

콘크리트용 혼화제의 동결온도 및 동결된 혼화제의 사용에 따른 콘크리트의 품질변화

The Freezing Temperature of Chemical Admixtures for Concrete and
the Quality Variation of Concrete Using the Frozen Admixtures



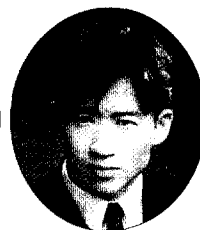
한천구*

Han, Cheon Goo



한경익**

Han, Kung Ik



이건철***

Lee, Gun Cheol

ABSTRACT

Frost damage of a storage tank for chemical admixtures caused by a low temperature in winter and quality deterioration of chemical admixtures have been often reported. However, there have been few regulations and researches related to the frost damage of chemical admixtures and facilities. Therefore, this paper is intend to investigate not only, the freezing points of chemical admixtures such as AE admixtures and water-reducing AE admixtures, etc., but also the quality variation of concrete used with chemical admixtures before freezing and after freeze-thaw cycles. According to the results of experiments, most chemical admixtures except anti-freezing agent and accelerating water-reducing AE admixtures should be kept from being frozen in low winter temperatures. However, full agitation of frozen chemical admixtures does not cause the problems of concrete related to the quality of chemical admixtures.

Keyword : Chemical Admixtures, Frozen Chemical Admixtures, Quality Variation of Concrete

* 정회원, 청주대학교 건축공학과 교수

** 정회원, 한국산업인력관리공단

*** 정회원, 청주대학교 건축공학과 대학원 박사과정

• 본 논문에 대한 토의를 1998년 12월 30일까지 학회로
보내주시면 1999년 2월호에 토의회답을 게재하겠습니다.

1. 서론

레미콘을 제조하는 배치플랜트에는 Fig. 1과 같이 혼화제를 저장하는 저장탱크가 설비되어 있는데, 특히 기온이 0℃ 이하로 저하하는 겨울철에는 혼화제 저장탱크내의 혼화제가 동결할 수 있어 시설 및 설비의 동파피해와 혼화제 변질에 따른 레미콘 품질저하가 초래될 수 있다.

그러나 우리나라의 경우 콘크리트용 화학혼화제의 동결에 대한 측정자료 및 동결에 따른 품질변화와 아울러 동결융해된 화학혼화제의 사용여부에 대하여 특별히 연구된 바도 없을 뿐만 아니라 시방서 등의 규정에도 특별한 언급이 없는 실정이다. 단, 일본건축학회의 "한중콘크리트 시공 지침"에서는 「액상의 혼화제는 동결하지 않도록 보존한다. 동결한 적이 있는 혼화제는 소정의 성능이 얻어지는 것을 확인한 경우 이외에는 사용할 수 없다.」와 같이 규정하고 있는 실정이다.

그러므로 본 연구에서는 국내에 유통되고 있는

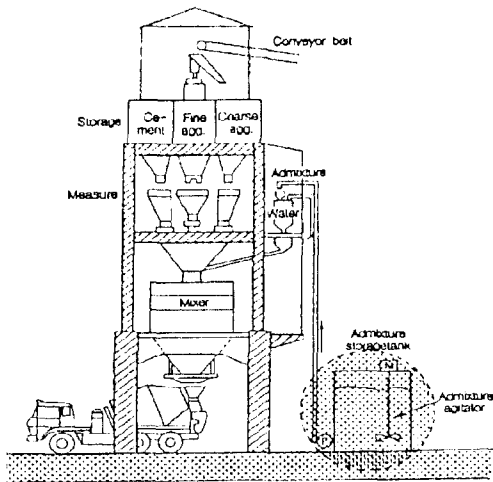


Fig.1 Batcher plant

콘크리트용 각종 화학혼화제를 무작위로 시료 채취하여 동결온도를 측정하므로써 동결기 외기에 노출된 혼화제 투입설비에 대한 적정 보온대책의 제안 및 동결전후간 혼화제를 이용한 콘크리트의 품질변화를 실험하므로써 일단 동결융해한 화학혼화제에 대하여 레미콘 등 실무의 사용여부 판단에 한 참고자료를 제시하고자 한다.

2. 혼화제의 동결온도

2.1 실험대상 혼화제의 종류

혼화제의 동결온도를 측정하기 위하여 국내에서 유통되는 각종 혼화제를 무작위로 수집하여 실험에 이용하였는데, 수집된 혼화제의 종류는 Table 1과 같다. 즉, 국내에서 주로 유통되는 7개 회사의 35종의 혼화제를 대상으로 동결온도를 측정하도록 한다.

