

내한성 혼화제를 이용한 시멘트 모르타르의 초기양생 온도변화에 따른 강도증진 특성

Properties of Strength Development Under Various Curing Condition at Early Age of Cement Mortar Using Agent for Enduring Cold Weather

한 천 구* 홍 상 희** 김 현 우***
Han, Cheon-Goo Hong, Sang-Hee Kim, Hyun-Woo

Abstract

In this study, the admixtures for agents for enduring cold weather used widely are collected and applied to cement mortar to analyze the strength development due to variation of curing temperature at early age. The test results show that anti-freezing admixture have some problems due to high chloride content, which may cause the corrosion of reinforcement embedded in concrete. However, the mortar applied by accelerator and another kind of agent for enduring cold weather produced by S company lead to delay of strength development in low temperature. Also, it is clarified that there are no significant problems for cement mortar in strength development due to low temperature if a suitable kind of agent enduring cold weather is used and cement mortar is cured for more than 7.5 °D.D at early age.

keywords : Cold weather Concreting, Agent for Enduring Cold Weather, Early Curing Temperature, Maturity.

1. 서 론

최근, 우리나라의 건설공사가 대규모화, 고층화 됨에 따라 연중시공이 중요하게 부각되고 있다. 이러한 연중시공활동은 겨울철 동계공사가 불가피한 실정으로 한중콘크리트의 적용도 필수적이다.^{(1)~(6)}

그러나, 한중콘크리트 공사는 초기동해 피해와 강도발현이 지연된다는 문제점을 가지고 있어, 현장에서 충분한 시공계획을 수립하지 않고 콘크리트를 타설하였을 경우는 구조물에 커다란 문제를 야기시킬 수 있다.

특히, 초기동해와 관련하여는 초기동해에 견딜수 있는 강도(일반적으로 압축강도 50 kgf/cm²)를 얻을

* 정희원, 청주대학교 건축공학과 교수

** 정희원, 청주대 대학원, 박사과정

*** 정희원, 청주대 대학원, 공학석사

• 본 논문에 대한 토의를 2001년 6월 30일까지 학회로 보내주시면 2001년 10월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

때까지 콘크리트를 동결하지 않도록 보온양생을 실시하는 방법^{(2)~(4)}과 시멘트의 수화반응을 촉진하고, 타설된 콘크리트의 동결온도를 낮추는 내한성 혼화제(내한촉진제, 방동제, 조강제를 종합하여 지칭함)의 활용 방법등이 있다. 하지만 최근 건설공사 현장에서는 무리한 공사기간으로 인하여 적절한 보온 대책을 수립하지 않은채 품질이 확인되지 않은 내한성 혼화제를 사용하여 초기동해 문제를 해결하려는 사례도 있어 경우에 따라서는 구조체에 문제점으로 작용할 수 있고, 또한 이와같은 구조물의 안전진단시에는 많은 어려움도 제기된다.

그러므로 본 연구에서는 국내외에서 생산되는 많은 내한성 혼화제의 종류 중 국내에서 유통되는 대표적인 제품을 시멘트 모르타르에 적용하여 초기양생 온도변화에 따른 강도증진 성상을 분석, 내한성 혼화제의 품질특성을 구명함으로써 내한성 혼화제를 이용한 한중 콘크리트 시공 및 안전진단 실무에 참고자료로 제시하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 Table 1과 같다.

