

내한제 및 단열거푸집을 이용한 한중콘크리트의 구조체 적용 실험

An Experiment on the Structure Application 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

This paper is intended to verify the efficiency of anti-freeze agent and insulating form by analyzing the temperature history and the property of strength-increase about the concrete that is placed in the insulating form and normal form, using new type anti-freeze agent in batcher plant. According to the results about the temperature history, while the lowest temperature shows 3℃ in case of normal concrete + euroform, 4℃ in case of normal concrete + insulating form, it shows 6℃ in anti-freeze agent + the insulating form, so the effect is most favorable. The compressive strength with mixing anti-freeze agent or not, shows high in order of standard curing, structure-managing and open air-placed specimen and the concrete mixing anti-freeze agent shows the highest compressive strength-increase.

키워드 : 한중콘크리트, 단열거푸집, 온도이력, 초기동해

Keywords : Cold Weather Concreting, Insulating Form, Temperature History, Frost Damage at Early Age

1. 서 론

초고층 건물과 같은 현대 건축물은 건설공기의 중요성이 강조됨에 따라 연중시공이 필수적으로서 한중콘크리트의 중요성이 크게 부각되고 있다.

그런데, 한중콘크리트 시공시에는 초기동해 방지를 위한 대책이 무엇보다 중요한데, 우리나라의 경우 방동제의 활용은 염화물의 문제로 거의 사용되지 않고, 주로 가열보온 양생이 사용되고 있지만, 이는 직접적으로 양생온도 조절이 가능하므로 품질관리 면에서 유리한 장점이 있는 반면, 고가의 유류비, 가설비 문제 등의 경제성과 대기환경 오염 등이 문제점으로 지적된다. 따라서 한중콘크리트 공사시 경제성 및 환경 친화면에서 가장 효율적인 것으로 무염화물형 새로운 내한제의 활용 및 단열거푸집에 의한 단열양생에 관한 연구가 바람직할 것으로 사료되어, 선행 실험에서 내한제 및 단열거푸집 (PP + 스티로폴 + 합판)을 개발¹⁾한바있고, 내한제와 단열거푸집을 이용하여 벽체, 슬래브를 가정한 모의부재 실험 및 접합부에 대한 실험결과를 토대로 모의구조체 적용 실험을 실시하므로써 콘크리트에 미치는 내한제 및 단열거푸집의 효율성을 검증²⁾³⁾한바 있다.

그러므로 본 연구에서는 선행연구에 이은 일련의 실험

으로써, 실제 배치플랜트 공정에서 새로운 형태의 내한제를 이용하여 레미콘을 제조한 다음, 이를 단열 및 일반거푸집에 부어넣어 온도이력 및 강도증진 특성 등을 분석하므로써 내한제 및 단열거푸집의 효율성에 대하여 검증하고자 한다.

표 1. 실험계획

실험요인		실험수준		
배합사항	호칭강도 (kgf/cm ²)	1	210	
	목표슬럼프 (cm)	1	10 → 18 (유동화)	
	목표공기량 (%)	1	4.5	
	내한제 (C×%)	2	0, 8	
시험체	시험체 종류	벽체	3	I 보통콘크리트 + 일반 유로폼 II 보통콘크리트 + 단열거푸집 III 내한제 콘크리트 + 단열거푸집
		슬래브	3	I 보통콘크리트 + 일반 유로폼 II 보통콘크리트 + 단열거푸집 III 내한제 콘크리트 + 단열거푸집
실험사항	굳지않은 콘크리트	4	슬럼프, 슬럼프플로우, 공기량, 염화물량측정	
	경화 콘크리트	1	· 압축강도 - 표준양생 - 구조체 관리용 - 외기방치 (재령 : 1, 3, 7, 14, 28일)	

