

# 내한제 및 단열거푸집을 이용한 한중콘크리트의 모의구조체 적용에 관한 실험 연구

## An Experimental Study on the Mock-up Test of Cold Weather Concreting Using Anti-freeze Agent and Insulating Form

김 경 민\*      손 성 운\*\*      김 기 철\*\*\*      오 선 교\*\*\*      한 천 구\*\*\*\*  
Kim, Kyoung Min      Son, Seong Un      Kim, Gi Cheol      Oh, Sun Kyo      Han, Cheon Goo

### ABSTRACT

In this paper, insulating effects and strength development of concrete placed at mock up model structure are discussed using anti freezing agent and insulating forms. According to test results, concrete containing 8% of anti freezing agent shows lower freezing temperature, earlier setting time and higher strength development than plain concrete. As for the temperature history of mock up structures, when plain concrete is placed at euro form, the temperature drops to  $-4^{\circ}\text{C}$  before early 24 hours, and when concrete containing anti freeze agent at euro form, it to  $-3^{\circ}\text{C}$  before early 24 hours. Nevertheless, when concrete containing anti freeze agent is placed at insulating form, it does not go below zero, and the concrete containing anti freeze agent enhances higher strength development.

### 1. 서 론

초고층 건물과 같은 현대 건축물은 건설공기의 중요성이 강조됨에 따라 연중시공이 필수적으로서 한중콘크리트의 중요성이 크게 부각되고 있다. 그런데, 우리나라의 한중콘크리트 공사에서는 초기동해 방지를 위한 내한제 적용, 가열보온 양생이나 단열보온 양생 등 조치를 강구해야 하지만, 경우에 따라서는 공사비 절감 등에 따른 시공관리의 소홀로 말미암아 초기동해 등 콘크리트의 품질저하가 문제시 되고 있다.

그러나, 선진 외국의 경우는 가열보온 양생은 물론이고, 내한제 및 단열보온 양생도 활용하므로써 초기동해를 방지하는 방법이 연구되고 있는데, 우리나라의 경우도 한중시공의 활성화를 위해서는 이러한 방법의 채택을 신중히 고려할 필요가 있다. 따라서 한중콘크리트 공사시 가장 효율적인 것으로 사료되는 내한제 및 단열양생에 관한 연구로써 선행 실험에서 내한제 및 단열거푸집(PP+스티로폼+합판)을 개발<sup>1)</sup>한바있고, 내한제와 단열거푸집을 이용하여 벽체, 슬래브를 가정한 모의부재 실험 및 접합부에 대한 실험을 통하여 콘크리트에 미치는 내한제 및 단열거푸집의 효율성을 검토<sup>2)3)</sup>한바 있다.

그러므로 본 연구에서는 선행연구에 이은 일련의 실험으로써, 실구조체 적용 전 모의구조체 조건에서 내한제 및 단열거푸집의 적용성 실험을 통하여 한중 환경하에서의 콘크리트에 미치는 강도증진 및 단열효과 특성 등을 분석하므로써 실구조체 적용에 따르는 가능성에 대하여 검토하고자 한다.

\* 정회원, 청주대학교 대학원, 석사과정

\*\* 정회원, 청주대학교 대학원, 박사과정

\*\*\* 정회원, (주) 선엔지니어링 종합건축사사무소, 공학박사

\*\*\*\* 정회원, 청주대학교 교수, 공학박사

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 1과 같고, 모의구조체에 부어넣는 콘크리트의 배합사항은 표 2와 같다. 즉, 실험요인으로 모의구조체에 부어넣는 콘크리트는 W/C 40%에 목표 슬럼프 15 ± 1 cm, 공기량 4.5 ± 1%에 대하여 내한제를 사용하지 않는 경우와 시멘트 중량에 8%를 혼입하는 2수준으로 하였다. 단, 모의구조체는 일반 유로폼과 그림 1과 같은 유로폼에 착탈식 단열재를 부착하는 것에 대하여 I(일반 유로폼 + 보통콘크리트), II(일반 유로폼 + 내한제), III(단열거푸집 + 내한제)의 3변화로 실험계획 하였다.