요 인	수 준	
배합 사항	배합비	1 : 3
	W/C (%)	48%(내한성 혼화제를 혼입하지 않은 배합에서 시멘트 모르타르의 목표플로우치가 150±10mm가 되도록 배합설계하여 W/C를 결정함)
	내한성 혼화제 종류	■ 국내산(2), 일본산(1), 스위스산(1), 중국산(3)
	혼화제량 (%)	■ 0, 적정혼입률
양생온도 (°C)	8	■ Fig. 1 참조
실험 사항	굳지않은 모르타르	■ 플로우치 ■ 공기량 ■ 열화물량 ■ 응결시간 ■ 동결온도
	경화 모르타르	■ 압축강도

즉, 배합사항으로 시멘트 배합비는 시멘트:잔물재를 1:3으로 하고, W/C는 내한성 혼화제를 혼입하지 않은 배합에서 시멘트 모르타르의 목표 플로우값이 150±10mm가 되도록 배합설계하여 W/C가 48%로 결정된 다음, 이를 전 배합에 동일하게 적용하였다.

내한성 혼화제는 국내외에서 생산되는 것으로 7 수준(국내산, 일본산, 스위스산은 내한제이고, 중국산 3종류는 방동제이며, 국내산 1종류는 조강제로 지칭되고 있음)을 선정하여 무혼입 및 혼화제 회사에서 추천하는 적정혼입율의 2수준으로 실험 하였다.

실험사항으로는 굳지않은 모르타르에서 플로우값, 공기량, 열화물량, 응결시간 및 동결온도를 측정하였고, 경화 모르타르에서는 20°C와 -5°C간의 초기 및 후기 양생온도간의 변화(Fig. 1 참조)를 주어 91일까지 일정 재령에서 압축강도를 측정하였다.

2.2 사용재료

본 실험의 사용재료로 시멘트는 국내산 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였고, 잔 골재는 청원군 미호천산 강도래를 사용하였는데, 그 물리적 성질은 Table 2 및 3과 같다. 단, 강도래의 입도곡선은 표준입도 범위에 만족하는 것을 사용하였다.

비중	분말도 (cm ² /g)	안정도 (%)	응결 시간(분)				
			초결	중결	3일	7일	28일
3.15	3.432	0.07	222	391	246	314	409

골재 종류	비중	조립율	흡수율 (%)	단위용적 중량 (kg/m ³)	인형판적 실험율 (%)	0.08mm체 통과율 (%)
산골재	2.57	2.62	1.46	1,598	61.0	2.06

혼화재료로서 내한성 혼화제는 국내 및 외국산 제품으로 기본성분과 특성은 Table 4와 같다.

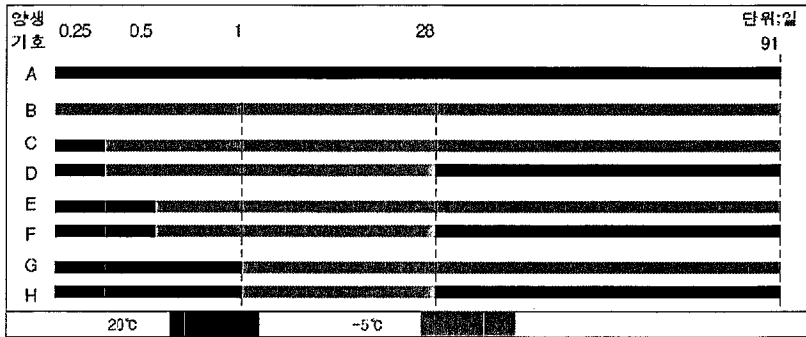


Fig. 1 양생은도

Table 4 내한성 혼회제의 특성

종류	기호	구성분	결가량 (C×%)	비중	pH	빙점 (°C)	외관	비고
내한제	K-1	질산염계	6	1.27	8	-25	연노랑액체	계면활성
	J-1	합질소화합물	4	1.34	9	-30	연노랑액체	-
	S-1	질산염계	1.5	1.17	7	-13	연노랑액체	-
빙동제	C-1	-	8	1.16	-	-15	암갈색분말	감수율 10%이상
	C-2	-	3	1.16	-	-15	암갈색분말	감수율 10%이상
	C-3	-	8	1.16	-	-15	암갈색분말	감수율 10%이상
조강제	K-2	질산칼슘염	0.5	1.16	8	-10	암갈색액체	-

2.3 실험방법

모르타르의 혼합은 KS L 5109(수경성 시멘트 반죽 및 모르타르의 기계적 혼합방법)에 의거 실시하였고, 굳지 않은 모르타르 실험으로 플로우 시험은 KS L 5105, 공기량 시험은 KS F 2409의 규정에 따라 실시하였다.