* 정회원, 청주대학교 대학원, 석사과정

** 정회원, 청주대학교 대학원, 박사과정

*** 정회원, (주) 선 엔지니어링 종합건축사사무소, 공학박사

**** 정회원, 청주대학교 교수, 공학박사

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

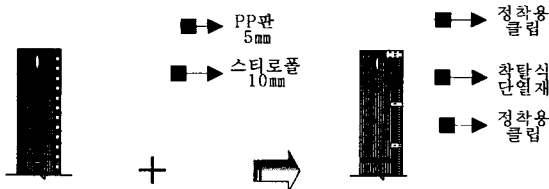
본 연구의 현장 실험계획은 표 1과 같고, 실제 구조체에 부어넣는 콘크리트의 배합사항은 표 3과 같다. 실험은 표 2와 같은 청주시 용암동에 위치한 (주) 대원 아파트 신축공사 현장의 10층 벽체 및 슬래브의 일부분을 대상으로 실시하였다. 실제 구조체에 부어넣는 레미콘의 배합사항으로 호칭강도는 210kgf/cm²에 목표 슬럼프 10±2.5 cm, 공기량 4.5±1.5%에 대하여 내한제를 사용하지 않는 경우와 시멘트 중량에 8%를 혼입하는 2수준으로 하였다. 단, 실제 구조체는 일반 유로폼과 그림 1과 같은 유로폼에 착탈식 단열재를 부착하는 것에 대하여 벽체 및 슬래브에 I(보통콘크리트 + 일반 유로폼), II(보통콘크리트 + 단열거푸집), III(내한제 콘크리트 + 단열거푸집)의 3변화로 실험계획 하였다.

표 2. 현장 개요

공사명		용암 1지구 대원 아파트 신축공사	
공사개요	대지위치	청주시 상당구 용암동 용암 택지개발 1지구 2063번지	
	대지면적	12,074.5 m ²	
	용도	주거시설	
	구조	철근 콘크리트조	
	시공사	(주) 대원	
건축규모	감리자	(주) 선 엔지니어링 종합건축사사무소	
	층수	지하 1층, 지상 15층	
	건축면적	2,264.7 m ²	
	연면적	29,562.3 m ²	

표 3. 배합사항

W/C (%)	W (l/m ³)	S/a (%)	AE 감수제 (%)	내한제 혼입율 (%)	중량배합 (kg/m ³)				
					C	S	G	W	내한제
52.9	170	48.8	0.5	0	321	879	954	170	0
				8	321	879	954	149	25



유로폼 (단면도) 착탈식 착탈식 단열거푸집
 그림 1. 착탈식 단열재를 이용한 단열거푸집

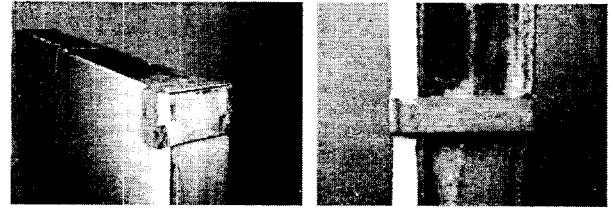


사진 1. 모서리 및 옆면 클립

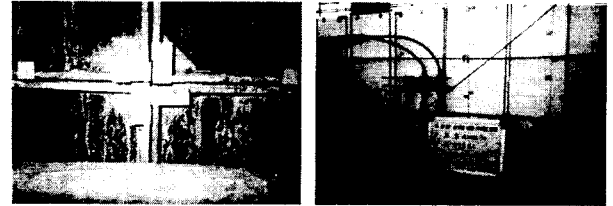


사진 2. 벽체 클립 체결

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, 잔골재는 충남 연기군 미호천산 강모래와 충북 청원군 부용면산 25mm 부순 굵은골재를 사용하였으며, 혼화제는 페부동액과 아질산염을 이

표 4. 시멘트의 물리적 성질

비중	분말도 (cm ² /g)	안정도 (%)	응결시간(분)		압축강도(kgf/cm ²)		
			초결	종결	3일	7일	28일
3.15	3,530	0.14	212	370	239	301	382

표 5. 골재의 물리적 성질

종류	비중	흡수율 (%)	단위용적 중량(kg/m ³)	입형판정 실적율(%)	0.08mm체 통과량(%)
잔골재	2.58	0.87	1,470	61.0	0.56
굵은골재	2.67	0.92	1,526	59.1	0.55

표 6. 혼화제의 물리적 성질

종류	색상 및 형태	주성분	비중 (20°C)	점도 (cp)	표준사용량 (C×%)
내한제	진녹색 액상	페부동액, 분말내한제	1.22	-	4~8
AE 감수제	암갈색 액상	나프탈렌	1.19	25	0.5
분리저감형 유동화제	연황색 액상	멜라민	1.20	-	0.3~0.5

용한 내한제, 나프탈렌계 AE감수제 및 분리저감형 유동화제를 사용하였는데, 각각의 물리적 성질은 표 4~6과 같다. 단열거푸집에 사용한 단열재는 국내에서 시판되는 것으로, 표 7의 재료를 이용하였다.