굳지않은 콘크리트 및 경화콘크리트의 실험사항은 표 1과 같은 항목에 대하여 측정하는 것으로 실험계획 하였다.

### 2.2 사용재료

본 실험의 사용재료로써, 시멘트는 국내산 보통 포틀랜드시멘트를 사용하였고, 잔·굵은 골재는 충북 청원군 옥산산 강도래와 20mm 부순 굵은골재를 사용하였으며, 혼화제는 나프탈렌계 AE감수제를 사용하였는데, 각각의 물리적 성질은 표 3~5와 같다. 단열거푸집에 사용한 단열재는 국내에서 시판되는 것으로, 표 6의 재료를 이용하였다.

### 2.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로 콘크리트의 혼합은 강제식 팬믹서를 사용하여 혼합하였고, 슬럼프 시험은 KS F 2402, 공기량 시험은 KS F 2421, 응결시간은 KS F 2436의 프록터 관입저항 시험방법으로 측정하였다. 동결온도는  $\phi 10 \times 20$ cm 원주형 공시체의 중앙에 온도 측정용 열전대 (T-type)를 매입한 후 냉동고에 넣어 Data logger로 온도를 측정하여 구하였고, 염화물 측정은 염분 농도계 AG-100을 이용하여 카다로그의 실험방법에 따라 실시하였다. 경화 콘크리트의 실험으로 압축강도는 KS F 2405의 규정에 따라 실시하였다.

모의구조체는 일반 아파트인 경우로 상정하여 제작한 후 실험을 진행하였는데, 그림 2 및 3은 모의부재 도면과 측정용 장비의 매입위치 및 코어채취 위치 그리고 철근 배근도를 나타낸 것이다. 사진 2~5는 모의구조체 실험 모습을 나타낸 것이다.

표 1 실험계획

실험요인		실험수준	
배합사항	W/C (%)	1	40
	슬럼프 (cm)	1	15 ± 1
	내한제* (C×%)	2	0, 8
시험체	시험체 변화	3	I 일반 유로폼 + 보통콘크리트 II 일반 유로폼 + 내한제 III 단열거푸집 + 내한제
실험사항	굳지않은 콘크리트	7	슬럼프, 슬럼프플로우, 공기량, 단위용적중량, 응결시간, 동결온도측정, 염화물측정
	경화 콘크리트	4	표준양생 적산온도별 압축강도 (20, 30, 60, 120, 180, 300, 840 D·D), 구조체 관리용 공시체 압축강도 (1, 3, 7, 14, 28일), 온도측정, 코어 압축강도 (7, 28일)

\* 폐부동액+물+아질산염+유동화제로서 선행연구에서 개발 된것

표 2 콘크리트의 배합표

W/C (%)	W (kg/m <sup>3</sup> )	S/a (%)	AE 감수제 (%)	내한제 혼입율 (%)	용적배합 (l/m <sup>3</sup> )			중량배합 (kg/m <sup>3</sup> )		
					C	S	G	C	S	G
40	185	45	0.35	0	147	280	343	463	721	898
				8	147	280	343	463	721	898

