

# 高强度 콘크리트의 現場最適配合에 關한 研究

## The Study on the Optimum Mix Design of the High-Strength Concrete in Site

이상수\*      원 철\*      김동석\*\*      안재현\*\*\*      박칠림\*\*\*\*  
Lee, Sang Soo      Won, Cheol      Kim, Dong Seok      Ahn, Jae Hyun      Park Chil Lim

### Abstract

In this paper, the properties of high-strength concrete are described with respect to materials and mix conditions(water-cement ratio, chemical admixture, replacement of fly ash). As primary purposes of this study, the optimum mix design method of high-strength concrete to decrease unit cement contents is investigated, and, the properties of fresh and hardened concretes are tested in terms of slump, air content and compressive strength.

As results of this study, workability and strength development of the high-strength concrete depend on the water-cement ratio, replacement ratio of fly ash and dosage of the chemical admixture. The conditions which are proposed optimum mix design of the high-strength concrete show W/C 37%, S/A 42~45% and unit cement content 470~480kg/m<sup>3</sup>. Based on the results, the applicability of high-strength concrete in site is clearly proved.

## 1. 서 언

### 1.1 연구배경

최근 경제의 급속한 성장 및 인구의 과밀화로 인하여 구조물이 超高層化 및 大型化, 特殊化되는 경향을 나타내고 있다. 또한, 잇달아 발생하는 不實工事로 인하여 콘크리트에 대한 信賴性 문제가 대두되고 있으며, 콘크리트의 고성능화에 대한 관심이 높아지고 있다.

한편, 국내의 고강도 콘크리트 연구동향을 보면, 주로 대학 및 기업연구소를 중심으로 진행되어 왔

\* 정회원, (주)대우건설기술연구소 주임연구원  
\*\* 정회원, (주)대우건설기술연구소 연구원  
\*\*\* 정회원, (주)대우건설기술연구소 건축연구실장  
\*\*\*\* 정회원, (주)대우건설기술연구소 소장·공박

으며, 고속철도 및 교량과 같은 토목분야에서는 설계기준강도가 400kg/cm<sup>2</sup> 범위인 高强度 콘크리트를 적용하고 있으나, 건축분야에서는 적용사례<sup>1)</sup>가 많지 않다.

이러한 원인은 불명확한 經濟的 配合比 및 배치 플랜트의 設備시스템, 현장의 品質管理 등에 대한 신뢰성 문제가 크지만, 고강도 콘크리트를 적극적으로 적용하려는 실용화 의지에도 많은 문제가 있는 것으로 사료된다. 특히, 콘크리트가 高强度化되면 단위시멘트량의 증대에 따른 수화열의 상승으로 인하여 콘크리트 구조물에 溫度 및 乾燥收縮 龜裂이 발생하는 사례가 많기 때문에 단위시멘트량을 가급적 줄이고 플라이애쉬를 치환하는 방안이 대두되고 있다.<sup>5)</sup>

본 연구에서는 경부고속전철이 건설되고 있는 천안지역의 재료를 대상으로 고강도 콘크리트의 제조 및 현장적용을 위한 配合條件別 특성을 파악하여, 고속철도 4-3공구 현장의 교량상판에 적용하기 위한 최적배합을 도출하고자 수행되었으며, 가능한 한 단위시멘트량을 감소시키는 방안에 초점을 맞추었다.

## 1.2 연구범위

본 연구는 지역적 특성을 고려한 고강도 콘크리트의 재료 및 배합조건에 따른 콘크리트의 특성을 실험적으로 檢證하고, 현장적용을 위한 최적배합 조건을 제시하고자 한다.

따라서, 천안지역에서 생산되는 골재를 대상으로 고강도 콘크리트의 재료 및 최적 배합조건을 선정한 후, 현장적용을 위한 품질관리 방안을 검토하고자 한다. 이러한 연구단계를 위하여 設計基準强度가 400kg/cm<sup>2</sup>인 경부고속철도 4-3공구에 고강도 콘크리트를 타설하기 위한 배합조건을 선정하고자 하였다. 특히, 수화열 및 건조수축에 따른 균열방지를 위하여 단위시멘트량을 저감시키는 방안으로 추진하였으며, 기본적인 평가특성은 재료 및 배합조건에 따른 슬럼프, 공기량 및 강도 특성을 대상으로 하고, 향후 이를 토대로 현장에 적용할 계획이다.

