Journal of the Korea Concrete Institute
Vol.15, No.4, pp.541~548, August, 2003

실물부재시험에서의 양생방법 차이에 따른 한중콘크리트의 온도이력 및 강도특성에 관한 연구

김영진[1] · 이상수[1] · 원 철[1] · 박상준[1]*

[1] (주)대우건설 기술연구소

(2002년 11월 25월 원서접수, 2003년 7월 30일 심사완료)

A Study on the Strength Properties and the Temperature Curve of Winter Concrete According to the Difference of Curing Method in Mock-up Test

Yonug-Jin Kim[1], Sang-Soo Lee[1], Cheol Won[1], and Sang-Joon Park[1]*

[1] Institute of Daewoo Construction Technology, Suwon, 440-210, Korea

(Received November 25, 2002, Accepted July 30, 2003)

ABSTRACT

This study is to investigate the temperature curve 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 evaluation in-place concrete strength.

Keywords : winter concrete, accelerator for freeze protection, mock-up test, adiabadic 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.[1-3]

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 양생온도 환경에 따라 배합을 보정하거나 가열보온양생 하는 등의 방안이 적용되어 왔다.[5]

즉, 이런 방법들에 따라 한중콘크리트에 관한 기술적인 과제가 극복되고 있는 것처럼 여겨져 왔지만, 실질적으로는 강도보정에 따른 콘크리트의 제조비용증가, 양생을 위한 보호시설 및 가열설비, 적설대책 등의 부가적인 사항이 추가적으로 요구되기 때문에 실제 적용하기에는 많은 어려움이 있는 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 한중기간에 강원도 사북지역에서 (Photo. 1 참조)실시되었던 실물부재시험을 대상으로 각종 양생방법에 따른 시험체의 온도이력 및 강도특성 등을 비교·분석함으로서, 한중콘크리트 공사에 적용할 수 있는 최적의 양생방법 및 강도관리용 공시체 평가방법을 제시함으로서 한중콘크리트 공사의 품질관리를 위한 기초 자료를 제시하고자 한다.

* Corresponding author
Tel : 031-250-1122 Fax : 031-250-1131
E-mail : concrete@mail.dwconst.co.kr

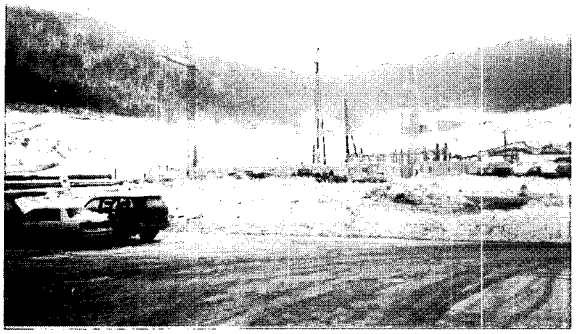


Photo. 1 Application site

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험요인 및 수준은 Table 1과 같다. 먼저, 콘크리트는 굵은골재 최대치수가 25 mm이고, 설계기준강도가 24 N/mm^{2}이며, 슬럼프는 15 cm인 것을 목표로 하였으며, 콘크리트의 종류로는 내한촉진제를 사용하지 않은 일반콘크리트(PC)와 내한촉진제를 사용한 콘크리트(AFP)로 구분하여 계획하였다. 또한, 콘크리트의 양생방법으로는 양생막을 기본으로 설치한 일반콘크리트, 내한촉진제를 사용한 콘크리트, 단열거푸집을 사용한 일반콘크리트 및 급열양생을 실시한 일반콘크리트 등 총 4가지 경우로 하였다.

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

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

2.2 사용재료

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

2.3 시험체 제작

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

Table 1 Design of experiment

Variable	Levels	
Type of mixing proportion	· Maximum size of coarse aggregate : 25 mm · Target design strength : 24 N/mm^2 · Target slump : 15 cm	
Types of concrete	· Plain concrete(PC) · Concrete of accelerator for freeze protection(AFP)	
Curing methods	· Mock-up test - Plain concrete - Concrete of accelerator freeze protection - Adiabatic form(PC) - Heating curing (PC)	· Cylindrical specimen - Sealed curing of interior membrane - Sealed curing in outdoor membrane - Embedded curing in member - Simple adiabatic curing
Dimension of Member	L 3,000×H 1,500×T 600 (㎜)	
Items of measure	· Temperature curve(center, corner) · Strength of cylindrical specimen(3, 5, 14, 28, 56, 91days) · Core strength(28, 91days)	