2.3 실험방법

표 7. 단열거푸집용 재료의 물리적 성질

용도	종류	두께 (mm)	열전도율 (Kcal/mh°C)	비중
유로폼	치장합판	7.5	0.14	0.65
단열거푸집	PP	5	0.15	1
	스티로폴	10	0.03	0.02

본 연구의 실험방법으로써 콘크리트는 레미콘사의 배처플랜트에서 제조하는 것으로 하였고, 유동화 방법은 공장에서 배이스콘크리트를 제조한 후 현장에서 유동화 하는 것으로 계획하였는데, 본 연구팀에서 개발한 분리저감형 유동화제를 투입한 후 애지데이터 트리를 중속으로

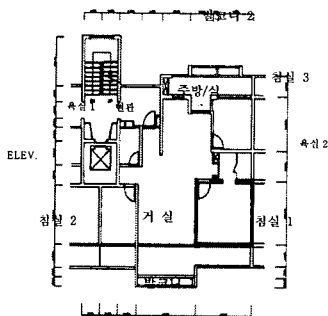


그림 2. 단위 세대 평면도

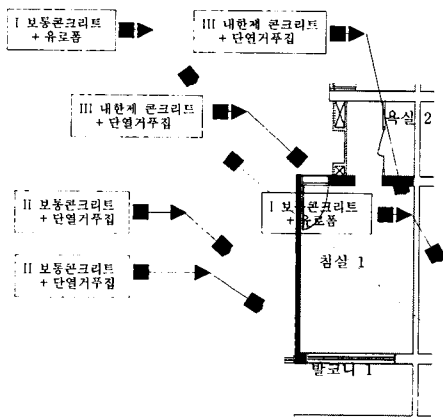


그림 3. 대상 구조체 열전대 위치

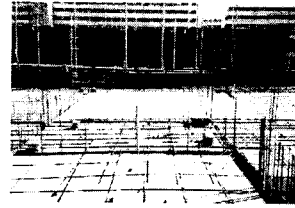


사진 3. 단열거푸집 설치

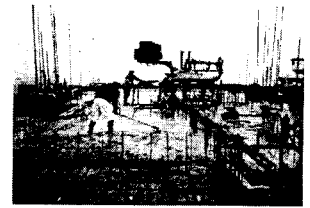


사진 4. 콘크리트 타설



사진 5. 공시체 제작

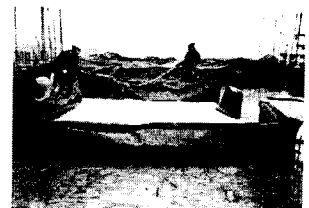


사진 6. 양생

30회 회전한 다음 구조체에 부어넣었다. 굳지않은 콘크리트의 슬럼프 시험은 KS F 2402, 공기량 시험은 KS F 2421, 염화물 측정은 염분 농도계 AG-100을 이용하여 카다로그의 실험방법에 따라 실시하였다. 경화 콘크리트의 실험으로 압축강도는 KS F 2405의 규정에 따라 실시하였다.

그림 2 및 3은 단위세대 평면과 대상 구조체의 위치 및 열전대 매입위치를 나타낸 것이고, 사진 3 ~ 6은 실험모습을 나타낸 것이다. 또한, 구조체의 슬래브 상부 양생은 선행 연구에서 개발된³⁾ 비닐 + 스티로폴 50mm + 부직포로 양생하였고, 이음 철근부분은 비닐막으로 감싼 후 60W 전구의 열로 양생하였다. 거푸집 탈형은 2일 양생 후 실시하였고, 구조체 종류별 콘크리트 내부의 온도이력은 그림 3과 같이 벽체 3개소의 상중하 3위치 및 슬래브 3개소의 1 위치 총 12곳에 온도 측정용 열전대(T-type)를 매입한 후 Data logger로 온도를 기록하였다.

