

내한축진제를 사용한 한중 콘크리트의 현장적용 사례

A Site Application of Winter Concrete Using Freezing Protection Accelerator



원 철*
Chul Won



박 상 준**
Sang-Jun Park



이 상 수***
Sang-Su Lee

1. 서 론

한중 콘크리트 공사에서 가장 중요한 문제는 굳지 않은 콘크리트가 동결하지 않고, 소요의 압축강도를 발휘하도록 하는 것으로, 초기동해의 방지에 필요한 최저강도는 보통 5 N/mm^2 이상으로 규정되고 있다¹⁾. 이러한 소요의 압축강도를 얻기위해 건설현장에서는 콘크리트를 타설한 후, 양생막 또는 양생지붕을 설치하고, 막내부를 급열하는 등의 방안이 주로 채택되고 있는데, 이 방법은 공사비 증대와 함께 균일한 콘크리트를 보장할 수 없기 때문에, 긴급공사를 제외하고는 크게 활용되지 못하고 있는 실정이다.

그러나, 내한축진제를 사용한 콘크리트는 콘크리트 중의 수분이 -3°C 정도까지도 동결하지 않고, 저온환경 하에 있어도 커다란 응결지연을 일으키지 않고 경화가 진행되며, 동결온도 이하에서도 상당량의 수분이 미동결한 채로 존재하고 있기 때문에, 일반 콘크리트에 비해서 동결상태에서의 강도발현성상이 우수한 특징을 갖고 있다²⁾. 이를 이용하면 한중 콘크리트의 초기동해 방지 및 저온에 의한 강도증진지연의 개선이 가능하다고 할 수 있다. 이러한 특성을 지닌 한중 콘크리트를 적극적으로 활용할 수 있다면 동절기 건설공사에 있어서의 시공효율을 극대화시킬 수 있을 것이다.

따라서, 본 고에서는 기존에 검토된 내한축진제를 사용한 한중 콘크리트의 실내실험 및 모의부재 실험 결과²⁾를 바탕으로, 실제 현장에서 간단한 양생방법만으로 초기동해를 방지할 수 있는 내한축진제를 사용한 한중 콘크리트의 배합선정, 제조·생산, 타설 및 양생 등 일련의 한중 콘크리트 품질확보 방안을 제시하고자 하였다. 이를 위해서, 실내실험을 통해 최적배합조건

을 도출하고 레미콘 배치플랜트의 수정배합을 실시하였으며, 신축중인 주상복합구조물의 3개층에 내한축진제를 사용한 한중 콘크리트를 타설하고, 각 부위별 온도이력과 재령별 강도증진성상 등을 분석하여 품질관리방안을 도출하였으며, 또한 기존 방식에 의한 한중 콘크리트와의 시공성 등도 비교·분석함으로써 내한축진제를 사용한 한중 콘크리트의 시공시스템 구축 가능성을 검증하고자 하였다.

2. 내한축진제 콘크리트의 현장적용 계획

2.1 적용 대상 구조물

적용 구조물은 지하 5층, 지상 42층의 순수 철근콘크리트 구조로 건설되는 주상복합 구조물로서, 적용시기는 12월 초순부터 하순까지이며, 콘크리트 규격, 적용부위, 타설량 등은 <그림 1> 및 <표 1>과 같다.

2.2 적용시기 및 기온변화

현장적용실험은 현장의 구조체가 마무리되는 2001년 12월중으로, 이 시기의 서울지역 파년도 기온은 <그림 2>와 같이 조사되었다. 평균기온은 초순 4.2°C , 중순 0.4°C 및 하순 -1.8°C 이

표 1. 한중 콘크리트 적용의 개요

No.	시기	적용부재	콘크리트 규격	타설량 (m^3)
1차	01.12.10	slab, wall	25-24-18	168
			25-300-18	105
2차	01.12.11	helliport slab	25-30-18	137
3차	01.12.24	slab, wall (outrigger)	20-30-50	306
4차	02. 1. 4	helliport slab	25-30-18	118

* 정회원, (주)대우건설 수원천천푸르지오현장 차장
brucewon@paran.com

** 정회원, (주)대우건설 기술연구소 건축연구팀 선임연구원

*** 정회원, 한밭대학교 건축공학과

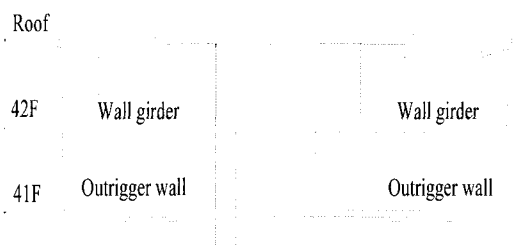


그림 1. 한중 콘크리트가 적용된 부재(A동)

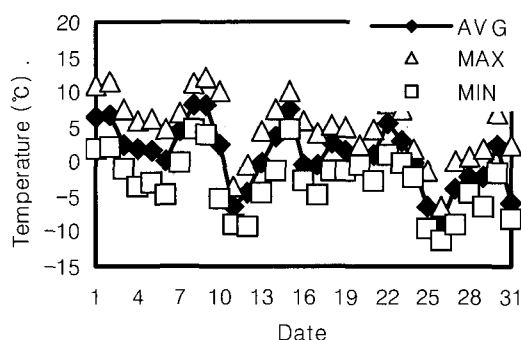


그림 2. 서울의 외기온(2000. 12. 기상청 자료)

고, 일 최저기온은 -3.7°C 에서 -11.4°C 까지 낮아지는 등 기온의 변동폭이 상당히 컸으며, 대부분 경우 한중 콘크리트 적용기간(일평균기온이 4°C 이하인 경우)에 해당되고 있었고³⁾, 더욱이 이는 일본 한중 콘크리트 시공지침에서 규정하고 있는 「일 최저기온 -3°C 이하의 동결작용기」에 포함되는 것이기도 하다³⁾. 따라서, 본 구조물의 콘크리트 타설시의 외기온 조건은 2000년과 유사할 것으로 예상하여 내한축진제를 사용한 한중 콘크리트의 배합을 계획하였다.

