



액상형 조강제의 동결특성 및 동결방지 방안에 관한 실험적 고찰

이문환^{1)*} · 류득현²⁾

¹⁾한국건설기술연구원 건축도시연구부 ²⁾유진기업(주) 기술연구소

Experimental Study of Freezing Characteristics and Antifreezing Method of Liquid Additive for Early Strength

Mun-Hwan Lee^{1)*} and Deug-Hyun Ryu²⁾

¹⁾Building & Urban Research Division, KICT, Goyang 411-712, Korea

²⁾EUGENE Group, Goyang 412-480 Korea

ABSTRACT In ready mixed concrete factory, in case of using the high molecular additive in winter especially the liquid additive for the early strength, it is required to check the stability. In this research, the freezing and gelling characteristics of the liquid additive for the early strength is reviewed, the material and mechanical solution are proposed to that the practical quality control method will be suggested. As the result, the Freezing temperature of the liquid additive for the early strength is -11.8°C , and it is the lower than the temperature at which the strength is shown. By making with sodium silicate of $37\pm 0.5\%$ designed by SiO_2 and Na_2O in 0.31 of mol ratio, it minimizes the gelling at the lower temperature. On the other hand, facilities for storing and supplying the material should be set at 40°C so the temperature distribution is well spreaded for practical operation.

Keywords : liquid additive, early strength, freezing temperature, gelling temperature, antifreezing

1. 서 론

최근, 국내 레디믹스트콘크리트의 일반적인 개념이 되고 있는 3성 분계 결합재를 사용하는 콘크리트의 경우, 조기강도 특히 거푸집 탈형 시기 (재령 3일 정도)의 강도가 보통포틀랜드시멘트에 비해 다소 저하되므로 이를 보상하기 위한 업계의 노력이 계속되고 있다^{4,5)}.

콘크리트 강도 증진제는 분말형 또는 액상형으로 구분할 수 있으며, 콘크리트에 적용 시 각각 장단점이 있다²⁾. 분말형은 사전에 분체와 더불어 혼합해야 하므로 균질한 혼합이 어려우나, 액상형의 경우 혼합수 또는 믹서 트럭의 공급 장치에서 사후에 공급이 가능함에 따라 균질한 혼합이 가능하다. 또한, 액상형 조강제 (이하, LAD로 혼용)는 다양한 포졸란 혼화재료의 사용에 따른 조기강도 보상이 외에, 한중콘크리트에 적용함으로써 조기에 강도를 발현시켜 콘크리트의 동해를 방지하는 기능을 기대할 수 있다.

레디믹스트콘크리트 공장에서 액상형 조강제를 사용할 경우에는 일정량을 일정 기간 저장해야 하며, 그에 따라 혼화제의 저장 안정성은 필수적인 관리 항목이 된다.

액상형 조강제는 다양한 종류의 고분자 화합물로 조성되어, 배합수나 일반적인 화학 혼화제와는 다소 다른 양

상의 동결 특성을 가지고 있다.

이에 본 연구에서는 액상형 조강제의 동결 및 겔화 (결정화) 특성을 검토하고, 이를 방지할 수 있는 재료적 해결 방안의 검증은 물론, 설비적 해결 방안을 제시하여, 실무 적용시의 품질관리를 위한 기초 자료를 제시하고자 한다.

2. 액상형 조강제의 특징

콘크리트 혼화제 중 촉진제로 알려져 있는 통상의 조강제는 앞서 기술한 이유 때문에 액상형으로 개발되는 경우가 많지만, 대부분 강도 증강의 목적으로만 개발되어, 슬럼프를 저감시키거나 장기강도를 떨어뜨리는 특징이 가장 큰 문제로 대두되고 있다. 이러한 단점을 보완하기 위해 개발된 액상형 조강제는 SO_4 소스 원료를 첨가함으로써 에트린자이트를 과량 생성시켜 시멘트 원료인 C_3S 의 수화를 시멘트 종결 시점 이후로 연장 (슬럼프로스 방지)시키는 물론, 다수의 Si 소스 원료를 첨가하여 견고한 C-S-H 결정체 type를 형성함으로써 장기강도의 저하를 방지하는 것이 주요 메커니즘이다⁶⁾.

액상형 조강제의 원료 중에는 이러한 SO_4 소스 및 Si 소스 이외에 다수의 알칼리 자극제를 첨가하여 각종 혼화제의 포졸란반응을 촉진시키는 한편, $\text{Na}_2\text{O}/\text{SiO}_2$ 비율 인위적으로 조정하여 조기강도를 증진시키고 일반 촉진제 사용에 의한 장기강도의 저하 역시 보상할 수 있다

*Corresponding author E-mail : mhlee@kict.re.kr

Received June 4, 2007, Accepted July 31, 2007

©2007 by Korea Concrete Institute

록 하였다. Table 1은 본 연구의 대상이 되는 액상형 조강제의 원재료별 특성을, Table 2는 완제품의 특성을 나타낸 것이다.