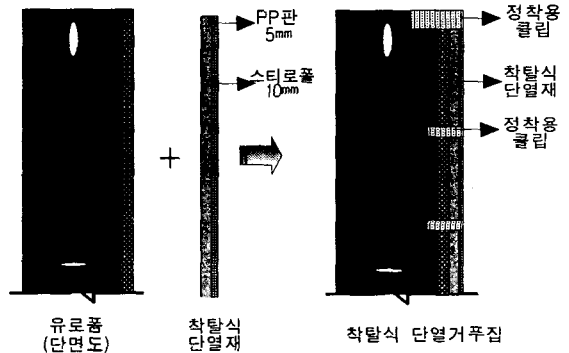


그림 1. 착탈식 단열재를 이용한 단열거푸집

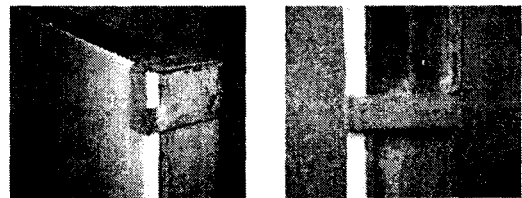


사진 1. 모서리 및 옆면 클립

표 3 시멘트의 물리적 성질

비중	분말도 (cm <sup>2</sup> /g)	안정도 (%)	응결시간(분)		압축강도(kgf/cm <sup>2</sup> )		
			초결	종결	3일	7일	28일
3.15	3,520	0.15	207	350	211	300	389

표 4 골재의 물리적 성질

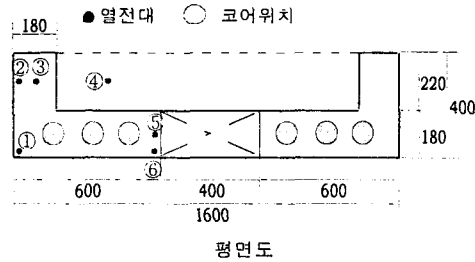
종 류	비중	흡수율 (%)	단위용적 중량(kg/m <sup>3</sup> )	입형판정 실적율(%)	0.08mm체 통과량(%)
잔골재	2.57	1.83	1,470	61.0	1.8
굵은골재	2.62	1.2	1,526	56.5	0.3

표 5 혼화제의 물리적 성질

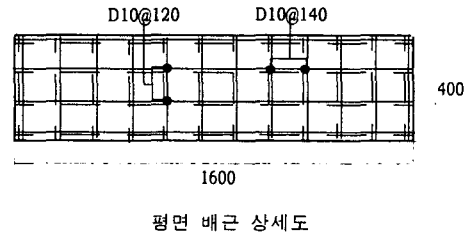
종류	색상 및 형태	주성분	비중 (20℃)	점도 (cp)	표준사용량 (C×%)
내한제	진녹색 액상	페부동액, 분말내한제	1.22	-	4~8
AE 감수제	암갈색 액상	나프탈렌	1.15	25	0.1~1.5

표 6 단열거푸집용 재료의 물리적 성질

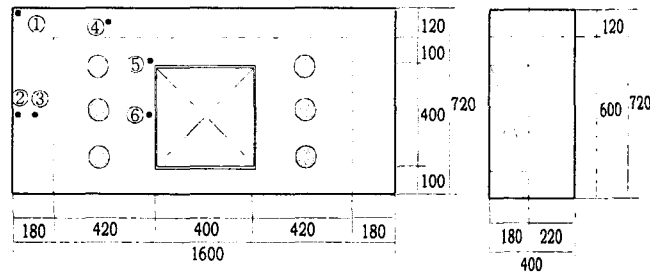
용 도	종 류	두께 (mm)	열전도율 (Kcal/mh℃)	비중
유로폼	치장합판	7.5	0.14	0.65
단열거푸집	PP	5	0.03	1
	스티로폼	10	0.031	0.02



