

# 동절기 초기양생방법 및 혼화제 종류에 따른 콘크리트의 강도발현특성에 관한 실험적 연구

## An Experimental Study on the Strength Properties of Concrete for Curing Method at Early Age and kinds of Admixture in Winter

최 성 우\*      이 민 호\*      반 성 수\*      최 봉 주\*\*      유 득 현\*\*\*  
Choi, Sung woo      Lee, Mon Ho      Ban, Seong Soo      Choi, Bong Joo      Ryu, Deuk Hyun

### ABSTRACT

When Concrete work during winter is placed, it has anxiety that concrete freeze at low temperature. As concrete's freezing cause reduction of durability, it is necessary for mixing to pay attention to Air content and W/C ratios.

Accordingly, in this study, we set up three series and evaluate a frost-resistance of concrete with admixture, like fly-ash and blast-furnace slag, for early curing method and types of chemical admixture..

The study is composed as;

I series : Analysis for early curing method and types of chemical admixture in laboratory

II series : Analysis for early curing method and types of chemical admixture in batcher plant and measured concrete' temperature

The result of this study, it was more effective the use of super-plasticizers than air entraining agent

### 1. 서론

최근, 건설기술의 발달 및 경제성을 고려하여 공기를 단축시키기 위해 한중콘크리트의 사용이 증가하고 있는 추세이다. 그러나, 이러한 한중콘크리트의 시공에 있어서, 낮은 외기온에 따른 콘크리트의 수화 지연 또는, 콘크리트 내부의 수분이 동결하여 열화하는 등의 초기동해에 의해 콘크리트의 품질이 저하될 뿐만 아니라, 동해 종료 후 양생방법을 개선하여도 콘크리트의 성능이 회복되지 않는 것으로 알려져 있다.<sup>1),2)</sup>

따라서, 한중콘크리트의 시공에 있어서, 초기동해를 방지하기 위해, 초기재령에서 동해를 견딜 수 있는 강도의 확보가 중요하며, 이를 위해 혼화제의 사용량을 감소시키고, 초기재령에서의 양생방법 개선 등의 노력이 진행되고 있는 실정이다.

본 연구는 한중콘크리트의 제조 및 시공에 있어서 초기양생방법 및 배합조건에 따른 콘크리트의 강도발현특성을 검토하므로써, 한중콘크리트의 제조 및 시공의 확대를 위한 기초적 자료 제시가 목적으로, 연구는 I·II시리즈로 구성하여 실험을 진행하였다.

\* 정회원, 유진종합개발(주) 콘크리트연구소

\*\* 정회원, 유진종합개발(주) 서서울공장 품질관리실장

\*\*\* 정회원, 유진종합개발(주) 콘크리트연구소 소장

I 시리즈는 실내실험으로서 배합조건 및 초기 양생방법에 따른 콘크리트의 강도발현특성을 검토하였으며, II 시리즈에서는 I 시리즈의 실험결과를 바탕으로 실제 레미콘 제조공장에서 제조된 제품에 따라 양생방법 및 배합조건별 콘크리트의 강도발현특성을 검토하였다. 특히 II 시리즈에서는 양생방법에 따른 재령 1일 콘크리트의 온도변화를 측정하여 양생방법 및 사용재료에 따른 콘크리트의 특성을 검토하였다.

## 2. 실험계획

### 2.1 실험계획 및 배합

본 연구의 실험계획을 표 1에 나타내었다.

본 실험에 사용된 콘크리트는 물결합재비율 60, 55, 50% 3수준을 기본으로 설정하였으며, 소요의 유동성 및 내동해성을 확보하기 위해 목표 슬럼프 15cm, 목표공기량 4.5±0.5%를 설정하였다. 또한 혼화제의 종류는 고로슬래그 미분말 및 플라이애시를 사용하였으며, 혼화제의 종류에 따른 배합 및 콘크리트의 성능평가를 위해 혼화제는 AE감수제 및 고성능AE감수제를 사용하였다.

동결기를 고려한 콘크리트의 초기양생방법 및 혼화제 종류에 따른 강도발현특성을 검토하기 위해 본 연구는 I · II 시리즈로 구성하였다.

