

耐寒促進劑의 種類 및 混入量 變化에 따른 모르타의 強度特性에 관한 研究

A Study on the Strength Properties of Mortar Under Various Types and Contents of Accelerators for Freezing Resistance

이 상 수** 원 철** 박 상 준* 김 동 석*
Lee, Sang-Soo Won, Cheol Park, Sang-Joon Kim, Dong-Seok

Abstract

When fresh concrete is exposed to low temperature, the concrete may suffer frost damage due to freezing at early ages and strength development may be delayed. One of the solution methods for resolve these problems is to reduce freezing temperature of concrete by the use of chemical admixture called Accelerators for freezing resistance. In this study, we investigate the effect on strength development of cement mortar using accelerators for freezing resistance with the variance curing condition. As the result of this study, the mortar using accelerators for freezing resistance show that continuously strength development in curing condition of -5°C . And compressive strength under the variance temperature condition was higher than constant temperature condition in same maturity.

키워드 : 한중콘크리트, 내한축진제, 동결온도, 양생온도조건

Keywords : Cold weather concrete, Accelerators for freezing resistance, Freezing temperature, Curing temperature condition

1. 서 론

콘크리트에 있어 초기동해는 응결과정이거나 종결 후에도 충분한 강도발현이 되지 않은 단계에서 콘크리트중의 수분이 동결함에 따라 발생하게 되는데, 초기동해를 방지하기 위해서는 콘크리트가 동결하기 이전에 일정강도를 조기에 발휘하는 것이 필요하다. 따라서, 이에 대한 많은 대처방안이 제시되고 있는데, 최근에는 내한축진제를 사용하는 방법이 검토되고 있다.

즉, 내한축진제를 콘크리트에 적용하게 되면 콘크리트가 동결할 때까지의 적산온도를 증가시킬 뿐만 아니라 초기동해 방지에 커다란 효과가 있다고 보고¹⁾²⁾되고 있어 향후, 한중콘크리트 시공에 있어 이의 활용성은 매우 클 것으로 예상된다. 그러나, 적용현장의 여건에 따라 사용되는 콘크리트의 특성에 따른 차이나 겨울철 외기온 변화(일교차 등) 등에 따라 그의 활용방법이 크게 상이할 것으로 예상됨에도 불구하고, 이에 따른 연구자료는 매우 미흡한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 내한축진제를 혼합한 콘크리트의 실무 활용 가능성을 검토할 목적으로 콘크리트 단계에 앞서 모르타 조건에서 내한축진제의 동결온도와 양생조건(정온 및 변온양생)변화에 따른 강도발현성상 등을

검토함으로써 내한축진제를 사용한 한중콘크리트의 개발에 관한 기초자료를 제시하고자 한다.

2. 내한성 혼화제

2.1 내한성 혼화제의 종류 및 특징

콘크리트의 동결온도를 저하시킬 수 있는 약제로는 염화칼슘, 염화나트륨, 염화칼륨, 초산나트륨, 아초산 나트륨, 초산칼슘, 요소, 표백분, 에틸알코올 등이 있으며, 시멘트의 수화반응을 촉진시키는 물질로는 염화물과 탄산염 그리고 아초산염 등의 무기염류와 트리에탄올아민, 질산칼슘 등이 있는 것으로 알려져 있다. 그러나, 염화칼슘과 염화나트륨 등의 염화물은 철근을 부식시킬 가능성이 크고, 나트륨 등의 알칼리 염은 알칼리 골재반응을 촉진시킬 우려가 있다 하여 국내의 경우, 콘크리트에 함유되어 있는 총 염화물량을 엄격히 규제하고 있어 사실상 사용이 금지된 상태라 할 수도 있으며, 일본의 경우는 무염화무알칼리형 내한성 혼화제를 사용하도록 규정하고 있는 실정이다.(JIS A 6204)⁴⁾

한편, 요소는 무염화무알칼리형으로 물에 용해되면서 동결점 강하가 크고, 아초산이나 초산계 성분과 혼합되면 우수한 경화촉진능을 나타내는 특성을 갖고 있어 일부의 무염화무알칼리형 내한축진제의 주성분으로 사용되고 있다. 그러나, 요소는 콘크리트 중의 수산화칼슘을 가수분해함으로써 탄산화를 촉진시키는 동시에 암모니아 가

* (주)대우건설 기술연구소 건축연구팀 주임연구원

** (주)대우건설 기술연구소 건축연구팀 선임연구원

스를 발생시키는 문제점을 갖고 있다. 그러나, 요소에 의해 발생한 가스는 염화물이나 알칼리 성분에 의한 문제와는 달리 콘크리트의 물성변화에 거의 영향이 없는데, 이는 결국 건축구조물을 사용함에 있어 대응이 곤란한 실내환경 문제로 확산될 수도 있기 때문에 주의가 요구된다.