참고적으로 콘크리트를 부어넣은 날짜는 한중콘크리트 기간 중인 2002년 2월 21일 이었다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 굳지않은 콘크리트의 특성

표 8. 굳지않은 콘크리트의 실험결과

구분	내한제 혼입률(%)	온도 (°C)	슬럼프 (cm)	슬럼프 플로우(cm)	공기량 (%)	염화물량 (kg/m ³)
베 이 스	0	10.3	11	22.5	4.3	0.012
	8	10.8	12.5	23.5	4.5	0.037
유 동 화	0	10	18	28	4.1	0.015
	8	10.2	19	29	4.3	0.027

표 8은 굳지않은 콘크리트의 실험결과를 나타낸 것이고, 그림 4 및 5는 내한제 혼입률 유무에 따른 베이스 및 유동화 후의 슬럼프, 슬럼프플로우, 공기량 및 염화물량을 나타낸 것이다. 슬럼프 및 공기량 모두 실험 계획한 범위를 만족하는 것으로 나타났고, 염화물량은 KS F 4009의 염화물 제한치인 0.3 kg/m³ 이하로 나타났다.

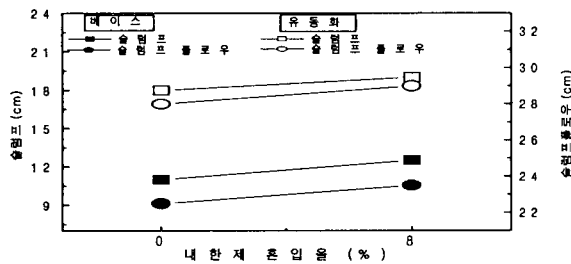


그림 4. 내한제 혼입율에 따른 슬럼프 및 슬럼프플로우

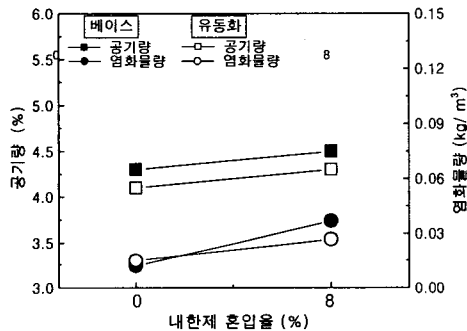


그림 5. 내한제 혼입율에 따른 공기량 및 염화물량

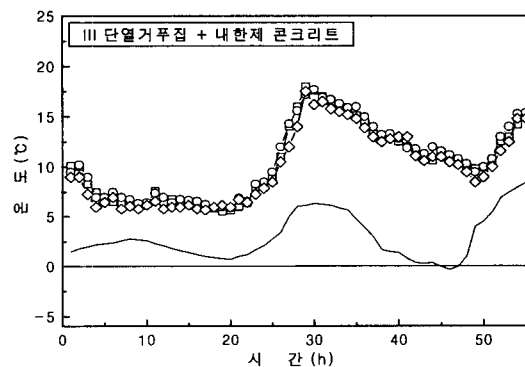
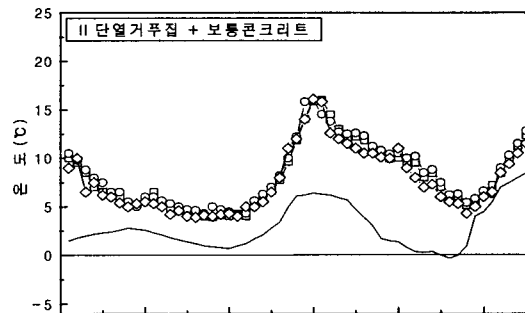
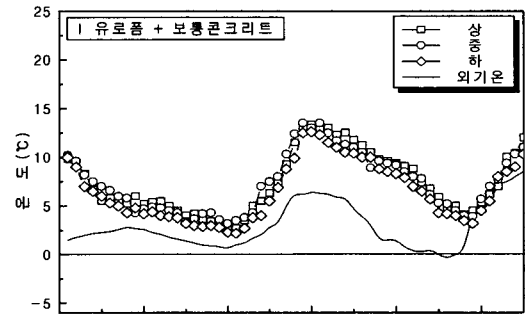