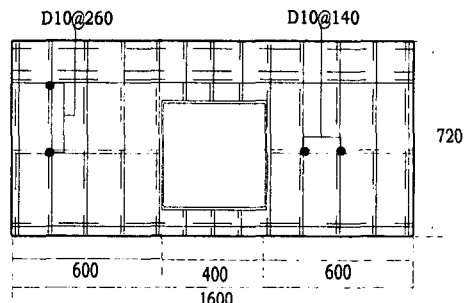
평면도  
그림 2 시험체 제작도



평면 배근 상세도  
그림 3 시험체 철근 배근도



측면도



정면 배근 상세도

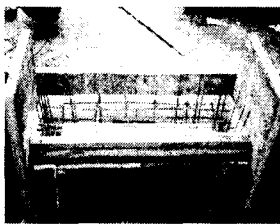


사진 2 모의구조체 제작



사진 3 콘크리트 타설



사진 4 타설완료 및 공시체



사진 5 양생

또한, III (단열거푸집 + 내한제 콘크리트) 구조체의 슬래브 상부 양생은 다른 시험체와 달리 선행 연구에서 개발된<sup>3)</sup> 비닐 + 스티로폴 50mm + 부직포로 양생하였고, 이음 철근부분은 비닐막으로 감싼 후 60W 전구의 열로 양생하였다. 거푸집 탈형은 6일동안 양생한 후 실시하였고, 7일 및 28일에  $\phi 10 \times 20\text{cm}$ 의 코어를 채취하여 양쪽면을 연마한 후 압축강도를 측정하는 것으로 하였다. 단, 슬래브는 KS F 2422에 의거 길이를 보정하여 압축강도를 측정하였다. 구조체 종류별 콘크리트 내부의 온도이력은 그림 2와 같이 6곳에 온도 측정용 열전대 (T-type)를 매입한 후 Data logger로 온도를 기록하였다.

### 3. 실험결과 및 분석

#### 3.1 굳지않은 콘크리트의 특성

표 7은 굳지않은 콘크리트의 실험결과를 나타낸 것이고, 그림 4는 슬럼프, 슬럼프플로우, 공기량 및 단위용적중량을 나타낸 것이다. 슬럼프 및 공기량 모두 실험 계획한  $15 \pm 1\text{cm}$ 와  $4.5 \pm 1\%$ 의 범위를 만족하는 것으로 나타났고, 염화물량은 KS F 4009의 염화물 제한치인  $0.3\text{kg/m}^3$  이하의 범위를 만족하는 것으로 나타났다. 응결시간은 내한제를 혼입한 경우에 약간 촉진되고, 동결온도는 크게 저하하는 것으로 나타나 한중콘크리트에 매우 유익한 결과로 나타났다.

#### 3.2 경화 콘크리트의 특성

##### (1) 로지스틱 모델에 의한 강도증진 해석

그림 5는 표준양생 공시체에 대하여 로지스틱 모델식을 이용하여 강도증진 해석을 실시한 것이다. 전반적으로 해석치와 실험치 간에는 결정계수 0.97이상, 표준편차  $22.7\text{kgf/cm}^2$  이하의 양호한 상관성을 나타내고 있었고, 내한제를 혼입하지 않은 경우보다 내한제를 혼입한 경우가 강도증진이 크게 나타났다. 이는 내한제가 초기 적산온도에서 콘크리트의 응결을 촉진시켰기 때문이라고 분석된다. 표 8은 상기의 해석 결과치의 상수값을 나타낸 것이다.