현행 무염화무알칼리형 내한축진제의 주요성분으로는 아초산칼슘과 초산칼슘을 단독으로 혹은, 혼합된 것이 대부분이다. 아초산칼슘은 시멘트 중에 C₃S와 C₂S의 수화를 촉진하고, 시멘트의 Al₂O₃ 및 C₃A와 반응하여 3CaO·Al₂O₃·3Ca(NO₃)₂·16~18H₂O 및 3CaO·Al₂O₃·CaO·Ca(NO₂)₂·10H₂O를 생성한다. 더욱이, 콘크리트중의 수산화칼슘과 반응하여 CaO·Ca(NO₃)₂·3H₂O와 CaO·Ca(NO₂)₂·3H₂O등을 생성함으로써 시멘트 페이스트 조직을 치밀하게 한다. 아초산칼슘은 방청제의 주성분이기도 하다.

2.2 내한축진제의 성능

내한축진제를 사용한 콘크리트의 경우 동결점 강하작용에 의해 콘크리트의 동결온도를 낮출 수 있는데, 실용상 콘크리트 중에 포함된 내한축진제의 농도는 단위수량에 대해 대략 10%정도로서 이 경우, 동결온도는 -2~-4℃ 정도가 된다. 즉, 내한축진제를 사용한 콘크리트의 동결온도 저하효과는 보통콘크리트와 비교하여 그다지 크지는 않지만, 내한축진제를 사용함으로써 응결경화가 촉진되고, 초기동해 방지에 필요한 압축강도를 조기에 얻을 수 있는 것으로 보고되고 있다¹⁾²⁾. 그러나, 실제 구조물에 있어 그 효과를 최대한 발휘하기 위해서는 콘크리트에서 발생되는 수화열의 정도나 부재의 형상 및 단면치수가 매우 중요한 요소이므로 사용하기에 앞서 충분한 검토가 요구된다.

Fig 1은 내한축진제에 의한 초기동해 방지개념을 나타낸 것이다. 즉, 부재치수 및 양생방법에 따른 부재의 열용량 효과와 내한축진제의 농도에 비례한 동결온도 저하효과 그리고, 경화촉진 효과를 종합함으로써 허용 외기온이 결정됨을 알 수 있다.

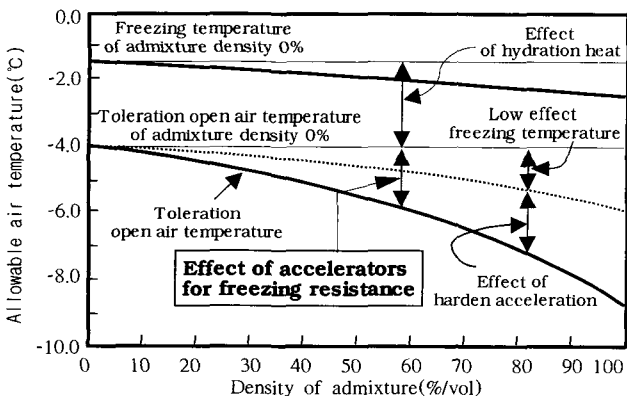


Fig 1. A general concept of accelerators for freezing resistance(concrete thickness:15cm, concrete temperature:15℃)

3. 실험계획 및 방법

3.1 실험계획

먼저, 본 실험에 앞서 내한축진제의 농도를 0%에서 100%까지 10%단위로 변화시켜 동결특성을 분석하였으며, 이를 모르터 조건과 비교하였다.

본 연구는 Table 1과 같이 시리즈별로 구분하여 실시하였는데, 먼저 모르터의 배합비와 W/C는 시리즈에 따른 구분 없이 각각 1 : 3과 50%의 1개 수준으로 하였으며, 혼화제 종류는 촉진형 감수제 1종과 내한축진제(이하 NF라 칭함) 3종류를 대상으로 사용하지 않은 경우와 표준사용량을 사용한 경우에 대하여 각각 비교분석 하였다. 한편, 초기동해방지와 밀접한 관계가 있을 것으로 예상되는 前양생조건은 적산온도로 계산하여 10DD~40DD까지 10DD단위로 변화시키는 범위내에서 정온 및 변온양생으로 구분하여 실시하였으며, 前양생이후에는 10±1℃의 환경에서 정온양생은 28일까지, 변온양생은 56일까지 양생하였다. 즉, 1시리즈의 前양생은 5℃, 0℃ 및 -5℃인 조건에서 각각의 적산온도에 해당하는 시간동안 정온으로 양생하였고, 2시리즈에서는 1시리즈의 연구결과를 바탕으로 2종류의 NF만을 선정하여 평균양생온도가 각각 0℃(5℃~-5℃)와 -5℃(0℃~-10℃)가 되는 변온조건으로 양생하였다.