표 2. 시험계획

요인	수준		
콘크리트 규격	25-240-18	25-300-18	20-300-50
W/C(%)	42.6	40.0	37.0
단위수량(kg/m^3)	156, 160, 164	156, 160	167
고성능 감수제	P (polycarboxylic ester)		P, M(melamine sulphonate)
굳지 않은 콘크리트	비빔 직후	슬럼프, 공기량	슬럼프, 플로우, 공기량
경과시간(분)	0, 30, 60		
압축 강도 ($^{\circ}\text{D} \cdot \text{D}$)	20, 40, 52.5, 80, 210		
양생온도($^{\circ}\text{C}$)	-2.5 (정온조건)		

* 향온습습기에서 봉합양생

3. 현장적용을 위한 실내실험

3.1 실험 계획

소요 규격에 따른 콘크리트의 배합 및 내한축진제의 사용량은 콘크리트 표준시방서와 선행 연구의 실내 및 모의부재 실험 결과²⁾를 참고하였으며, 실내최적배합을 선정하기 위한 실험 요인 및 수준은 <표 2>와 같다.

내한축진제를 사용한 한중 콘크리트는 적용부재의 배근조건 및 강도조건에 따라 크게 3수준으로 나누어 최적배합을 선정하도록 계획하였다.

양생은 -2.5°C 의 정온조건으로 하였는데, <표 2>의 기상자료를 통해 평균온도는 -1.8°C 정도 일 것으로 예상되나, 실제 시공시 온도저하의 가능성을 고려하고 더 열악한 실험조건을 위해 설정된 값이다. 콘크리트 생산시의 온도는 콘크리트 표준시방서에 따라 10°C 이상으로 하였다³⁾.

3.2 사용재료

시멘트는 보통 포틀랜드 시멘트(1종), 플라이애쉬는 충남 보령산 F급 플라이애쉬를 사용하였고, 잔골재는 남양만산 세척사, 굵은골재는 경기도 파주산 채석을 사용하였다. 내한축진제는 국내 K사에서 제조된 무염화·무알칼리형을 사용하였으며, 각 재료의 물리·화학적 성질은 <표 3~6>과 같다.

3.3 콘크리트 배합

적용대상 부재의 콘크리트 종류는 「굵은골재 최대치수-압축강도-슬럼프(플로우)」로 25-24-18(A), 25-30-18(B), 20-30-50(C, KS F 4009 규격외품)의 3종류이다.

표 3. 시멘트의 물리적 성질

밀도 (g/cm ³)	비표면적 (cm ² /g)	안정도 (%)	응결시간(h : m)		압축강도(N/mm ²)		
			초결	종결	3일	7일	28일
3.15	3200	0.12	3 : 40	5 : 20	26.1	30.7	39.6
-	2800 이상	0.8 이하	60분 이상	10시간 이하	13 이상	20 이상	29 이상

표 4. 플라이애쉬의 화학적·물리적 성질

밀도 (g/cm ³)	비표 면적 (cm ² /g)	단위수량비 (%)	압축 강도비 (%)	강열감량 (%)	습분 (%)	SiO ₂ (%)
2.30	3520	100	90	2.59	0.20	53
1.95 이상	2400 이상	102 이하	60 이상	5 이하	1 이하	45 이상

표 5. 내한축진제 및 고성능 감수제의 물리적 성질

구분	주성분	밀도 (g/cm ³)	동결온도 (°C)	형상	색상
내한 축진제	질소화합물	1.34 ± 0.02	-30		
고성능 감수제 (표준형)	멜라민계 (고축합형)	1.20 ± 0.02	-	액상	암갈색
	폴리카복실 에테르	1.24 ± 0.02	-		

표 6. 골재의 물리적 성질

골재 종류	최대 크기 (mm)	표건 밀도	마모율 (%)	단위용적질량 (kg/ℓ)	실적율 (%)	F.M
잔골재	5	2.57	0.04	1.58	-	2.89
굵은 골재	20	2.65	0.68	1.56	58.2	6.64
	25	2.63	0.81	1.52	57.8	7.08

각종 콘크리트의 종류에 따른 배합조건은 기존의 실내배합시험결과²⁾ 및 <표 7>과 같이 일본 북해도개발국 개발도목연구소에서 제시하는 내한축진제 사용기준(안)⁴⁾을 바탕으로, <표 8>과 같이 선정하였다. <표 2>에서 극한조건인 최저기온을 기준으로 적용하면, -11.4°C로서 평균기온 -1.8°C를 기준으로 하는 경우보다 상당히 열악한 조건이 된다. 따라서, 본 연구에서의 배합조건은 초기에 소요강도를 확보하고 최저기온에 대한 초기 동해를 방지할 목적으로 내한축진제의 사용량을 4ℓ/C = 100 kg로 선정하여 각종 배합조건에 따른 내한축진제 콘크리트의 특성을 검토하였다.

