

# 혼화재 치환율 및 양생조건이 서중콘크리트의 압축강도에 미치는 영향

## The Effect of Replacement Ratio of Mineral Admixtures and Curing Condition on Compressive Strength of Hot Weather Concrete

공 태 웅\*  
Kong, Tae Woong

이 수 형\*  
Lee, Soo Hyung

장 재 환\*  
Jang, Jae Hwan

이 한 백\*\*  
Lee, Han Baek

### ABSTRACT

As concrete is a material which is subject to wide quality fluctuations by temperature, grip of seasonal feature and maintenance of ambient temperature and humidity to secure the quality required after casting concrete are able to keep away from harmful effects.

In case of summer, a high temperature has caused rapid hydration reaction of cement in early age, which has caused to decrease strength by autogenous shrinkage. Therefore we need to consider a countermeasure for decrease in the hydration heat of hot-weather concrete, according to minimize water and cement content and use mineral admixtures

In this experimental research, the compressive strength development for replacement ratio of mineral admixtures, curing temperature and methods of concrete was investigated to confirm the effects of mixture design and curing condition on compressive strength of concrete.

### 요 약

콘크리트는 온도에 따른 품질변동이 큰 재료로서, 타설 후 소요의 품질을 확보하기 위해 계절특성과 악 및 콘크리트 주위의 온·습도를 적절한 범위로 유지시켜 유해한 작용을 받지 않도록 주의해야 한다. 특히 하절기의 경우 높은 대기온도의 영향으로 초기재령에서 시멘트의 급속한 수화반응으로 유발하여 시멘트경화체 내부가 자기건조상태가 되어 결과적으로 자기수축에 의한 콘크리트의 강도저하를 발생시킬 수 있다. 그러므로 단위수량 및 단위시멘트량의 최소화 및 혼화재 사용 등 서중콘크리트의 수화열 저감을 통한 강도저하방지대책이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 배합 및 양생온도조건이 콘크리트의 압축강도에 미치는 영향을 확인하고자 혼화재 치환율 변화, 콘크리트의 초기양생온도변화 및 양생조건변화에 따른 압축강도 특성을 비교·검토하였다.

\* 정희원, 선일공업(주)기술연구소 선임연구원

\*\* 정희원, 선일공업(주)기술연구소 연구소장

## 1. 서 론

콘크리트의 강도발현 매커니즘은 온도변화에 의해 크게 좌우되기 때문에 우리나라와 같이 계절변화로 인해 온도차가 극심한 경우, 기후변화에 따른 콘크리트 품질변동에 대해 대비책을 강구해야 한다. 특히 하절기의 경우, 외기온도상승으로 인해 콘크리트의 수화열이 증가하여 운반 중의 슬럼프 Loss 발생, 연행공기량 감소, 콜드조인트(cold joint) 발생, 건조수축균열 발생, 온도균열 발생 등의 위험성이 증가하여 서중콘크리트 품질에 대한 검토가 중요시된다.

또한 최근 콘크리트 원부재료의 가격상승으로 인한 레미콘 제조원가의 상승으로 원가개선을 위한 자구책이 절실한 실정이다. 이에 대한 대책으로 레미콘 업계에서는 종전의 품질수준을 유지하는 범위 내에서 혼화재 치환율, 부순모래 대체율 및 기타 대체재료 사용 등에 대해 다방면에 걸쳐 검토가 이루어지고 있다. 산업부산물의 일종으로써 시멘트에 비해 상대적으로 저렴한 플라이애시와 고로슬래그미분말은 시멘트와 유사한 특징(포졸란반응, 잠재수경성)을 지니고 있어 가장 널리 사용되고 있는 시멘트 대체용 혼화재료이다. 특히 이와 같은 혼화재료를 사용할 경우, 수화열 저감을 통한 온도균열저항성 향상, 워커빌리티 개선, 장기강도 증진 및 내구성 향상 등 하절기 콘크리트 품질관리에 매우 유리한 특징을 가지고 있다. 또한 최근 건설폐기물 증가에 따른 환경오염발생 우려와 더불어 골재수급의 어려움 등을 해결하기 위한 방안으로 순환골재 사용에 대한 필요성이 대두되고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 경제성 및 품질개선을 목적으로 서중콘크리트에 플라이애시, 고로슬래그 및 순환잔골재를 적용함으로써 혼화재 치환율, 양생온도 및 양생방법이 콘크리트의 압축강도에 미치는 영향에 대해서 비교·검토하려고 한다.