실험사항으로는, 일반모르터를 비롯하여 촉진형 감수제와 NF를 혼합한 모르터의 응결시간, 염화물량, 동결온도 및 압축강도를 계획된 재령에서 실시하였는데, 이때 1시리즈의 모르터 동결온도시험에 적용된 내한축진제의 사용량은 시멘트 100kg당 각각 2ℓ, 4ℓ 및 6ℓ로 변화시켜 혼합함으로써 사용량에 따른 동결특성도 검토하고자 하였다.

Table 1. Design of experiment

Variable		Levels	
1 Series	W/C(%)	1	50
	Mixed ratio(C:S)	1	1 : 3(weight ratio)
	Kinds of admixture	4	Water reducing accelerator K-product, S-product, B-product
	Mixed contents of admixture	3	Plain Standard content of Accelerator for freezing resistance(4ℓ/C=100g) Water reducing accelerator(0.3%/Cg)
	Curing condition	3	-5℃, 0℃, 5℃(constant temperature)
	Maturity (DD)	4	10, 20, 30, 40
2 Series	Experiment	4	Freezing temperature of mortar (2ℓ, 4ℓ, 6ℓ/C=100kg) Setting time Chloride content Compressive strength (curing immediately after, 7, 28, 56day)
	Kinds of admixture	3	Plain, K-product, B-product
	Curing condition	2	5℃~-5℃, 0℃~-10℃ (variance temperature)
Experiment	1	Compressive strength (curing immediately after, 7, 28, 56day)	

3.2 사용재료

본 실험에 사용한 각종 사용재료(시멘트, 잔골재, 촉진형 감수제 및 NF)의 물리적 성질은 Table 2~4와 같다.

시멘트는 국내 S사의 1종 보통 포틀랜드 시멘트를, 잔골재는 105±5℃조건에서 절건상태로 조정한 남양만산 세척사를 사용하였다. 촉진형 감수제는 국내 S사의 제품을, NF는 제품별로 국내산 2종, 일본산 1종을 사용하였다.

Table 2. Physical properties of cement

Specific gravity	Blaine (㎎/g)	Setting time(h:m)		LOI (%)	Soundness (%)	Compressive strength(kgf/㎠)		
		Initial	Final			3D	7D	28D
3.15	3,200	3:50	6:10	0.7	0.05	195	293	397

Table 3. Physical properties of Fine aggregates

Specific gravity	Finess Modulus	Absorption ratio(%)	Unit weight (kg/m ³)	Solid content(%)	75 μ m passing(%)
2.59	2.60	0.52	1,690	64.8	0.5

Table 4. Physical properties of Accelerator for freezing resistance

Agents	Maker	Main composition	Specific gravity(20℃)	pH	Freezing Temp.(℃)	Shape	Color
water reducing accelerator	H	Naphthalin	1.15	-	-	liquid	dark brown
accelerator for freezing resistance	K	Inorganic nitrogen compound	1.32 ~ 1.36	0.2 less than	-30	liquid	dark brown
	S	Inorganic nitrogen compound	1.40±0.03	0.2 less than	-30	liquid	dark brown
	B	Inorganic nitrogen urea	1.32 ~ 1.36	0.2 less than	-30	liquid	light yellow

3.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로 모르터의 혼합은 KS L 5109에 의한 수경성 시멘트 반죽 및 모르터의 기계적 혼합방법에 의하여 실시하였다. 모르터의 동결온도 측정은 Ø10×20cm의 몰드를 항온항습기에 넣어 -30℃까지 급속 냉동시키면서 열전도계를 이용하여 Data logger로 15분 간격으로 측정하였다. 또한, 염화물 측정은 굳지 않은 콘크리트의 염분함유량 측정기(EM-250)를 이용하여 측정하였으며, 응결시험은 KS F 2436의 관입저항침에 의한 방법으로 측정하였다.

4. 실험결과 및 분석

4.1 동결온도 측정결과

Fig 2는 모르터 단계에 앞서 수행된 NF의 종류 및 농도 변화에 따른 동결온도특성을 나타낸 것으로서 전반적으로, NF의 농도가 증가할수록 동결온도도 크게 낮아지는 것으로 나타났는데, 세부적으로, NF의 농도가 100%인 조건에서 K사 제품의 동결온도는 -29.9℃, S제품은 -29.5℃, B제품은 -26.4℃인 것으로 나타나고 있어 NF의 제품 종류에 따라 동결특성도 다소 상이하다는 것을 알 수 있었다.