동결온도는 $\phi 10 \times 20$ cm의 몰드를 사용하여 용기의 중앙에 온도 측정용 열전대(T-type)를 설치한 후 냉동고에 넣어 냉동시키면서 2분간격으로 냉동고의 온도와 각 모르타르의 온도를 Data logger(Therm 5500-3)에서 측정 기록하여 그래프화함으로써 동결온도를 측정하였다.

또한 염화물량은 콘크리트 염화물 측정기(EM-250)를 이용하였으며, 응결시험은 KS F 2436의 판입저항침에 의한 시험방법으로 측정하였다.

경화 모르타르의 실험으로 공시체의 제작은 ASTM C 348의 규정에 의거 $4 \times 4 \times 16$ cm의 몰드를 이용하

여 제작한 후, 초기동해를 방지하기 위하여 20°C에서 적산온도로 7.5 °D.D, 15 °D.D 및 30 °D.D가 경과한 다음 -5°C로 유지되는 냉동고에 식물포장용 랩으로 감싸는 기중봉함 양생을 실시한 후, Fig. 1과 같이 계획된 온도 및 재령으로 양생한 다음 일정 단계에서 ASTM C 349의 규정에 의거 압축강도를 측정하였다.



Photo 1 염화물 시험

Table 5 굳지 않은 모르타르의 특성

종류	기호	플로우 (cm)	공기량 (%)	염화플랑 (kg/m ³)	응결시간 (시간:분)				응결 온도 (℃)
					20℃		5℃		
					초결	종결	초결	종결	
plain	P	15.1	6.0	0.115	7:00	11:05	11:25	19:33	-0.3
내한 축진제	K-1	14.3	6.5	0.164	6:35	9:38	9:21	15:15	-3.2
	J-1	13.3	6.2	0.175	5:15	7:58	6:10	11:27	-3.4
	S-1	14.4	7.0	0.103	7:15	10:46	10:53	18:57	-0.8
방동제	C-1	18.4	18.0	3.001	18:25	21:36	36:10	42:25	-3.6
	C-2	20.2	9.0	1.775	5:35	8:08	9:25	14:36	-4.5
	C-3	18.3	12.0	2.817	8:37	11:17	14:02	20:49	-5.5
조강제	K-2	14.9	8.0	0.136	7:38	11:31	13:50	21:10	-0.5

3. 실험결과 및 분석

3.1 굳지않은 모르타르의 특성

Table 5에 굳지않은 모르타르의 특성에 대하여 실험한 결과를 나타내었다. 먼저, 유동성은 대부분 내한성 혼화제에서는 큰 변화가 없는 것으로 나타나고 있는데 반해, 방동제의 경우는 크게 증가되는 것으로 나타났다. 공기량 역시 내한성 혼화제의 경우는 큰 변화는 없었으나 방동제에서는 큰 공기량 증가를 나타내었다.

염화플랑은 방동제에서 매우 크게 나타나 우리나라의 KS F 4009 및 건축공사표준시방서 등 규정치 0.30 kg/m³ 보다 크게 초과하였다. 응결특성은 내한성 혼화제에 따라 온도별 축진 및 지연되는 것으로 나타났다. 특히, 방동제 C-1 및 C-2에서는 초결 및 종결 모두 크게 지연되는 것으로 나타났다.

응결온도의 경우는 대부분 내한성 혼화제에서 플레인과 비교하여 낮은 응결온도를 나타내고 있는데, 방동제에서 특히, 그 효과가 크게 나타났다.