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1. 실험계획

본 연구에서는 서중콘크리트에서의 혼화재 치환율 및 양생조건이 압축강도에 미치는 영향을 평가하기 위해 Series 1, Series 2로 구분하고 슬럼프  $18 \pm 2.5\text{cm}$ , 공기량  $4.5 \pm 1.5\%$ 를 목표로 선정하여 실험을 실시하였다. 실험계획은 표 1과 같으며, 실험배합은 표 2에 나타내었다. 물-결합재비는 51.2%, 잔골재율 49.4%, 단위수량  $167\text{kg/m}^3$ 으로 설정하였으며, 혼화재 치환율은 2인자 3수준으로, 콘크리트 양생조건은 2인자 2수준으로 하여 이에 따른 압축강도 특성을 비교·검토하였다.

표 1 실험계획

조 건	실험수준	실험인자	수 준
혼화재 치환율	2인자	F/A	· 15%, 20%, 25%
	3수준	S/P	· 20%, 25%, 30%
양생조건	2인자 2수준	양생조건	· 항온항습기에서 2일간 양생후 수중양생 · 항온항습기에서 28일간 등온양생
		양생온도	· 20℃, 33℃

※ 수중양생온도 :  $23 \pm 2^\circ\text{C}$

※ F/A : 플라이애시, S/P : 고로슬래그미분말

표 2 실험배합(기준배합)

W/B (%)	S/a (%)	W (kg/m <sup>3</sup> )	Binder (kg/m <sup>3</sup> )	혼합잔골재(S) 비율		Ad
				세척사	순환잔골재	
51.2	49.4	167	326	S×70%	S×30%	B×0.5%

### 2.2. 사용재료

본 연구에 사용된 재료로써 H사의 보통포틀랜드시멘트, V사의 고로슬래그미분말, 태안화력발전소에서 부산된 플라이애시, D산지의 세척사 및 I산지의 순환잔골재, H산지의 25mm 굵은골재를 사용하였으며, 화학혼화제는 H사의 나프탈렌형 AE감수제 표준형을 사용하였다.

### 2.3. 실험방법

서중콘크리트의 혼화재 치환율 변화에 따른 영향을 평가하기 위해 F/A 3수준(15, 20, 25%), S/P 3수준(20, 25, 30%)으로 설정하였으며, 양생조건은 상대습도 95±5%의 항온항습기에서 20℃·33℃의 2수준으로 초기 2일간만 양생시킨 후 3일부터 수중양생한 경우(Series 1)와 20℃·33℃의 2수준으로 온도조건을 유지하면서 28일간 항온항습기에서 등온양생시킨 경우(Series 2)를 비교하여 인자과 수준에 따른 서중콘크리트의 압축강도를 측정하였다.

### 3. 실험결과

#### 3.1. 혼화재 치환율에 따른 굳지 않은 콘크리트의 특성

그림 1과 같이 S/P의 치환율이 증가할수록 슬럼프 및 공기량의 경시변화율은 감소하였다. 하지만 공기량의 경우 F/A의 치환율이 증가할수록 상대적으로 경시변화율은 다소 증가하였는데, 이는 F/A내의 미연탄소분이 공기량을 흡착함으로써 공기량 감소에 영향을 준 것으로 판단된다.