I 시리즈에서는 실내실험으로서, AE감수제를 사용한 배합을 기준으로 예비실험을 통해서 고성능AE감수제를 사용한 배합을 설정하였으며, 양생조건은 표준수중양생과 -3℃의 외기조건에서 제조 직후 재령 1일 동안 동결양생 및 보온양생을 실시한 후 표준수중양생을 실시하는 총 3수준의 양생방법을 설정하였다.

II 시리즈에서는 실제 레미콘 제조 현장에서의 실험으로서, 초기재령의 양생조건은 실내양생 및 외기 노출, 외기보온양생 등 총 3수준을 설정하였으며, 재령 1일 양생조건에 따라 양생을 실시한 후 표준수중양생 및 외기노출양생을 실시하였다. 양생방법에 따른 콘크리트의 영향을 검토하기 위해, 각각의 양생방법에 따른 재령 1일에서 콘크리트의 온도변화를 측정하였다.

본 실험에 사용된 콘크리트의 배합은 표 2에 나타낸 바와 같이, 물결합재비 60, 55, 50%에서 AE감수제를 사용하는 배합을 기본으로, 예비실험을 통하여 고성능AE감수제를 사용하는 배합을 설정하였으며, 혼화

표 1 실험계획

콘크리트	W/B	60, 55, 50
	목표슬럼프	15 cm
	목표공기량	4.5±0.5 %
	혼화제	고로슬래그, 플라이애시
	혼화제	AE감수제, 고성능AE감수제
양생조건 (재령 1일)	I 시리즈 (실내실험)	표준수중양생 -3℃ 외기 방치(초기동결) -3℃ 보온(초기보온)
	II 시리즈 (현장B/P실험)	실내양생 외기방치 후 표준수중양생 (외-수) 외기방치 (외-외) 초기보온
시험항목	균지않은 콘크리트	공기량, 슬럼프, 콘크리트온도
	경화 콘크리트	압축강도 (재령 3, 7, 14, 28일) 콘크리트 온도 (재령 1일)

표 2 콘크리트 배합

W/C (%)	혼화제 (%)		s/a (%)	단위중량 (kg/m <sup>3</sup> )				
	FA	BS		C	FA	BS	S	G
60.0	10	20	49.2	201	29	57	928	891
55.0			48.1	221	32	63	935	860
50.0			47.3	239	34	68	938	836

\* FA : Fly Ash      BS : Blast-furnace Slag

표 3 사용재료의 물성

시멘트	보통포틀랜드 시멘트	비중 : 3.15 비표면적 : 3,454cm <sup>2</sup> /g
혼화제	고로슬래그 미분말	비중 : 2.97 비표면적 : 4,201cm <sup>2</sup> /g
	플라이애시	비중 : 2.22 비표면적 : 3,610cm <sup>2</sup> /g
잔골재	세척사	비중 : 2.61, 조립율 : 2.64 흡수율 : 0.64
굵은골재	부순자갈	비중 : 2.63, 조립율 : 6.68 흡수율 : 1.03 최대치수 : 25mm
혼화제	AE감수제	리그닌계
	고성능AE감수제	폴리카르본산계

재의 사용량은 플라이애시 10%, 고로슬래그 미분말 20%로 고정시키고, 혼화제의 사용량은 혼화제 종류에 상관없이 모두 0.5%로 고정시켰다.

## 2.2 사용재료

본 실험에 사용된 재료의 물성을 표 3에 나타내었다. 결합재로서 시멘트는 D사의 1종 보통 포틀랜드시멘트, 1종 보통 포틀랜드 시멘트, 고로슬래그 미분말은 인천소재 K사의 고로슬래그 미분말 1종 제품, 플라이애시는 충남 보령산 플라이애시를 사용하였으며, 골재로서 잔골재는 세척사, 굵은골재는 부순자갈을 사용하였다. 혼화제는 AE감수제 및 고성능AE감수제를 사용하였다.