3. 실험 개요

앞서 언급한 바와 같이 본 연구는 다양한 종류의 고분자 화합물로 구성되어 있는 액상형 조강제의 동결 및 겔화 특성과 설비적 해결 방안의 효과에 대해 실험적으로 검증하고자 한다.

이를 위해 먼저 액상형 조강제의 농도 변화에 대응되는 동결온도 변화 특성을 검토하였다.

한편, 액상형 조강제와 같은 고분자 화합물은 일정 온도 이하에서 중합체가 점조액(粘稠液)에서 탄성적(彈性的)인 겔상 물질이 된다. 이러한 변화가 나타나는 점을 겔화점이라고 하는데, 겔화점 이전에는 적당한 용매에 용해하는 고분자 화합물도 겔화점을 넘으면 불용불용성(不溶不融性)이 되며, 용매에 팽윤하게 된다.

겔화온도는 동결온도와는 다른 것이지만, 마찬가지로 레드믹스트콘크리트 제조 시 큰 장애 요인이 될 수 있다. 따라서 본 연구에서는 겔화온도의 정확한 측정을 통해 제품의 품질 수준을 파악하고, 콘크리트 제조시의 중요한 품질관리 요건으로 제시하고자 하였다.

또한, 레드믹스트콘크리트 공장에서는 동결기에 혼화제의 관리를 위하여 기본적으로 보온 및 가열 히터를 이용하여 동해를 방지하고 있으나, 액상형 조강제를 사용하기 위한 별도의 설계가 없었고, 기존의 보온 방식 이외에도 하부 및 이송관 내에 침전되는 결정질을 안정적으로 용해할 수 있는 설비가 필요하므로, 그에 따른 설계 보완이 필요하다. 따라서 상기 동결 및 겔화온도 특성 분석과 더불어 액상형 조강제의 동결기 보관 및 배차 공급을 위한 구축설비의 내동해 특성에 대해 검증하고자 하였다.

3.1 액상형 조강제의 동결온도 특성

3.1.1 실험 요인 및 수준

액상형 조강제의 동결온도 특성을 검토함에 있어 콘크리트의 물결합재비 변동에 따라 액상형 조강제의 농도 역시 변화될 수 있음을 고려하여³⁾, 실험 수준은 화학 혼화제 첨가율 60% (증류수 40%) 표준 제품의 농도부터 증류수만을 사용한 단계까지 증류수를 10%씩 증가 혼합시켜 유형화한 후, 그 변동을 관찰하였다.

이에 따른 실험 요인 및 수준은 Table 3과 같다.

3.1.2 실험 방법

샘플 시료의 동결온도 측정은 원통형 케이스에 일정량의 혼화제를 넣고, 그 중앙부에 센서(T type thermo couple)를 설치시킨 후, 항온항습기에 넣어 급속히 냉각시킨 다음, 데이터 로거(data logger)를 이용하여 24시간 동안 측정하였는데, 이 때, 과냉각 온도도 함께 검토하는 것으로 하였다.

세부적으로 동결온도 및 과냉각 온도의 평가는 KS M 2163 (자동차용 창유리 세정액)의 동결온도 판정 방법에 따라, 시료 용액을 냉각시키면서부터 1분마다 온도를 기록하고, 예상 동결점보다 5°C 높은 온도에 가까워지면 냉각속도를 1분에 약 1°C가 되도록 조절하며, 예상 동결점에 가까워지면 15초마다 0.1°C까지 읽어 측정하였다.

동결온도 측정을 위한 액상형 조강제의 변수 조정 조건은 Table 4와 같으며, 실험 상황은 Fig. 1과 같다.

3.2 액상형 조강제의 겔화(gelling) 온도 특성

3.2.1 실험 요인 및 수준

본 실험은 별도의 재료적, 설비적 해결 방안이 모색되지 않았을 경우, 동결기에 레드믹스트콘크리트 제조 공장의 공급 및 계량설비를 폐쇄시키고, 콘크리트의 품질을 저하시킬 수 있는 화학 혼화제의 겔화 특성을 분석하기 위해, 표준제품인 60% 농도의 액상형 조강제를 대

Table 3 Variation of freezing test

Characteristics	Variation	Levels	Items
Type	LAD	1	- Freezing temp.
Concentration of LAD (%)	0, 6.67, 13.33, 20, 26.67, 33.33, 40	7	- Supercooling temp. - Frozen time.

