

실물대시험에서의 양생방법 차이에 따른 한중콘크리트의 온도이력 및 강도특성에 관한 연구

A Study on the Strength Properties and the Temperature Hysteresis of Winter Concrete according to the difference of Curing Method in Mock-up Test

원 철* 한 천 구**
Won, Cheol Han, Cheon-Goo

Abstract

This study is to investigate the temperature hysteresis and development of compressive strength due to the curing conditions and to evaluate the optimum curing condition of test specimens showing the same development of strength to that of real structures in cold weather. The results of temperature curve with curing conditions in mock-up tests showed the trend of decrease plain concrete with insulation form, plain concrete with heating, concrete with accelerator for freeze protection, and control concrete in turn. The strength development of plain concrete of inside and outside of shelter showed the very slow strength gains due to early freezing, but that of concrete with accelerator for freeze protection showed the gradual increase of strength with time. From this, it is clear that accelerator for freeze protection has the effects of reducing the freezing temperature and accelerating the hardening under low temperature. Strength test results of small specimens embedded in members and located in insulation boxes at the site are similar to that of cores drilled from the members at the same ages, thus it is clear that these curing methods are effective for evaluating in-place concrete strength

키 워 드 : 한중콘크리트, 내한축진제, 실물대부재시험, 단열양생, 급열양생

Keywords : winter concrete, accelerator for freeze protection, mock-up test, adiabatic curing, curing with heating

1. 서 론

현행 국내의 한중콘크리트 공사는 일부의 긴급공사를 제외하고는 대부분이 중단되고 있는 실정으로, 이는 저온환경에 노출된 한중콘크리트의 경우 굳지 않은 상태에서 초기동해 및 강도발현의 지연 등과 같은 많은 문제점을 나타내어 결국, 경화콘크리트에서도 소요 성능을 발휘하지 못하게 되기 때문이다.^{1,2,3)}

콘크리트의 초기동해는 일반적인 콘크리트의 동해현상과는 다른 것으로, 이는 경화 초기단계에 있는 콘크리트내의 수분이 동결하는 것을 의미하는데, 이로 인해 경화콘크리트의 강도 및 내동해성 등에 커다란 악영향을 미치게 된다. 따라서, 초기동해를 방지하기 위해서는 콘크리트 타설 후, 콘크리트가 소정의 압축강도를 발휘할 때까지 동결하지 않도록 해야 하는데, 이를 위해 지금까지는 콘크리트 구조체의 양생조건에 따라 배합을 보정하거나 가열·보온양생하는 등의 방안이 적용되어 왔다.⁴⁾

즉, 이런 방법들에 따라 한중콘크리트에 관한 기술적인 과제가 극복되고 있는 것처럼 여겨져 왔지만, 실질적으로는 강도보정에 따른 콘크리트의 제조비용증가, 양생을 위한 보호시

설 및 가열설비, 적설대책 등의 추가적인 사항이 추가적으로 요구되기 때문에 실제 적용하기에는 많은 어려움이 있는 실정이다.



사진 1. 적용현장 전경

따라서, 본 연구에서는 한중기간 중 강원도 사북지역(사진 1 참조)에서 실시되었던 실물부재시험을 대상으로 각종 양생방법에 따른 시험체의 온도이력 및 강도특성 등을 비교·분석함으로써, 한중콘크리트 공사에 적용할 수 있는 최적의 양생방법

* 청주대학교 대학원 박사과정, 정회원
** 청주대학교 건축공학과 교수, 정회원

및 강도관리용 공시체 평가방법을 제시함으로써 한중콘크리트 공사의 품질관리를 위한 기초자료를 제시하고자 하였다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험요인 및 수준은 표 1과 같다. 먼저, 콘크리트는 굵은골재 최대치수가 25mm이고, 설계기준강도가 24N/mm²이며, 슬럼프는 15cm인 것을 목표로 하였으며, 콘크리트의 종류로는 내한축진제를 사용하지 않은 일반콘크리트(PC)와 내한축진제를 사용한 콘크리트(AFP)로 구분하여 계획하였다. 또한, 콘크리트의 양생방법으로는 양생막을 기본으로 설치한 일반콘크리트, 내한축진제를 사용한 콘크리트, 단열거푸집을 사용한 일반콘크리트 및 급열양생을 실시한 일반콘크리트 등 총 4가지 경우로 하였다.

한편, 구조체 콘크리트의 강도평가를 위한 공시체의 양생방법은 노출보합양생, 간이단열양생, 부재내부의 매립양생 및 양생막 내부양생 등으로 계획하였다.

시험사항으로는 각 실물대시험부재의 길이방향(L=3m)에 대하여 중앙부와 모서리부의 온도이력을 30분 간격으로 10일까지 측정하며, 아울러 압축강도는 재령 91일까지 측정하는 것으로 하였다. 그리고 재령 28일과 91일에는 코아강도도 측정하는 것으로 계획하였다.