Table 1 Kinds of chemical admixtures

kinds of admixtures	Sample	Ingredient
AE admixtures	4	Sodium lauryl sulfate Vinsol resin
Water-reducing AE admixtures	Normal	Lignin Naphthalene
	Retarding	
	Accelerat- ing	
Superplasticizer	4	Naphthalene
High-range water-reducing admixtures	4	Naphthalene Polycarboxylic acid Melamine
High-range water-reducing AE admixtures	3	Naphthalene
Anti-freezing agent	1	Ethylene glycol
Total	35	

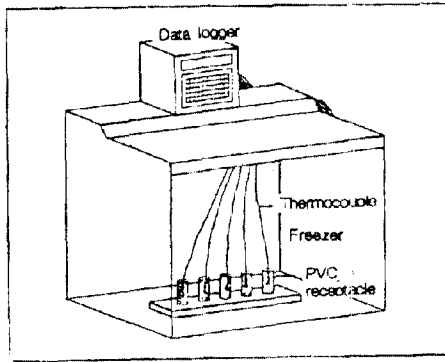


Fig. 2 Test of freezing temperature of admixtures

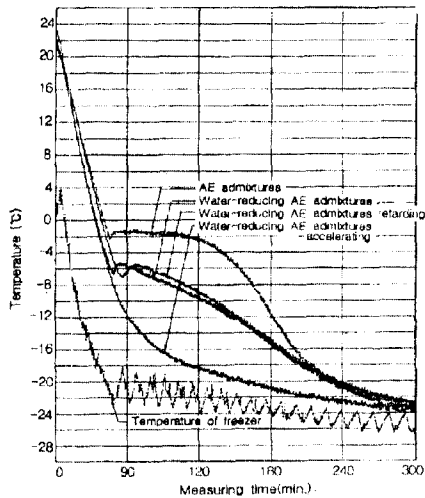


Fig. 3 Freezing temperature curve of admixtures

2.2 동결온도 측정방법

혼화제의 동결온도시험으로는 Fig. 2와 같이 내경 31mm, 깊이 48mm의 원통형 PVC용기(필름통)에 30cc의 혼화제를 넣고 용기의 중앙에 온도 측정용 열전대(T-type)를 설치한후 냉동고에 넣어 동결시키면서 20초 간격으로 냉동고의 온도와 각 혼화제의 온도를 Data logger(Therm 5500-3)에서 측정 기록하는 것으로 한다.

Fig. 3은 Data logger에 의해 기록된 혼화제

동결곡선 그래프의 일례를 나타낸 것으로 혼화제 동결온도 측정은 KS M 0003의 규정에 의거 측정한다.

2.3 실험결과 및 분석

Fig. 4는 실험대상의 혼화제를 종류 및 성분별로 구분하여 동결온도를 나타낸 것이다. 전반적인 경향으로 방동제 및 AE감수제 촉진형을 제외한 대부분의 혼화제는 -10°C 이하에서 동결되는 것으로 나타났는데, 혼화제 종류별 평균동결온도는 AE제의 경우 -1.5°C 로 제일 높고 방동제는 -23.5°C 로 제일 낮게 나타났다. 또한 유동화제와 고성능 감수제는 사용목적에 따라 다른 명칭으로 사용되는 것으로 거의 유사한 온도인 -5°C 전후에서 동결되는 것으로 나타났고, AE감수제의 경우도 표준형 및 지연형은 평균 -6°C 전후에서 동결되는 것으로 나타났으나, 촉진형의 경우 2개사의 혼화제를 제외한 나머지 5개사는 -40°C 에서도 동결되지 않는 것으로 나타났다.

한편, 우리나라의 겨울철 온도분포는 전국적으로 다양하게 나타나는데 본 실험에서 나타난 결과에 의하면 대부분 영상의 온도에 머무는 제주도 및 일부 남부지방을 제외한 우리나라 전역에서는 겨울철에 혼화제 저장설비가 동결할 위험성이 있으므로 적정 보온조치가 반드시 필요할 것으로 판단된다.