3.2 강도 특성

Fig. 2는 내한성 혼화제 종류 및 양생온도별 재령 경과에 따른 압축강도를 나타낸 그래프이다. 먼저, 내한성 혼화제를 혼입하지 않은 플레인의 경우 양생온도가 높을수록 초기재령에서는 높은 강도증진을 보이고 있다. 그러나, 초기양생을 하지 않은 B 및 초기 양생

기간이 비교적 짧은 C, E, G 양생의 순으로 초기재령에서 거의 강도증진을 발휘하지 못하였으며 후기재령에서도 강도 증진은 미미한 것으로 이는 배합수 동결로 인한 초기동해 피해에 기인한 것으로 사료된다. 따라서 한중콘크리트 시공시 적절한 초기동해방지대책을 세우지 않고 콘크리트를 타설할 경우 품질에 심각한 문제점이 있음을 알 수 있다.⁽¹⁾

그러나 내한제를 혼입한 경우에서 양생온도 20℃인 경우는 내한제를 혼입하지 않은 경우와 비교하여 강도 발현은 큰 차이를 보이지 않았으나, 저온인 B양생은 큰 차이로 나타났다. 또한, 초기양생온도 변화의 경우 D, F, 및 H로 양생하였을때는 전반적으로 내한제를 혼입하지 않은 경우보다 압축강도가 큰 폭으로 증진되었으며, 재령 28일 이후에서의 압축강도는 A로 양생한 강도보다 큰 것으로 나타났다. 이는 내한제를 사용할 경우 초기동해 피해를 받지 않은 것으로 사료되며, 특히, 내한제를 이용한 경우 동결에 의한 피해는 작은 것으로 분석된다.

내한제의 종류별로는 A양생의 경우에는 큰 차이가 없었으나, B양생의 경우에는 큰 차이가 나타났다. 그리고 K-1 및 J-1을 사용한 모르타르의 강도발현은 플레인보다 큰 것으로 나타났다. 이는 泐⁽²⁾의 제안과 같이 사용 혼화제의 주성분이 질산 및 암질소 화합물로 이 성분은 시멘트 모르타 및 콘크리트의 동결 온도 강하특성 및 시멘트 성분중 C₃A 및 C₂S의 수화를 촉진시키므로 조직을 치밀할 뿐만아니라 물리적성질을 향상시켜 강도발현이 양호한 것으로 분석되었다. 그러나 S-1제품의 경우는 내한제의 성능이 별로 발휘

되지 못하는 것으로 나타나 내한제의 제품간 품질차이가 있는 것으로 제품의 선별에 유의해야 할 것으로 사료된다. 특히, 일부 건설현장에서는 한 중시공사 초기에 강도를 발현할 목적으로 조강제(K-2)를 사용하는 경우가 있는데, 조강제 역시 플레인과 마찬가지로 저온에서의 강도발현은 매우 미미한 것으로 나타나 저온에서의 조강제의 효과는 극히 낮은 것으로 분석된다.

또한, C-1~C-3제품의 경우는 초기재령부터 각 양생온도 간에서 비교적 큰 강도향상을 보이고 있는데 특히, 저온에서의 강도증진은 매우 큰 것으로 나타났다. 참고적으로 초기동해에 전달수 있는 압축강도 50 kgf/cm^2 를 C1~C3제품의 경우 적산온도 30°D.D 이전에서 발휘하여, 이는 Table 5에서 알 수 있듯이 많은 연화율 함유량에 의한 동결점 강하작용에 기인하여 강도증진이 양호한 것으로 사료된다.

종합적으로, 내한성 혼화제의 종류중 저온에서 강도발현이 양호한 제품은 C-1, J-1, K-1, C-3, C-2 및 S-1제품 순임을 알 수 있었다.