표 1. 실험요인 및 수준

변수	수준
배합종류	<ul style="list-style-type: none"> · 굵은골재 최대크기 : 25mm · 설계기준강도 : 24N/mm² · 목표 슬럼프 : 15cm
콘크리트종류	<ul style="list-style-type: none"> · 일반 콘크리트(PC) · 내한축진제 콘크리트(AFP)
양생방법	<ul style="list-style-type: none"> · 모의부재 · 일반 콘크리트 · 내한축진제 콘크리트 · 단열거푸집(PC) · 급열양생(PC) · 공시체 · 양생막내 보합양생 · 외기 보합양생 · 부재내 매립양생 · 간이단열양생
부재크기	L 3,000×H 1,500×T 600 (mm)
측정항목	<ul style="list-style-type: none"> · 온도이력(중앙부, 모서리) · 공시체 강도(재령 3, 5, 14, 28, 56, 91일) · 코아강도(28, 91일)

2.2 사용재료

본 실험에 사용한 각종 사용재료의 물리적 성질은 표 2~5와 같다. 시멘트는 국내 S사의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였고, 굵은골재는 정선산 쇄석을 사용하였으며, 잔골재는 영월산 혼합사(부순모래+강모래)를 사용하였다. 또한, 고성능 감수제 및 내한축진제는 국내 K사에서 제조·생산된 제품을 사용하였다.

표 2. 시멘트의 물리적 성질

비중	비표면적 (cm ² /g)	응결시간 (h:m)		강열감량 (%)	안정성 (%)	압축강도 (N/mm ²)		
		초결	종결			3일	7일	28일
3.15	3,310	3:60	6:00	1.0	0.1	21.0	28.5	37.4

표 3. 잔골재의 물리적 성질

비중	조립율	흡수율 (%)	단위중량 (kg/m ³)	실적율 (%)	75 μ m 통과율 (%)
2.64	2.79	1.08	1,565	64.8	1.1

표 4. 굵은골재의 물리적 성질

비중	주립율	흡수율 (%)	단위중량 (kg/m ³)	마모율 (%)	75 μ m 통과율 (%)
2.85	6.97	0.54	1,722	22.4	0.1

표 5. 내한축진제의 물리적 성질

구분	주성분	비중 (20 $^{\circ}$ C)	동결온도 ($^{\circ}$ C)	형상	색상
내한축진제	질소화합물	1.34 \pm 0.02	- 30	액상	암갈색
고성능 감수제 (표준형)	나프탈렌 (중축합형)	1.20 \pm 0.02	-	액상	암갈색

2.3 시험체 제작

실물대시험부재의 형상 및 크기는 2000년 1월 초순경에 시공 예정이었던 당 현장(강원도 사북 소재)의 용벽구조물을 대상으로 계획하였으며, 콘크리트 종류는 일반콘크리트(PC)와 내한축진제를 사용한 콘크리트(AFP)로 하였다.

표 6은 각종 시험체의 양생방법을 나타낸 것이다. 즉, 시험체 A는 일반콘크리트, 시험체 B는 내한축진제를 사용한 콘크리트에 양생막만을 이용하여 양생한 경우이고, 시험체 C는 일반콘크리트에 단열거푸집+양생막, 시험체 D는 일반콘크리트에 급열양생+양생막으로 양생하는 총 4개의 시험체를 제작하였다. 그림 1은 시험체 D의 평면 및 단면도를 나타낸 것이다.

표 6. 실험부재의 양생방법

시험체 구분	콘크리트 종류	양생방법
A	PC	콘크리트+코팅합판 거푸집+양생막
B	AFPC	콘크리트+코팅합판 거푸집+양생막
C	PC	콘크리트+단열거푸집+양생막
D	PC	콘크리트+코팅합판 거푸집+급열+양생막

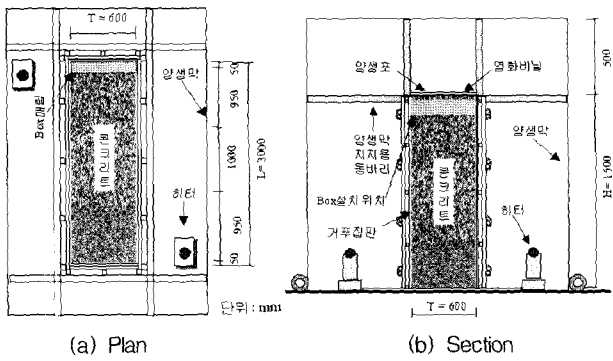


그림 1. 실물대시험 부재의 도면

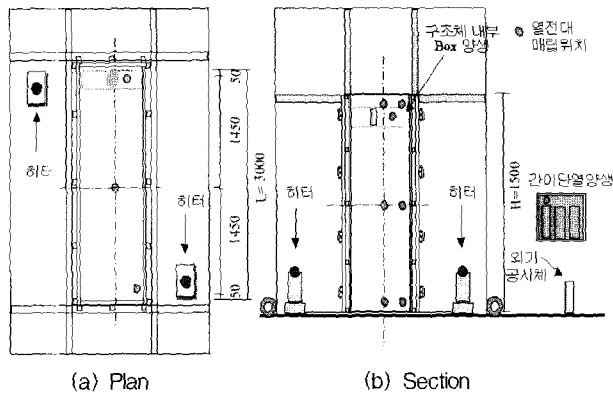


그림 2. 수화열 센서 매립 위치

한편, 거푸집이 설치되지 않은 상부면은 염화비닐(T=0.05mm 이상)과 양생포를 덮어 양생하고, 양생막은 시험체로부터 50cm 이상 간격을 유지시켜 재령 7일까지 양생하였다. 또한, 실물부재의 온도이력과 함께 강도증진상태를 검토하기 위하여 250×250×600mm(가로×세로×길이)의 상자를 제작하고, 이를 실물부재 시험체 단면 내에 매립한 후, 재령 91일까지 그 내부에서 공시체(Ø10×20cm)를 양생하였다.