3. 동결된 혼화제를 사용한 콘크리트의 품질변화

3.1 실험계획

혼화제의 동결전후 품질평가를 위한 실험계획은 AE제 성분을 포함하는 혼화제를 중심으로 table 2와 같이 계획하고, 배합사항은 table 3과 같다. 즉, 배합사항으로 물시멘트비는 40%, 60% 2개수준으로하고 혼화제 종류는 소듐 로리얼 설페이트계 및 빈졸계 AE제와 나프탈렌계

AE감수제(표준형)의 총 4개 수준에 대하여 동결하지 않은 혼화제를 사용하였을 때 목표슬럼프를 $18 \pm 1\text{cm}$ 및 목표공기량은 $4.5 \pm 0.5\%$ 로 하여 10회의 동결융해를 시킨 혼화제를 동일 조건에서 상호 비교하는 것으로 한다. 실험사항으로 굳지않

은 콘크리트에서는 비빔즉시 슬럼프, 공기량을 측정하고, 경화콘크리트의 실험으로는 7, 28일 재령에서 압축강도, 인장강도 및 동탄성계수를 측정한다.

3.2 사용재료

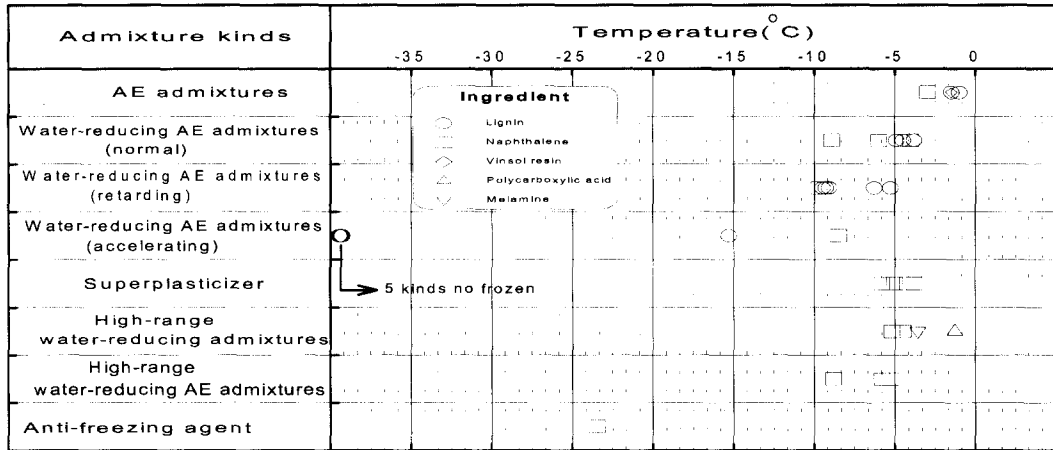


Fig. 4 Freezing temperatures by the admixture kinds

Table 2 Factors and levels of experiment

Factors		Levels			
Mixing	W/C	2	40%, 60%		
	Slump	1	$18 \pm 1(\text{cm})$		
	Air content	1	$4.5 \pm 0.5(\%)$		
	Kind of admixtures	4	AE admixtures	Sodium lauryl sulfate	
				Vinsol resin	
	Water reducing AE admixtures	Naphthalene	A B		
Freezing and thaw cycles of admixtures	2	0 cycle, 10 cycles			
Experiment	Fresh concrete	2	· Slump · Air content		
	Hardened concrete	3	· Compressive strength · Tensile strength · Dynamic modulus of elasticity (7, 28d.)		

본 실험에 사용하는 재료로서 시멘트는 국내산 1종 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하고, 골재로서 굵은골재는 대전산 20mm 화강암 부순돌을 사용하며, 잔골재는 충남 병천산 강모래를 사용한다. 혼화제로는 국내산의 AE제 및 AE감수제를 사용한다. 단, 모든 재료는 실험이 시작하기 몇일전에 $20 \pm 3^\circ\text{C}$ 온도조건인 실험실에 저장하여, 표준적인 온도조건에서 실험하는 것으로 한다.

각 재료의 물리적 성질은 table 4, 5 및 6과 같다.

3.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로 콘크리트의 혼합은 강제식 팬믹서를 사용하여 Fig. 5의 순서에 따라 실시한다.