## 2. 고강도 콘크리트의 시험배합

### 2.1 배합강도 선정

고강도 콘크리트 배합설계는 KASS 5(JASS 5와 동일<sup>6)</sup>)에서 제시한 다음식에 따른다.

KASS 5 설계식<sup>3)</sup> (단위 : kg/cm<sup>2</sup>)

$$F' \geq \sim 0.9 \cdot (F_c \sim + \sim T) + \sim 3 \cdot \sigma \dots \dots \dots (\text{식 1})$$

$$F' \geq \sim F_c + T + 2 \cdot \sigma \dots \dots \dots (\text{식 2})$$

여기서, F는 配合强度, F<sub>c</sub>는 設計基準强度, T는 온도보정강도, σ는 표준편차이며, 단위는 kg/cm<sup>2</sup>이다. 배합강도를 선정할 때, 표준편차는 시험자료가 없을 경우 35kg/cm<sup>2</sup> 또는 0.1(F<sub>c</sub>+T)중에서 큰 값으로 하며, (식 1) 및 (식 2)의 큰 값으로 산정한다. 따라서, 본 연구에서는 온도보정강도를 0으로 할 경우에 표준편차를 40kg/cm<sup>2</sup>로 결정하였으며, 그 결과 설계기준강도에 따른 배합강도를 480kg/cm<sup>2</sup> 이상으로 하였다.

### 2.2 실험방법 및 변수

콘크리트의 특성항목은 슬럼프, 공기량 및 재령별 강도를 기본으로 하고, 재료분리 및 블리딩은 관찰을 통해 판단하기로 하였다. 콘크리트의 배합에서 플라이애쉬 치환방법은 콘크리트 특성 및 경제적

배합을 위해 시멘트 중량비(Replacement Method)로 결정하였다. 고성능 감수제의 첨가량은 목표 슬럼프( $12 \pm 2.5\text{cm}$ )를 만족하는 범위에서 결정하였으며, 콘크리트 배합방법은 선-모르타르 방법을 선택하였고, 강제식 믹서의 전체 배합시간은 3분으로 하였다.

설계기준강도 및 배합강도를 만족하기 위한 배합변수는 물/시멘트비 및 단위시멘트량, 혼화재의 使用有無를 대상으로 표 1과 같이 선정하였다.

표 1 콘크리트의 배합변수

구 분	물/시멘트비 (%)	잔골재율 (%)	단위 시멘트량 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	단위수량 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	플라이애쉬 첨가량 ( $C \times \%$ )
계획배합	30~37	40~45	350~500	150~175	0~30
기준배합	36	44	513	176	-

한편, 본 실험은 고강도 콘크리트에서 가장 문제가 되는 수화열에 의한 균열을 제어하기 위하여 단위시멘트량을 가장 經濟的으로 도출하기 위한 것이며, 비교용으로 C급 및 F급 플라이애쉬<sup>6)</sup>를 사용하여 고강도 콘크리트의 水和熱의 억제효과를 비교하도록 하였다.

### 2.3 사용재료

본 연구에 사용된 재료는 고속철도 현장에서 사용하고 있는 것으로 하였다. 시멘트의 경우에는 S사의 보통 포틀랜드 시멘트(1종)를 대상으로 하였으며, 굵은골재는 최대치수가 19mm인 운주석산의 쇄석을 사용하였다. 또한, 잔골재는 공주산 강모래를 사용하였으며, 혼화재는 보령 화력발전소의 플라이애쉬(F급 플라이애쉬) 및 울산 열병합발전소의 플라이애쉬(C급 플라이애쉬)를 사용하였고, 고성능 감수제는 나프탈렌계로 G社 및 J社, N社의 제품을 사용하여 특성을 비교하였다.<sup>2)</sup>