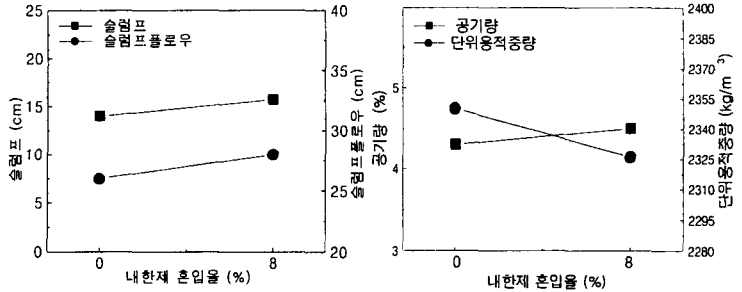


그림 4 구조체 관리용 공시체 압축강도

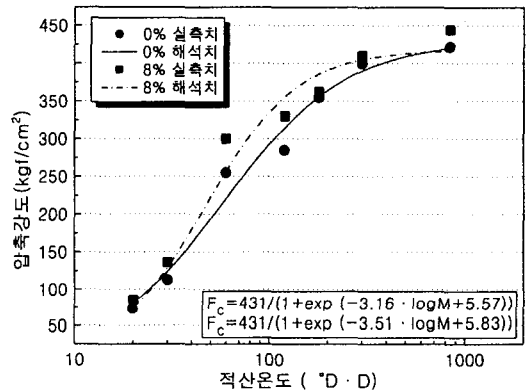


그림 5 로지스틱 모델에 의한 강도증진 해석

표 8 회귀분석을 통한 로지스틱 모델의 실험상수

W/C (%)	내한제 혼입률 (%)	실험상수	상수값	결정계수	표준편차
40	0	$F_\infty$	431	0.978	19.88
		k	3.16		
		m	5357		
	8	$F_\infty$	431	0.972	22.78
		k	3.51		
		m	5.83		

표 7. 굳지않은 콘크리트의 실험결과

구분	슬럼프 (cm)	슬럼프플로우 (cm)	공기량 (%)	단위용적중량 (kg/m³)	염화물량 (kg/m³)	동결온도 (°C)	응결시간 (h)	
							초결	종결
내한제 0%	14	26	4.3	2350	0.068	-1.5	9.3	12.2
내한제 8%	15.7	28	4.5	2326	0.084	-4.7	8	11

## (2) 온도이력 특성

그림 6은 2002년 1월 22일부터 1월 27일 까지 시험체 종류별 시간 경과에 따른 벽, 슬래브 및 창 부분의 콘크리트 온도이력을 나타낸 것이다. 먼저, I (유로폼 + 보통콘크리트)의 경우 시간이 경과함에 따라 콘크리트 각 부분의 온도가 급격히 저하하기 시작하여 콘크리트 타설 후 약 10시간 이후부터 0℃ 이하로 저하하였다. 따라서, 초기 24시간 이전에 0℃ 이하로 약 15시간이 지속되어 초기동해 피해가 발생하였을 것으로 사료된다. 그 후 외기온에 따라 내부 온도가 변화하였는데, 각 부분 중 벽체의 온도가 가장 높게 나타났다. 이는 슬래브에 비해 큰 부재 사이즈로 수화열의 영향 및 창 쪽에 비해 내부에 위치하여 낮은 외기온의 영향이 적었기 때문이라고 분석된다.

II (유로폼 + 내한제 콘크리트)의 경우는 각 부분의 온도가 급격히 저하하였으나 내한제를 이용한 콘크리트의 동결온도 -4.7℃ 보다는 높은 온도를 유지하였고, 또한, 초기 24시간 이전의 시멘트 수화열에 의한 피크온도가 I과 비교하여 약 4℃ 정도 높게 나타났다. 이는 내한제가 초기 적산온도에서 콘크리트의 응결을 촉진시켰기 때문이라고 분석된다. 단, 슬래브는 최저 온도가 약 -3.5℃까지 저하하였는데, 이는 벽체에 비해 작은 부재 사이즈로 인한 낮은 수화열 및 외기온의 영향이 큰것에 기인한 것으로 사료된다.

III (단열거푸집 + 내한제 콘크리트)의 경우는 초기 24시간 이전에 벽체 및 창의 온도가 최저 약 5℃, 슬래브 온도가 최저 약 2.5℃로 저하하였으나, 양상을 유지하였고, 수화열에 의한 피크온도 또한 약 14℃로써 II와 비교하여 약 6℃ 정도 높게 나타났는데, 이는 단열거푸집의 단열효과에 기인한 것으로써, 낮은 열전도율의 단열재 (PP + 스티로폴)와 슬래브 양생재료 (비닐, 스티로폴)가 외기의 낮은 온도를 차단시켰기 때문이라고 사료된다.

따라서, 한중콘크리트 시공시에는 단열거푸집과 내한제 콘크리트를 병용한다면 -5℃~-10℃인 외기 온 조건에서도 구조체 자체의 수화열 만으로 충분한 초기동해 방지가 가능한 것으로 사료된다.