굳지않은 콘크리트의 실험으로 슬럼프 및 공기량 시험은 KS F2402 및 2421의 규정에 의거 실시하고, 경화 콘크리트의 특성으로 압축, 인장

Table 3 Mix design of concrete

Division Kind	W/C (%)	Ingredient	Unit water (kg/m ³)	S/A (%)	adm. (%)	Volume (ℓ/m ³)			Weight (kg/m ³)		
						C	S	G	C	S	G
AE admixtures	40	Sodium lauryl sulfate	203	37	0.015	160	221	376	509	557	963
		Vinsol resin	203	37	0.010	160	221	376	509	557	963
	60	Sodium lauryl sulfate	190	46	0.002	100	308	362	318	776	927
		Vinsol resin	193	46	0.003	101	306	360	321	771	922
Water-reducing AE admixtures	A	Naphthalene	200	41	0.15	157	247	356	499	622	911
			60	185	47	0.07	97	317	359	308	799
	B		200	41	0.15	157	247	356	499	622	911
			60	185	47	0.05	97	317	359	308	799

Table 4 Physical properties of cement

Specific gravity	Blaines (cm ² /g)	Soundness (%)	Setting time (min.)		Compressive strength (kg/cm ²)		
			Ini.	Fin.	3d.	7d.	28d.
3.18	3,346	0.06	270	430	216	312	397

Table 5 Physical properties of aggregates

Kinds	Specific gravity	F.M	Void volume (%)	Absorption (%)	Unit weight (kg/m ³)	Particle shape index (%)
Fine agg.	2.52	2.68	41.1	1.94	1482	53.8
Coarse agg.	2.56	6.70	40.9	1.76	1511	57.5

강도 및 동탄성계수는 KS F 2403, 2423 및 2450의 규정에 따라 실시하는 것으로 한다.

3.4 실험결과 및 분석

3.4.1 굳지않은 상태의 특성

Fig. 6 및 7은 동결전과 10회의 동결융해를 반복시킨 혼화제를 사용한 굳지않은 콘크리트 특성으로 비빔직후의 슬럼프 및 공기량을 산점도 및 막대 그래프로 비교한 것이다.

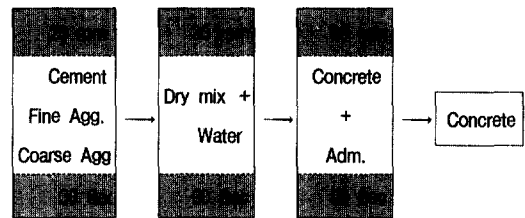


Fig. 5 Mixing procedure of concrete

Table 6 Physical properties of admixtures

Division	Main ingredient	Appearance	Specific gravity (20℃)	Normal dosage C×(%)
AE admixtures	Sodium lauryl sulfate	Dark brown liquid	1.22 ±0.01	0.03
	Vinsol resin	Brown liquid	1.04 ±0.01	0.01~0.04
Water-reducing AE admixtures	A Naphthalene	Dark brown liquid	1.22 ±0.01	0.3
	B Naphthalene	Dark brown liquid	1.22 ±0.01	0.3

전반적인 경향은 동결전의 혼화제를 사용한 콘크리트에 비해 동결융해후의 혼화제를 사용한 콘크리트의 슬럼프가 약 0.6cm, 공기량은 약 0.1% 증가한 것으로 나타났는데, 유의할만한 차

이가 발생하고 있는지를 식 (1)과 같이 T분포를 이용한 평균차 검정을 실시한 결과 Table 7과 같이 나타나 유의수준 1%에서 혼화제의 동결전 후에 따른 슬럼프 및 공기량은 차이가 없는 것으로 밝혀졌다.

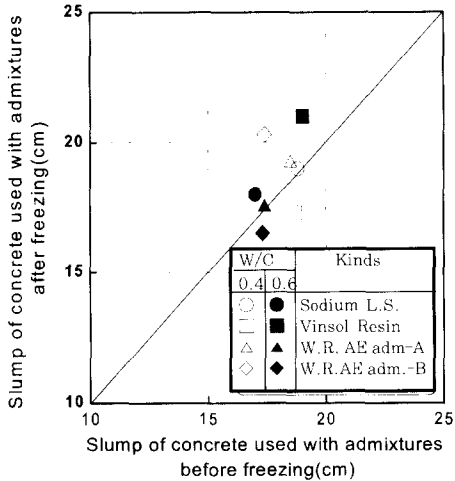


Fig. 6 Comparison of slump of concrete used with admixtures before and after freezing