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 최적 배합조건

설계기준강도가  $400\text{kg}/\text{cm}^2$ 인 고강도 콘크리트의 최적 배합조건을 선정하기 위하여 플레인 콘크리트의 경우에는 표 2와 같이 물/시멘트비를 2Case, 플라이애쉬 콘크리트의 경우는 표 3과 같이 물/결합재비를 3Case로 하여 시험배합을 실시하였다. 또한, 플레인 콘크리트에서는 고성능 감수제의 종류에 따른 특성도 검토하였으며, 플라이애쉬 콘크리트의 경우에는 C급 플라이애쉬와 F급 플라이애쉬를 동일한 배합조건에 대하여 비교 검토하였다.

표 2 콘크리트 배합조건(플레인 콘크리트의 경우)

구 분 시험체명	배합조건		단위 재료량( $\text{kg}/\text{m}^3$ )				
	W/C (%)	S/a (%)	C	W	S	G	Fly Ash
PL-35-175	35	45	500	175	750	981	-
PL-35-170			486	170	761	995	-
PL-35-165			471	165	773	1,012	-
PL-37-185	37	45	500	185	739	966	-
PL-37-180			486	180	750	980	-
PL-37-185		42	473	180	750	1,048	-

표 3 콘크리트 배합조건(플라이애쉬 콘크리트의 경우)

구 분 시험체명	배합조건		단위 재료량(kg/m <sup>3</sup> )				
	W/C (%)	S/a (%)	C	W	S	G	Fly Ash
FA-30-175	30	40	500	150	693	1,112	-
FA-30-170			400		679	1,089	100
FA-30-165			350		773	1,012	150
FA-33-175	33	45	400	165	746	975	100
FA-33-170			350		738	965	150
FA-35-185	35	45	500	175	734	960	100
FA-35-180			350		726	950	150

### 3.2 최적배합 실험결과

#### 3.2.1 고성능 감수제별 슬럼프 특성

각 배합조건별 고성능 감수제의 제품 및 첨가량에 따른 슬럼프 측정결과는 표 4, 그림 1에 나타난 바와 같다. 고성능 감수제의 제품에 따른 슬럼프 특성을 비교하고, 궁극적으로는 단위시멘트량에 따른 강도발현에 초점을 맞추어 적합성을 판단하고자 하였으며, 가장 효율적인 고성능 감수제를 선정하고자 하였다.

표 4 고성능 감수제별 굳지않은 콘크리트의 특성결과

구 분 시험체명	배합조건		단위 재료량(kg/m <sup>3</sup> )					S.P제 (%)	콘크리트 특성		
	W/C (%)	S/a (%)	C	W	S	G	Fly Ash		슬럼프 (cm)	공기량 (%)	
PL-35-G	35	45	486	170	761	995	-	1.3	17.2	1.2	
PL-35-N								0.9	20.0	0.8	
PL-35-J								0.9	12.5	2.4	
PL-35-G			45	471	165	773	1,012	-	1.3	7.0	2.2
PL-35-N									1.2	17.0	0.9
PL-35-J									1.2	15.5	1.9
PL-37-G	37	45	486	180	750	980	-	0.8	12.0	1.8	
PL-37-N								0.8	16.0	1.1	
PL-37-J								0.8	18.0	1.3	

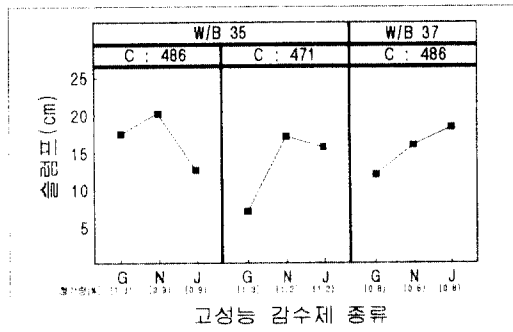


그림 1 고성능 감수제별 슬럼프 특성

고성능 감수제별 특성실험 결과, 물/시멘트비가 35%인 경우에 N社의 고성능 감수제가 분산성능 및 유동성이 우수한 것으로 나타났다. 또한, G社의 경우에는 분산성능 및 워커빌리티의 측면에서 매우 우수하지만 첨가량의 증대로 인하여 非經濟적인 경향을 나타내었으며, J社의 경우에는 물/시멘트비가 37%인 경우에 分散性能이 우수한 것으로 나타났다.