한편, 코아 공시체는 열전대를 매립하여 온도이력을 측정할 부위에서 채취하였는데, 즉 전체 실물부재의 높이(H=1,500mm)를 상·중·하로 구분하여 채취하였다.

2.4 온도계측

실물부재 시험체의 각 부위별 온도이력을 검토하기 위하여 그림 2(a)의 평면도에서와 같이 부재의 전체 길이방향에 대하여 중앙부 및 모서리부의 상중하에 열전대(T-type)를 설치하였다. 또한, 공시체의 양생방법에 따른 온도이력을 검토하기 위하여 간이단열양생 공시체, 실험부재내부에 매립양생한 공시체, 양생막 내부 공시체, 양생막 외부 공시체 등에 대해서도 열전대를 매립하여 설치함으로써 외기온을 포함하여 총 31 point에 열전대를 설치하였다.

열전대는 사진 2에서와 같이 Data logger에 연결하여 30분 간격으로 10일간 측정하였다. 한편, 실물부재의 중앙 상부와 모서리부의 열전대는 일반적인 철근의 피복두께를 고려하여 50mm 정도의 깊이에 설치하였다.



사진 2. 수화열 측정

2.5 코아 채취 계획

코아 공시체는 그림 3에서와 같이 부재의 단면을 관통하는 형태로 1개 부재에 대하여 총 6개(Ø10×60cm)의 공시체를 재령 28일과 91일에 채취하는 것으로 하였다.

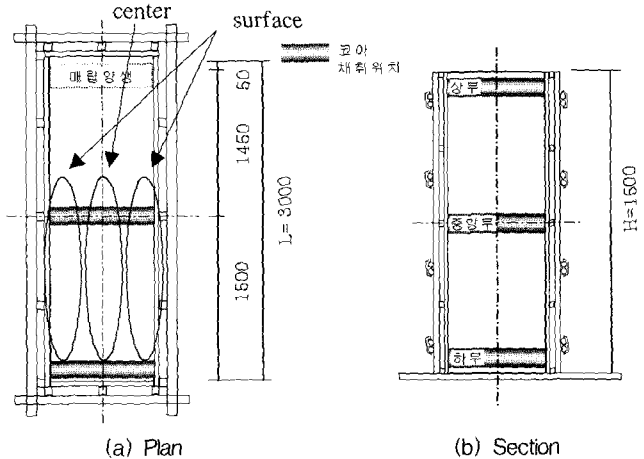


그림 3. 코아 공시체 채취 위치

3. 실내시험의 결과 및 분석

3.1 배합선정을 위한 실내시험

실물부재시험에 적용한 콘크리트의 배합은 표 7과 같다. 설계기준강도 24N/mm²를 만족할 수 있도록 사전에 배합시험을 실시하여 W/C 47.0% 1개 수준으로 하였다.

표 8은 내한축진제의 사용량 변화에 따른 굳지 않은 상태 특성과 양생방법(표준:20℃, 간이단열:12℃, 노출:-10℃)에 따른 강도특성을 나타낸 것이다.

실험결과, 내한축진제를 3ℓ/C=100kg 사용한 경우가 표준 사용량(4ℓ/C=100kg)을 사용한 경우에 비해 굳지 않은 상태 및 강도특성에서 오히려 양호하거나 거의 유사한 특성을 나타내고 있었다. 즉, 굳지 않은 상태의 슬럼프 및 공기량은 내한축진제를 4ℓ/C=100kg 사용한 경우가 3ℓ/C=100kg를 사용한 경우에 비해 성능이 다소 떨어지는 것으로 나타난 반면, 압축강도는 거의 유사한 성능을 발휘하는 것으로 평가되었다.

표 7. 콘크리트 배합

W/C (%)	S/a (%)	AFP 사용량 (ℓ / C=100kg)	단위중량(kg/m³)					SP (Cg×%)
			C	W	AFP	S	G	
47.0	47.0	2	349	155	9	853	1035	4.19(1.2)
		3		150	14			4.89(1.4)
		4		145	19			4.89(1.4)

표 8. 콘크리트 배합 시험결과

W/C (%)	S/a (%)	AFP 사용량 (ℓ / C=100kg)	슬럼프 (cm)	공기량 (%)	28일 압축강도(N/mm²)		
					표준 양생	단열 양생	노출 양생
47.0	47.0	2	14.5	4.5	31.5	20.7	5.8
		3	14.5	4.0	32.0	23.0	9.0
		4	12.0	2.9	32.8	24.3	10.8

3.2 레미콘사의 선정, 콘크리트 타설 및 양생

1) 레미콘사 선정

각종 양생방법에 따른 한중콘크리트의 특성을 파악하기 위한 실물부재시험은 강원도 사북(강원랜드 본카지노 호텔 신축공사 현장)지역에서 실시하였다.