Fig 3과 4는 NF를 혼합한 시멘트 모르터의 동결특성을 NF의 종류 및 혼입량(2ℓ, 4ℓ, 6ℓ / C=100kg)별로 구분하

여 나타낸 것이다. 전반적으로, NF의 혼입량이 증가함에 따라 동결온도는 낮아지는 반면, 촉진형 감수제의 경우는 동결온도 저하에 거의 영향이 없는 것으로 나타났다.

NF의 종류별로는 S사의 제품(-0.3~-1.8℃)이나 B사 제품(-0.7~-1.9℃)에 비해, K사의 제품(-0.9~-3.7℃정도)을 사용한 모르터의 경우가 가장 낮은 동결특성이 있는 것으로 나타났다. 이러한 특성은 plain 모르터에 비해 -0.6~-3.4℃정도까지 낮아진 결과이다. 그러나, 이러한 NF의 동결온도 저하성능만으로 모르터나 콘크리트의 초기 동해를 방지하는 데는 한계가 있다고 판단되나, 그렇지만, 경미한 동결조건에서는 1~3℃정도의 근소한 융점강하만으로도 모르터나 콘크리트가 동결할 때까지의 시간을 대폭적으로 연장하는데 도움을 주고, 그 사이에 소요의 강도를 얻을 수 있기 때문에 한중 공사에 매우 유리한 것으로 예상된다.

한편, 모르터에 혼합된 NF의 혼입량을 단위수량에 대한 NF의 농도로 계산할 경우, 각각 5.2%, 10.7%, 15.6%정도가 되는데, 이러한 결과는 NF의 농도변화에 따른 동결온도 특성과 NF를 혼합한 모르터의 동결특성간에 밀접한 상관성이 있다는 것을 의미한다. 즉, 모르터 단계에서의 동결온도와 NF의 농도변화에 따른 동결온도간에는 모르터의 배합조건이나 환경조건 등에 따라 다소 상이할 수 있으나, NF의 농도변화에 따른 동결온도만을 측정함으로써 모르터 단계에서의 동결온도도 예측할 수 있을 것으로 예상된다.