## 2.3 실험방법 및 공시체 제작

본 연구의 실험방법은 표 1에 나타낸 바와 같이, I 시리즈에서는 외기조건을 -3℃로 설정하였으며, 동결융해시험기를 이용하여 외기조건을 유지하여 초기동결양생을 실시하고, 초기보온양생의 경우 두께 3cm의 양생조를 제작하여 초기보온양생을 실시하였다. II 시리즈에서는 실제 레미콘 제조 공장에서 제조된 콘크리트에 대한 초기양생방법 및 배합조건에 따른 강도발현특성을 검토하였으며, 공시체 제조 직후 각각의 시험체에 온도측정용 센서를 부착하여 콘크리트의 온도변화 및 외기온도의 변화를 측정하였다.

공시체는 콘크리트 제조 직후 압축강도용 Ø10×20cm 실린더 공시체를 제작하였으며, 재령 3일, 7일, 28일에서 압축강도를 측정하여, 양생방법 및 배합조건에 따른 강도발현특성을 비교·검토하였다.

## 3. 실험결과 및 분석

### 3.1 실내실험실조건에서의 시험결과 및 분석(I 시리즈)

#### 3.1.1 굳지않은 콘크리트의 성상 검토

표 4는 AE감수제를 사용한 기본배합 및 예비실험을 통해 선정된 고성능AE감수제 배합 및 각각의 배합에 따른 굳지않은 콘크리트의 성상을 나타낸 것으로서, AE감수제를 사용한 배합에 비해 고성능 AE감수제를 사용한 배합은, 혼화제 사용량을 0.5%로 고정시킨 경우 물-결합재비 및 단위결합재량이 감소하고, 혼화제의 치환율은 일반형AE감수제를 사용한 배합에 비해 고로슬래그는 5% 증가시킬 수 있는 것으로 나타났다. 또한 단위결합재량의 감소에 따라 잔골재율은 다소 증가하는 것으로 나타났다.

#### 3.1.2 경화 콘크리트의 성상 검토

그림 1은 초기양생방법에 따른 물결합재비 및 혼화제 종류별 압축강도를 나타낸 것이다.

초기재령 1일 -3℃의 외기조건에 동결시킨 경우, 양생방법에 따른 강도발현은 가장 저하하는 것으로 나타났으며, 동결 종료 후 표준수중양생을 실시하여도 표준양생에 비해 강도는 매우 저하하는 것으로 나타났다. 이는 낮은 외기온도에 의해 콘크리트 내부의 수분이 동결하여 수분의 팽창에 따른 내부조직의 이상으로 인해 콘크리트의 강도가 저하하는 것으로 사료되며, 초기동해를 받은 경우 강도회복이 어렵다는 기존의 연구결과<sup>3,4)</sup>와 일치하는 것으로 나타났다.

초기보온양생을 실시한 경우, 콘크리트의 강도저하는 거의 없는 것으로 나타났으며,

표 4 혼화제 종류에 따른 콘크리트 배합

W/C (%)	혼화제		혼화제 (%)		s/a (%)	단위중량 (kg/m <sup>3</sup> )				
	FA	BS	종류	사용량		C	FA	BS	S	G
60.0	10	20	일반형	0.5	49.2	201	29	57	928	891
58.7		25	고성능		49.9	183	28	70	926	916
55.0		20	일반형		48.1	227	32	63	935	860
53.2		25	고성능		48.8	201	31	78	934	884
50.0		20	일반형		47.3	239	34	68	938	836
49.3		25	고성능		48.1	218	38	84	936	861

표준양생의 경우와 거의 유사한 강도를 발현하는 것으로 나타났다. 이는 보온양생에 따라 외기 온도의 영향을 받지 않고, 또한 콘크리트 수화에 따른 발열량이 외부로 유출되지 않아 보온양생 조 내부의 온도는 콘크리트가 동결되는 온도 이하로 저하하지 않았기 때문으로 사료되며, 동절기 외기온도가 콘크리트에 접하지 않을 경우, 요구되는 콘크리트의 품질을 충분히 확보할 수 있을 것으로 사료된다.

그림 2는 표준양생에 대한 초기양생방법별 강도발현율을 나타낸 것이다.