그림 6. 벽체 온도이력

3.2 구조체의 온도 이력 특성

그림 6 및 7은 2002년 2월 21일부터 2월 23일 까지 시험체 종류별 시간 경과에 따른 벽체 및 슬래브 콘크리트의 온도이력을 나타낸 것이다. 먼저, 벽체 중, I (보통 콘크리트 + 유로폼)의 경우 시간이 경과함에 따라 콘크리트 각 부분의 온도가 저하하기 시작하여 최저 3°C까지 저하한 후 시멘트의 수화열과 외기온의 상승에 따라 최고 14°C까지 상승하였다. 그 후 외기온에 따라 내부 온도가 변화하였는데, 구조체 상, 중, 하 중에서 중앙부의 온도가 가장 높게 나타났으나 큰 차이는 없는 것으로 나타났다.

II (보통콘크리트 + 단열거푸집)의 경우는 시간이 경과함에 따라 각 부분의 온도가 저하하였는데, 최저온도는 약 4°C를 기록하였고 시멘트 수화열에 의한 피크온도가 I

과 비교하여 약 2.5°C 정도 높게 나타났다. 이는 단열거푸집의 단열효과에 기인한 것으로서, 낮은 열전도율의 단열재 (PP + 스티로폼)가 외기의 낮은 온도를 차단시켜 내부의 수화열을 보존 시켰기 때문이라고 사료된다.

III (내한제 콘크리트 + 단열거푸집)의 경우는 최저 온도가 6°C, 수화열 및 외기온에 의한 피크온도 또한 18°C로써 II와 비교하여 약 4°C 정도 높게 나타났는데, 이는 내한제가 초기 적산온도에서 콘크리트의 응결을 촉진시켰기 때문이라고 분석된다.

한편, 슬래브의 경우 구조체 I, II, III에 있어, 최저 온도가 2°C, 4°C, 5°C를 기록하였고, 최고 온도 또한 7°C, 12°C, 15°C를 기록함으로써 구조체 III, II, I 순으로 온도가 높게 나타났는데, 이 또한 단열거푸집의 단열효과와 내한제의 초기 응결 촉진에 기인한 것으로 분석된다. 또한,

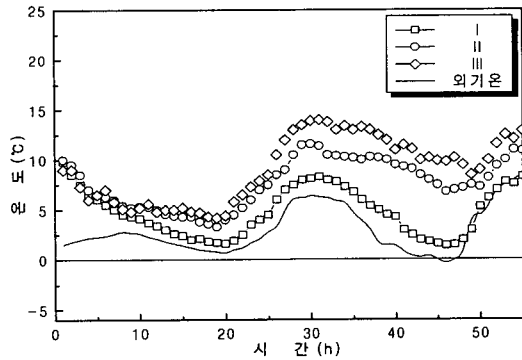


그림 7. 슬래브 온도이력

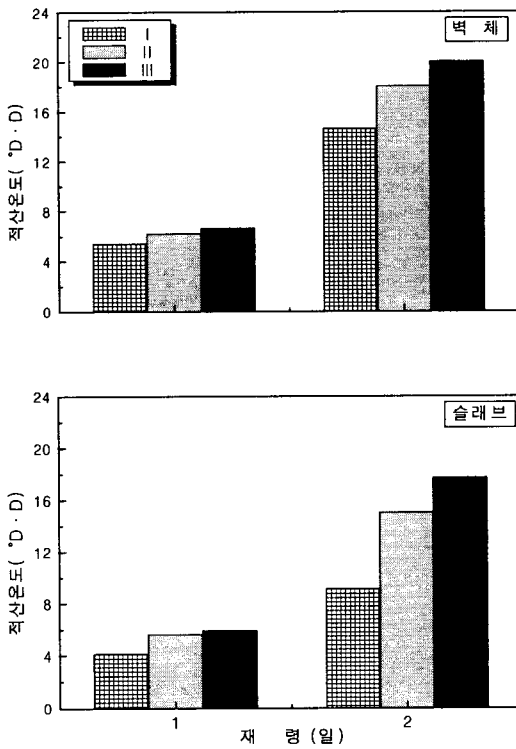


그림 8 구조체별 적산온도

벽체와 슬래브를 비교해 볼 때 슬래브의 온도가 낮게 나타났는데, 이는 벽체에 비해 작은 부재 사이즈로 인한 낮은 수화열 및 외기온의 영향이 큰 것에 기인한 것으로 사료된다

