

정온 및 변온조건하에서 내한축진제를 혼합한 모르터의 강도특성

김영진¹⁾ · 이상수¹⁾ · 원 철¹⁾ · 박상준^{1)*}

¹⁾(주)대우건설 기술연구소

(2002년 6월 27일 원고접수, 2002년 9월 13일 심사완료)

Strength Properties of Mortar Mixed with Accelerator for Freeze Protection in Constant and Variable Temperature Condition

Yonug-Jin Kim¹⁾, Sang-Soo Lee¹⁾, Cheol Won¹⁾, and Sang-Joon Park^{1)*}

¹⁾ Institute of Daewoo Construction Technology, Suwon, 440-210, Korea

(Received June 27, 2002, Accepted September 13, 2002)

ABSTRACT

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

Keywords : strength development, accelerator for freeze protection, freezing temperature, maturity curing condition

1. 서 론

한중콘크리트에 있어 초기동해는 응결과정이거나 종결 후에도 충분한 강도발현이 되지 않은 단계에서 콘크리트 중의 수분이 동결함에 따라 발생하게 되는데, 초기동해를 방지하기 위해서는 콘크리트가 동결하기 이전에 소요강도를 조기에 발휘하는 것이 절실하다. 따라서, 이에 대한 많은 대처방안이 제시되고 있는데, 특히 최근에는 무염화·무알칼리형 내한축진제를 사용하는 방안이 검토되고 있다.

즉, 韓의 연구¹⁾에서는 각종 내한성 혼화제를 콘크리트에 적절하게 활용하면 콘크리트가 동결할 때까지의 적산온도가 증가될 뿐만 아니라 초기동해 방지에 양호한 효과가 있다고 보고하고 있어 향후, 한중콘크리트 시공에 있어 이의 활용성은 매우 클 것으로 예상된다.

그러나, 현재까지 수행된 대부분의 연구는 실험실에서 실시된 정온양생조건에 연구결과로서 실무에서는 적용현장의 여건에 따라 사용되는 콘크리트의 특성에 따른 차이나 겨울철의 외기온 변화(일교차 등) 등에 따라 그의 활용방법이 상이할 것으로 예상됨에도 불구하고, 아직까지

실무환경 조건에 따른 연구자료는 미흡한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 내한축진제를 혼합한 콘크리트의 실무 활용 가능성을 검토할 목적으로 콘크리트 단계에 앞서 모르터 조건에서 동결온도, 응결시간 및 염화물량 등을 측정하고, 아울러 정온 및 변온조건에서 양생한 모르터의 강도특성도 검토함으로써 내한축진제를 사용한 한중콘크리트의 개발에 관한 기초자료를 제시하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 실험에 앞서 내한축진제 자체의 특성을 검토하기 위하여 내한축진제의 농도를 0%에서 100%까지 10%단위로 변화시켜 동결특성을 분석하였으며, 이를 모르터 조건과 비교·검토하였다.

본 연구는 Table 1 및 Table 2에서와 같이 시리즈별로 구분하여 실시하였는데, 먼저 모르터의 배합비와 W/C는 시리즈에 따른 구분 없이 각각 1 : 3과 50%의 1개 수준으로 하였으며, 혼화제 종류는 축진형 감수제 1종과 내한축진제(이하, NF라 칭함) 3종류를 대상으로 사용하지 않은 경우와 표준사용량을 사용한 경우에 대하여 각각 비교

* Corresponding author

Tel : 031-250-1122 Fax : 031-250-1131

E-mail : concrete@mail.dwconst.co.kr

분석 하였다. 한편, 초기동해방지와 밀접한 관계가 있을 것으로 예상되는 전치양생조건은 적산온도로 계산하여 10~40℃까지 10℃ 단위로 변화시키는 범위내에서 정온 및 변온양생조건으로 구분하여 실시하였으며, 전치양생이후에는 10±1℃의 환경에서 정온은 28일까지, 변온은 56일까지 양생하였다. 즉, 1시리즈의 전치양생은 5℃, 0℃ 및 -5℃인 조건에서 각각의 적산온도에 해당하는 시간 동안 정온조건에서 양생하였고, 2시리즈에서는 1시리즈의 연구결과를 바탕으로 2종류의 NF만을 선정하여 평균양생온도가 각각 0℃(5℃~-5℃)와 -5℃(0℃~-10℃)가 되는 변온조건에서 양생하였다.

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

2.2 사용재료

본 실험에 사용한 각종 사용재료(시멘트, 잔골재, 촉진형 감수제 및 NF)의 물리적 성질은 Table 3~5와 같다.