사진 2. 거푸집 제작

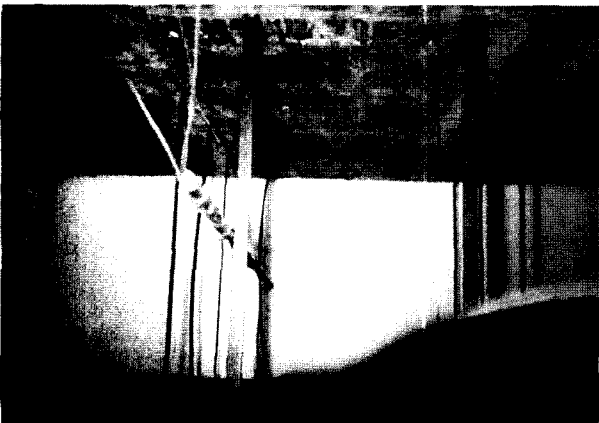


사진 3. 수화열 센서 매립

레미콘사는 현장까지의 운반시간이 60분 이내의 거리에 있는 3개 레미콘사(D사, H사, T사)를 대상으로 공장조사를 실시하였으며, 그 중운반거리가 가장 짧고(15분), 온수설비를 갖춘 1개 레미콘사(D사)를 선정하였으며, 거푸집은 사진 2에 서와 같이 콘크리트의 종류 및 양생방법별로 총 4개의 시험체를 제작하였으며, 열전대를 매립하였다.(사진 3 및 사진 4)

2) 콘크리트 타설

콘크리트 타설시의 평균 외기온은 -2.0℃ 이었으며, 콘크리트 온도는 10℃ 이상으로, 레미콘 공장 및 현장에서 평가한 콘크리트의 타설온도 및 품질은 표 9와 같다.

표 9. 레미콘 공장 및 받아들이기 지점에서의 품질시험 결과

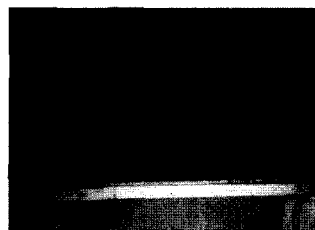
장소	콘크리트 종류	슬럼프 (cm)	공기량 (%)	콘크리트 온도 (℃)	외기온 (℃)
레미콘 공장	PC	17.0	4.5	12.1	0.2
	AFP	14.5	4.0		
현장	PC	12.0	3.2	11.0	-2.0
	AFP	8.5	3.0		

즉, 레미콘 공장에서 현장까지의 운반시간에 따른 슬럼프 손실이 큰 것으로 나타났는데, 이는 내한축진제를 사용한 콘크리트의 경우, 콘크리트의 배합과정에서 배합수와 비중이 상이한 내한축진제(비중 1.34)를 배합수의 일부로 치환하여 다량으로 사용하기 때문에 물시멘트비는 일정하나, 전체 콘크리트 내에서 실제 배합수가 차지하게 되는 용적이 작아지게 된 점 그리고, 콘크리트의 유동성 향상을 목적으로 사용된 나프탈렌계 고성능 AE감수제의 유동특성이 경시변화가 크게 되는 점 등이 복합적으로 작용하여 나타난 결과로 분석되었다.

3) 콘크리트의 양생

실물대실험에서의 콘크리트 양생은 사진 5에서와 같이 4개 시험체 모두를 대상으로 양생막을 설치하는 것을 기본으로 하였다.

본 연구에서는 구조체에 적용한 한중콘크리트의 압축강도를 정확하게 추정할 목적으로 실물대실험부재와 함께 강도평가용 공시체의 양생방법도 변화시키는 것으로 계획하였으며, 이 때 얻어진 각 재령별 압축강도와 코어강도를 비교 분석하였다.