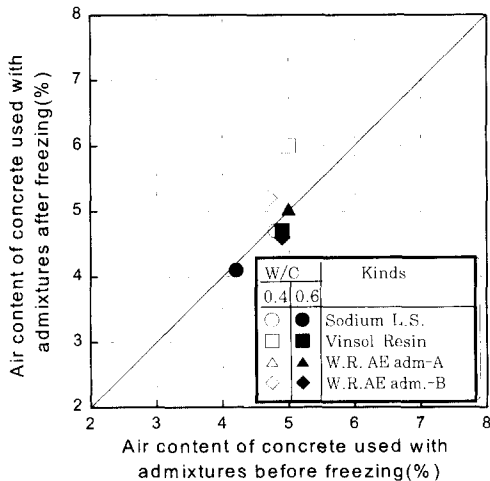


Fig. 7 Comparison of air content of concrete used with admixtures before and after freezing

$$t_0 = \frac{d - \delta}{\sqrt{V_d} / \sqrt{n}} \quad (1)$$

여기서, $H_0: \delta = 0, H_1: \delta \neq 0$

t_0 : 검정 통계량

t : t분포에 의한 유의수준

d : 동결전 혼화제를 사용한 콘크리트의 평균

δ : 동결후 혼화제를 사용한 콘크리트의 평균

V_d : $|d - \delta|$ 의 불편분산

n : 시료의 수

H_0 : 귀무 가설 (Null hypothesis)

H_1 : 대립 가설 (Alternative hypothesis)

Table 7 Results of T-test for fresh concrete

	Test statistic(t_0)	Significance level (t)	Test result (H_0)
Slump	$ t_0 = 1.18$	$t(7, 0.05) = 3.499$	H_0 Acceptance
Air content	$ t_0 = 0.65$		H_0 Acceptance

3.4.2 경화 콘크리트의 특성

Fig. 8, 9 및 10은 7일과 28일 재령 및 물시멘트비별 혼화제의 동결전후 성장변화에 따른 콘크리트의 압축강도, 인장강도 및 동탄성계수를 산점도로 나타낸 것이다.

전반적인 경향으로 동결한 혼화제를 사용하였을 경우 동결전 혼화제에 비해 압축강도는 평균 약 4.5kg/cm^2 , 인장강도는 약 0.94kg/cm^2 , 동탄성계수는 약 $0.04 \times 105\text{kg/cm}^2$ 정도 감소하는 것으로 나타났다. 따라서 이런 차이의 값이 유의한 만한 수준인지 T분포를 통한 평균차 검정을 실시한 결과 Table 8에서와 같이 유의수준 1%에서 차이가 없는 것으로 나타났다.

이상을 종합하여 볼 때 굳지않은 콘크리트의 공기량 및 슬럼프와 경화 콘크리트의 압축, 인장강도 및 동탄성계수에서 차이가 없는 것으로써 동결된 혼화제도 잘 교환하여 사용한다면 콘크리트의 품질에는 큰 영향을 주지 않을 것으로 사료된다.

Table 8 Results of T-test for hardened concrete

	Test statistic (t_0)	Significance level (t)	Test result (H_0)
Compressive strength	$t_{01} = 0.74$	$t(15, 0.05) = 2.947$	H_0 Acceptance
Tensile strength	$t_{01} = 1.31$		H_c Acceptance
Dynamic modulus of elasticity	$t_{01} = 1.09$		H_0 Acceptance

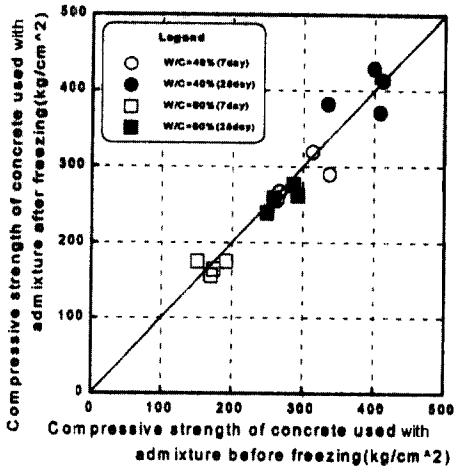


Fig. 8 Comparison of compressive strength of concrete used with admixtures before and after freezing

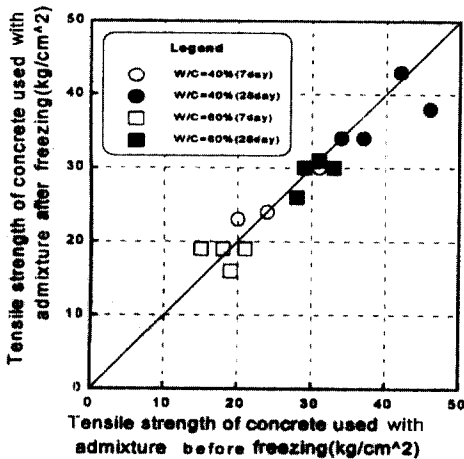


Fig. 9 Comparison of tensile strength of concrete used with admixtures before and after freezing