Fig. 3은 20°C 조건에서 28일 양생되어진 플레인의 강도를 100%로 하여 내한성 혼화제 종류 및 양생온도 변화별 강도비를 적산온도로 비교하여 나타낸 그래프이다. 전반적으로 적산온도에 따라 유사한 강도증진을 보이고 있으나, 내한성 혼화제를 혼입하지 않은 경우보다 내한성 혼화제를 혼입한 경우가 양호하게 강도가 증진되는 것을 알 수 있다.

양생조건

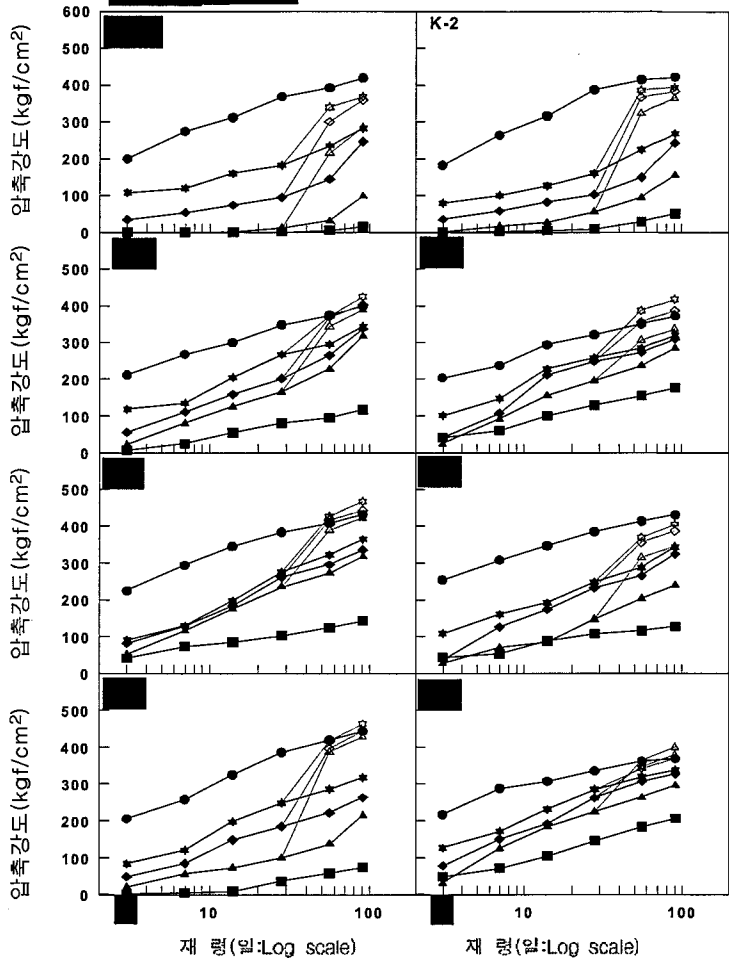


Fig. 2 재령에 따른 내한성 혼화제 종류별 압축강도

초기양생 변화에 따른 강도증진경향은 플레인의 D, F 및 H양생에서 비교적 초기 20°C 양생기간이 길수록 초기동해에 대한 피해는 적은 것으로 나타나 한 중콘크리트 공사시 초기양생의 중요성을 시사하고 있다. 특히, 내한성 혼화제로 비교적 품질이 양호한 K-1 및 J-1의 경우는 초기 7.5°D.D 이상만 양생을 실시하게 되면 후기 기온변화에 따른 강도증진에는 특별한 문제가 없는 것도 밝혀졌다.

그러나, A양생시 C-1 및 C-3 방동제는 28일 재령 압축강도는 약간 저하하는 것으로 나타났는데, 이는 Table 5에서와 같이 공기량의 영향으로 사료된다.

3.3 내한성 혼화제의 효과

Fig. 4는 내한성 혼화제 종류별 A 및 B양생에서의 적산온도 경과에 따른 압축강도를 나타낸 그래프이다.