3.4 콘크리트의 비빔방법 및 공시체 제작

실내배합시험에서 콘크리트 비빔은 100ℓ 강제식 팬믹서를 사

표 7. 내한축진제 사용 지침⁴⁾

시멘트	평균 온도	보통포틀랜드시멘트	
		-3°C미만	3ℓ/C = 100 kg
표준 사용량	-3°C ~ -7°C	3ℓ/C = 100 kg, for W/C 45% 5ℓ/C = 100 kg, for W/C 50%	

표 8. 실내시험 배합비

배합 종류	W/C (%)	s/a (%)	단위질량(kg/m ³)						W+AFP (ℓ/m ³)
			C	FA	W	AFP*	S	G	
A	42.6	45.1	366	-	141.4	19.6	809	1011	156
			376	-	145.0	20.1	801	1001	160
			385	-	148.6	20.6	793	991	164
B	40.0	44.1	400	-	160	0	774	1008	160
			400	-	144.0	21.4	774	1008	160
C**	37.0	44.0	406	45	149	24.2	739	966	167

* 내한축진제 사용량 : 4ℓ/C = 100 kg.

** 배합C의 관리기준은 슬럼프 플로우로 하였다.

용하여 각 재료들이 균일하게 분산되도록 시멘트, 잔골재, 굵은 골재를 투입하여 30초간 건비빔한 후, 배합수 및 고성능 AE 감수제를 투입하여 120초간 비빔 후, 슬럼프 및 공기량을 측정하였다. 총 비빔시간은 150초가 소요되었다. 또한, 콘크리트의 슬럼프 및 슬럼프 플로우, 공기량, 비빔온도를 측정한 후, 재령별 압축강도를 측정하기 위해서 압축강도 측정용 Φ100 × 200 mm 공시체를 각 배합조건별로 15개씩 제작하였다. 제작된 공시체는 표준양생수조 및 봉합상태로 항온항습기에서 노출시켜 각각 양생하였다.

경시변화시험은 콘크리트를 비빔직후의 상태로 정치하여 두고, 측정직전에 인력에 의한 비빔을 실시하였다. 압축강도의 측정은 각각의 양생재령에서 양생장소(항온항습기 및 표준양생수조)에서 꺼내어 약 1시간 정도 방치한 후, 덴탈파우더(dental powder)를 이용하여 캡핑을 실시하였다.

3.5 실내시험 결과 및 고찰

3.5.1 슬럼프를 유동성 관리기준으로 한 경우

물-시멘트비가 일정한 경우, 내한축진제의 사용 및 단위수량의 변화와 상관없이, 목표 슬럼프치 18 ± 2.5 cm를 만족하기 위한 고성능 AE 감수제의 첨가량은 단위시멘트중량에 대하여 0.9%로 동일하게 적용하였다.

그 결과, <표 9>에서 나타난 바와 같이 내한축진제를 사용한 콘크리트의 유동성상은 전반적으로 동일 물-시멘트비에서 겉보기 점도의 차이는 보이고 있었지만, 플레인 콘크리트와 유사한 값을 나타내고 있었다. 공기량의 경우에도 동일한 AE제 사용량에 대하여 거의 변동이 없었다. 또한, 압축강도 시험 결과에서

표 9. A 및 B 배합의 실험 결과

배합 종류	W/C (%)	단위질량 (kg/m ³)		슬 럼프 (cm)	공 기 량 (%)	압축강도(N/mm ²)				
		W	AFP			외부봉합양생(°D·D)				
						20	40	52.5	80	210
A	42.6	141.4	19.6	17.0	4.8	2.7	13.9	19.9	23.1	41.2
		145.0	20.1	18.0	4.7	2.6	13.5	20.1	24.2	40.8
		148.6	20.6	18.5	4.7	2.4	13.0	19.6	23.2	40.8
B	40.0	160	0	18.0	5.1	1.9	11.0	22.3	26.1	43.5
		144.0	21.4	18.0	4.8	2.8	15.3	23.0	26.4	45.0

는 적산온도 40°D·D(재령 5일 정도)이전에서 초기동해를 방지하기 위해 필요한 강도인 5 N/mm² 이상의 강도 확보가 가능하였다. 한편, 물-시멘트비 40%에서 플레인 콘크리트는 내한축진제를 사용한 콘크리트에 비해 초기재령에서의 강도발현이 낮은 것을 제외하고는 커다란 차이를 보이고 있지 않았다. 이와 같이, 플레인 콘크리트가 양호한 강도발현을 나타내고 있었던 것은 물-시멘트비의 영향이 컸던 것으로 판단된다.

3.5.2 슬럼프 플로우를 유동성 관리기준으로 한 경우

〈표 10〉은 슬럼프 플로우를 유동성 관리기준으로 한 경우의 배합시험 결과이다.

〈표 10〉에서와 같이, 유동성은 고성능 감수제 종류에 상관없이 동일 사용량에 대하여, 50±5 cm를 만족시키고 있었으나, 콘크리트의 성상은 폴리카르본산제가 더 양호한 것으로 관찰되었다. 또한, 초기재령에서의 압축강도를 검토한 결과, 폴리카르본산제의 경우가 강도증진성상이 우수한 것으로 나타났으며, 적산온도 20°D·D(약 2.7일)전후에서 초기동해를 방지하기 위해 필요한 강도인 5 N/mm² 이상의 강도를 확보할 수 있었다. 이와 같이 물-시멘트비 37%에서 초기동해를 방지할 수 있는 소요재령이 단축됨에 따라 물-시멘트비의 영향이 초기동해 방지효과에 상대적으로 크게 미친다고 할 수 있다.