시멘트는 국내 S사의 보통 포틀랜드 시멘트를, 잔골재는 105±5℃ 조건에서 절건상태로 한 남양만산 세척사를 사용하였다. 촉진형 감수제는 국내 S사의 제품을, NF는 제품별로 국내산 2종(K사, B사), 일본산 1종(S사)을 사용하였다.

2.3 실험방법

모르터의 혼합은 KS L 5109에 의한 수경성 시멘트 반죽 및 모르터의 기계적 혼합방법에 의하여 실시하였다. 모르터의 동결온도는 Ø10×20 cm의 몰드를 항온항습기에 넣어 -30℃까지 급속 냉동시키면서 열전대를 이용하여 data logger로 15분 간격으로 온도를 측정하였고, 이에 따른 동결온도의 판정은 KS M 2142(부동액)에 따라 실시

Table 2 Mix proportions of mortar

W/C (%)	Mixed ratio (C : S)	Marker	Unit volume(ℓ / m ³)				
			W	C	S	AD1*	AD2*
50	1 : 3	P	251	159	581	-	-
		K, S, B	230	159	581	20.04	-
		H	251	159	581	-	1.50

* AD1(NF), AD2(WRA)

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 freeze protection (4ℓ/C=100 kg) · Water reducing accelerator
	Curing condition	3	-5℃, 0℃, 5℃ (constant temperature condition)
	Maturity (°CD)	4	10, 20, 30, 40
2 Series	Experiment	4	· Freezing temperature of mortar (2ℓ, 4ℓ, 6ℓ/C=100 kg) · Setting time · Chloride content · Compressive strength (7, 28, 56 days)
	Kinds of admixture	3	· Plain, K-product, B-product
	Curing condition	2	5℃~-5℃, 0℃~-10℃ (variance temperature condition)
Experiment	1	· Compressive strength (7, 28, 56 days)	

Table 3 Physical properties of cement

Specific gravity	Blaine (cm ² /g)	Setting time(h:m)		LOI (%)	Soundness (%)	Compressive strength(kgf/cm ²)		
		Initial	Final			3D	7D	28D
3.15	3,200	3:50	6:10	0.7	0.05	195	293	397

Table 4 Physical properties of fine aggregate

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

하였다. 또한, 염화물 측정은 굳지 않은 콘크리트의 염분 함유량 측정기(모델명 : EM-250)를 이용하여 측정하였으며, 응결시험은 KS F 2436의 관입저항침에 의한 방법으로 측정하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 내한촉진제 및 모르타의 동결온도

Fig. 1은 모르타 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°C , S제품은 -29.5°C ,

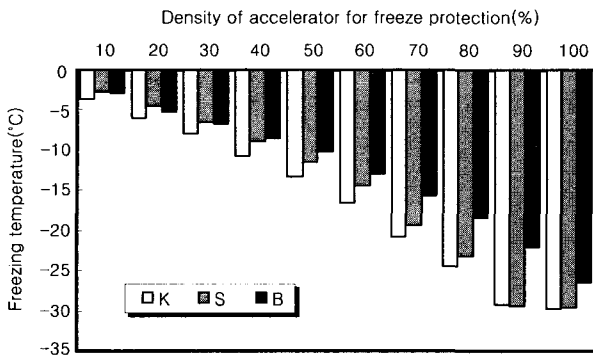


Fig. 1 Freezing temperature of accelerator for freeze protection

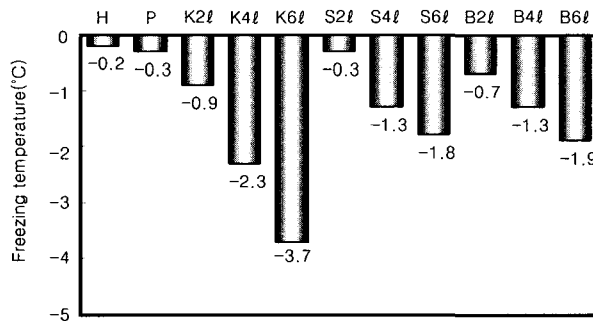


Fig. 2 Freezing temperature properties of mortar

B제품은 -26.4°C 인 것으로 나타나고 있어 NF의 제품종류에 따라 동결특성도 다소 상이하다는 것을 알 수 있었다.