양생방법에 따른 강도발현율을 검토해보면, 표준양생에 대한 초기동결양생의 압축강도 발현율은 모든 재령에서 약 50~60% 수준을 발현하고 있으며, 특히 물결합재비 및 혼화제의 종류에 따른 콘크리트의 강도발현의 차이는 없는 것으로 나타나, 재령이 경과에 따른 강도의 회복 효과는 기대하기 어려운 것으로 나타났다. 표준양생에 대한 보온양생의 압축강도 발현율은, 배합조건에 따라 다소 차이는 있으나 대부분 90% 이상을 발현하는 것으로 나타났다.

따라서, 동절기 콘크리트의 품질을 확보하기 위해서는 배합조건에 따른 콘크리트의 품질 확보는 다소 어려울 것으로 사료되며, 양생방법의 개선이 콘크리트의 품질을 확보하는데 보다 효과적일 것으로 사료된다.

### 3.2 현장조건에서의 시험결과 및 분석(II시리즈)

#### 3.2.1 양생방법에 따른 콘크리트의 온도변화

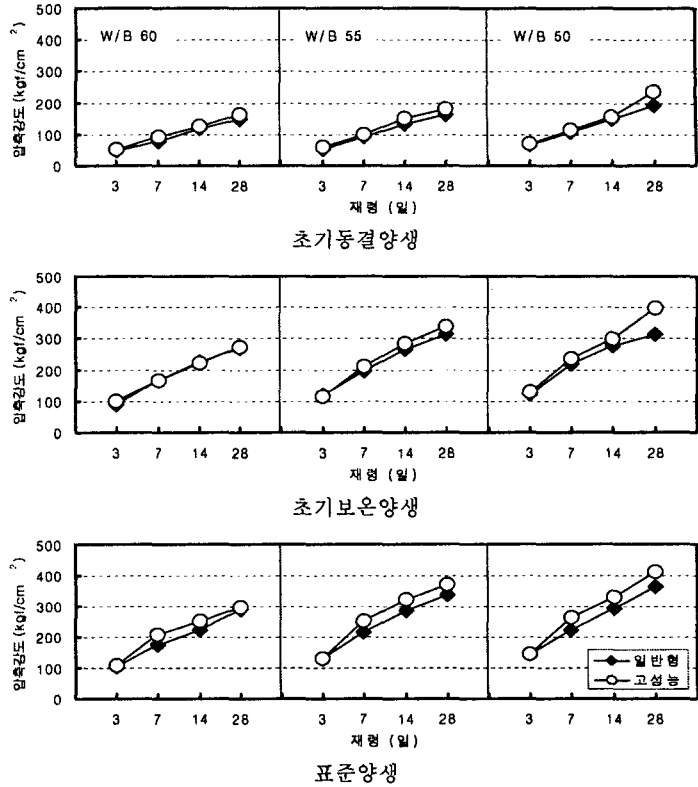


그림 1. 재령별 압축강도

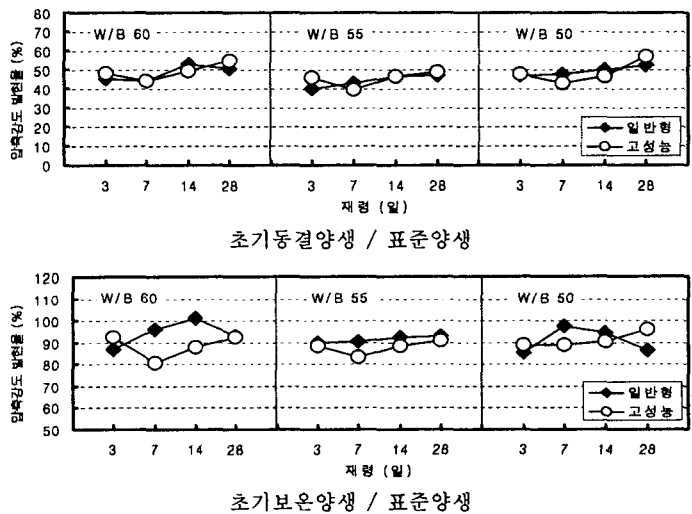


그림 2 재령1일 양생조건에 따른 표준양생에 대한 강도발현율

그림 3은 물-결합재비별 양생방법에 따른 재령 1 일 콘크리트의 온도변화를 나타낸 것이다.