3.5.3 경시변화

〈표 11〉은 실험계획에 따라 단위결합재량이 400 kg/m³ 이상으로, 상대적으로 부배합인 콘크리트 종류 B 및 C에 대한 경시변화 시험결과를 나타낸 것이다.

목표슬럼프 18 cm에 있어서, 내한축진제를 사용한 콘크리트는 플레인 콘크리트와 거의 유사한 경향을 보이고 있어 내한축진제를 사용함에 따른 굳지 않은 콘크리트의 성상은 커다란 차이를 보이고 있지 않았다.

또한, 슬럼프 플로우(S.F)의 경우에는 폴리카르본산제가 유동성 저하가 거의 없는 것에 대해서, 멜라민계의 경우 상대적으로 크게 저하하고 있었다. 이는 폴리카르본산제 고성능 감수제가

표 10. C 배합의 실험 결과

W/C (%)	단위 질량 (kg/m ³)		S.F* (cm)	공기량 (%)	압축강도(N/mm ²)			SP 종류
	W	AFP			외부봉합양생 (°D·D)			
					15	30	52.5	
37	149	24.2	55.0	3.0	4.0	12.5	26.2	P
			52.5	3.5	2.8	10.2	25.0	M

표 11. 경시변화 실험 결과

배합 종류	W/C (%)	s/a (%)	시험항목	경과시간 (min.)			AFP	Type of SP
				0	30	60		
B	40.0	44.1	슬럼프(cm)	18	16	13	×	P
			공기량(%)	5.1	4.8	4.4		
			슬럼프(cm)	18	15	12	○	P
			공기량(%)	4.8	4.5	4.2		
			S.F(cm)	55	55	50	○	P
			공기량(%)	3.0	2.0	1.5		
C	37.0	44.0	S.F(cm)	52.5	39	30	○	M
			공기량(%)	3.5	2.8	2.0		

다중 연쇄고리를 가지고 있어 뛰어난 분산성능과 유지성능을 발휘하고 있기 때문으로 사료된다.

3.6 현장적용배합의 선정

〈표 2〉에 나타낸 2000년 12월 하순의 외기조건을 대상으로 실시한 이상의 실내실험 결과에서, 콘크리트 종류 A, B의 경우에는 설계기준강도에 상관없이, 결합수 160 l/m³일 때가 굳지 않은 성상 및 소요강도를 만족하는 것으로 나타났다. 콘크리트 종류 C의 경우에는 고성능 감수제 종류에 상관없이 동일 사용량에서, 50±5 cm를 만족시키고 있었으나, 굳지 않은 콘크리트의 성상, 경시변화 및 각 재령에서 강도증진성상은 폴리카르본산제 고성능 감수제가 우수한 것으로 나타나고 있어 이를 현장적용 배합에 사용하였다.

한편, 현장적용에 사용할 최적 내한축진제량은 실내시험에서 사용된 정온 -2.5℃ 조건에서의 4 l/C = 100 kg의 경우, 현장에 상외기온 -1.8℃에 비해 열악함에도 불구하고 매우 양호한 결과를 보이고 있어, 현장적용 배합에 있어서의 내한축진제 사용량을 3 l/C = 100 kg로 선정하였다. 이는 〈표 7〉에 제시된 내한축진제 사용기준(안)의 표준사용량과 동일하다. 현장적용을 위한 배합은 콘크리트 종류에 대해 유동성 및 압축강도를 만족시키기 위한 배합으로 〈표 12〉와 같이 선정하였다.

표 12. 현장적용 배합비

배합 종류	W/C (%)	s/a (%)	단위질량(kg/m ³)						SP (%)	SP 종류
			C	FA	W	AFP*	S	G		
A	42.6	45.1	376	-	149	15	801	1,001	0.9	P
B	40.0	44.1	400	-	148	16	774	1,008	0.9	
C	37.0	44.0	406	45	154	18	739	966	1.5	

* AFP 사용량 : 3ℓ/C = 100 kg

4. 현장 적용 및 결과 분석

4.1 배치 플랜트 실험

동일한 재료를 사용하여도 비빔량이 소량인 실내실험 결과와 비빔량이 대량인 배치 플랜트에서의 생산결과는 상이한 경우가 많다. 따라서, 실내배합 실험에서 최적으로 선정된 배합을 대상으로 배치 플랜트에서 생산성 실험을 실시하였다. 실험은 현장 타설 5일전에 실시되었으므로, 현장타설시와 유사한 외기조건을 예상하여, 생산후의 경시변화를 확인하고, 압축강도 측정용 공시체는 그늘진 곳에서 노출상태로 양생하여, 초기동해를 방지하기 위한 압축강도 5 N/mm²를 확보하는 재령을 산정하는 것을 목표로 하였다.

〈표 13〉은 배치 플랜트 실험 결과이다. 유동성은 생산후 60분에서 슬럼프는 1.5 cm, 슬럼프 플로우는 4 cm가 저하되었고, 공기량의 경우는 대략 1.2% 정도의 손실이 발생하였다. 현장 타설을 위한 콘크리트 생산시에는 현장 받아들이기 시점에서의 공기량이 KS F 4009기준인 4.5 ± 1.5%에 적합하도록 AE제를 상향조정하는 것으로 하였다.