고성능 감수제별 공기량은 AE제의 연행을 하지 않은 상태에서 약 1~2%의 갇힌 공기를 나타내었으며, 목표공기량을 확보하기 위하여 AE제 연행을 함께 검토하여야 할 것으로 사료된다.

따라서, J사의 고성능 감수제를 선정하여 공기량 확보를 위한 실험을 실시하였으며,  $3.5 \pm 1.5\%$ 의 범위를 만족하기 위하여 AE제를 0.04% 첨가하였다.

### 3.2.2 고성능 감수제별 강도특성

고성능 감수제의 제품에 따른 강도특성 결과는 그림 2와 같다. 동일한 배합조건에서 고성능 감수제의 제품에 따른 강도발현은 약간의 차이를 나타내고 있는데, 이는 고성능 감수제와 시멘트의 適合性, 固形成분에 따른 分散性能 및 均一性 등의 영향으로 사료되며, 전반적으로 G社의 고성능 감수제를 사용한 경우가 초기강도 발현이 높은 것으로 나타났다.

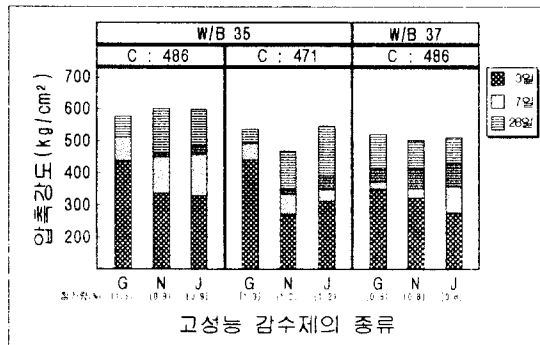


그림 2 배합조건에 따른 강도발현 특성

### 3.2.3 플라이애쉬 치환에 따른 강도특성

플라이애쉬의 종류 및 치환율에 따른 강도특성 결과는 그림 3과 같다. 여기서, FFA는 화력발전소, CFA는 열병합발전소의 플라이애쉬를 치환한 콘크리트를 나타낸 것이다.

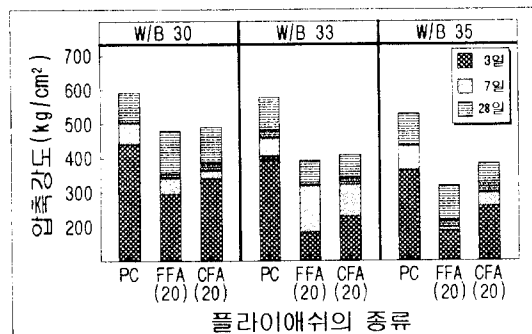


그림 3 플라이애쉬 종류 및 치환율에 따른 강도특성

전반적으로 열병합발전소의 플라이애쉬를 사용한 콘크리트가 화력발전소의 플라이애쉬를 사용한 콘크리트보다 다소 강도발현이 높게 나타났으며, 이러한 경향은 물/결합재비가 클 수록 증대되었다. 이는 열병합발전소의 플라이애쉬가 상대적으로 CaO량이 많기 때문에 潛在水硬性이 높은 결과로 사료된다. 한편, 배합강도 480kg/cm<sup>2</sup> 이상을 만족하기 위해서는 콘크리트의 배합조건을 물/결합재비 30%, 플라이애쉬 치환율 20% 범위로 하는 것이 바람직하며, 현장 배치 플랜트에 플라이애쉬용 사이로 및 계량장치, 그리고 품질관리 시스템을 확보해야 가능할 것으로 판단된다. 參考로 플라이애쉬의 첨가에 따른 단열온도 상승시험 결과, 수화열 저감효과가 크다.

