.40	92.42	132.66	121.63
5	B	14.0	35	140	1000	476	897	2.9	-	-				
6	B	14.0	35	140	1000	476	897	2.6	810/810	1.0				
7	B	15.0	32	150	1000	467	880	2.6	760/760	-	89.58		126.74	
8	C	14.3	35	150	1050	451	851	2.95	690/730	-	86.22		111.34	
9	B	14.3	35	150	1050	451	851	2.75	760		103.23		131.41	
10	D	14.3	35	150	1050	451	851	2.75	780/770	-	90.51	115.80	109.55	122.32
11	E	14.3	35	150	1050	451	851	2.75	680/690	-	73.69	90.39	94.72	106.72
12	D	41.0	32	150	1070	445	839	2.9	700/730	-	115.91	125.93	134.77	139.75
13	E	14.0	35	150	1070	445	839	2.9	670/680		103.79	116.99	126.94	131.54
14	B	14.0	35	150	1070	445	839	2.9	710/730		106.99	116.43	140.40	139.27
15	B1	14.6	35	150	1030	458	863	2.75	800/780	1.0	125.63	134.43		
16	B2	14.6	35	150	1030	458	863	2.75	740/760	1.5	133.04	134.58		
17	B3	14.6	35	150	1030	458	863	2.80	750/740	1.7	136.81	138.33		
18	B2	14.6	35	150	1030	458	863	2.85	750/750	1.7	135.44	134.43		
19	B2	14.6	35	150	1030	458	863	2.85	740/740	2.5	136.56	136.66		

### 3.2 슬럼프 플로우

다음 그림 2에 나타나 있는 것처럼 각 배합의 물-결합재비가 14%~14.6%이고 잔골재율이 35%일 때 콘크리트의 배합직후 플로우치는 평균 745mm(675~810mm)정도로 측정되었다. 이 값은 일반적인 고강도-고유동 콘크리트에서 요구하는 650~700mm정도의 플로우치보다는 50~100mm 정도 큰 값으로 보통의 고강도-고유동 콘크리트에서 요구하는 정도의 플로우치를 얻으려고 하면 150MPa 초고강도 콘크리트의 점성이 너무 크게 나타나 콘크리트 타설 및 작업에 많은 어려움이 있을 것으로 예상되므로 본 연구의 초고강도 콘크리트 플로우치는 700~750mm정도를 확보하는 것으로 하였다.

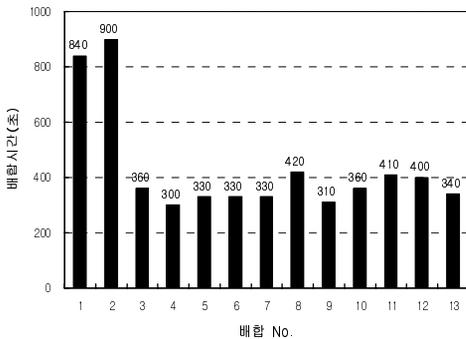


그림 1 배합별 믹서내 배합시간 비교

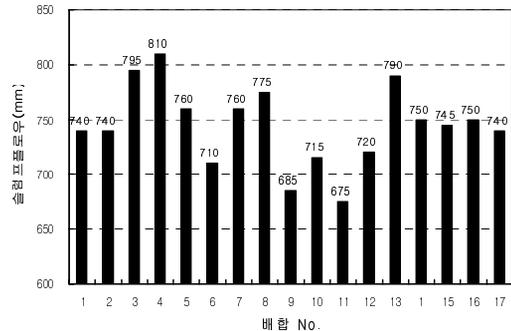


그림 2 배합별 초기 슬럼프플로우 비교

### 3.3 압축강도

콘크리트 공시체는 제작 후 3일 뒤에 탈형하여 상부면을 연마한 후 수중양생을 실시하면서 소요 재

령인 7일, 14일 28일, 56일에 압축강도시험을 실시하였다. 재령 28일을 기준으로 7일에서는 약 77%, 14일에서는 약 87%정도로 나타났고, 56일에서는 약 102%정도로 나타났다. 이로부터 프리믹스시멘트를 사용한 초고강도콘크리트에서는 분말도가 높은 각 재료의 초기 수화반응이 빠르게 이루어져 초기에 대부분의 강도를 확보하고 이후의 강도발현은 서서히 증가하는 것으로 판단된다(그림 3).