압축강도 측정 결과, 초기동해를 방지할 수 있는 강도인 5 N/mm²를 얻는 시기는 모든 경우에 있어서 2일(21.3°D·D)로 나타났다. 이것은 실내실험의 경우보다 빠른 재령으로, 배치 플랜트에서 콘크리트 생산시 외기온이 2℃였고, 그 이후 3일간의 평균기온이 1.1℃로서 실내실험 조건인 -2.5℃보다 온도조건이 상승되었기 때문으로 분석된다.

4.2 콘크리트 타설 및 양생

레미콘 공장에서 현장까지의 운반시간은 평균 50분 정도이고, 레미콘 공장에서 생산직후 품질시험을 실시한 후, 현장에서 받아들이기 시점에서의 콘크리트 품질을 재확인하였다. 〈표 14〉는 각각의 타설 회수에 따른 평균치로서 레미콘 공장 및 받아들이기 시점의 품질성능을 나타낸 것이다.

품질성능 시험 결과, 레미콘 공장에서 현장까지의 운반시간에 따른 슬럼프 손실은 평균 4.25 cm, 슬럼프 플로우는 4 cm로 나타났다. 공기량 손실은 0.78%로 배치 플랜트에서 실험한 값

표 13. 배치 플랜트 시험 결과

배합 종류	W/C (%)	s/a (%)	경과 시간 (min.)	슬럼프 (flow) (cm)	공기량 (%)	압축강도(N/mm ²)		
						1day	2days	3days
A	42.6	45.1	0	20.0	3.7			
			30	19.5	2.7	0.19	5.0	13.2
			60	18.5	2.5			
B	40.0	44.1	0	21.0	4.5	0.51	6.2	13.9
C	37.0	44.0	0	54×54	4.0	0.06	6.2	13.1
			60	51×49	2.6			

표 14. 레미콘 공장 및 받아들이기 지점에서의 품질성능

타설 순서	배합 종류	검사 위치	슬럼프 (flow) (cm)	공기량 (%)	콘크리트 온도 (℃)	외기온 (℃)
1차	A	공장	22.5	5.0	19.5	-1.4
		현장	17.5	4.0	16.3	
	B	공장	21.0	5.1	19.0	1.6
2차	B	현장	18.0	4.4	17.4	
		공장	22.0	4.6	18.0	1.9
3차	C	현장	17.5	4.0	14.9	
		공장	(56.0)	5.0	14.0	-0.7
4차	B	현장	(51.0)	4.2	12.8	
		공장	22.5	5.4	14.4	2.7
		현장	18.0	4.6	13.6	

보다 적게 나타났다. 이는 공기량의 경우에는 AE제 사용량을 조정하여 생산시 목표치를 높게 함으로써 손실량을 줄일 수 있었기 때문으로 판단된다.

콘크리트 구조체의 강도를 평가하기 위한 공시체의 양생은 표준양생, 간이단열양생(두께 50 mm 스티로폼을 사용한 상자 안에서의 공시체 양생) 및 외부부합양생 방법으로 실시하였다. 공시체의 양생기간은 구조체 콘크리트의 강도관리 재령인 28일까지로 하였다. 한편, 실구조물에서의 내한축진제를 사용한 콘크리트의 양생은 슬래브 부위에서만 비닐을 사용하여 급격한 초기 건조를 방지하고자 하였다.

4.3 온도이력

동절기 조건하에서의 타설시기, '부재의 종류 및 위치에 따른 온도이력을 검토하기 위하여, 데이터로거를 이용하여 구조체 및 강도측정용 시험체에 대하여 온도이력을 〈표 15〉와 같이 측정하였다. 측정기간은 초기동해방지를 위한 5 N/mm² 이 확보되는 시점까지로 하였다.

타설횟수에 따른 부위별 및 각 시험체의 온도이력을 비교·검토한 결과는 〈그림 3 및 4〉와 같다.

〈그림 3〉에서 나타난 바와 같이, 외기온이 0℃ 이상인 조건임에도 불구하고 부재두께가 120 mm로 얇은 슬래브의 경우에

표 15. 콘크리트 온도측정 계획

타설 순서	배합 종류	측정대상		측정 개수
		부재	공시체	
1차	A	슬래브(상, 중, 하), 외기온	외부봉합, 간이단열	6
3차	C	슬래브(상, 중), 아웃리거(상, 중), 외기온	외부봉합, 간이단열	7

는 외기온의 변화와 유사한 변화를 보이고 있어, 외기온의 영향을 많이 받고 있는 것으로 나타나고 있다.

〈그림 4〉에서 나타난 바와 같이, 외기온이 $-2.5 \sim 5^{\circ}\text{C}$ 조건임에도 불구하고 두께 400 mm로서 매시브한 outrigger 부재인 경우에는 외기온의 변화에 상관없이 초기 40시간 동안 10°C 이상을 나타내고 있다. 이는 콘크리트 자체의 수화열 만으로도 초기 동해를 방지할 수 있는 소요강도를 충분히 확보할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 슬래브는 간이단열양생 공시체와 유사한 온도이력거동을 보이고 있었다.