(a) 간이단열양생



(b) 부재내부양생



(c) 외부 양생 (d) 양생막내 양생

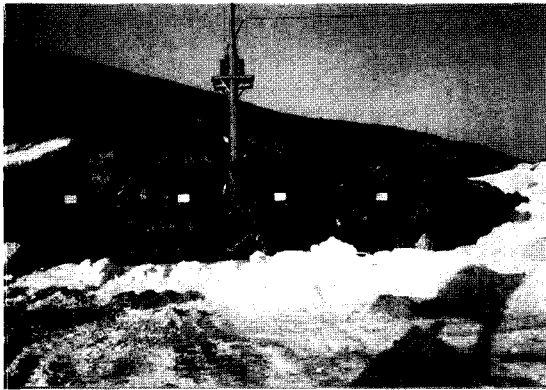


사진 5. 양생막 설치

4. 실험결과 및 분석

4.1 실물부재의 온도이력

1) 양생방법에 따른 온도이력

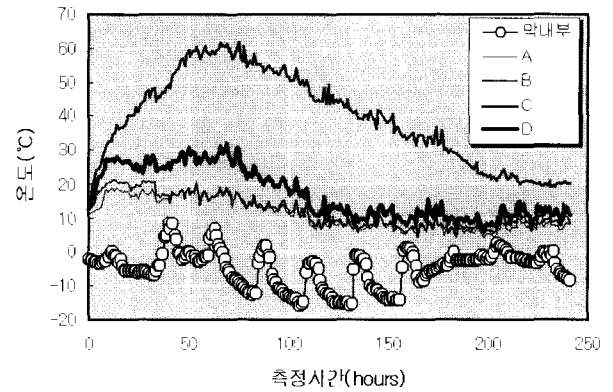
그림 4는 실물대시험부재의 길이방향 중앙부의 온도이력을 측정된 결과를 나타낸 것이다.

전반적으로, 단열거푸집을 사용한 콘크리트가 가장 높은 온도이력을 나타내고 있었으며, 그 다음은 급열, 내한축진제 및 일반콘크리트 순인 것으로 나타났다.

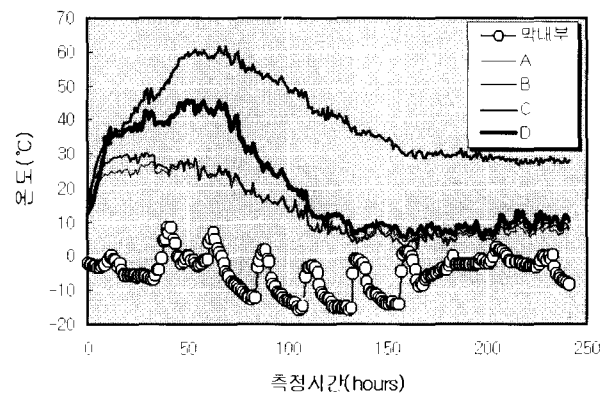
한편, 단열거푸집을 사용한 경우는 상부 및 중앙부에서 최고 60℃(50시간) 정도까지 상승하는 것으로 나타났는데, 이는 비교적 큰 단면을 가진 콘크리트의 수화열이 외부로 방출되지 못한 것에 기인하여 나타난 결과로 분석된다. 그러나, 하부의 경우에는 상부나 중앙부에 비해 매우 낮은 온도이력을 보이고 있는데, 이는 부재의 바닥면이 각 양생방법에 관계없이 일반거푸집 위에 그대로 적용되었기 때문에 나타난 결과로 판단된다.

단열거푸집은 한중콘크리트에서 뿐만 아니라 매스콘크리트의 균열제어 및 일반콘크리트의 양생축진을 목적으로서도 유용하다고 할 수 있다.

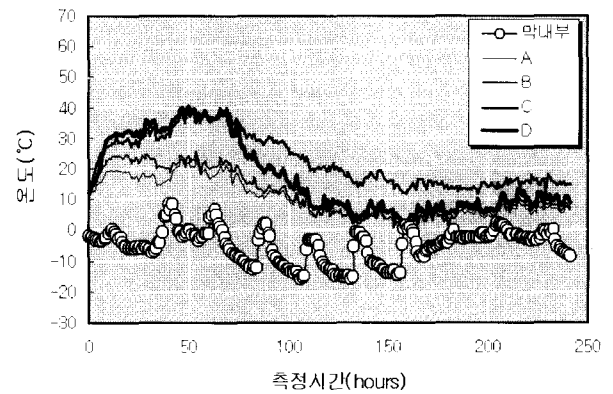
한편, 양생막 내의 외기온이 -14~5℃ 범위에서 반복하는 저온환경임에도 불구하고, 전반적으로 각 시험체의 온도이력은 0℃ 이상을 유지하는 것으로 나타났다. 이는 부재크기에 따른 열용량 효과에 기인한 것으로서, 한중콘크리트의 공사에 있어서 비교적 단면이 큰 구조물을 시공할 경우에는 콘크리트 자체의 수화열 특성만이라도 사진에 충분히 검토할 수 있다면 간단한 양생방법만으로도 초기동해를 방지할 수 있을 것으로 판단된다.