콘크리트의 온도변화는 혼화제 종류에 따른 차이는 거의 나타나지 않고 있으며, 외기온의 변화에 따라 콘크리트의 온도가 변화하는 것으로 나타났다.

양생방법에 따른 콘크리트의 온도변화는 외기온도의 변화와 유사한 경향을 나타내고 있다. 외기노출양생을 실시한 경우, 외기온도의 변화에 따라 콘크리트의 온도도 저하하고 있으며, 특히 외기온도가 영하로 저하함에 따라 콘크리트의 온도도 영하로 저하하는 것으로 나타났으나, 외기온도의 변화 폭에 비해 콘크리트의 온도변화폭은 다소 감소하는 것으로 나타났으며, 이는 콘크리트 온도변화에 있어서 외기온도의 영향과 콘크리트 자체 수화열에 의한 영향이 서로 상쇄되었기 때문이며, 동결기 콘크리트의 양생에 있어서 낮은 외기온도의 직접적인 접촉을 차단한다면, 콘크리트가 동결할 염려는 거의 없을 것으로 사료된다.

초기보온양생의 경우, 외기온도의 변화와 상관없이 콘크리트의 온도변화는 거의 일정한 수준을 유지하는 것으로 나타났으며, 이는 양생방법에 의해 외부의 낮은 온도가 콘크리트에 접하지 못하고, 콘크리트의 수화에 따른 발열에 의해 보온양생조 내부의 온도가 외부온도와 달리 영하로 저하하지 않았기 때문인 것으로 사료되며, 콘크리트의 양생에 있어서 낮은 외기온과 콘크리트가 접하지 않으면 동결기에 있어서도 충분한 성능발현이 예상된다.

그림 4는 물-결합재비별 초기양생방법에 따른 재령별 콘크리트의 압축강도를 혼화제 종류별로 나타낸 것이다.

양생방법에 따른 차이는 외기온도의 영향을 받지 않은 실내양생 및 보온양생의 경우 매우 높은 압축강도를 발현하는 것으로 나타났다. 초기재령에서 외기에 노출시킨 경우, 외기온도의 영향에 의해 압축강도는 매우 저하하는 것으로 나타났으며, 외기노출양생 종료 후 표준수중양생을 실시한 경우 압축강도는 다소 향상되지만 실내양생에 비해서는 압축강도 발현이 매우 저하하고 있다.

그림 5는 고성능AE감수제에 대한 AE감수제를 사용한 콘크리트의 재령별 압축강도 발현율을 나타낸 것이다.