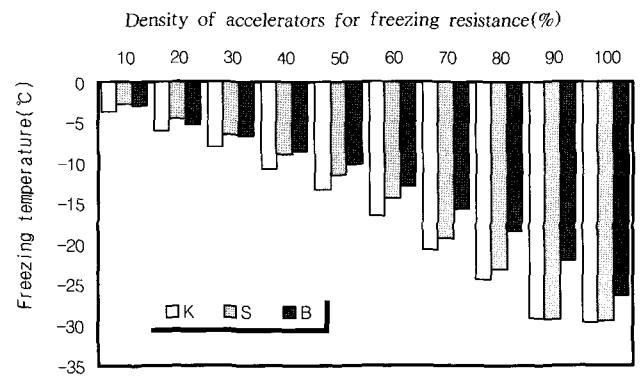


Fig 2. Freezing Temperature of Accelerators for freezing resistance

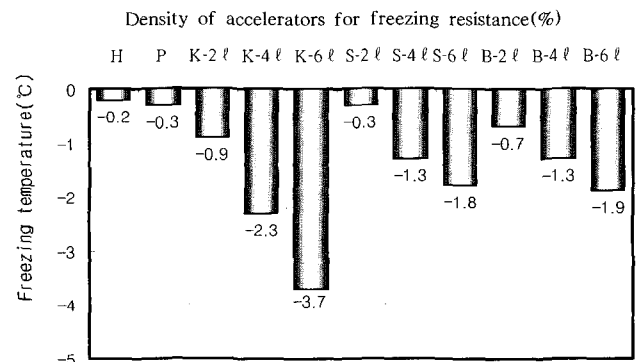


Fig 3. Freezing temperature properties of mortar

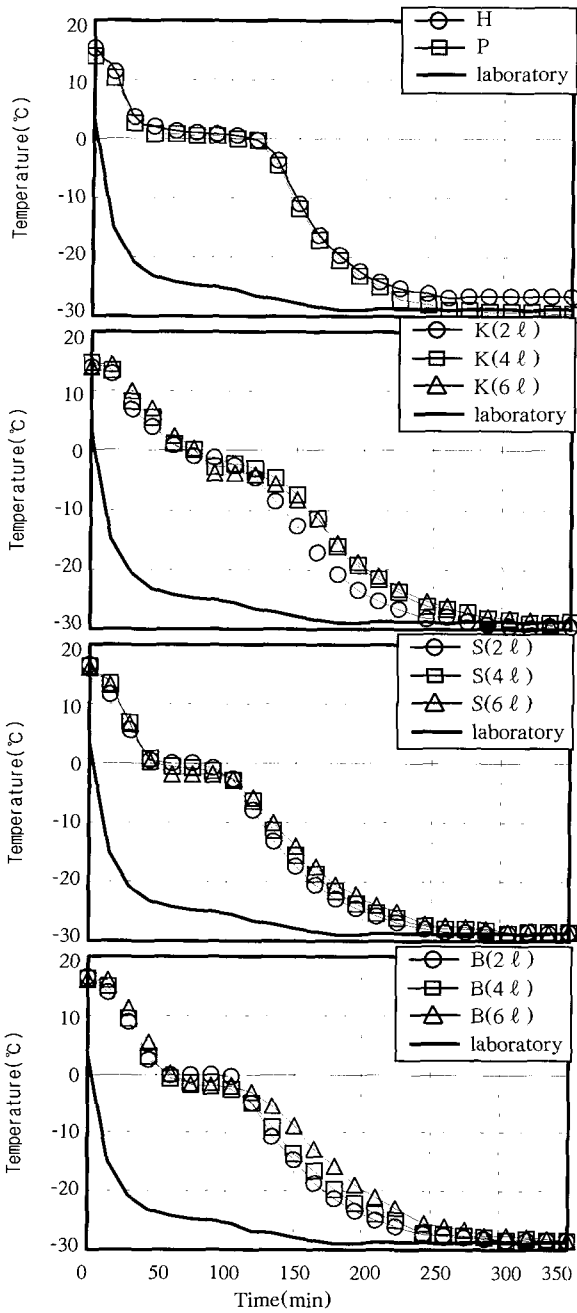


Fig 4. Freezing temperature curve of mortar

4.2 응결특성 및 염화물 측정결과

모르터나 콘크리트의 응결·경화는 환경온도의 영향을 받아 저온이 될수록 지연되는데, 특히 초기동해는 응결과 정이나 종결후의 아직 충분한 강도가 발현되지 않은 단계에서 내부의 수분이 동결함에 따라 발생하게 된다. 따라서, Fig 5는 NF의 표준사용량(4 l / C=100kg)을 사용한 시멘트 모르터의 응결특성을 NF의 종류 및 양생온도조건(0°C, 5°C, 20°C)으로 구분하여 분석한 것이다.

즉, NF의 제품종류에 따라 응결특성이 다소 차이는 있으나, 전반적으로 양생온도가 낮을수록, NF를 혼합한 경우가 plain이나 촉진형 감수제를 사용한 경우보다 빠른 응결특성이 있는 것으로 나타났다. 세부적으로는 양생온