Table 2 Physical properties of cement

Specific gravity	Blaine (cm^2/g)	Setting time(h:m)		LOI (%)	Sound - ness (%)	Compressive strength (N/mm^2)		
		Initial	Final			3D	7D	28D
3.15	3,310	3:60	6:00	1.0	0.1	21.0	28.5	37.4

Table 3 Physical properties of fine aggregates

Specific gravity	Finess Modulus	Absorption ratio(%)	Unit weight (kg/m^3)	Solid content(%)	75㎛ passing(%)
2.64	2.79	1.08	1,565	0.2	1.1

Table 4 Physical properties of coarse aggregates

Specific gravity	Finess Modulus	Absorption ratio(%)	Unit weight (kg/m^3)	Abrasion ratio(%)	75㎛ passing(%)
2.85	6.97	0.54	1,722	22.4	0.1

Table 5 Physical properties of accelerator for freezing protection

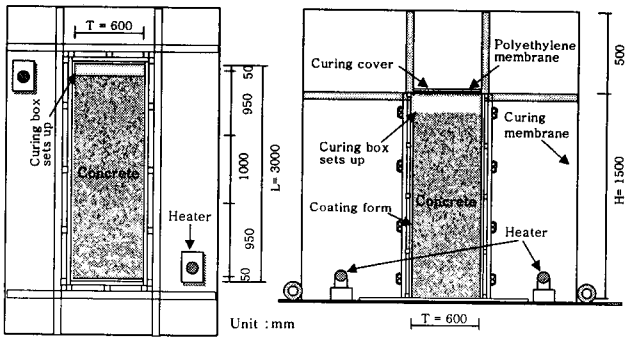
Agents	Maker	Main composition	Specific gravity (20℃)	pH	Freezing Temp. (℃)	Shape	Color
High range water reducer	H	Naphthalin	1.15	-	-	Liquid	Dark brown
Accel-erator for freeze protection	K	Inorganic nitrogen compound	1.32~1.36	0.2 less than	-30	Liquid	Dark brown

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

한편, 거푸집이 설치되지 않은 상부면은 염화비닐(T=0.05 mm이상)과 양생포를 덮어 양생하였고, 양생막은 시험체로부터 50 cm이상 간격을 유지시켜 재령 7일까지 양생하였다. 또한, 실물부재의 온도이력과 함께 콘크리트의 강도증진성상을 검토하기 위하여 25×25×60 cm(가로×세로×길이)의 상자를 제작하고, 이를 실물부재 시험체의 단면내에 매립한 후, 재령 91일까지 공시체(Ø10×20 cm)를 양생하였다.

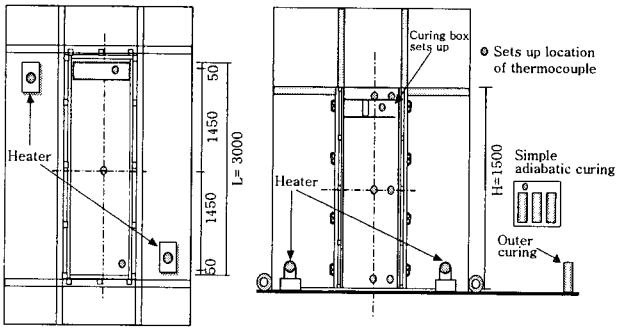
Table 6 Curing method of mock-up test

Types of testing member	Types of concrete	Curing methods
A	PC	Concrete+coating form+membrane
B	AFP	Concrete+coating form+membrane
C	PC	Concrete+adiabatic form+membrane
D	PC	Concrete+coating form+heating+membrane



(a) Plan (b) Section

Fig. 1 Mock-up test



(a) Plan (b) Section

Fig. 2 Location of embedded thermo couple

한편, 코어 공시체는 열전대를 매립하여 온도이력을 측정한 부위에서 채취하였는데, 즉 전체 실물부재의 높이(H=1.5 m)를 상·중·하로 구분하여 채취하였다.

2.4 온도계측

실물부재 시험체의 각 부위별 온도이력을 검토하기 위하여 Fig. 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 Photo. 2에서와 같이 Data logger에 연결하여 30분 간격으로 10일간 측정하였다. 한편, 실물부재의 중앙상부와 모서리부의 열전대는 일반적인 철근의 피복두께를 고려하여 5 cm 정도의 깊이에 설치하였다.