(a) Upper



(b) Center

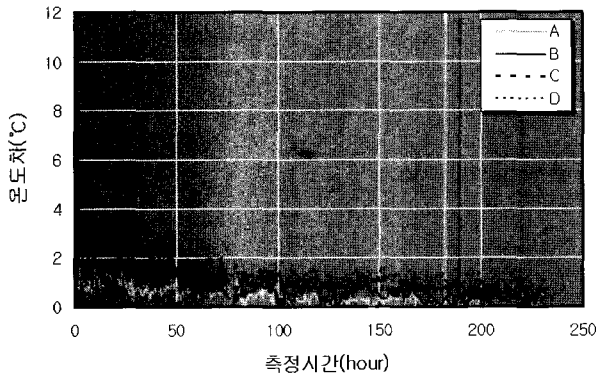


(c) Lower

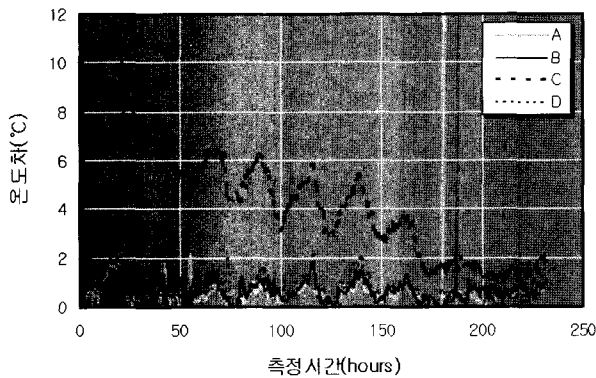
그림 4. 중앙부의 온도이력

그림 5는 각종 양생방법에 따른 실물부재의 길이방향 중앙부와 상부, 그리고 하부의 온도차를 나타낸 것이다. 상부의 경우, 최고 온도차가 4℃ 이하로 나타났으며, 시간이 경과함에 따라 온도차는 감소하는 경향을 보이고 있다. 상부에서 온도차가 적게 나타난 것은 상부 표면에 양생포를 이용하여 양생을 하여 콘크리트 수화열의 방출을 감소시켰기 때문이다. 鎌田英治의 연구5)에 따르면, 한중 조건하에서 매스콘크리트의 부재표면과 내부의 온도차를 10℃ 이하로 관리하도록 권장하고 있는 점을 고려해 볼 때, 하부의 경우에는 내·외부 온

도차가 11℃ 정도로 나타나고 있어 온도균열의 발생에는 그다지 문제가 없을 것으로 판단된다. 그렇지만, 바닥부분에서의 온도차가 크게 나타나고 있기 때문에 단열거푸집으로 시공하는 구조물에서는 주의를 기울여야 할 것으로 사료된다.



(a) Upper-center



(b) Lower-center

그림 5. 중심부의 온도차

2) 실물부재내 매립상자에서의 공시체 온도이력

그림 6은 실험계획에서와 같이 실물대시험부재의 내부에 일정공간을 두고, 그 내부에 공시체를 매립하여 양생한 공시체의 온도이력을 나타낸 것이다. 즉, 단열거푸집을 사용한 경우가 기타 양생방법의 온도이력에 비해 약간 높은 것으로 나타났다. 그러나, 각종 양생방법에 따른 온도이력은 실부재의 온도이력과 비교하면 단열거푸집, 급열양생, 내한축진제, 일반양생, 간이단열양생 및 막내부양생 순으로 큰 감소폭을 나타내고 있었다. 특히, 단열거푸집 및 급열양생과 같이 부재내부의 온도이력이 높은 경우에는 부재내부에 공시체를 매립하여 양생한다 할지라도 실부재의 온도특성보다는 외기온의 영향을 많이 받는다는 것을 알 수 있었다.

일반적으로 현장에서의 강도관리방법이 현장봉함 양생한 공시체로 관리되고 있는 현실을 감안하여 볼 때, 기존의 강도관리용 공시체의 양생방법이 낮게 평가되었다는 것을 알 수 있다. 따라서, 실구조물의 온도이력과 유사한 양생방법을 실시한 공시체로 평가하는 것이 바람직할 것으로 여겨진다. 실험결과, 기존의 현장봉함 양생방법보다는 구조체 매립이나 간

이단열상자를 이용한 양생방법이 보다 유용하다고는 할 수 있으나 더욱 정밀한 강도관리를 위해서는 구조체 콘크리트의 온도변화에 따른 강도관리용 공시체 양생방법에 대한 검토도 요구되고 있다.^{4),6)}

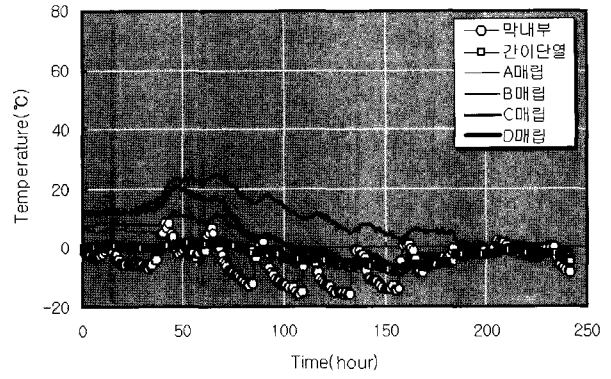


그림 6. 부재내 상자의 온도이력

따라서, 국내 관련규정에 한중콘크리트로 시공된 구조체 콘크리트의 강도를 평가함에 있어 실제 콘크리트 구조체의 양생온도를 추정한 후, 이와 유사한 양생온도이력을 갖는 공시체를 대상으로 평가하도록 하는 내용을 포함하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

4.2 양생방법에 따른 압축강도

1) 압축강도 측정결과

그림 7~그림 8 및 표 10은 각 실물부재의 압축강도 시험결과를 나타낸 것이다.

측정결과, 일반콘크리트나 내한축진제를 사용한 콘크리트의 경우는 온도이력 측정결과에서도 알 수 있듯이, 부재 내에 매립한 경우와 간이단열양생을 실시한 공시체의 강도성상이 비교적 유사한 것으로 나타났다. 따라서, 향후, 한중콘크리트의 구조체 강도를 평가하기 위해서는 간이단열양생에 의한 방법으로 평가하는 것이 유효할 것으로 판단된다.