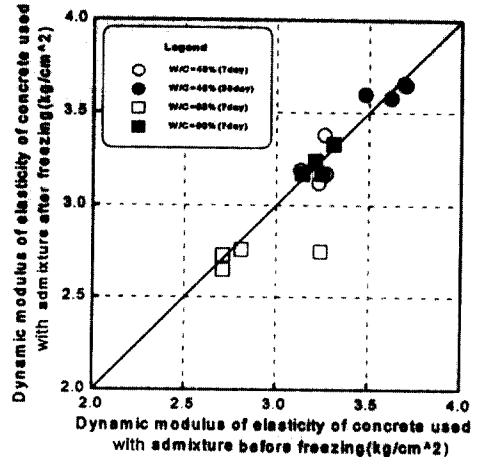


Fig.10 Comparison of dynamic modulus of elasticity of concrete used with admixtures before and after freezing

4. 결론

콘크리트용 화학 혼화제의 동결온도 및 동결에 따른 콘크리트의 품질변화에 관한 실험 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 혼화제의 동결온도는 방동제 및 AE감수제 촉진형의 경우 -20°C 이하로 제일 낮고, AE감수제 표준감수제, 고유동화제는 $-4^{\circ}\text{C} \sim -8^{\circ}\text{C}$ 이며, AE제는 -1.3°C 로 제일 높게 나타나, 제주도 및 남부지방을 제외한 우리나라 전역에서는 겨울철 혼화제 저장설비의 동결방지를 위한 보온조치가 필요한 것으로 밝혀졌다.

2) 동결전 혼화제에 비해 동결융해후 혼화제를 사용할 경우 굳지않은 콘크리트의 특성에서 슬럼프, 공기량과 경화 콘크리트의 특성으로 압축강도, 인장강도 및 동탄성계수는 T분포를 통한 평균차 검정을 실시한 결과 1%의 유의수준에서 차이가 없는 것으로 분석되었다. 따라서, 본 연구의 범위에서는 동결된 혼화제를 사용할 경우 교반을 충분히 하여 이용한다면 콘크리트 품질에는 크게 문제시 되지 않을 것으로 분석된다.

참고문헌

1. 鎌田 英治：寒中コンクリート施工指針 -日本の建
における寒中コンクリート技術- 第3回 韓国・日
本建築材料 Joint Symposium, pp. 1~12. 1997. 8
2. 日本建築學會：高性能AE減水劑コンクリートの調合・
製造および施工指針・同解説
3. 日本建築學會：寒中コンクリート施工指針・同解説.
1990
4. Admixture for Concrete, ACI Committee 212 :
ACI Manual of Concrete Practice, Part 1, 1968
5. ACI Committee 201 : Durability of Concrete in
Service, ACI Manual of Concrete Practice, Part
1, American Concrete Institute, Michigan, 1973

요 약

레미콘을 제조하는 배척플랜트에는 혼화제를 저장하는 저장탱크가 설치되어 있는데, 특히 기온이 0℃이하로 저하하는 겨울철에는 혼화제 저장탱크내의 혼화제가 동결할 수 있어 설비보존 목적상 동결온도의 검토가 요구되고 또한 동결된 혼화제를 이용할 경우 레미콘의 품질 변화가 초래될 수 있는지 검토가 요구되지만 국내의 경우 연구보고나 규정은 마련되어있지 않은 실정이다.

그러므로 본 연구에서는 국내에 유통되고 있는 콘크리트용 각종 화학혼화제를 무작위로 시료채취하여 동결온도를 측정하므로써 동결기 외기에 노출된 혼화제 투입설비에 대한 적정 보온대책의 제안 및 레미콘에서 반드시 사용되어지는 AE제 및 AE감수제 등의 혼화제를 대상으로 동결진과 동결용해를 반복한 혼화제를 사용한 콘크리트의 품질변화에 대하여 실험연구를 실시하였다. 연구결과 방동제, AE감수제 촉진형 등 내한성 혼화제를 제외한 대부분의 혼화제는 제주도 및 일부남부지방을 제외한 한국의 겨울철 외기온 조건 하에서는 혼화제의 동결위험성이 있으므로 보온조치가 필요할 것으로 판단되며, 동결된 혼화제를 사용할 경우의 콘크리트 품질변화는 교반을 충분히 하여 이용한다면 슬럼프, 공기량, 강도 등에서 크게 문제시 되지 않는 것으로 분석되었다.

(접수일자 : 1998.3.4)