### 3.2.4 단위시멘트량에 따른 강도특성

단위시멘트량에 따른 강도발현은 그림 4에 나타난 바와 같다. 본 연구는 단위시멘트량을 低減시킬 목적으로 기존의 配合設計에 提示된 513kg/m<sup>3</sup>보다 많이 줄이는 방안이 필요하다.

물/시멘트비가 35%인 경우, 단위시멘트량이 471kg/m<sup>3</sup>이상의 모든 조건에서 재령 7일에 강도관리선(H : 480kg/cm<sup>2</sup>)을 만족하고 있으며, 물/시멘트비가 37%인 경우에는 재령 28일에서 강도관리선을 만족하는 것으로 나타났다. 따라서, 현장의 品質管理 및 變動係數를 고려하여 물/시멘트비를 37%이하, 단위시멘트량을 470~480kg/m<sup>3</sup> 범위로 하는 것이 적합할 것으로 사료된다.

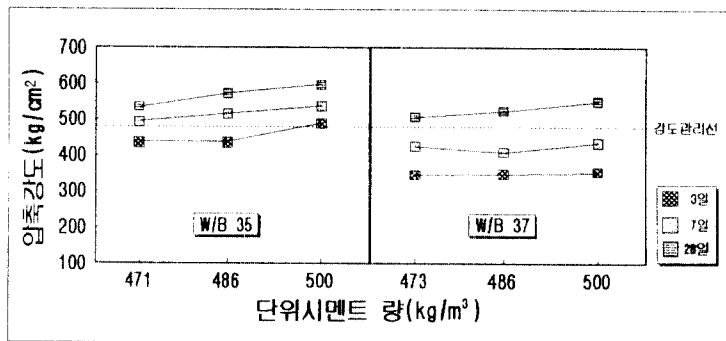


그림 4 단위시멘트량에 따른 강도특성

## 4. 결 론

천안고속철도 현장의 교량상판에 타설할 고강도 콘크리트의 最適 配合設計를 導出하기 위한 연구결과 정리하면 다음과 같다.

- ① 설계기준강도가 400kg/cm<sup>2</sup>인 고강도 콘크리트의 배합강도는 480kg/cm<sup>2</sup>으로, 이는 불량율을 2.3% 이하(일반 콘크리트는 4%)로 저감시켜 최소강도의 보증값을 90%로 증대시킨 것이다.
- ② 고성능 감수제는 分散性能 및 強度發現이 우수한 것을 선정하고, AE제는 分離添加하는 것이 바람직하다.
- ③ 콘크리트 배합조건은 물/시멘트비 35~37%, 잔골재율 42~45%, 단위시멘트량 470~480kg/m<sup>3</sup> 범위에서 선정하였으며, 플라이애쉬를 치환할 경우에는 물/결합재비를 30%로 저감한다.
- ④ 현장 플랜트에서의 고강도 콘크리트 제조는 경시변화에 따른 슬럼프 손실을 고려하여 고성능 감수제의 첨가량으로 조절하도록 한다.

● 참고문헌 ●

1. 朴シ七林, 權寧鎬, "700kg/cm<sup>2</sup> 高强度 콘크리트의 現場適用", 한국콘크리트학회, 가을학술발표 논문집 제5권 2호, 1993, pp.124~131.
2. 朴シ七林, 權寧鎬, "高强度 콘크리트用 混和劑의 品質性能에 관한 實驗的 研究. -高性能減水劑를 중심으로-", 한국콘크리트학회 논문집, 제 5권 1호, 1993, pp.165~173
3. 建築工事標準示方書, 第5章 鐵筋 콘크리트工事, 高强度 콘크리트, 大韓建築學會, 1994.
4. "建築工事標準仕様書・同解説", JASS 5 鐵筋コンクリト工事, 1991.
5. "高强度コンクリトの技術の現状-第2編 材料 施工編", 日本建築學會, 1991, pp.25~204.
6. ASTM C 618, Standard Specification for Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for use as a Mineral Admixture in Portland Cement Concrete.