한편, 초기재령에서의 측정부위별 온도이력에 의한 적산온도

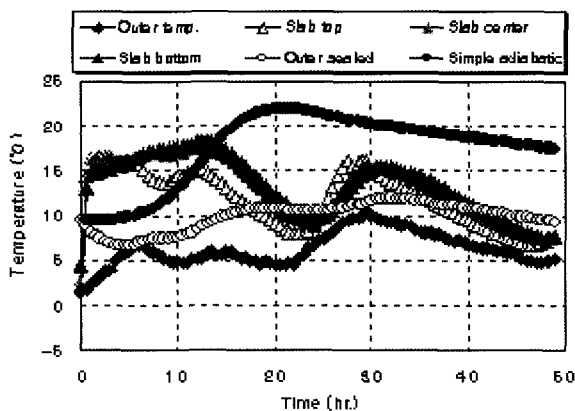


그림 3. 1차 타설 콘크리트의 온도이력

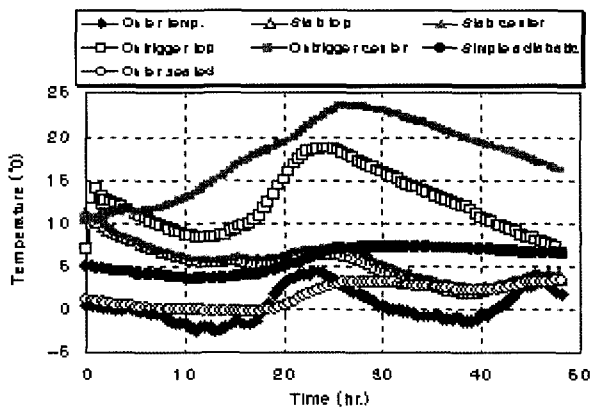


그림 4. 3차 타설 콘크리트의 온도이력

를 산정한 결과, 〈표 16〉에 나타난 바와 같이, 실 구조체에서의 적산온도는 간이단열양생을 실시한 공시체의 적산온도와 양호한 관계를 갖는 것으로 나타나고 있다.

일반적으로 현장에서 강도관리방법으로 사용되는 외부봉합양생공시체의 경우, 한중시 콘크리트 강도관리용 공시체의 양생방법으로 과소평가되는 경향이 있기 때문에, 향후에는 현장에서 쉽게 사용할 수 있는 간이단열양생에 의한 공시체 관리가 유용하다고 할 수 있다. 그러나 실구조체의 온도 변화와 연동하여 강도관리용 공시체의 양생온도를 결정하는 온도추종양생 방법이 정밀한 강도관리를 위한 방법으로서 향후 검토가 필요할 것으로 판단된다⁴⁾.

4.4 압축강도 측정 결과

타설회수 및 콘크리트 종류에 따른 각종 양생조건별 압축강도 측정결과는 〈표 17〉 및 〈그림 5~7〉에 나타난 바와 같다. 〈표 17〉에서의 적산온도는 표준양생의 경우, 20°C 를 기준으로 하였고 외부봉합의 경우, 기상청의 자료(2001년 12월의 일평균

표 16. 부재별 적산온도

타설 순서	재령 (일)	적산온도(°D·D)							
		슬래브			아웃리거		양생방법		외 기 온
		상	중	하	상	중	외부 봉합	간이 단열	
1차	1	15.1	22.8	24.5	-	-	18.9	25.5	15.1
	2	44.0	46.2	47.0	-	-	39.8	54.8	32.6
3차	1	16.7	17.3	-	21.6	17.7	10.4	14.4	10.1
	2	30.3	31.9	-	44.3	55.4	23.1	31.3	20.8

표 17. 양생조건 별 압축강도

타설 순서	배합 종류	양생 조건	압축강도(N/mm^2)							
			1일	2일	3일	5일	7일	14일	28일	
1차	A	표준양생	8.6	17.5	20.8	25.2	27.2	30.1	34.4	
		적산온도($^{\circ}\text{C} \cdot \text{D}$)	30	60	90	150	210	420	840	
		외부봉합	2.0	14.6	16.0	18.7	21.6	26.5	30.3	
		적산온도($^{\circ}\text{C} \cdot \text{D}$)	15.9	31.3	38.7	48.1	62.2	115.3	222.3	
		간이단열	9.0	20.2	23.9	24.8	25.3	27.4	34.1	
		표준양생	9.6	17.2	21.7	27.0	29.7	33.4	37.0	
2차	B	외부봉합	2.7	11.7	13.1	17.1	19.5	26.5	27.8	
		적산온도($^{\circ}\text{C} \cdot \text{D}$)	15.4	22.8	27.7	38.9	51.4	110.8	209.8	
		간이단열	9.7	17.3	19.7	22.0	22.3	28.5	31.2	
		표준양생	4.1	9.9	18.6	28.9	33.0	40.8	49.4	
		외부봉합	1.2	3.6	8.6	23.4	27.9	31.3	37.5	
		적산온도($^{\circ}\text{C} \cdot \text{D}$)	11.4	21.0	29.6	46.6	59.9	107.0	297.5	
3차	C	간이단열	3.5	8.3	13.9	25.7	28.3	34.6	41.2	

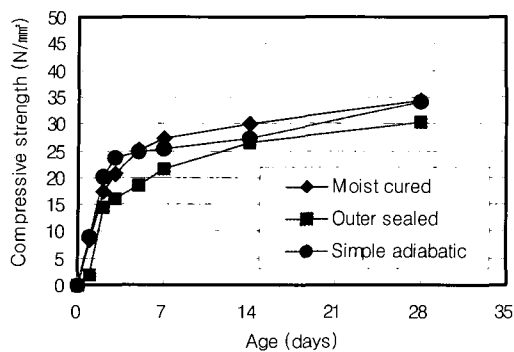


그림 5. 1차 타설 콘크리트의 압축강도(25-24-18)