전에서 분석한 것과 같이 A양생시 초기 및 후기강도는 큰 차이가 없는 반면 B양생의 초기 및 후기 압축강도는 큰 차이로 나타났다. 특히, 초기동해는 응결과정 또는 응결 후에 아직 충분한 강도가 발현되지 않은 단계에서 발생하는데, 내한제를 사용할 경우 동결점 강하, 응결축진, 초기강도 증진 및 저온에서의 빠른 강도발현⁽⁷⁾이 내한제의 중요한 효과인 것으로 사료된다.

4. 결 론

내한성 혼화제를 이용한 시멘트 모르타르의 초기 양생온도 변화에 따른 강도증진 특성을 분석한 결과는 다음과 같이 요약된다.

1) 굳지않은 모르타르의 유동성 및 공기량은 내한성 혼화제별 큰 차이는 없었으나, 방동제에서는 증가하는 것으로 나타났고, 동결온도는 대부분에서 폴레인에 비하여 낮아지는 것으로 나타났다. 응결특성으로 방동제 일부를 제외한 대부분의 내한성 혼화제에서는 축진경향으로 나타났는데, 특히 방동제인 경우는 입화물량이 KS 및 시방서 규정치를 크게 초과하여 문제가 되었다.

2) 내한성 혼화제를 혼입하지 않은 폴레인 및 조강제의 경우는 저온양생에서 초기동해로 낮은 강도를 발휘하고 있으므로 한중콘크리트 공사시 초기양생에 유의할 필요가 있다.

3) 내한제의 효과는 동결점 강하, 응결축진, 초기강도 증진 및 저온양생시 빠른 강도발현이 우수하면서, 후기강도는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 그러나 방동제인 경우는 과다 공기량에 기인하여 후기 압축강도에서도 약간 저하하는 현상이 나타났다.