따라서, 한중콘크리트 시공시 단열거꾸집과 내한제 콘크리트를 병용한다면 낮은 외기온 조건에서도 구조체 자체의 수화열만으로 충분한 양생이 가능하여 초기동해를 방지할 수 있을 것으로 분석된다.

그림 8은 구조체별 벽체 및 슬래브의 재령 1일 및 2일의 적산온도 누적을 나타낸 것이다. 벽체 및 슬래브 모두 구조체 III, II, I 순으로 적산온도가 높게 나타났는데, 이

또한 단열거꾸집의 높은 단열효과와 내한제의 응결 촉진에 기인한 것으로 분석된다.

3.3 압축강도 특성

그림 9는 로지스틱 모델식을 이용하여 적산온도에 따른 압축강도를 나타낸 것이다. 전반적으로 회귀식은 결정계수 0.98이상, 표준편차 23.4 kgf/cm² 이하로 양호한 상관성을 나타내고 있었다. 표 9는 상기의 해석 결과치의 상수값을 나타낸 것이다.

그림 10은 내한제 혼입 유무에 따른 재령별 표준양생, 구조체 관리용 및 외기방치 공시체의 압축강도를 나타낸 것이다. 먼저, 초기 및 재령이 경과함에 따라 내한제 혼입 콘크리트가 큰 강도값을 나타내었는데, 이는 내한제가 콘크리트의 응결을 촉진시켜 빠른 수화반응에 기인한 것으로 분석된다. 또한, 당연한 결과이겠지만 표준 양생 공시체, 구조체 관리용 공시체, 외기방치 공시체 순으로 강도가 크게 나타났는데 이는 각기 다른 양생온도에 의한 적산온도 차이에 의한 것으로 사료된다.

그림 11은 내한제 혼입 유무에 따른 표준양생, 구조체 관리용 및 외기방치 공시체의 28일 압축강도를 비교한 것이다. 내한제를 혼입한 경우가 큰 압축강도를 나타내었

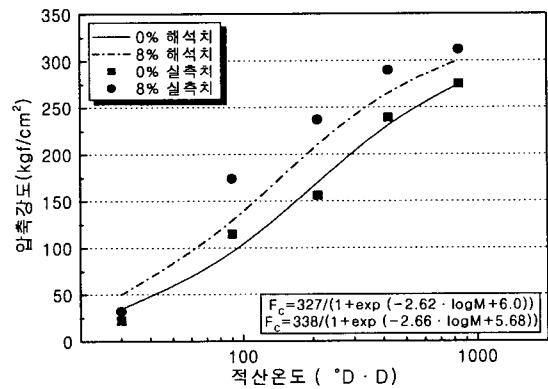


그림 9. 로지스틱 모델에 의한 강도증진 해석

표 9. 회귀분석을 통한 로지스틱 모델의 실험상수

W/C (%)	내한제 혼입률 (%)	실험 상수	상수값	결정 계수	표준 편차
40	0	F _∞	327	0.98	14.18
		k	2.62		
		m	6.0		
	8	F _∞	338	0.96	23.41
		k	2.66		
		m	5.68		