*LAD 0% means distilled water only

Table 1 Raw material & fuction of LAD

Ingredient	Source	Type	Fuctions
A	Acceleration	Powder	· Early strength for cement, · Frost resistance for mixing water
B	SO ₄	Powder	· Improvement of plasticity (delay of setting time), · Acceleration of hydration by ettringite
C	SO ₄	Powder	· Improvement of plasticity (delay of setting time), · Acceleration of hydration by ettringite
D	Si	Liquid	· Stimulation for binder, · Improvement of long-term strength
E	Si	Liquid	· Stimulation for binder, · Improvement of long-term strength
F	-	Liquid	· Stimulation for binder

Table 2 Properties of liquid additive for early strength

Specific gravity	Viscosity (cP)	pH	Standard content	Appearance	Setting time (hr)		Compressive strength ratio (%)	
					Initial	Final	3 days	28 days
1.2~1.3	1.5~2.0	12.0~12.5	VS binder 0.7~1.2%	Semitransparency	12	17	115~120	95~105

Table 4 Mix proportion of LAD for freezing test

Type	Concentration (wt%)	Additional distilled water (g)	Liquid additive (g)		
			Amount	Composition (wt%)	
40%	40	0	100	Distilled water	40.00
				Chemical CP	60.00
50%	50	16.67	83.33	Distilled water	33.33
				Chemical CP	50.00
60%	60	33.33	66.67	Distilled water	26.67
				Chemical CP	40.00
70%	70	50.00	50.00	Distilled water	20.00
				Chemical CP	30.00
80%	80	66.67	33.33	Distilled water	13.33
				Chemical CP	20.00
90%	90	83.33	16.67	Distilled water	6.67
				Chemical CP	10.00
Clear water	100	100	0	Distilled water	0
				Chemical CP	0

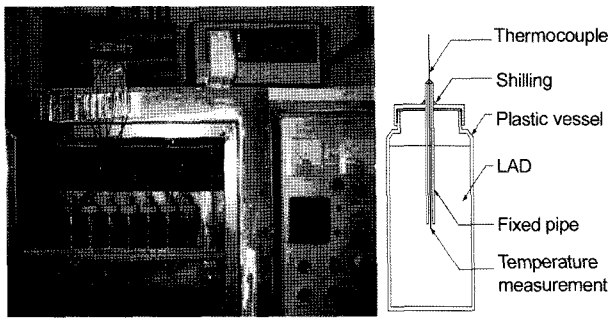


Fig. 1 Test set-up for freezing test

상으로 겔화온도를 측정하였다.

한편 레디믹스트콘크리트 공장에서 주로 사용되는 AE 감수제 (10% 희석액)와 고성능 감수제 (폴리칼본산계)의 동결특성 실험을 병행하여 동일 공장 품질관리 조건에 대응할 수 있는지의 여부도 검토하였다 (Table 5 참조).

이에 따른 실험 요인 및 수준은 Table 6과 같다.

3.2.2 실험 방법

세부적으로 겔화온도의 측정은 비이커에 일정량의 혼화제를 넣고, 동결온도 판정시와 동일한 실험 장치에서 10°C 이하의 온도를 5°C 간격으로 설정한 후, 액상형 조강제가 겔화된 구간 온도를 측정하는 것으로 하였다. 한편, 보다 정확한 값을 파악하기 위해 기본 구간 온도에서 다시 1°C 간격으로 상승시켜 정확한 겔화온도를 측정

Table 5 Properties of comparative agent

Type	Specific gravity (20°C)	pH(20°C)	Appearance	Water reduce ratio (%)	Alkali content (kg/m ³)	Air content (%)	Slump	Setting time (min)	
								Initial	Final
AE agent	1.20±0.02	6.0±1.0	Transparance	> 10	< 0.3	(Base con/c+3.0) ±0.5	Base con/c±1.0	Base con/c -60~+90	
Superplasti-cizer	1.05±0.03	7.0±1.0	Dark brown	> 18	< 0.3	(Base con/c+3.0) ±0.5	Base con/c±1.0	Base con/c -30~+120	

Table 6 Variation of gelling test

Characteristics	Variable	Levels	Items
Type	· Liquid additive (LAD) · AE agent (10% dilution) · Superplasticizer (PC type)	3	· Gelling temp. · Gelling deposition
Concentration of LAD (%)	40	1	

하는 방법을 채택하였다. 이 경우, 소수점 이하의 겔화온도 측정은 실용적으로 무의미하다고 판단하였다.

겔화 침전량은 상온에서 겔화된 혼화제가 원상태로 복원되는 것을 고려하여, 실험 종료 후 곧바로 비이커의 눈금을 읽어 혼화제 총량에 대한 부피비를 측정하였다.

3.3 동결 및 겔화 방지를 위한 설비 특성

3.3.1 실험 요인 및 수준

혼화제의 동결 및 겔화는 앞서 기술한 바와 같이 이를 사용한 레디믹스트콘크리트 제조시 중대한 장애 요인이 될 수 있다. 따라서 액상형 조강제의 동결기 보관 및 배척 공급 설비의 구축이 필요하다.

Fig. 2는 본 실험을 위해 구축한 혼화제 설비의 계통

도를 개념적으로 보여주는 것이며, Figs. 3~5는 주요 설비의 구성을 보여주는 것이다.