2.5 코어 채취 계획

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

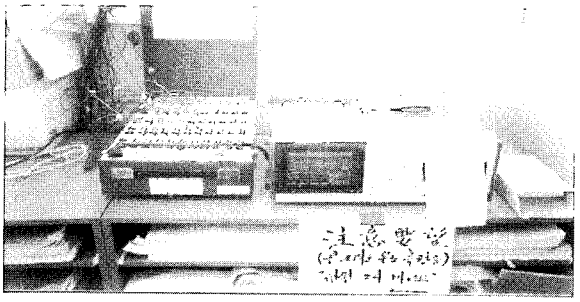
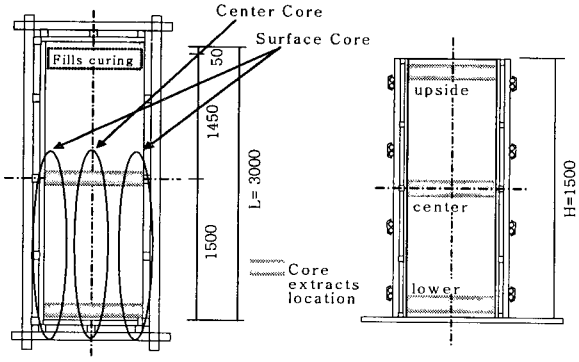


Photo. 2 Hydration measuring



(a) Plan (b) Section

Fig. 3 Location of core sample

3. 실내시험 결과 및 분석

3.1 배합선정을 위한 실내시험

실물부재시험에 적용한 콘크리트의 배합은 Table 7과 같다. 즉, 설계기준강도 24 N/mm^{2}를 만족하도록 사전에 배합시험을 실시하여 W/C가 47.0 %인 1개 수준으로 하였다.

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

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

3.2 레미콘사의 선정, 콘크리트 타설 및 양생

3.2.1 레미콘사 선정

각종 양생방법에 따른 한중콘크리트의 특성을 파악하기 위한 실물부재시험은 강원도 사북(강원랜드 본카지노 호텔 신축공사 현장)지역에서 실시하였다. 레미콘사는 현장까지의 운반시간이 60분 이내의 거리에 있는 3개 레미콘사(D사, H사, T사)를 대상으로 공장조사를 실시하였으며, 그 중 운반거리가 가장 짧고(15분), 온수설비를 갖춘 1개 레미콘사(D사)를 선정하였으며, 거푸집은 Photo. 2에서와 같이 콘크리트의 종류 및 양생방법별로 총 4개의 시험체를 제작하였으며, 열전대를 매립하였다(Photo. 3, 4).

Table 7 Mixing proportion

W/C (%)	S/a (%)	Amount of AFP (ℓ/C=100 kg)	Unit weight(kg/m^3)					
			C	W	AFP	S	G	SP (Cg×%)
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)

Table 8 Results of test

W/C (%)	S/a (%)	Amount of AFP (ℓ/C=100 kg)	Slump (cm)	Air content (%)	Compressive strength(28days)(N/mm^2)		
					Standard curing	Adiabatic curing	Exposed curing
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

3.2.2 콘크리트 타설

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

즉, 레미콘 공장에서 현장까지의 운반시간에 따른 슬럼프 손실이 큰 것으로 나타났는데, 이는 내한촉진제를 사용한 콘크리트의 경우, 콘크리트의 배합과정에서 배합수와 비중이 상이한 내한촉진제(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.

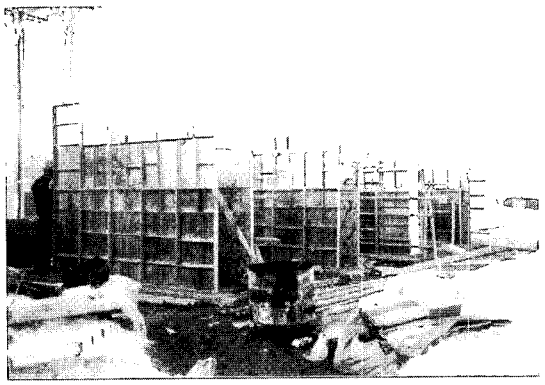


Photo. 3 Form making

Photo. 4 Location of thermocouple

Table 9 Results of quality test in ready mixed concrete and site

Location	Types	Slump (cm)	Air content (%)	Concrete temp. (℃)	Outer temp. (℃)
Remicon Facility	PC	17.0	4.5	12.1	0.2
	AFP	14.5	4.0		
Site	PC	12.0	3.2	11.0	-2.0
	AFP	8.5	3.0		