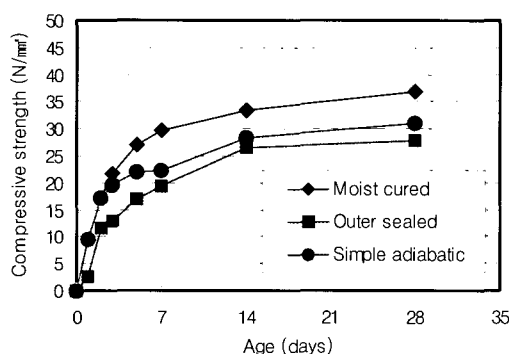


그림 6. 2차 타설 콘크리트의 압축강도(25-30-18)

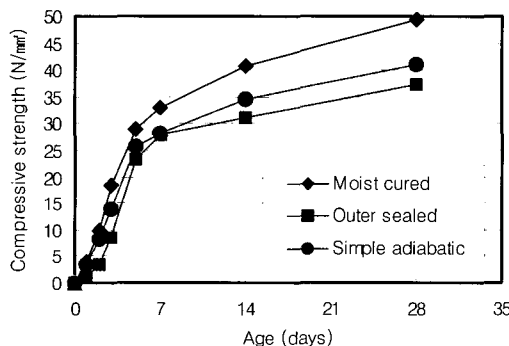


그림 7. 3차 타설 콘크리트의 압축강도(20-30-50)

기온)를 이용하였다.

저온환경 하에서의 콘크리트 종류에 따라 적용된 내한축진제를 사용한 한중 콘크리트의 강도증진성상은 일평균기온 및 양생조건에 따라 상이하게 나타내고 있다. 가장 열악한 조건이라 할 수 있는 슬래브의 경우, 초기에 적산온도가 구조체의 온도이력과 유사한 간이단열양생의 경우에 표준양생과 봉함양생사이의 압축강도를 나타내고 있어 적산온도의 크기에 따른 압축강도 증진성상이 커다란 영향을 미친다는 것을 알 수 있다. 한편, 간이단열양생에 의한 강도증진성상은 25-300-18를 제외하고는 재령 28일에 있어서의 배합강도에 만족하는 것으로 나타나고 있지만, 25-300-18의 경우에는 상대적으로 가장 낮은 외

기온, 실내시험 조건과 배치 플랜트시험 조건의 상이함(믹서형식, 비빔성능, 표면수보정, 입도보정, 콘크리트의 양 등)으로 인하여 목표 배합강도에 다소 떨어지는 것으로 나타났다. 따라서, 내한축진제를 사용한 한중 콘크리트를 배합설계할 경우에는 적용 대상 구조물의 환경조건을 충분히 검토한 후, 재령과 온도조건에 따른 강도증진성상을 사전에 확립하는 것이 한중 콘크리트의 초기동해 방지 및 경제적인 배합선택에 있어서 중요한 요인이 된다. 초기재령에 있어서 강도증진성상이 <그림 5 및 6>에서 나타난 것과는 달리 <그림 7>의 경우가 상대적으로 낮은 것은 유동성을 슬럼프 플로우로 관리하는 배합으로 인해 <표 12>에서 보듯이, 상대적으로 고성능 감수제가 다량으로 첨가되어 초기 응결지연성상에 따른 결과로 분석된다.

플라이애쉬를 사용하지 않은 콘크리트 종류 A, B의 경우, 초기동해를 방지하기 위한 압축강도 5 N/mm^2 이상을 확보하기 위한 적산온도가 간이단열양생에서는 $16^\circ\text{D} \cdot \text{D}(1\text{일})$ 이하인 것으로 나타났다. 외부봉함양생의 경우에 있어서는 $22.8 \sim 31.3^\circ\text{D} \cdot \text{D}(2\text{일})$ 에 $12 \sim 15 \text{ N/mm}^2$ 정도를 확보하고 있어서 강도발현이 다소 지연되었다. 그러나, 내한축진제를 사용한 콘크리트의 실내시험 결과에서 압축강도 5 N/mm^2 이상을 확보하기 위한 기간으로 산정된 2.6일(W/C 40%)의 경우보다 현장적용에서는 그 강도발현기간이 단축되고 있었다. 이는 배합선택이 외기조건을 평균 -2.5°C (최저온도 -12°C)로 하였으나, 콘크리트 타설시의 외기조건이 평균 0°C (최저온도 -5.5°C) 이상이었다는 것과 함께, 타설개시 시점을 외기온이 상승하기 시작하는 시점으로 하였기 때문으로 분석되었다. 본 적용현장의 경우와 같은 평균기온 -2°C (최저기온 -12°C)인 외기조건에서 적용되는 한중 콘크리트로서 내한축진제를 사용할 경우에는, 간단한 비닐보양만으로도 초기동해에 의한 피해없이 관리재령에서 소요품질을 충분히 만족할 수 있는 것으로 판단되었다.

5. 경제성 분석

여기에서는 본 적용현장의 한중 콘크리트 공사를 진행함에 있어서, 내한축진제를 사용한 콘크리트를 타설할 경우와 기존의 보온양생 방법으로 콘크리트를 타설할 경우에 소요되는 직접비만을 비교 대상으로 하여 <표 18>에 나타났다.