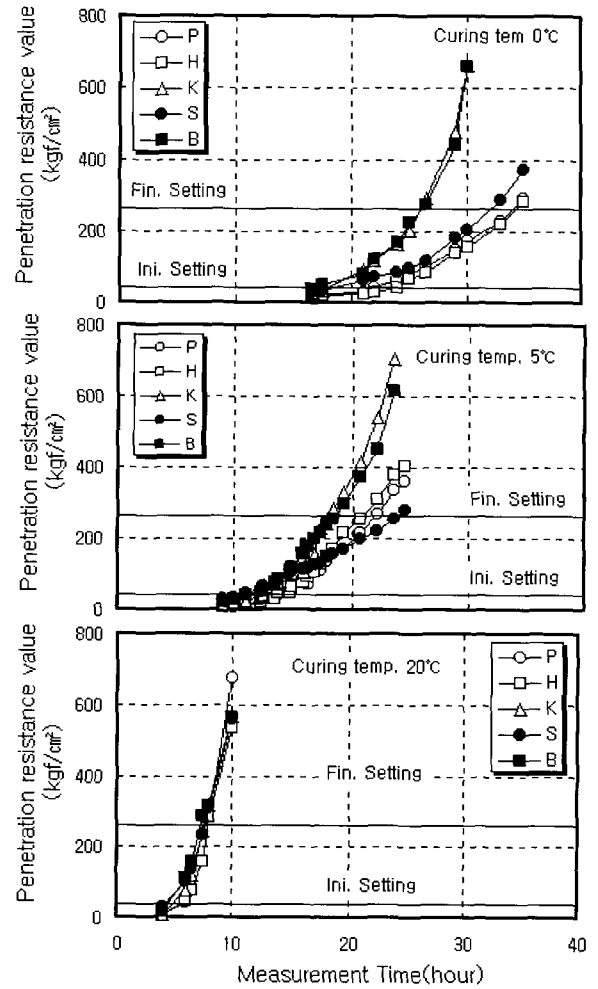


Fig 5. Time of setting curve of mortar

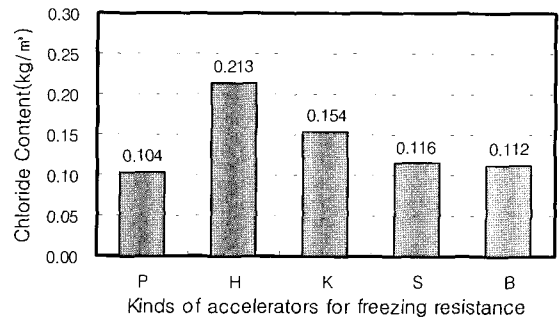


Fig 6. Chloride content of mortar

도가 0°C인 경우, plain에 비하여 K와 B는 각각 270분, 330분 정도 빠른 초결 특성이 있는 것으로 나타난 반면, 국내 제품이 아닌 S의 경우는 양생온도가 5°C인 조건에서 초결은 빠르게 되나, 종결의 경우, 오히려 응결이 지연되는 것으로 나타났다. 따라서, NF를 현장에 활용함에 있어서는 사용재료의 적합성이나 기타 요구되는 품질성능의 만족여부를 실무조건에서 면밀히 검토한 후, 적용하여야 할 것으로 판단된다. 촉진형 감수제를 사용한 경우는 양생온도에 관계없이, 응결촉진효과가 적은 것으로 나타났다.

Fig 6은 축진형 감수제 및 NF 종류에 따른 모르타의 염화물량 측정결과를 나타낸 것으로서, NF를 첨가하여도 염화물량에는 거의 영향이 없는 것으로 나타났으며, 본 연구범위에서 검토한 NF 및 축진형 감수제의 경우 KS F 4009의 관리규준을 모두 만족하고 있었다. 따라서, 모르타나 콘크리트의 조기강도 발휘를 목적으로 사용하게 되는 각종 혼화제의 특성중 고려되는 강재의 부식에 대해서는 안전할 것으로 예상된다.

4.3 강도특성

모르타의 강도증진 예측을 위해 본 연구에서 적용한 적산온도식은 식(1)과 같고, 강도증진 해석모델은 식(2)와 같다.¹⁾⁵⁾⁶⁾

$$M = \sum_{i=1}^n (\theta_z + 10) \Delta t \dots\dots\dots \text{식(1)}$$

여기서, θ_z : i 시간중의 모르타 온도(°C)
 Δt : 시간(일)

$$F_c = \frac{F_\infty}{1 + \exp(-k \cdot \log M + m)} \dots\dots\dots \text{식(2)}$$

여기서, F_∞ : 최종도달강도
 M : 적산온도
 k, m : 계수

Fig 7은 로지스틱 곡선식을 이용하여 NF를 혼합하고, 정온조건에서 양생한 모르타를 대상으로 적산온도 경과에 따른 강도증진성상을 나타낸 것이다. 전반적으로, 적산온도 증가에 따른 강도증진성상은 실제 압축강도 측정결과와 로지스틱 곡선식을 이용한 강도증진해석 결과는 비교적 유사한 것으로 분석되었으나, 내한성 혼화제의 종류로 축진형 감수제를 사용한 경우나 양생온도가 -5°C인 조건에서는 다소 차이가 있는 것으로 나타났다.

정온양생이면서 양생온도가 -5°C인 조건에서는 NF를 혼합한 경우가, 0°C나 5°C의 양생조건에 비해 다소 낮은 강도발현 성상을 보이고 있으나, 전체적으로 적산온도가 증가함에 따라 강도도 지속적으로 증진되는 것으로 나타나고 있어, NF의 동해방지효과를 확인할 수 있었다. 그러나, plain과 축진형 감수제를 혼합한 경우는 일정한 적산온도(200DD)에 도달한 후, 그 이후의 강도증진은 거의 없는 것으로 분석되었다. 즉, 로지스틱 곡선을 이용하기 위한 결정계수의 산출결과에서 plain과 축진형 감수제를 사용한 경우, 표준오차가 각각 40kgf/cm²와 65kgf/cm²인 것으로 분석됨으로써 현행 콘크리트의 강도증진해석을 목적으로 사용되는 로지스틱 곡선이나 적산온도의 경우, 양생조건이 영하인 조건에서는 직접적으로 활용하기에 부적합하다는 것을 알 수 있었다.