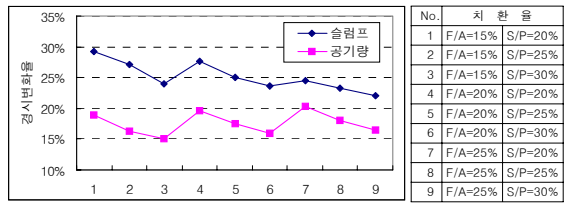


그림 1 슬럼프 및 공기량의 경시변화율

#### 3.2. 혼화재 치환율 및 양생조건에 따른 압축강도 특성

그림 2~5는 각 Series별 압축강도의 변화를 나타낸 것으로, 그림 2(Series 1-1)와 그림 4(Series 2-1)의 경우는 양생방법에 상관없이 F/A 및 S/P의 치환율이 증가할수록 전 재령에 있어서 압축강도가 감소하는 것으로 나타났다. 그림 3(Series 1-2)과 그림 5(Series 2-2)의 경우는 Series 1-1 및 Series 2-1에 비해 3일, 7일강도가 높게 나타났는데, 이는 높은 양생온도가 F/A 및 S/P의 초기수화반응을 활성화시켜줌으로써 초기강도발현을 상승시킨 것으로 판단된다.

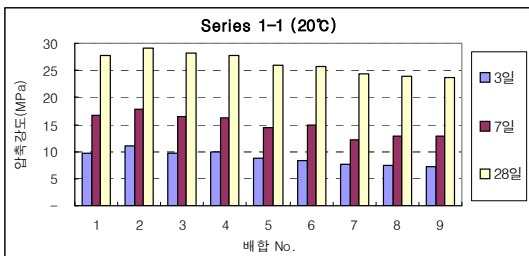


그림 2 항온항습기에서 2일간 20℃로 양생 후 수중양생

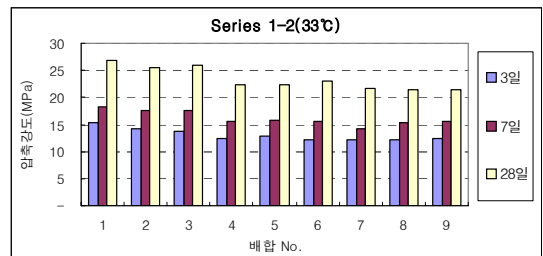


그림 3 항온항습기에서 2일간 33℃로 양생 후 수중양생

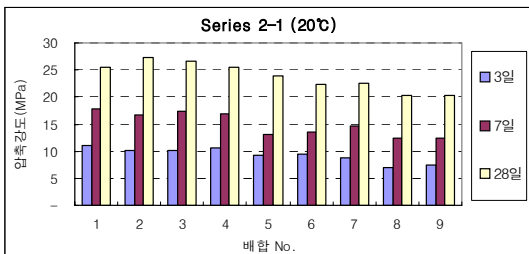


그림 4 항온항습기에서 28일간 20℃로 등온양생

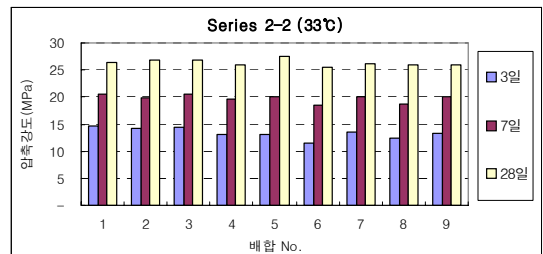


그림 5 항온항습기에서 28일간 33℃로 등온양생

Series 1-1과 Series 1-2의 결과를 비교하면, 초기양생온도가 높은 경우(Series 1-2)가 초기강도(3, 7일)는 더 높았으나, 28일강도는 오히려 적은 것으로 나타났는데, 이는 초기의 높은 양생온도가 고온의 촉진반응에 의해 내부 수화물이 현저하게 치밀화하여 이후의 수화반응속도를 저해한 것으로 판단된다. 또한 Series 2-1과 Series 2-2와 같이 28일간 20℃ 및 33℃로 지속적인 등온양생을 한 결과를 비교하면, Series 2-2가 Series 2-1보다 높은 압축강도를 보이며 특히 치환율이 증가할수록 강도차는 더 큰 것으로 나타났다. 이는 F/A 및 S/P의 치환율이 일정범위까지 증가한다면, 양생온도가 높을 경우 콘크리트가 건조를 일으키지만 않는다면 수화도는 양생온도의 상승과 함께 증가하기 때문인 것으로 판단된다. 하지만 Older와 Taplin의 연구에 의하면 온도상승과 함께 수화속도는 증가하지만 장기재령으로 갈수록 결국은 동일한 수화도에 도달하며, 즉 양생온도가 수화속도에는 영향을 미치지만 최종적인 수화량에는 영향을 미치지 않는다고 한다.

#### 4. 결 론

혼화제 치환율 및 양생조건에 따른 콘크리트의 특성을 검토하고자 슬럼프/공기량의 경시변화율, 압축강도를 측정하여 그 영향을 확인하였다. 본 연구에 의해 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