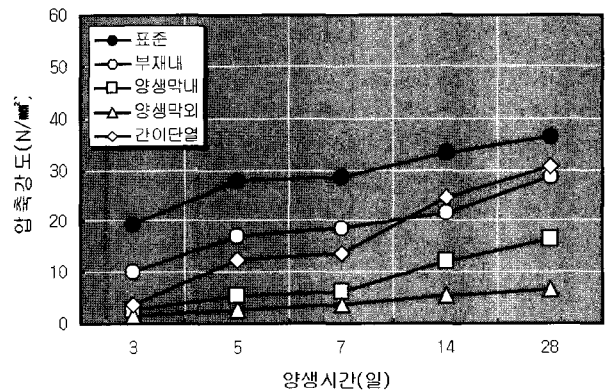


그림 7. 내한축진제를 사용한 콘크리트의 압축강도(표 10의 B)

한편, 각종 양생방법별로는 양생막외, 양생막내, 부재매립, 간이단열 및 표준양생 순으로 강도가 증가하는 것으로 나타났다. 이와 같이, 압축강도 발현성상은 각 공시체의 온도이력

과 밀접한 관계를 갖고 있기 때문에, 강도관리용 공시체의 평가방법을 구조체 콘크리트의 온도추증방법에 의한 양생방법으로 실시한다면 구조체 콘크리트의 강도를 더욱 정확하게 평가할 수 있을 것으로 판단된다.

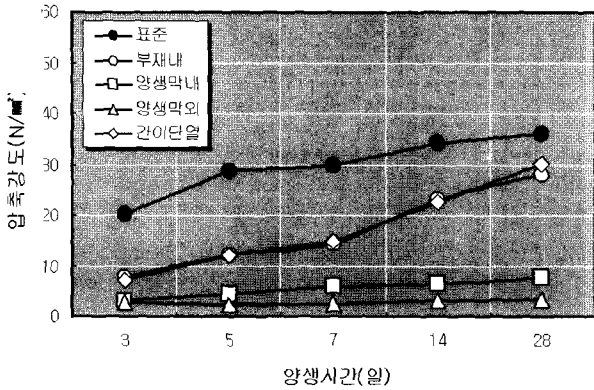


그림 8. 일반 콘크리트의 압축강도(표 10의 A)

표 10. 압축강도 측정결과

시험체 구분	압축강도(N/mm ²)							
	3일	5일	7일	14일	28일	56일	91일	
A	표준양생	20.2	28.8	29.9	34.4	36.1	-	-
	부재내	7.8	12.2	14.6	23.0	28.1	-	-
	양생막내	3.01	4.4	6.1	6.6	7.9	9.5	14.6
	양생막외	2.8	2.3	2.6	3.2	3.5	-	-
	간이단열	7.2	12.3	14.8	22.5	30.2	38.6	46.8
B	표준양생	19.3	27.8	28.6	33.2	36.3	-	-
	부재내	10.1	17.1	18.6	21.6	28.5	-	-
	양생막내	2.5	5.3	6.1	12.0	16.6	21.5	29.6
	양생막외	1.6	2.5	3.5	5.5	6.8	9.2	13.1
C	간이단열	3.5	12.4	13.7	24.4	30.6	38.2	45.5
	부재내	18.0	24.1	26.2	29.7	32.5	-	-
D	부재내	14.2	20.0	21.2	25.0	27.2	-	-
	양생막내	2.7	3.7	6.9	11.5	13.6	-	-

또한, 상대적으로 온도조건이 열악한 양생막 내·외부에서, 일반콘크리트의 경우에는 초기동해에 따른 강도발현 저하를 보인 반면에 내한축진제 콘크리트의 경우에는 계속해서 강도발현을 보이고 있어 내한축진제 사용에 따른 동결온도 저하효과 및 저온환경 하에서의 경화축진효과를 확인할 수 있었다.

2) 코아강도 측정결과

표 11과 그림 9는 각 시험체의 코아강도 측정결과를 나타낸 것이다.

전반적으로 모서리보다 중앙부의 코아강도가 높은 것으로 평가되었는데, 이는 모서리부분이 상대적으로 콘크리트의 수화열 손실이 많았기 때문인 것으로 분석된다. 따라서, 실제 한중콘크리트 구조체의 강도평가는 구조체의 단면크기별 방열면적에 따른 수화열 특성을 사전에 검토하여 정량화시키는 방안이 필요할 것으로 사료된다.

또한, 각 실물부재의 종류에 따른 강도증진 성상은 단일거푸집을 사용한 경우나 내한축진제를 사용한 경우가 일반콘크리트나 급열양생을 실시한 경우보다 비교적 양호한 경향을 보이고 있다. 아울러, 각 시험체에서 간이단열 양생한 공시체나 부재 내에 매립한 공시체의 강도결과가 동일재령의 코아강도와 비교적 유사한 강도특성을 나타내고 있어, 이러한 양생방법이 구조체의 강도관리를 위한 적절한 방안임을 재확인할 수 있었다.