해당 시스템은 하부의 저장탱크에 채워진 액상형 조강

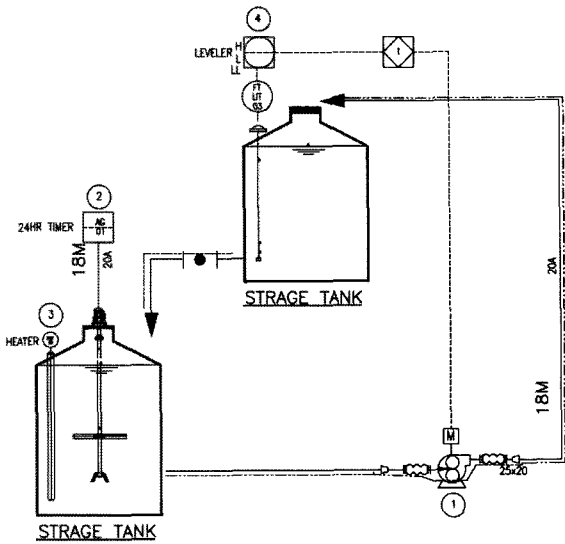


Fig. 2 Experimental set up of freezing-proof facilities

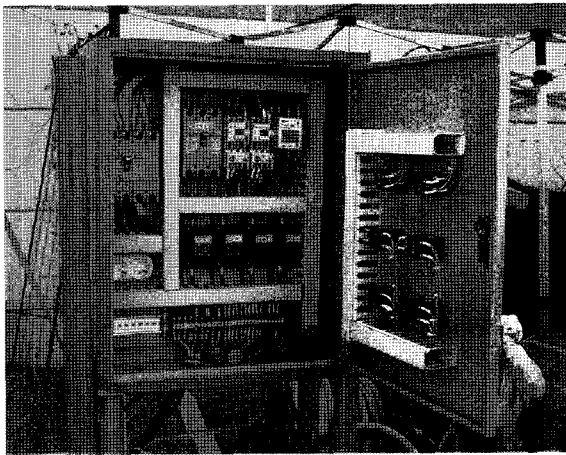


Fig. 3 Control box for experimental set-up

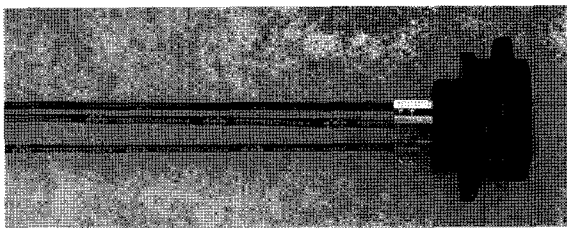


Fig. 4 Water level apparatus in upper storage tank

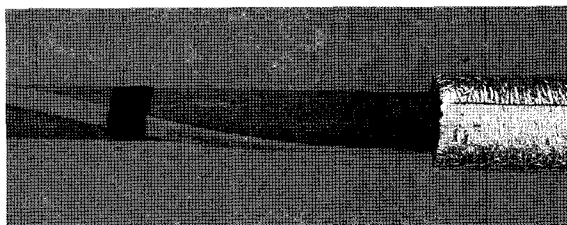


Fig. 5 Line heater on surface of transport pipe

제를 상부의 저장탱크에 내재된 수위계 (Fig. 4 참조)의 상위 레벨까지 임펠러 펌프로 이송하며, 이때 교반 장치가 가동된다. 이후, 상부 저장탱크에서 레미콘 배척로 공급되는 것을 가정하여 조작 패널 (Fig. 3 참조)에서 개폐 신호를 보내 다시 하부 탱크로 수위계의 하위 레벨까지 이송되는 전체적인 순환 체계를 갖추었다. 한편, 혼화제의 결빙 방지를 위해 이송관에 라인 히터 (Fig. 5 참조)와 저장탱크 내부에 전열기를 설치하였다.

3.3.2 실험 방법

동절기에 외부에 노출된 액상형 조강제 공급 설비 전반의 온도 분포를 관찰하기 위하여 열전대 (T형)를 ① 하부 저장탱크 내부, ② 공급 파이프 표면, ③ 상부 저장탱크 내부, ④ 회수 파이프 표면 등 4개소에 설치하고, 데이터 로거 (data logger)를 이용하여 50시간 동안 10분 간격으로 측정하였다. 또한, 설비 각부의 온도 이외에 저장탱크 및 파이프 드레인에서 시료를 채취하여 육안으로 혼화제의 상변화를 관찰하였다.

4. 실험 결과 및 고찰

4.1 액상형 조강제의 동결온도 특성

액상형 조강제의 농도 변화에 따른 동결온도 실험 결과는 Fig. 6과 같다. 실험 결과, 증류수의 경우에는 0°C 이하로 하강하면서 곧바로 동결되고 과냉각점도 나타난 반면, 액상형 조강제는 제품의 농도비 (물비)인 40%까지 농도가 높아질수록 단계적으로 뚜렷한 동결 방지 특성을 보이고 있다. 즉 액상형 조강제의 농도가 높아질수록 (100% → 40%) 동결온도는 낮아지는 양상이다.