Fig 8은 1시리즈의 연구결과를 바탕으로 plain과 2종류(K사, B사)의 NF만을 대상으로 변온양생조건인 [0°C(5°C ~ -5°C)와 -5°C(0°C ~ -10°C)]에서 양생한 공시체의 압축강도 시험결과를 Fig 7과 동일한 요령으로 나타낸 것이다. 즉, 정온양생의 경우와는 달리 영향의 양생온도조건임

에도 불구하고, 압축강도가 지속적으로 증진되는 것을 확인할 수 있었다. 따라서, 한중콘크리트의 구조체 강도를 평가함에 있어, 동일 적산온도라 할지라도 정온양생보다는 실제 콘크리트 구조물의 환경에 대응할 수 있는 것으로 판단되는 변온양생이 더욱 유리하다는 결론을 얻었다.

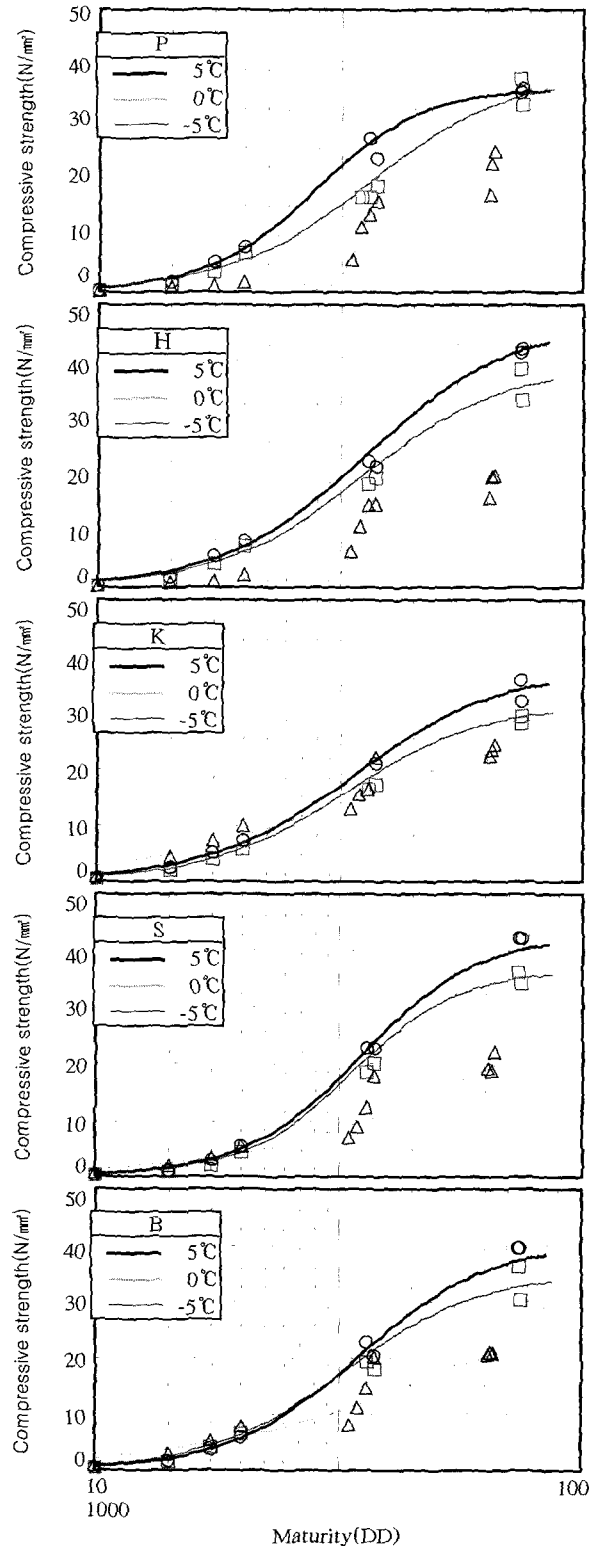


Fig 7. Strength properties of mortar(constant curing condition)