사진 6. 코아 공시체 채취

표 11. 코아공시체의 강도측정 결과

구분	코아강도(N/mm ²)				
	28일		91일		
	표면	중앙	표면	중앙	
모서리	A	24.5	25.4	28.6	29.6
	B	30.8	31.3	32.3	32.5
	C	32.6	32.2	34.0	35.0
	D	26.3	28.7	30.7	33.8
중앙부	A	28.7	28.1	30.1	31.0
	B	32.6	33.0	34.5	37.0
	C	33.6	36.4	37.0	38.6
	D	27.3	30.7	28.1	30.8

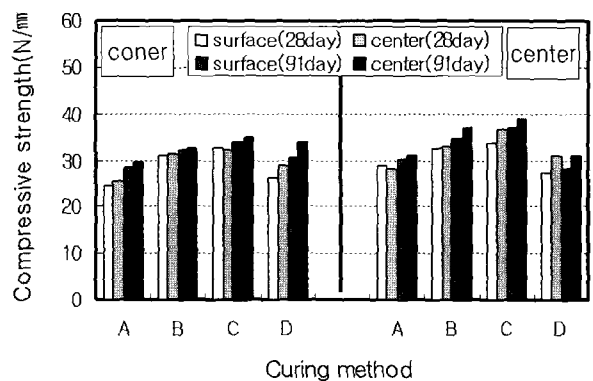


그림 9. 실물대 시험부재의 코아강도 측정 결과

5. 결 론

내한축진제를 사용한 콘크리트의 현장 적용성을 알아보기 위한 기초적 실험으로서, 실물부재시험을 통해 각종 양생방법에 따른 온도이력 및 강도특성을 비롯한 강도관리용 공시체의 양생방법에 대하여 연구한 결과를 정리하면, 다음과 같다.

- 1) 실물부재시험에서의 양생방법에 따른 온도이력결과, 단열양생, 급열양생, 내한축진제 콘크리트 및 일반콘크리트 순으로 크게 저하하는 경향을 보이고 있다. 그러나 중앙부와 표면부와의 온도차로 인한 균열발생여부를 검토한 결과, 가장 온도차가 크게 나타난 단열양생의 경우가 가장 불리할 것으로 판단되었다.
- 2) 실물대시험부재의 두께가 60cm로 메시브하기 때문에 부재체적에 따른 열용량의 효과로 인하여 전반적으로 양생막내 온도가 $-14\sim-5^{\circ}\text{C}$ 저온환경임에도 불구하고 양호한 온도이력을 보이고 있었다. 따라서, 한중콘크리트 공사에 있어서 메시브한 구조물에 시공할 경우에는 외기온의 영향을 크게 받지 않는 것으로 나타나 콘크리트의 초기동해측면에서 매우 유리한 것으로 나타났다.
- 3) 실물대시험부재에서의 강도특성은 각 양생조건에 따라 양호한 온도이력을 보인 관계로 우수한 강도발현을 나타내고 있었으나, 상대적으로 열악한 양생막 내.외부에서의 일반콘크리트용 공시체의 경우에는 초기동해에 따른 강도발현 저하를 보인 반면에 내한축진제 콘크리트의 경우에는 계속해서 강도발현을 보이고 있어 내한축진제의 사용에 따른 동결 온도 저하효과 및 저온환경 하에서의 경화축진효과를 나타내고 있었다.

- 4) 한중콘크리트의 강도관리용 공시체의 양생방법을 검토한 결과, 부재 내부에 매립하여 양생한 경우 및 간이단열양생을 실시한 경우에 있어서의 구조체 콘크리트와의 온도이력은 다소 차이를 나타내고 있지만 부재의 코아 강도와 비교적 근사하게 나타나고 있어 구조체 강도평가를 위한 적정 양생방법으로 평가된다. 그러나, 더욱 정밀한 구조체 강도를 평가하기 위해서는 구조체의 온도이력을 추종하여 이를 반영한 온도추종 양생방법에 의한 공시체의 강도평가가 가장 바람직할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 한천구의 5인, “내한제 및 단열거푸짐에 의한 한중콘크리트 시공의 효율화 관한 기초적 연구(슬래브를 중심으로)”, 한국콘크리트학회 가을학술발표 논문집, 제13권 2호, pp. 913~918, 2001.
2. 이상수의 3인, “내한축진제를 사용한 시멘트모르타의 동결 및 강도 특성에 관한 연구”, 한국콘크리트학회 가을학술발표 논문집 제12권 2호, pp. 1267~1272, 2000.
3. 대우건설기술연구소, “내한축진제를 이용한 겨울철 콘크리트의 개발에 관한 연구”, 연구보고서, 2002.
4. 浜幸雄, 耐寒促進劑による寒中コンクリート施工指針に関する研究, 北海道大學 博士學位論文, 1998.
5. 鎌田英治, 洪悅郎, 長島 弘, 寒中コンクリート, 技術書院, 2000.
6. (財)北海道建築指導センター, 耐寒促進劑の品質標準および施工ガイド, 楡印刷(株), 1997.