3.2.3 콘크리트의 양생

실물부재실험에서의 콘크리트 양생은 Photo. 5에서와 같이 4개 시험체 모두를 대상으로 양생막을 설치하는 것을 기본으로 하였다. 본 연구에서는 구조체에 적용한 한중콘크리트의 압축강도를 정확하게 추정할 목적으로 실물부재 시험체와 함께 강도평가용 공시체의 양생방법도 변화시키는 것으로 계획하였으며, 이 때 얻어진 각 재령별 압축강도와 코어강도를 비교 분석하였다.

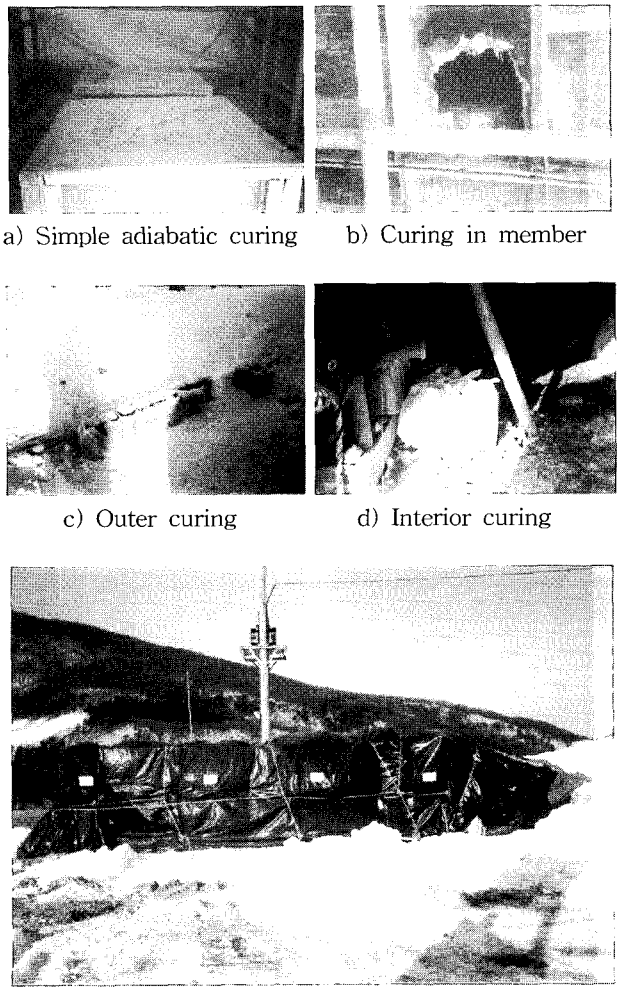
4. 실험결과 및 분석

4.1 실물부재의 온도이력

4.1.1 양생방법에 따른 온도이력

Fig. 4는 실물부재 시험체의 길이방향 중앙부의 온도이력을 측정한 결과를 나타낸 것이다.