## (3) 구조체 관리용 공시체 압축강도 특성

그림 7은 모의부재와 같은 외기 조건에서 양생한 내한제 혼입 유무에 따른 재령별 구조체 관리용 공시체의 압축강도를 나타낸 것이다. 초기 및 재령이 경과함에 따라 내한제 혼입 콘크리트가 큰 강도값을 나타내었는데, 이는 내한제가 콘크리트의 응결을 촉진시켜 빠른 수화반응 때문이라고 분석된다. 한편, 표준 양생 공시체와 비교해 볼 때, 전반적으로 낮은 강도값을 나타내었는데, 이는 외부의 낮은 온도에 의한 적산온도 저하에 의한 것으로 사료된다.

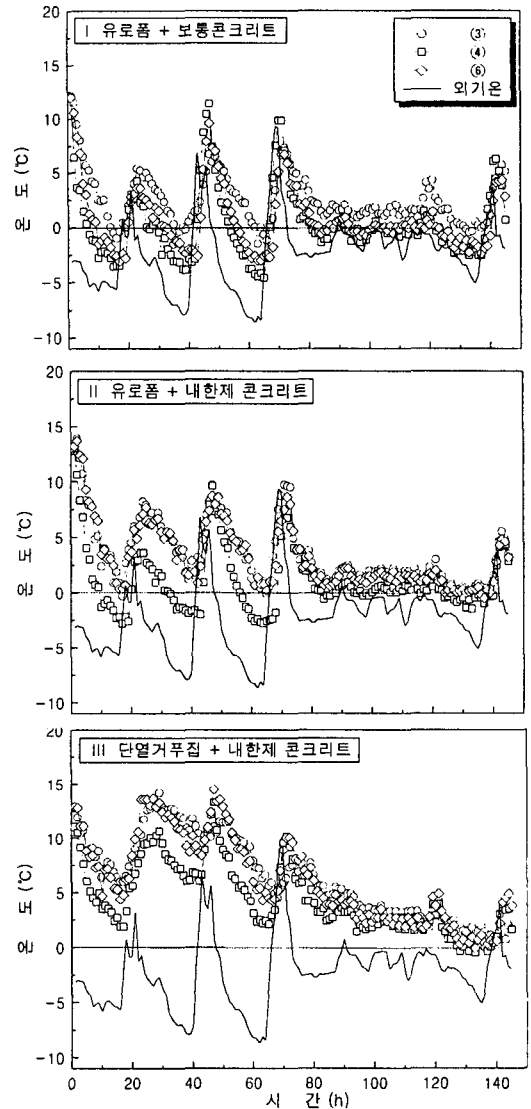


그림 6 온도이력

#### (4) 코어 압축강도 특성

그림 8은 모의부재 종류별 벽체 및 슬래브에 대한 내한제 혼입 유무에 따른 7일 및 28일 코어 압축강도를 나타낸 것이다. 전반적으로 벽체 및 슬래브가 유사한 강도값을 나타내었는데, I (유로폼 + 보통콘크리트)은 II, III과 비교하여 강도가 작게 나타났는데, 이는 초기 24시간 이전에 적산온도 저하 및 콘크리트가 초기동해를 입었기 때문이라고 사료된다. II (유로폼 + 내한제 콘크리트)의 경우는 I에 비해 큰 압축강도값을 나타내었는데, 이는 내한제의 초기 응결축진으로 인해 적산온도 증가에 기인한 것으로 분석된다. 또한, III (단열거푸집 + 내한제 콘크리트)의 경우는 II 보다 높은 강도증진을 나타내었는데, 이는 단열재 (PP + 스티로폼)의 단열효과 까지 가세한 것으로 분석된다.

#### 4. 결 론

본 연구는 한중콘크리트에서 내한제 및 단열거푸집을 이용하는 공법에 대하여 모의구조체로 적용성을 검토한 것으로 실험연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 내한제를 8% 혼입한 콘크리트는 내한제 무혼입 콘크리트와 비교하여 동결온도 저하, 빠른 응결시간 및 큰 압축강도 증진을 나타내었다.