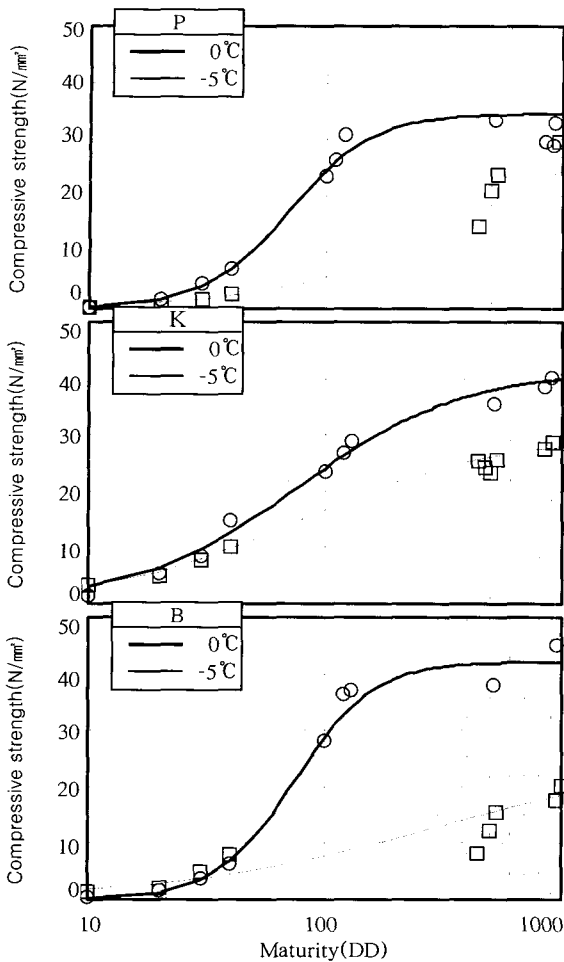


Fig 8 Strength properties of mortar(variance curing condition)

5. 결론

내한촉진제의 실무 활용 가능성을 사전에 검토할 목적으로 콘크리트 단계에 앞서 모르터 단계에서 내한촉진제를 사용한 모르터의 기초성상과 양생조건(정온 및 변온양생)변화에 따른 강도발현성상 등을 검토한 결과를 정리하면 다음과 같다.

- (1) 내한촉진제의 종류에 따른 구분 없이, 내한촉진제의 사용량이 증가함에 따라 모르터의 동결온도는 낮아지는 반면, 촉진형 감수제의 경우는 동결온도 저하에 거의 영향이 없는 것으로 나타났다. 내한촉진제 종류별로는 S(-0.3℃ ~ -1.8℃)이나 B(-0.7℃ ~ -1.9℃)의 동결특성에 비해 K(-0.9℃ ~ -3.7℃)를 사용한 경우가 가장 낮은 동결특성이 있는 것으로 나타났으며, 내한촉진제의 농도변화에 따른 동결온도와 모르터 조건에서의 동결온도간에도 밀접한 상관관계가 있다는 것을 알 수 있었다.
- (2) 내한촉진제의 표준사용량(4 l / C=100kg)을 사용한 모르터의 응결특성은 양생온도가 낮을수록, 내한촉진제의 응결촉진 효과가 우수한 것으로 평가되었으며, 염화물량은 공히 KS F 4009의 관리규준을 만족하고 있었다.

- (3) 강도증진성상은 내한촉진제를 혼합한 경우, 로지스틱 곡선식을 이용한 강도증진해석 결과와 거의 유사한 것으로 나타났다. 그러나, 양생조건이 -5℃이고, plain과 촉진형 감수제를 사용한 경우는 강도증진해석 결과의 표준오차가 상대적으로 매우 크게 나타나, 강도증진해석을 목적으로 사용되는 로지스틱 곡선이나 적산온도와 압축강도의 관계에서 적용성이 낮은 것으로 평가되었다.
- (4) 내한촉진제를 혼합한 모르터가 압축강도 50kgf/cm²을 발휘하게 되는 적산온도는 각각 20 ~ 30DD(K), 30 ~ 40DD(B), 40DD(S)이후인 것으로 나타나고 있어 향후 현장에 적용할 경우에는 사전에 내한촉진제의 종류에 따른 성능검토가 선행되어야 할 것으로 판단된다.
- (5) 양생방법에 따른 한중콘크리트의 압축강도는 동일 적산온도라 할지라도 정온양생보다는 실무환경과 유사한 조건이라 할 수 있는 변온양생이 더 유리한 것으로 나타났다.

참고문헌

1. 浜幸雄(1998), 耐寒促進劑による寒中コンクリート施工指針に関する研究, 北海道大學.
2. 浜辺謙吉 外3人(1992), 耐寒用特殊混和劑ノンフリーズの特性について, エヌエムピー研究報告, No.9.
3. (주)대우건설 기술연구소(2002). 내한촉진제를 이용한 겨울철 콘크리트의 개발 및 실용화 연구.
4. 日本建築學會(1998). 寒中コンクリート施工指針・同解説.
5. 한천구, 한민철(2000). 한중콘크리트의 초기동해방지를 위한 초기양생기간의 산정, 한국콘크리트학회논문집, 제12권 3호, pp.47 ~ 55.
6. 三森敏司 外3人(2000), 水點下でのコンクリートの強度増進性狀と積算溫度關數式に関する検討, 콘크리트工學年次論文集, Vol.22, No.2.