- 1) S/P의 치환율이 증가할수록 슬럼프 및 공기량의 경시변화율은 감소하였으나, 공기량의 경우 F/A의 치환율이 증가할수록 상대적으로 경시변화율은 증가하였다. 이는 F/A내의 미연탄소분이 공기량을 흡착함으로써 공기량 감소에 영향을 준 것으로 판단된다.
- 2) 양생온도가 20℃인 경우, 양생방법에 상관없이 F/A 및 S/P의 치환율이 증가할수록 압축강도가 감소하는 것으로 나타났다.
- 3) 양생온도가 20℃인 경우에 비해 33℃일 때가 상대적으로 높은 3, 7일강도를 보였는데, 이는 높은 양생온도가 F/A 및 S/P의 초기수화반응을 활성화시켜줌으로써 초기강도발현을 상승시킨 것으로 판단된다.
- 4) Series 1의 결과를 비교하면, 초기양생온도가 높은 경우(33℃)가 3, 7일강도는 높았으나 28일강도는 오히려 작게 나타났는데, 이는 초기의 높은 양생온도가 고온의 촉진반응에 의해 내부 수화물을 현저하게 치밀화시켜 이후의 수화반응속도를 저해한 것으로 판단된다.
- 5) Series 2 결과의 경우, F/A 및 S/P의 치환율이 일정범위까지 증가한다면 양생온도가 높을 경우 콘크리트가 건조를 일으키지만 않는다면 수화도는 양생온도의 상승과 함께 증가한다. 하지만 수화도는 시멘트 입자를 둘러싸는 CSH층의 밀도나 두께에 지배되며, 이 층은 수화를 지연시켜 어느 정도의 두께에 달하면 수화를 완전히 정지시켜 최종적인 수화도는 온도에 영향을 받지 않을 것으로 사료된다.

#### 참고문헌

1. 김진근, 문영호, 어석홍, 최응규, “콘크리트 압축강도에 미치는 양생온도와 양생시점의 영향”, 콘크리트 학회지 제10권 3호, pp.143~152, 1998.
2. Steven H. Kosmatka and William C. Panarese, “Design and Control of Concrete Mixtures”, Portland Cement Association(Illinois), Engineering Bulletin, 13th Edition.
3. Hale, W Micah; Bush Jr, Thomas D; Russell, Bruce W; Freyne, Seamus F, “Effect of Curing Temperature on Hardened Concrete Properties: Mixtures of Ground Granulated Blast Furnace Slag, Fly Ash, or a Combination of Both”, Cement and Concrete, pp.97-104, 2005.
4. J. Ortiz, A. Aguado, L. Agulló and T. García, “Influence of environmental temperatures on the concrete compressive strength: Simulation of hot and cold weather conditions”, Cement and Concrete Research, Volume 35, Issue 10, pp.1970~1979, 2005.