제품 고유의 농도인 40%에서의 동결온도는 Fig 6에서와 같이 -12°C 정도의 범위로 매우 낮은 것으로 나타났다. 다만, 액상형 조강제는 6종의 화학혼화제를 적당한 몰비에 의해 혼합하여 제작한 것이므로 2차, 3차의 동결점을 보이는 것이 특징이며, 비교적 경향이 명확한 2차 동결점 이후에 다시 내부온도가 안정되는 추세이므로, 액상

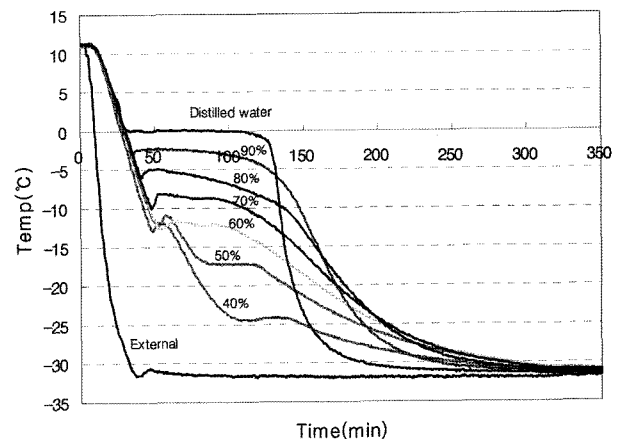


Fig. 6 Freezing temperature curves with concentration of LAD

형 조강제의 동결점은 2차 동결점인 -25°C 정도로 간주해야 한다고 판단된다. 다만, 실용상 부분적인 동결이 허용되지 않기 때문에 본 실험에서는 1차 동결점에 의미를 두었다.

Table 7 및 Fig. 7은 액상형 조강제의 농도차별 동결온도 및 과냉각온도를 나타낸 것이다.

한편, Fig. 8은 농도 40%인 완제품 액상형 조강제의 동결온도 특성만을 분석한 결과이다. 액상형 조강제의 농도가 40%인 경우의 동결온도 -11.8°C 는 콘크리트의 강도 발현이 정지된다고 가정하는 -10°C 보다 낮은 온도 범위에 있기 때문에 액상형 조강제를 한중콘크리트에 적용하였을 경우에도 지속적인 강도 발현의 기능을 할 수 있을 것으로 판단된다¹⁾.

4.2 액상형 조강제의 겔화 (gelling) 온도 특성

액상형 조강제의 주요 성분인 실리케이트 화합물 ($\text{Na}_2\text{O}-n\text{SiO}_2-x\text{H}_2\text{O}$)은 순도 높은 규사 또는 규석분 (SiO_2)과 탄

Table 7 Freezing points with LAD concentration

Concentration	100%	90%	80%	70%	60%	50%	40%
Freezing temp.($^{\circ}\text{C}$)	0	-2.2	-4.9	-8.2	-11.7	-11.1	-11.8
Supercooling temp.($^{\circ}\text{C}$)	0	-2.7	-6.0	-9.8	-12.7	-12.7	-12.8

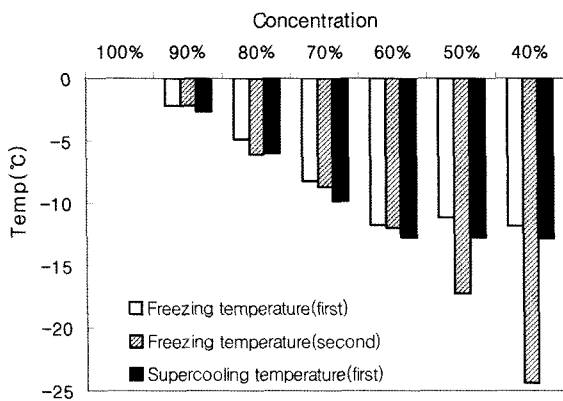


Fig. 7 Freezing and supercooling temperature of LAD

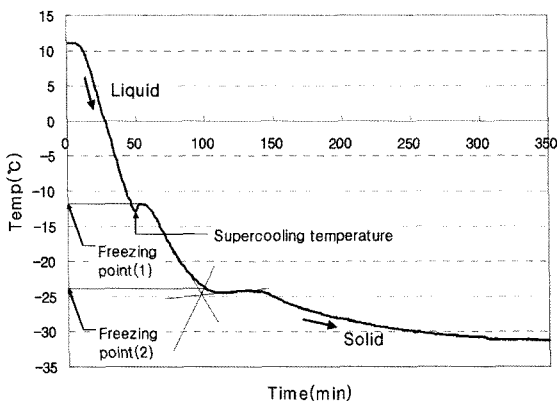


Fig. 8 Freezing properties of LAD

산나트륨 (Na_2CO_3)을 적합한 비율로 배합하여 이루어지는 무기화합물로 고점도를 갖는 무색 투명한 액체이다.