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

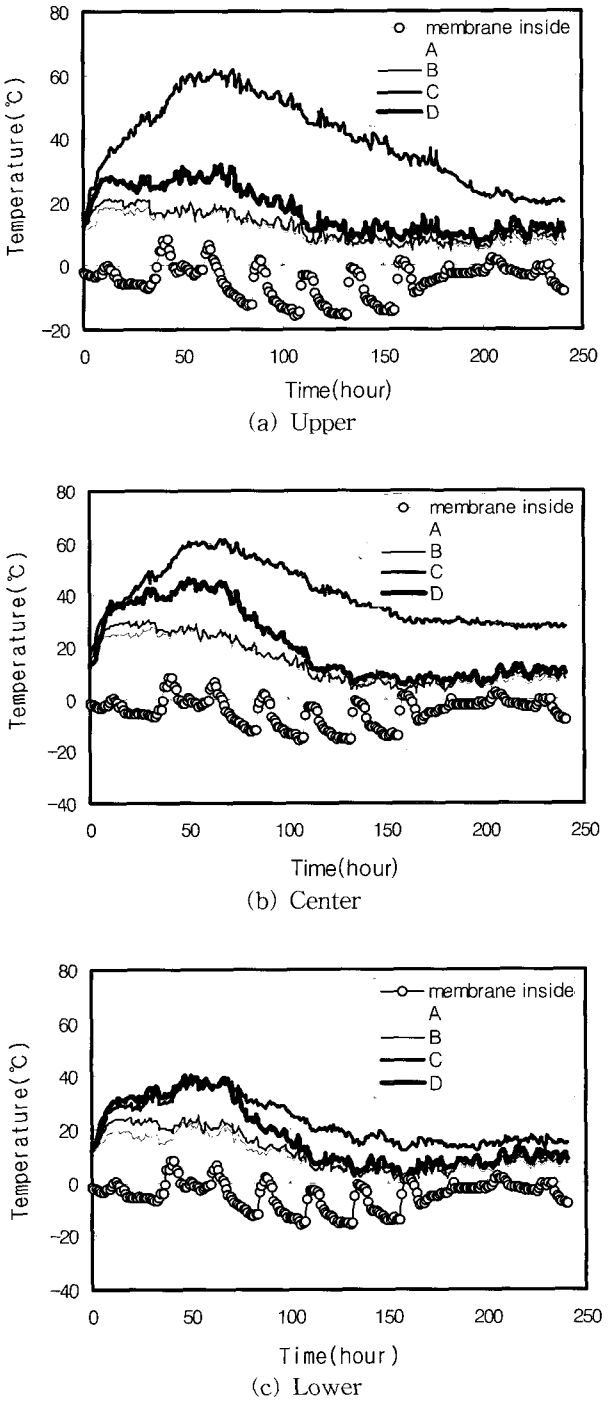


a) Simple adiabatic curing b) Curing in member

c) Outer curing d) Interior curing

Photo. 5 Types of curing methods

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.



(a) Upper

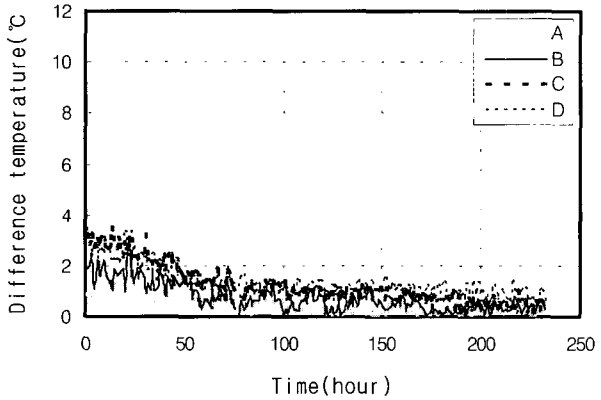
(b) Center

(c) Lower

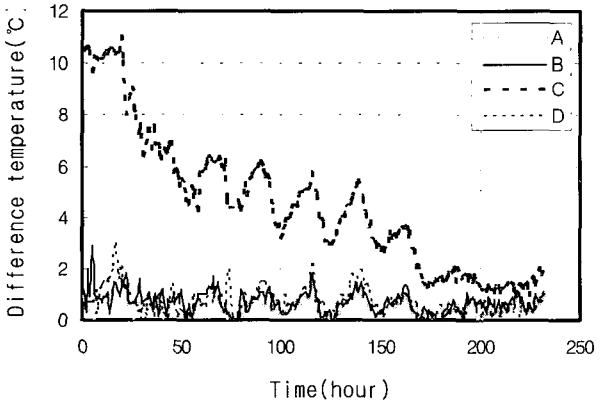
Fig. 4 Temperature curve of center

한편, 양생막내의 외기온이 -14~5℃ 범위에서 반복하는 저온환경임에도 불구하고, 전반적으로 각 시험체의 온도이력은 0℃ 이상을 유지하는 것으로 나타났다. 이는 부재크기에 따른 열용량 효과에 기인한 것으로 판단되며, 아울러, 한중콘크리트의 공사에 있어서 비교적 단면이 큰 구조물을 시공할 경우 콘크리트 자체의 수화열 특성만이라도 사전에 충분히 검토할 수 있다면 간단한 양생방법만으로도 초기동해를 방지할 수 있는 것으로 평가되었다.