2) 구조체 종류별 콘크리트의 온도이력을 측정된 결과는 유로폼 + 보통 콘크리트의 경우 초기 24시간 이전에 최저  $-4^{\circ}\text{C}$ 로 저하하였고, 유로폼 + 내한제 콘크리트의 경우에는  $-3^{\circ}\text{C}$ 로 저하하였다. 반면, 단열거푸집 + 내한제 콘크리트의 경우에는 영상의 온도를 유지하므로써 가장 우수한 단열효과를 나타내었다.

3) 구조체 종류에 따른 콘크리트의 7일 및 28일 코어 압축강도를 측정된 결과, 단열거푸집 + 내한제 콘크리트의 경우가 가장 크게 나타났다.

이상을 종합해 볼 때, 단열거푸집에 내한제 콘크리트를 병용한다면 최저기온  $-10^{\circ}\text{C}$  이하인 한중콘크리트 시공에 있어서는 효율적인 품질관리 방안이 될 수 있을 것으로 사료된다.

#### 참고문헌

1. 김경민, 원 철, 이한주, 오선교, 한천구 ; 한중콘크리트용 단열거푸집의 개발에 관한 연구, 대한건축학회 학술발표대회 논문집, 제21권, 제1호, 2001
2. 김경민, 원 철, 김기철, 오선교, 한천구 ; 내한제 및 단열거푸집에 의한 한중콘크리트 시공의 효율화에 관한 기초적 연구, 한국 콘크리트학회 학술발표회 논문집, Vol 13, No 1, 2001
3. 김경민, 원 철, 김기철, 오선교, 한천구 ; 내한제 및 단열거푸집에 의한 한중콘크리트 시공의 효율화에 관한 기초적 연구 (슬래브를 중심으로), 한국 콘크리트학회 학술발표회 논문집, Vol 14, No 1, 2001

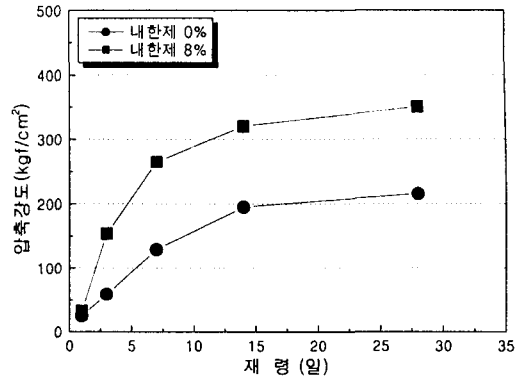


그림 7 구조체 관리용 공시체 압축강도

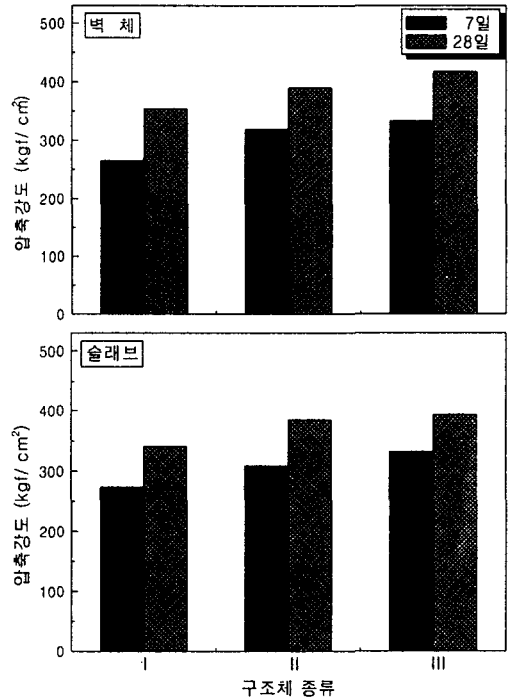


그림 8 7일, 28일 코어 압축강도 비교