시판되는 종류는 mol비 (molecular ratio)에 의해 대별되며, 일반적으로 $\text{Na}_2\text{O}-n\text{SiO}_2-x\text{H}_2\text{O}$ 의 분자식으로 표시된다. $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ 의 중량비와 mol비의 관계는 다음 식 (1)과 같이 표현할 수 있다.

$$\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O의 중량비} \times 1.032 = \text{mol비} \quad (1)$$

실리케이트 화합물의 물성과 용도는 mol비에 따라 다르며, 현재 공업적으로 시판되고 있는 제품은 mol비 0.5~4.0 범위 내에서 생산 응용되고 있다.

실리케이트 화합물의 mol비 1을 기준으로 1 이하인 경우 상온에서 결정되며, 1 이상은 비결정성으로 mol비를 자유롭게 변화시킬 수 있다.

본 연구의 대상이 되는 액상조강제는 이러한 결정화를 방지하기 위하여 인위적으로 실리케이트 화합물의 SiO_2 와 Na_2O 의 mol비를 조절하여 상온뿐만 아니라 저온에서도 결정화의 우려가 적은 상태로 mol비를 다소 높인 ($\text{Na}_2\text{O} : \text{SiO}_2 = 1 : 3.3$) 형태로 개선한 것이다.

Figs. 9 및 10은 -5°C 에서 노출시킨 기존의 조강제와 액상형 조강제의 겔화 상태를 비교한 것이며, Table 8은 액상형 조강제를 비롯한, 2가지 비교용 혼합제에 대하여 저온 환경에서의 상변화를 나타낸 것이다.

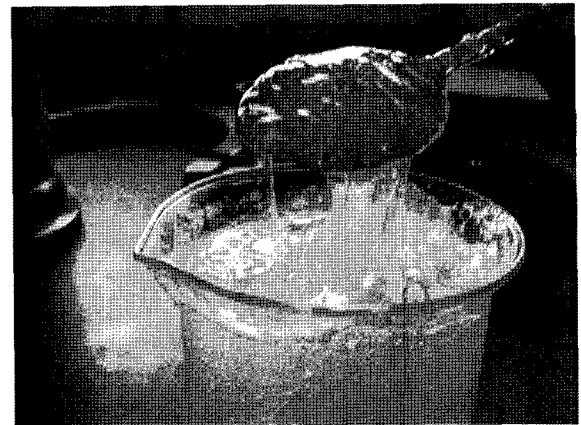


Fig. 9 Gelling appearance of existing agent (-5°C)

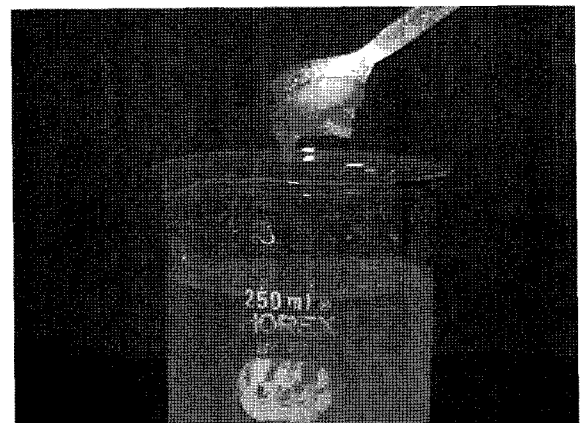
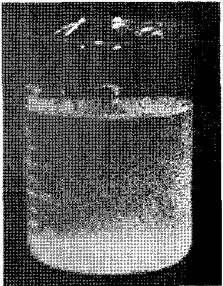
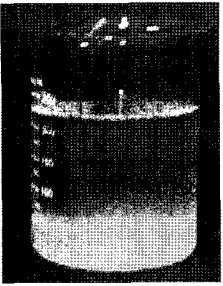
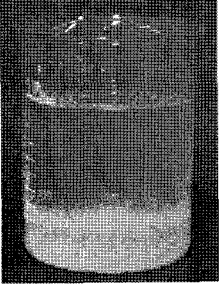
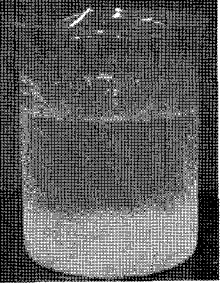
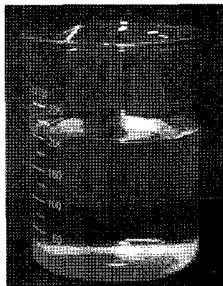
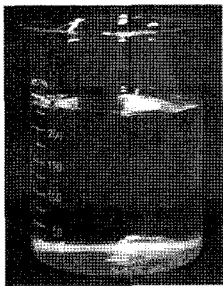
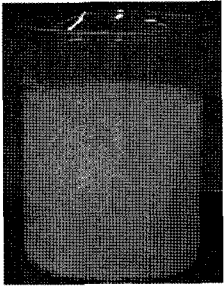
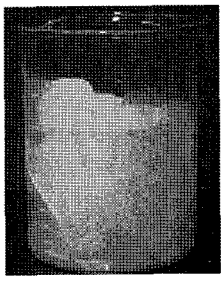