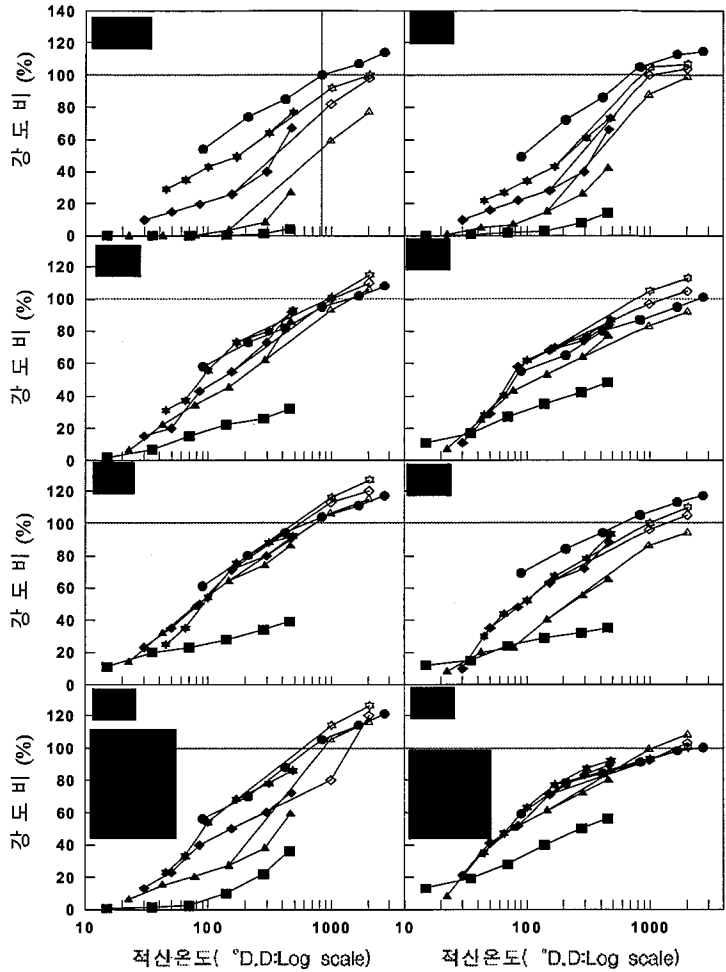


Fig. 3 양생온도 및 내한성 혼화제 종류에 대한 폴레인 모르타르의 압축강도비

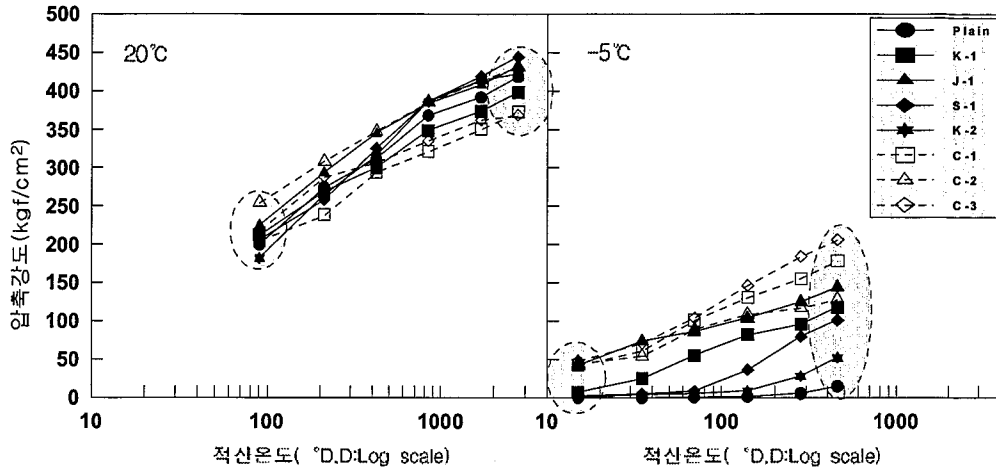


Fig. 4 20°C 및 -5°C에서 양생된 모르타의 적산온도 및 내한성 혼화제 종류에 대한 압축강도 특성

4) 종합적으로 한중콘크리트 시공시 내한성 혼화제를 사용할 경우는 성능, 특징 및 초기양생기간을 충분히 이해한 다음 사용하여야 하며, 특히 한중콘크리트 시공된 구조물을 안전 진단할 경우에는 내한성 혼화제의 종류등 재료적 특성도 충분히 고려하여 그 결과를 분석해야 할것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. 日本建築學會；寒中콘크리트施工指針・同解説, 1998.
2. 浜幸雄；耐寒促進劑による寒中콘크리트施工技術に関する研究, 北海道大學博士學位論文, 1998.
3. 한친구, 한민철；한중콘크리트의 초기동태 방지를 위한 초기 양생기간의 설정, 콘크리트학회논문집, 제13권 3호, 2000, pp. 47~56.

4. 浜幸雄, 鎌田英治；耐寒促進劑を用いたコンクリートの特性, 콘크리트工学, 第37巻, 1999.
5. 浜幸雄, 鎌田英治；無鹽化, 無アルカリ型防凍性混和劑による初期凍害の防止效果, 콘크리트工学論文集, 第7巻, 第1號, 1996.
6. 福馬直昭, 岸谷孝一, 浜邊謙吉；新しい耐寒用特殊混和劑の效果に関する實驗的研究, 日本建築學會大會學術講演梗概集, 1989.
7. 千歩修, 韓千求, 浜幸雄, 鎌田英治；耐寒劑を使用したコンクリートの關係式の檢討, 自然環境と 콘크리트特性に関するシンポジウム論文集, 1993.
8. 김중면；콘크리트용 내한제의 효과에 관한 실험적 연구, 청주대학교 산업경영대학원 석사학위논문, 1994
9. 김부한；모르타의 적산온도와 압축강도증진에 관한 기초적 연구, 대한건축학회지, 제 28권 1호, 1984.

(접수일자 : 2001년 1월 18일)