Fig. 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 연구[5]에 따르면, 한중시 매스콘크리트에서의 부재표면과 내부의 온도차를 10℃ 이하로 관리하도록 권장하고 있는 점을 고려해 볼 때, 하부의 경우에는 내외부 온도차가 11℃ 정도로 나타나고 있어 온도균열의 발생에는 그다지 문제가 없을 것으로 여겨지지만 바닥부분에서의 온도차가 크게 나타내고 있기 때문에 단열거푸집으로 시공하는 구조물에 대해서는 각별한 주의가 요구된다.



(a) Upper-center



(b) Lower-center

Fig. 5 Temperature difference in center

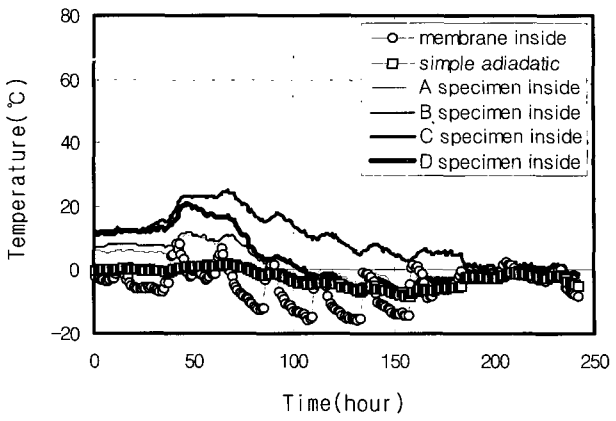


Fig. 6 Temperature curve of inner box embedded in member

4.1.2 실물부재내 매립상자에서의 공시체 온도이력

Fig. 6은 실험계획에서와 같이 실물부재의 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 온도이력을 실물부재의 온도이력과 비교하면 단열거푸집, 급열양생, 내한촉진제, 일반양생, 간이단열양생 및 막내부양생 순으로 크게 감소하는 것으로 나타났는데, 특히 단열거푸집이나 급열양생과 같이 부재내부의 온도이력이 높은 경우는 부재내부에 공시체를 매립하여 양생한다 할지라도 실물부재보다는 외기온의 영향을 더 많이 받는 것으로 나타났다.

일반적으로 국내 대부분의 현장에서의 강도관리용 공시체의 관리 방법이 현장봉함양생으로 관리되고 있는 현실을 감안하여 볼 때, 기존의 강도관리용 공시체의 강도가 다소 낮게 평가되었다는 것을 알 수 있다. 따라서, 실구조물의 온도이력과 가장 유사한 것으로 평가되고 있는 구조체의 온도추종양생방법을 기본으로 하여 구조체의 강도를 평가하는 것이 바람직할 것으로 여겨진다. 즉, 기존의 현장봉함양생방법보다는 구조체 매립이나 간이단열상자를 이용하는 것이 보다 유용하다고 할 수도 있으나, 더욱 정밀한 강도관리를 위해서는 구조체 콘크리트의 온도변화를 추종하여 공시체를 양생하는 방법에 대한 추가검토가 요구된다.[4]

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

4.2 양생방법에 따른 압축강도

4.2.1 압축강도 측정결과

Fig. 7~Fig. 8 및 Table 10은 각 실물부재의 압축강도 시험결과를 나타낸 것이다.

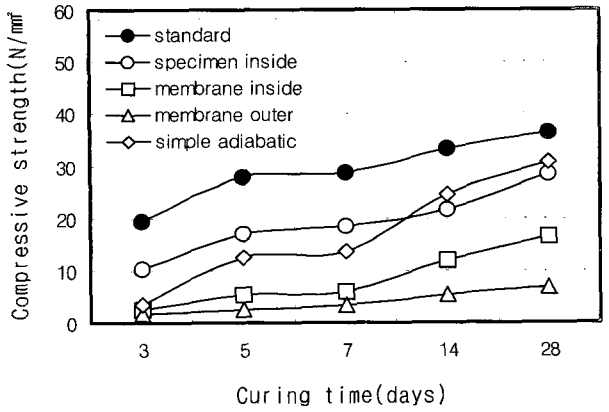


Fig. 7 Compressive strength of concrete used accelerator for freeze protection(member B in Table 10)