Fig. 2와 3은 NF를 혼합한 시멘트 모르타의 동결특성을 NF의 종류 및 혼입량(2 l, 4 l, 6 l/C=100 kg)별로 구분하여

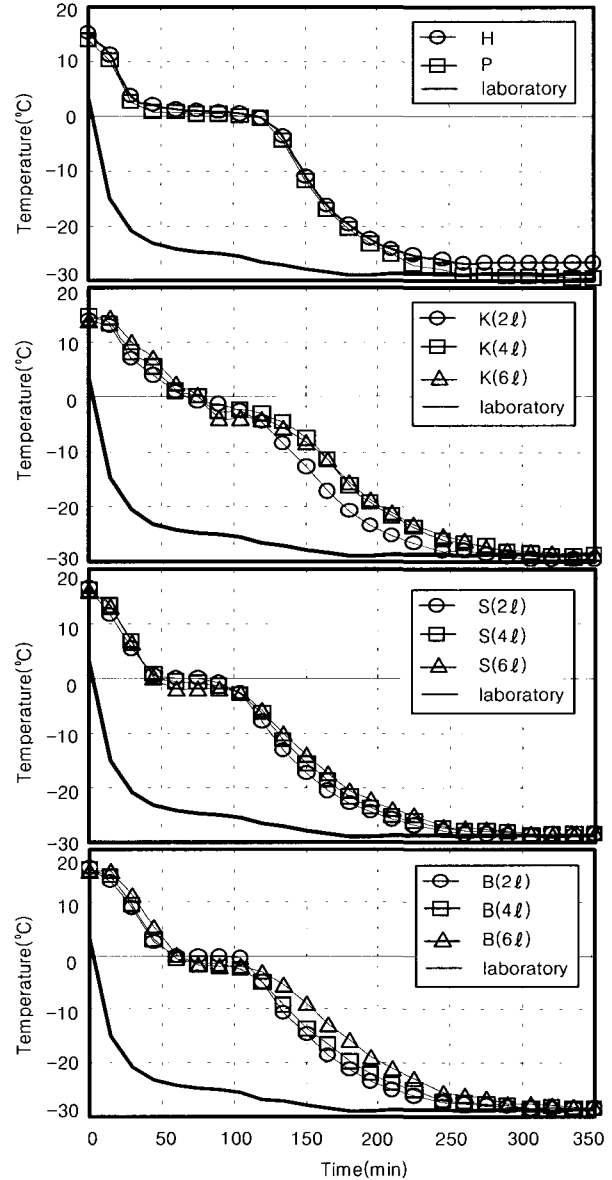


Fig. 3 Freezing temperature curve of mortar

Table 5 Physical properties of accelerator for freeze protection

Types	Maker	Main composition	Specific gravity(20°C)	pH	Freezing Temp.(°C)	Shape	Color
Water reducing accelerator	H	Naphthalin	1.15	-	-	liquid	Dark brown
Accelerator for freeze protection	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

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 초기동해를 방지하는 데는 한계가 있다고 판단되나, 경미한 동결조건에서는 1~3℃ 정도의 근소한 융점강하만으로도 모르터나 콘크리트가 동결할 때까지의 시간을 어느정도 연장하는데 도움을 주고, 그 사이에 소요의 강도를 얻을 수 있기 때문에 한중 공사에 유리할 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.

3.2 응결특성 및 염화물 측정결과

모르터나 콘크리트의 응결·경화는 저온일수록 크게 지연되는데, 특히 초기동해는 응결과정이나 종결후의 아직 충분한 강도가 발휘되지 않은 단계에서 내부의 수분이 동결함에 따라 발생하게 된다. 따라서, Fig. 4는 NF의 표준사용량(4 l/C=100 kg)을 사용한 시멘트 모르터의 응결특성을 NF의 종류 및 양생온도조건(0℃, 5℃, 20℃)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 양생온도가 0℃인 경우, plain에 비하여 K와 B는 각각 270분, 330분 정도 빠른 초결 특성이 있는 것으로 나타난 반면, S의 경우는 양생온도가 5℃인 조건에서 초결은 빠르게 되나, 종결의 경우, 오히려 응결이 지연되는 것으로 나타났다. 촉진형 감수제를 사용한 경우는 양생온도에 관계없이, 응결촉진효과가 적은 것으로 나타났다.

Fig. 5는 촉진형 감수제 및 NF의 종류에 따른 모르터의 염화물량 측정결과를 나타낸 것이다. 즉, 일반 모르터에

비해 촉진형 감수제나 NF를 첨가한 경우, 염화물량이 다소 증가하는 경향은 있으나, KS F 4009의 관리규준인 0.3 kg/m³ 이하를 모두 만족하고 있었다. 따라서, 모르터나 콘크리트의 조기강도 발휘를 목적으로 사용하게 되는 각종 혼화제의 특성중 고려되는 강재의 부식에 대해서는 안전할 것으로 예상된다.