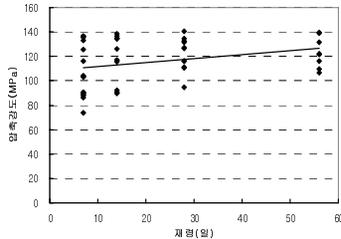


그림 3 재령별 압축강도 발현 특성

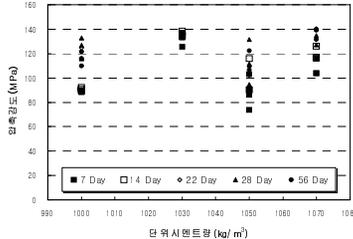


그림 4 단위시멘트량에 따른 압축강도 비교

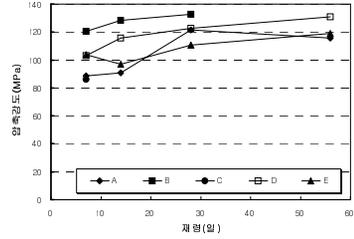


그림 5 시멘트종류별 압축강도 비교

단위시멘트량에 따른 압축강도는  $1030\text{kg/m}^3$ 인 경우가 안정적인 강도발현을 나타내었다. 그러나 본 실험에서는 단위시멘트량  $1030\text{kg/m}^3$ 인 배합의 경우는 공시체를 비닐로 밀봉하여 초기양생을 하였고, 나머지 공시체의 경우는 실내에서 비닐밀봉없이 양생한 경우로 본 실험결과로만 단위시멘트량에 따른 압축강도 발현특성을 정확히 판단하기 어려운 측면이 있다. 단, 일반적인 조건에서 단위시멘트량이 증가함에 따라 다소의 압축강도 증진효과는 있으나 기본적으로  $130\sim 150\text{MPa}$  정도의 초고강도 콘크리트 제조를 위한 단위시멘트량은 대략  $1000\text{kg/m}^3$  정도 내외에서 결정될 수 있음을 알 수 있다(그림 4). 시멘트 유형별 압축강도 발현특성을 비교할 때 OPC는 54%내외, 슬래그미분말은 25~30%, 실리카흙은 10~15% 정도의 범위에서 프리믹스시멘트를 제조하여 콘크리트 배합에 적용할 수 있을 것으로 판단된다(그림 5).

#### 4. 결론

- (1) 150MPa 초고강도 콘크리트의 배합에 소요되는 시간은 약 5~6분이 소요되어, 일반적인 고강도 콘크리트 배합시간보다 2~3분정도 배합시간이 더 요구되는 것으로 나타났다.
- (2) 초고강도 콘크리트는 보통의 고강도 콘크리트보다 매우 큰 점성을 가지므로 이러한 점성과 콘크리트 타설 및 작업과의 상관성을 고려하여 플로우치는 700~750mm정도를 확보하여야 할 것으로 판단된다.
- (3) 압축강도는 재령 28일을 기준으로 7일에서는 77%, 14일에서는 87%, 56일에서는 약 102% 정도로 나타났다.
- (4) 시멘트 유형별 압축강도 발현특성을 비교하면 OPC는 54~59%, 슬래그미분말은 25~30%, 실리카흙은 10~15% 정도의 범위에서 프리믹스시멘트를 제조하여 콘크리트 배합에 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

#### 감사의 글

이 논문은 2007년도 한양대학교 산학협력중심대학육성사업의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다. 본 연구를 위하여 많은 도움을 주신 고려하이믹스 시험실, 성신양회 고객만족팀과 13mm 굵은 골재를 제공해 주신 영진기업에 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. 안중문 외, “90MPa 초고강도 콘크리트의 재료역학 특성 평가”, 한국콘크리트학회 가을학술발표회논문집, Vol. 19, No. 2, 2007, pp. 681~684
2. 이승훈 외, “설계강도 150MPa 초고강도 콘크리트 현장 적용”, 한국콘크리트학회지 Vol 18, No. 5 2006. 9, pp. 59~64
3. Hayakawa Mitsutaka, “일본 고강도 콘크리트 개발 및 적용사례”, 제 2회 초고충진축과 고성능콘크리트 국제심포지엄 논문집, 롯데건설(주) 기술연구소, 2007. 3. 28, pp. 151~174
4. 손유신 외, “설계강도 150MPa 초고강도 콘크리트 개발”, 한국콘크리트학회 봄학술발표회논문집, Vol. 18, No. 1, 2006, pp. 29~32