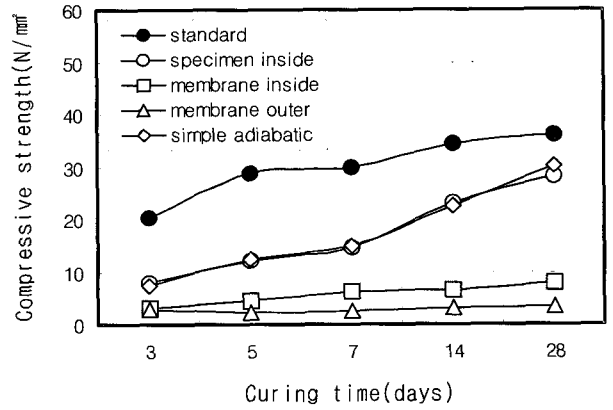


Fig. 8 Compressive strength of plain concrete (member A in Table 10)

측정결과, 일반콘크리트나 내한촉진제를 사용한 콘크리트의 경우는 온도이력 측정결과에서도 알 수 있듯이, 부재내에 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.

한편, 각종 양생방법별로는 양생막외, 양생막내, 부재매립, 간이단열 및 표준양생 순으로 강도가 증가하는 것으로 나타났다. 이와 같이, 압축강도 발현성상은 각 공시체의 온도이력과 밀접한 관계를 갖고 있기 때문에, 강도관리용 공시체의 평가방법을 구조체 콘크리트의 온도추종방법에 의한 양생방법으로 실시한다면 구조체 콘크리트의 강도를 더욱 정확하게 평가할 수 있을 것으로 판단된다.

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

Table 10 Test results of compressive strength

Types		Compressive strength (N/mm²)				
		3 days (DD)	5 days (DD)	7 days (DD)	14 days (DD)	28 days (DD)
A	Standard curing	20.2(90)	28.8(150)	29.9(210)	34.4	36.1
	Embedded in member	7.8(52.6)	12.2(77.0)	14.6(91.3)	23.0	28.1
	Inner membrane	3.0(24.6)	4.4(27.2)	6.1(28.9)	6.6	7.9
	Outer membrane	2.8(2.2)	2.3(7.7)	2.6(12.8)	3.2	3.5
	Simple adiabatic	7.2(31.6)	12.3(46.7)	14.8(54.3)	22.5	30.2
B	Standard curing	19.3(90)	27.8(150)	28.6(210)	33.2	36.3
	Embedded in member	10.1(57.0)	17.1(80.5)	18.6(92.2)	21.6	28.5
	Inner membrane	2.5(24.6)	5.3(27.2)	6.1(28.9)	12.0	16.6
	Outer membrane	1.6(2.2)	2.5(7.7)	3.5(12.8)	5.5	6.8
	Simple adiabatic	3.5(31.6)	12.4(46.7)	13.7(54.3)	24.4	30.6
C	Embedded in member	18.0(82.7)	24.1(131.8)	26.2(164.1)	29.7	32.5
D	Embedded in member	14.2(74.4)	20.0(99.5)	21.2(110.1)	25.0	27.2
	Inner membrane	2.7(24.6)	3.7(27.2)	6.9(28.9)	11.5	13.6

4.2.2 코어강도 측정결과

Table 11과 Fig. 9는 각 시험체의 코어강도 측정결과를 나타낸 것이다. 전반적으로 모서리보다 중앙부의 코어강도가 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 방안도 필요할 것으로 사료된다.

또한, 각 실물부재의 종류에 따른 강도증진 성상은 단열거푸집을 사용한 경우나 내한촉진제를 사용한 경우가 일반콘크리트나 급열양생을 실시한 경우보다 비교적 양호한 경향을 보이고 있다. 아울러, 각 시험체에서 간이단열 양생한 공시체나 부재내에 매립한 공시체의 강도결과가 동일재령의 코어강도와 비교적 유사한 강도특성을 나타내고 있어, 이러한 양생방법이 구조체의 강도관리를 위한 적절한 방안임을 재확인 할 수 있었다

5. 결 론

내한촉진제를 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, 단

Table 11 Test results of core strength

Types		Core strength (N/mm²)			
		28 days		91days	
		Surface	Center	Surface	Center
Corner	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
Center	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