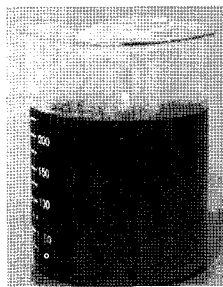
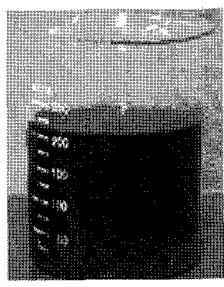
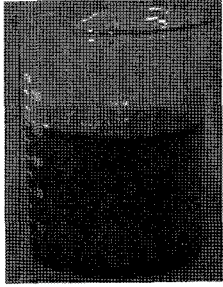


Fig. 10 Gelling appearance of LAD (-5°C)

Table 8 Gelling propagation with agent type

External temperature	2°C	0°C	-5°C	-10°C
Liquid additive				
	Initial gelling	12vol% gelling (no freezing)	16vol% gelling (no freezing)	20vol% gelling (no freezing)
(Note)				
* Semi-transparency of LAD is not gelling but inherence color				
** Deposition of bottom is gelling part				
AE agent (10% dilution)				
	Changeless	Changeless	Freezing	Freezing (expansion)
Superplasticizer (PC type)				
	Changeless	Changeless	Changeless	Freezing

실험 결과, 액상형 조강제의 겔화온도는 영상 2°C 정도인 것으로 측정되었으며, 물의 동결점보다 높은 온도에서 겔화되는 성분이 포함되어 있음을 알 수 있었다. 이때, 액상형 조강제 겔화 물질의 특성은 무채색 겔과 투명한 침상 결정체가 혼합되어 있으며, 그 양은 측정이 곤란하였으나 침상 결정체가 차지하는 비율이 현저히 높았다.

한편, 계속하여 온도가 저하될수록 침전량은 증가되나, 온도가 낮은 경우에 겔 물질의 점유비율이 높은 것으로 미루어 침상 결정체가 생성되는 것은 겔화보다 앞서 낮은 온도에서 생성되는 것으로 생각된다.

다만 -10°C에서도 액상형 조강제는 동결되지 않았는데, 이는 선행된 동결온도 측정 결과에서와 같은 결과였다. 이를 통해 액상형 조강제 성분 중에 내한 특성을 가진 원료가 함유되어 있는 것으로 판단할 수 있다. 그러나 겔화된 물질은 용해 후에 다시 원상태로 회복되었다.

병행 실험한 AE 감수제 및 고성능 감수제는 겔화와 같은 상변화는 관찰되지 않았으며, 각각 -5°C, -10°C에서 동결되었다.

4.3 동결 및 겔화 방지를 위한 설비 특성

액상형 조강용 혼화제 저장 및 공급 설비의 내동해특성을 검토한 결과, 전반적으로 액상형 조강제의 온도가 동결점 및 겔화점을 초과하지 않는 것으로 확인되었으며, 이러한 현상을 나타내는 액상형 조강제의 상변화도 관찰되지 않았다.

해당 설비의 온도 관리는 하부 저장탱크 중심부에 설치된 가열히터에서 통제하며, 공급 파이프 또는 회수 파이프에 부착된 라인히터는 파이프의 동결만을 방지하는 부가적인 기능을 하게 되는데, 실제로 레디믹스트콘크리트 배처에 공급되는 혼화제의 온도는 상부 저장탱크가 좌우하므로 이 부분의 온도가 가장 중요하다.

본 연구에서는 하부 저장탱크의 온도를 +40°C로 설정하였으며, 그에 따른 설비 각부의 온도 분포는 하부 저장탱크 > 공급 파이프 > 회수 파이프 > 상부 저장탱크 순으로 나타났다. 이 경우 상부 저장탱크의 온도는 최하 +3°C를 기록하여, 동결점 (-11.8°C) 및 겔화점 (+2°C) 이

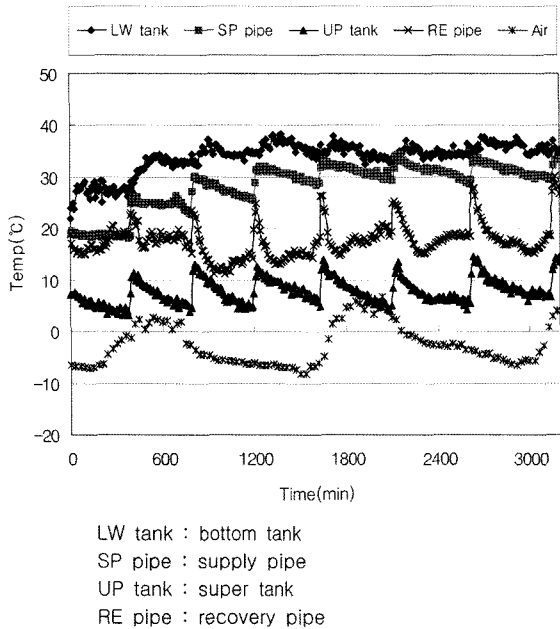


Fig. 11 Temperature distribution of freezing-proof facilities

상의 온도를 유지하는 것으로 확인되었다 (Fig. 11 참조).