물-결합재비에 따른 강도발현율의 차이는 재령에 따라 다소 차이가 있지만 대체적으로 고성능AE감

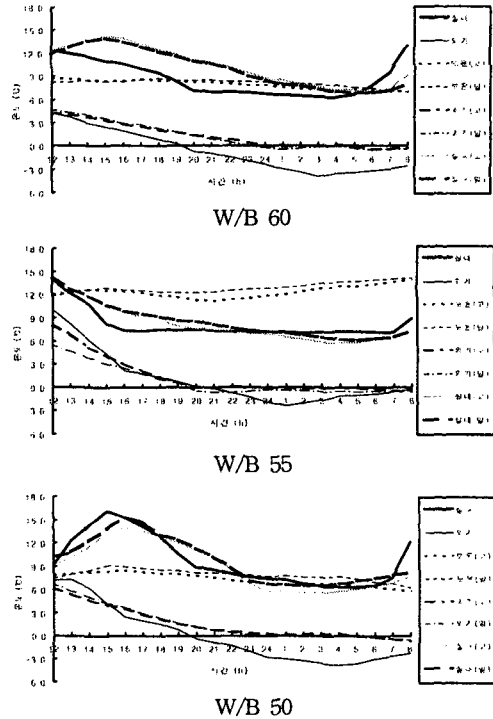


그림 3 양생방법에 따른 콘크리트의 온도변화

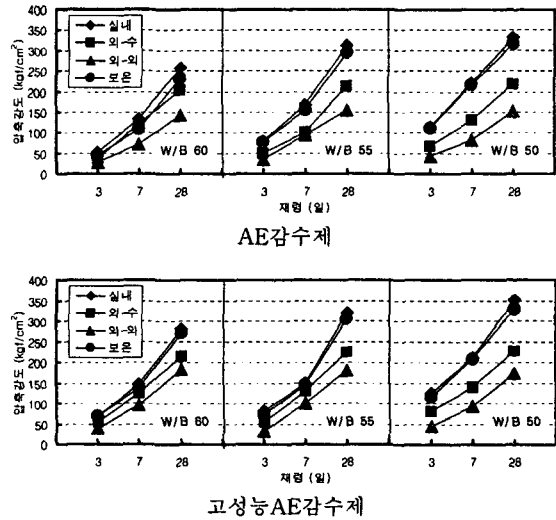


그림 4 재령별 압축강도

수제를 사용한 경우 AE감수제를 사용한 경우에 비해 압축강도는 증가하는 것으로 나타났으며, 물-결합재비 W/B 60에서 이러한 경향은 뚜렷이 나타나고 있다. 이는 높은 물결합재비에 따라 단위결합재량의 감소와 혼화제의 분산성능의 차이에 기인하는 것으로 사료되며, 물결합재비가 높을수록, 외기온도 및 혼화제의 영향이 큰 것으로 나타났다.

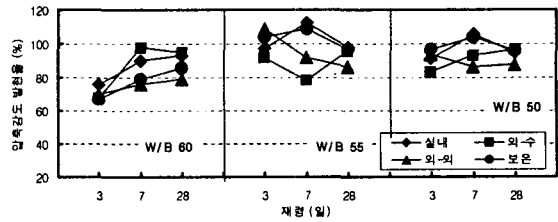


그림 5 재령별 압축강도 발현율

#### 4. 결론

이상의 실험결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 혼화제 종류에 따른 배합조건의 차이는 고성능AE감수제를 사용한 경우 AE감수제를 사용한 배합에 비해 물결합재비, 단위결합재량은 감소하고, 혼화제의 사용량은 증가시킬 수 있는 것으로 나타났다.
2. 초기양생조건에 따른 콘크리트의 강도발현특성은, 초기재령에서 낮은 외기온을 차단시킬 경우 콘크리트의 요구성능을 확보할 수 있는 것으로 나타났으며, 초기동해를 받은 경우에는 양생방법을 개선시켜도 요구성능을 확보하기 어려운 것으로 나타났다.
3. 현장조건에서 실험한 결과, 고성능AE감수제를 사용한 배합이 AE감수제를 사용한 배합에 비해 다소 높은 압축강도를 발현하는 것으로 나타나, 동절기 콘크리트의 소요의 품질확보를 위해서는 고성능AE감수제의 사용이 보다 효과적인 것으로 사료된다.
4. 현장조건에서 초기재령 양생방법에 따른 강도발현특성은 외기온의 영향을 차단할 경우, 콘크리트 자체의 수화열에 의해 동해를 입지 않고, 요구성능을 만족시킬 수 있는 것으로 나타났다.

#### 참고문헌

1. 유득현 외, 고로슬래그 초기 품질 하락 극복을 위한 연구, 한국콘크리트학회 가을 학술발표대회 논문집 Vol.12 No.2, 2000.11, pp.1215~1220
2. 김무한, 콘크리트 동해와 초기동해 기구에 관한 기초적 고찰, 한국레미콘공업협회 레미콘23호, 1993, pp.8~23
3. 鎌田英治, 콘크리트의 동해とは—その現状とメカニズムについて, 日本建築學會材料施工委員會 콘크리트構造物の凍害とその對策シンポジウム論文集, 1993, pp.59~170
4. 권영진, 동절기 초기재령에서 동해를 받은 고강도콘크리트의 내동해성 평가에 관한 실험적 연구, 한국콘크리트학회 논문집, 제13권 2호, 2001.4, pp.139~145
5. 유득현 외, 초기동해를 입은 고로슬래그 콘크리트의 강도발현특성에 관한 실험적 연구, 한국콘크리트학회 가을 학술발표대회 논문집 Vpl.No.2, 2001., pp