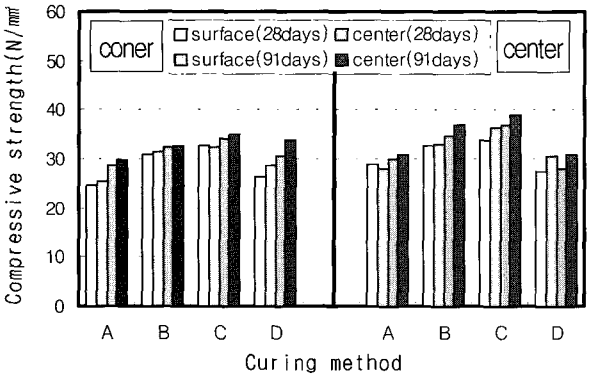


Fig. 9 Test results of core strength in mock-up test

열양생, 급열양생, 내한촉진제 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) 실물부재시험체의 두께가 60 cm로 매시브하기 때문에 부재 체적에 따른 열용량의 효과로 인하여 전반적으로 양생막내 온도가 -14 ℃~-15 ℃의 저온환경임에도 불구하고 양호한 온도이력을 나타내고 있었다. 따라서, 한중콘크리트 공사에 있어서 매시브한 구조물에 시공할 경우에는 외기온의 영향을 크게 받지 않는 것으로 나타나, 콘크리트의 초기동해측면에서는 매우 유리한 것으로 나타났다.

3) 실물부재시험체에서의 강도특성은 각 양생조건에 따라 양호한 온도이력을 보인 관계로 우수한 강도발현을 나타내고 있었으나, 상대적으로 열악한 양생막 내외부에서의 일반콘크리트용 공시체의 경우에는 초기동해에 따른 강도발현 저하를 보인 반면에 내한촉진제 콘크리트의 경우에는 계속해서 강도발현을 보이고 있어 내한촉진제의 사용에 따른 동결온도 저하효과 및 저온환경하에서의 경화촉진효과를 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 코어강도와 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.

참고문헌

1. 한천구외 5인,"내한제 및 단열거푸집에 의한 한중콘크리트 시공의 효율화 관한 기초적 연구(슬래브를 중심으로)", 한국콘크리트학회 가을학술발표 논문집, 한국콘크리트학회, 제13권 2호, 2001, pp.913~918.
2. 이상수외 3인, "내한촉진제를 사용한 시멘트 모르터의 동결 및 강도특성에 관한 연구", 한국콘크리트학회 가을학술발표 논문집, 한국콘크리트학회, 제12권 2호, 2000, pp.1267~1272.
3. 김영진외 4인, "내한촉진제를 이용한 겨울철 콘크리트의 개발에 관한 연구", DEP-002-2002, 대우건설, 2002.
4. 浜幸雄外 2人, "寒中コンクリート", 技術書院, 日本東京, 2000, pp.164~165.
5. 鎌田英治, "耐寒促進劑の品質標準および施工ガイド", 楡印刷(株), (財)北海道建築指導センター, 1997, pp.68~71.

요 약

본 연구는 내한촉진제를 사용한 콘크리트의 현장 적용성을 알아보기 위한 기초적인 실험으로서, 실물부재시험을 통해 각종 양생방법에 따른 온도이력 및 강도특성을 검토하고 한중콘크리트에서 실구조물과 동일한 강도이력을 가질 수 있도록 강도관리용 공시체의 적정 양생방법을 평가하기 위한 것이다. 실물부재시험에서 양생방법에 따른 온도이력은 일반콘크리트(단열양생), 일반콘크리트(급열양생), 내한촉진제 콘크리트 및 일반콘크리트(양생막 양생) 순으로 크게 저하하는 경향을 보이고 있었다. 강도특성은 양생조건이 열악한 양생막 내·외부에서의 일반콘크리트 공시체의 경우에는 초기동해에 따른 강도발현 저하를 보인 반면에 내한촉진제 콘크리트의 경우에는 재령이 경과할수록 계속적인 강도발현을 보이고 있어 내한촉진제의 사용에 따른 동결온도 저하효과 및 저온환경하에서의 경화촉진효과를 나타내고 있었다. 한중콘크리트의 강도관리용 공시체의 적정 양생방법을 검토한 결과, 부재 내부에 매립하여 양생한 경우 및 간이단열양생을 실시한 경우에 있어서의 구조체 콘크리트와의 온도이력은 다소 차이를 나타내고 있지만, 코어강도와는 비교적 근사하게 나타나고 있어 구조체 강도평가를 위한 이들 양생방법의 유효성을 확인할 수 있었다.

핵심용어 : 한중콘크리트, 내한촉진제, 실물부재시험, 단열양생, 급열양생