다만, 외기온의 상황에 따라 겔화점 이하로 저하되는 것을 감안하여 하부 저장탱크의 온도를 높이는 것은 액상형 조강제의 성능을 저하시킬 우려가 있고, 상부 저장탱크 내부에 가열히터를 설치하는 것은 혼화제 공급으로 인해 탱크가 비었을 경우 과열될 수 있으므로, 상부 저장탱크의 보온 및 표면에 라인히터를 감싸는 등의 조치가 바람직할 것으로 판단된다.

5. 결 론

한중콘크리트의 초기강도 확보를 위해 액상형 조강제를 사용함에 있어, 혼화제의 내동해성 및 저장 안정성을 확보하기 위한 재료적, 설비적 대책의 성능 검토 결과, 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

- 1) 레미콘 배치의 투입량 오차를 흡수하기 위해 40% 증류수로 희석시켜 제조하는 액상형 조강제의 동결 온도는 -11.8°C 정도로 확인되었으며, 이는 콘크리트의 강도발현 온도한계인 -10°C 보다 낮은 온도 범

위로서 콘크리트의 수화반응에 기능할 수 있는 특성을 가지고 있는 것으로 검토되었다.

- 2) 해당 액상형 조강제는 다른 혼합물 이외에 SiO_2 와 Na_2O 의 mol비를 0.31 수준으로 설정한 실리케이트 화합물을 $37\pm 0.5\%$ 포함시켜 제조한 것으로, 저온에서의 겔화 (결정화)를 최소화함에 따라 기존의 조강제에 비해 현저히 낮은 겔화 온도 (2°C) 분포를 나타내었다.
- 3) 액상형 조강제의 저장 및 공급 안정성을 위해 설계한 혼화제 설비의 내동해성을 측정한 결과, 1차 저장탱크의 온도를 40°C 로 설정하여 설비 각부의 온도를 측정한 결과, 액상형 조강제의 동결온도 및 겔화온도를 상위하는 온도 분포를 보여, 실무 활용상의 문제가 없음을 확인할 수 있었다.

이상의 결과를 통해, 한중콘크리트의 실무 적용을 위해 개발된 액상형 조강제의 내동해 특성은 안정적인 수준인 것으로 판단되며, 실용적인 안전도를 확보하기 위해 2차 저장탱크의 보온가열 조치가 구비될 경우, 동절기의 콘크리트 생산에 크게 기여할 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 한민철, 한친구, “레미콘·건축·토목공사의 품질관리를 위한 기온과 콘크리트”, 기문당, 2002. 2, pp.39~113.
2. 한국건설기술연구원, “액상형 조강제를 사용한 콘크리트의 특성에 관한 연구”, 한국건설기술연구원, 2007. 5, pp.5~58.
3. 원철, 내한축진제를 사용한 콘크리트의 공학적 특성 및 현장적용, 청주대학교 대학원 박사학위논문, 2004, pp.69~76.
4. 박응모, 황인태, 최낙운, 소승영, 소양섭, “고로슬래그 시멘트의 초기강도 증진에 관한 연구”, 대한건축학회 학술발표논문집, 19권 2호, 1999, pp.542~547.
5. 반성수, 최봉주, 유득현, 전영환, 조현태, “고로슬래그 콘크리트의 초기 품질 하락 극복을 위한 연구”, 한국콘크리트학회 가을학술발표논문집, 2000, pp.1215~1220.
6. 송태협 외 3인, “액상형 조강제를 사용한 콘크리트의 초기강도 특성에 관한 연구”, 한국콘크리트학회 봄학술발표논문집, 2006, pp.469~472.

요 약 레디믹스트콘크리트 공장에서 동절기에 고분자 화학 혼화제, 특히 초기강도 확보를 위해 개발된 액상형 조강제를 사용할 경우, 해당 혼화제의 저장 안정성을 검토할 필요가 있다. 본 연구에서는 액상형 조강제의 동결 및 겔화 특성을 검토하고, 이를 방지할 수 있는 재료적, 설비적 해결 방안을 제시하여, 실무 적용시의 품질관리 방안으로 제시하고자 하였다. 검토 결과, 액상형 조강제의 동결온도는 -11.8°C 정도로 확인되어 콘크리트의 강도 발현 온도한계보다 낮은 온도 범위로서 안정적인 것을 확인하였으며, SiO_2 와 Na_2O 의 mol비를 0.31 수준으로 디자인한 sodium silicate를 $37\pm 0.5\%$ 포함시켜 제조함에 따라 저온에서의 겔화를 최소화하는 한편, 이의 저장 및 공급을 위해 고안된 설비 시설은 공급탱크의 온도를 40°C 정도로 설정하여 설비 전단계의 온도 분포가 실무 활용상 문제가 없음을 확인할 수 있었다.

핵심용어 : 액상형 혼화제, 초기강도, 동결온도, 겔화온도, 내동해성