<표 18>에서 보듯이, 보온양생 대비 내한축진제를 사용한 콘크리트를 타설하였을 경우, 가설설비, 천막공사, 급열양생 등의 부대비용이 소요되지 않음으로서, 공사비 총액은 7.0%가 절감되는 것으로 나타났다. 이에 더하여, 직접 소요되는 비용 외에도 비용으로 산출하지 않은 공기절감 및 관리비와 함께, 비용으로 산출할 수 없는 콘크리트의 품질확보 등을 고려하면, 현행의

표 18. 경제성 검토 결과

구분	콘크리트 규격	소요량 (m ³)	재료비 (원/m ³)	부대비용 (천원/회)	타설 회수 (회)	총액 (천원)	비율 (%)
내 한 축 진 제	25-24-18	168	53,107				
	25-30-18	360	55,556	-	4	49,000	93.0
	25-30-50	306	65,614				
보 온 양 생	25-24-18	168	36,174				
	25-30-18	360	39,219	4,500	4	52,708	100
	25-30-50	306	47,425				

한중 콘크리트 타설방법과 비교하여 내한축진제를 사용한 콘크리트로 타설할 경우가 경제적으로 더 유리한 것으로 분석되었다.

또한, 시공성 측면에서 보면, 콘크리트 타설과정은 방법에 상관없이 동일하게 진행되지만, 보온양생을 실시할 경우에는 양생막 설치를 위한 가설설비 및 천막을 설치하고, 콘크리트를 타설한 후, 혹한기인 경우에는 소요작업강도가 발현되기까지 급열양생을 실시하여야 한다. 또한, 상부층 공사를 진행하기 위한 가설설비 및 천막의 해체공사가 진행되어야 하는 등의 공정이 증가하게 되어 시공성은 저하되고 공기는 증가되고 있다.

반면에, 내한축진제를 사용한 콘크리트로 타설하게 되면, 간단한 비닐 정도로 양생하는 것이 가능하므로, 가설설비나 천막 등의 보온설비에 대한 공정이 필요 없게 된다. 동시에, 낮은 온도에서도 콘크리트의 동결을 막아 콘크리트의 경화가 지속적으로 이루어짐으로서, 급열양생을 하지 않아도 된다. 또한, 후속 공사를 위한 보온설비의 해체공사가 필요 없게 되는 등 시공성 개선에 있어서도 효과적이다. 그러나, 현재의 레미콘 공장의 혼화제 설비용량은 소량으로 투입되는 감수제에 맞게 제작되어 있어, 상대적으로 많은 양이 소요되는 내한축진제를 사용할 경우에 있어서는 인력투입에 의존해야 한다는 문제점도 있어서, 레미콘 공장의 설비확보가 선행되어야 할 필요가 있다.

이상을 종합하면, 내한축진제를 사용한 콘크리트로 타설하는 경우가 현행의 보온양생에 의한 방법보다 시공성 및 경제성 측면에서도 유리한 것으로 분석되었다.

6. 결 론

본 현장적용사례는 저온환경 조건하에서 초기동해를 방지할 수 있는 내한축진제를 사용한 콘크리트를 적용함으로써, 기존의 양생관리에 따른 문제점을 해결하고, 시공 및 품질을 용이하게 확보할 수 있도록 콘크리트 배합설계 단계에서 대책을 강구한 것으로 결론은 다음과 같다.

- 1) 내한축진제를 사용한 굳지 않은 콘크리트의 유동성상은 전반적으로 동일 물-시멘트비에서 플레인 콘크리트와 유사한 결과를 나타내고 있다. 또한, 고성능 감수제의 종류에 따른 경시변화에서는 초기 플로우 및 유동성 손실이 적게 나타나는 폴리카르본산계 고성능 감수제가 우수한 것으로 판단된다.
- 2) 내한축진제를 사용한 한중 콘크리트의 강도관리용 공시체 평가방법은 기존의 현장 봉함양생방법보다는 실구조물의 온도이력과 유사한 경향을 보이는 간이 단열양생방법에 의한 평가를 실시하는 것이 실 구조물의 강도평가에 더 유효할 것으로 판단된다.
- 3) 내한축진제를 사용한 콘크리트는 평균기온 -2℃(최저기온 -12℃)에서 간단한 비닐양생만으로 초기동해 방지를 위해 필요한 압축강도 5 N/mm²의 발현이 가능하였고 재령 28일에 목표로 하는 소요강도를 만족시켰다.
- 4) 현행의 한중 콘크리트 타설방법과 비교하여 내한축진제를 사용한 콘크리트로 타설할 경우가 경제적으로 더 유리한 것으로 분석되었다. 그러나, 상대적으로 많은 양이 소요되는 내한축진제를 사용할 경우에 있어서는 인력투입에 의존해야 한다는 문제점도 있어서, 레미콘 공장의 설비확보가 선행되어야 할 필요가 있다. □

참고문헌

1. 洪悅郎, 鎌田英治, 長島弘, 寒中コンクリート, 2000.
2. (주)대우건설 기술연구소, 내한축진제를 이용한 겨울철 콘크리트의 개발에 관한 연구, 2001.
3. 日本建築學會, 寒中コンクリート施工指針・同解説, 1998.
4. 北海道開発局, 日曹マスタービルダーズ中央研究所, 耐寒剤を利用した寒中コンクリート合理化に関する研究, 1990.