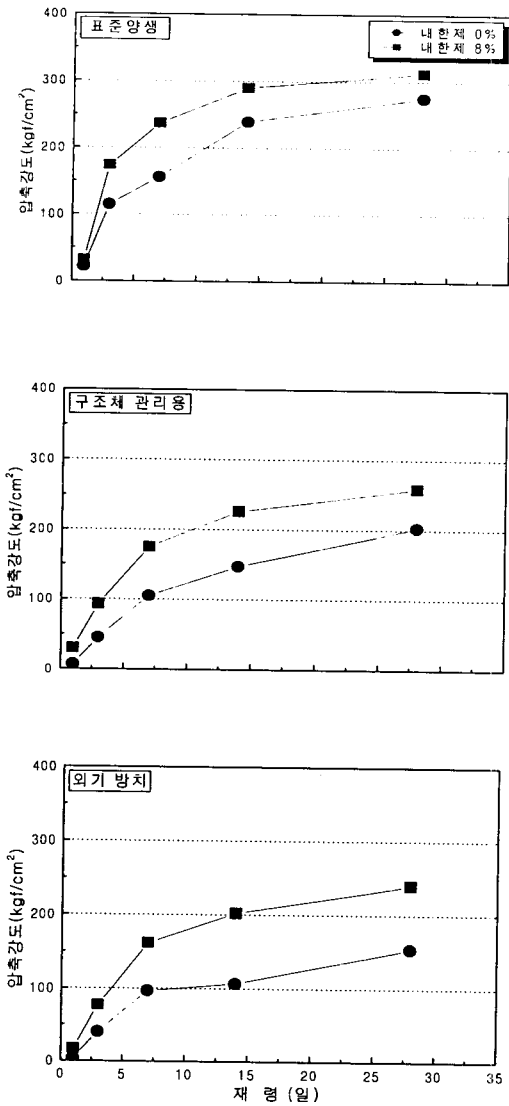


그림 10. 표준양생, 구조체 관리용 및 외기방치 공시체 압축강도

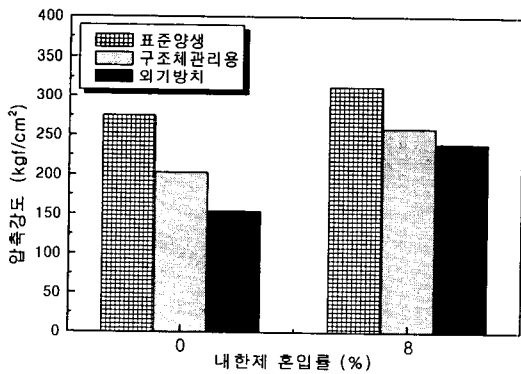


그림 11. 표준양생, 구조체 관리용 및 외기방치 공시체 28일 압축강도 비교

고, 표준 양생 공시체, 구조체 관리용 공시체, 외기방치 공시체 순으로 강도가 크게 나타났다.

4. 결 론

본 연구는 기존 연구에서 개발한 내한제 및 단열거푸집을 한중콘크리트에 활용하는 것에 대하여 실제 구조체에 적용성을 검증하기 위한 것으로 실험연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 구조체 종류별 콘크리트의 온도이력을 측정된 결과 벽체의 최저 기온으로는 보통 콘크리트 + 유로폼의 경우 3℃, 보통 콘크리트 + 단열거푸집의 경우 4℃로 저하하였다. 반면, 내한제 콘크리트 + 단열거푸집의 경우는 최저 6℃를 기록함으로써 가장 우수한 효과를 나타내었다. 또한, 슬래브의 경우에도 내한제 콘크리트 + 단열거푸집이 가장 우수한 온도이력 효과를 나타내었다.
- 2) 내한제 혼입 유무에 따른 표준양생, 구조체 관리용 및 외기방치 공시체의 압축강도를 측정된 결과, 내한제를 혼입한 경우가 가장 큰 강도증진을 나타내었고, 공시체 별로는 표준양생, 구조체 관리용, 외기방치의 순이었다.

이상을 종합해 볼 때, 단열거푸집에 내한제 콘크리트를 병용하여 한중콘크리트 시공을 실시하면 경제성, 환경친화성 등과 관련하여 매우 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
4. 김경민, 원 철, 김기철, 오선교, 한천구 ; 한중콘크리트에 있어서 페부동액을 이용한 내한제의 효율성에 관한 기초적 연구, 한국 콘크리트학회 학술발표회 논문집, Vol. 13, No. 1, 2001
5. 한국 콘크리트학회, 최신 콘크리트 공학, 1997
6. 日本土木學會, 콘크리트標準方書, 1998
7. 日本建築學會, 寒中シクリート施工指針同解説, 1998