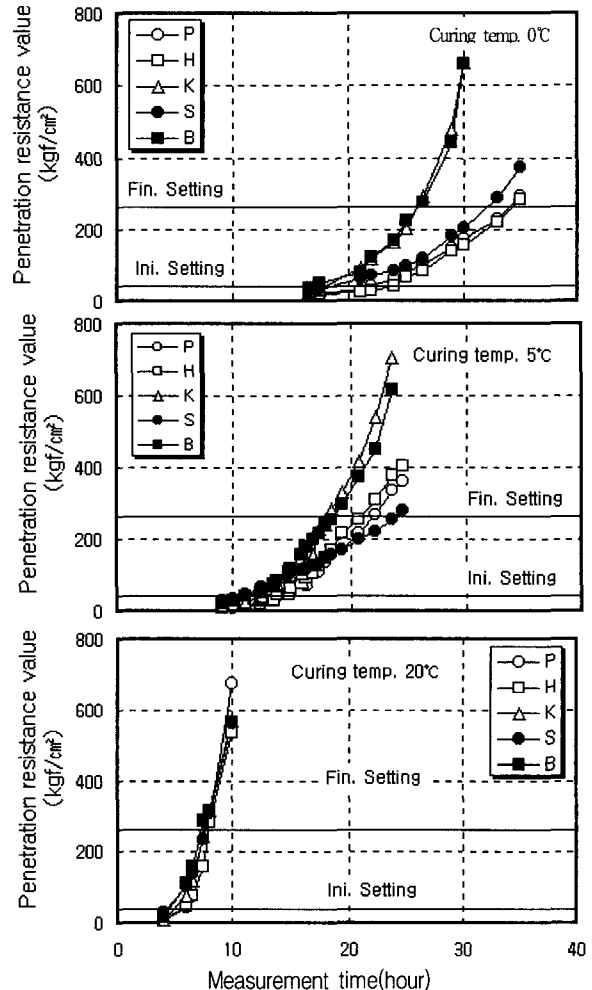


Fig. 4 Time of setting curve of mortar

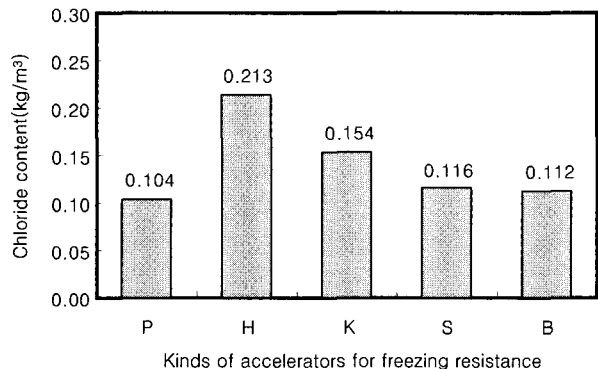


Fig. 5 Chloride content of mortar

3.3 정온 및 변온조건에 따른 강도특성

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

$$M = \sum_0^z (\theta_z + 10) \Delta t \quad (1)$$

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

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

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

Fig. 6은 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 혼화제로 축진형 감수제를 사용한 경우이거나 양생온도가 -5°C인 조건에서는 다소 차이가 있는 것으로 나타났다.

즉, 로지스틱 곡선을 이용하기 위한 결정계수의 산출결과에서 plain과 축진형 감수제를 사용한 경우, 표준오차가 각각 40 N/mm²와 6.5 N/mm²인 것으로 분석됨으로서 현행 콘크리트의 강도증진평가를 목적으로 사용되는 적산온도의 경우, 초기양생조건이 영하인 조건에서는 활용하기에 다소 부적합하다는 것을 알 수 있는데, 이러한 결과는 콘크리트의 경화과정이 양생온도 함수와 선형을 이루지 않으며, Saul의 적산온도함수는 5~30°C의 제한된 온도범위를 가진다는 Price²⁾의 주장과 일치하는 결과라 할 수 있다.

따라서, 鎌田^{3,4)}이 제안한 초기온도보정항 $C_{\theta}(-25+1.25\theta)$: 보통 포틀랜드 시멘트, θ 는 초기재령시의 온도)이나, 적산온도함수의 기준온도^{4,5)}를 콘크리트의 특성에 따라 달리 적용하는 등에 대한 추가검토가 요구된다.

한편, 정온조건으로 양생온도가 -5°C인 조건에서는 NF를 혼합한 경우가, 0°C나 5°C의 양생조건에 비해 다소 낮은 강도발현 성상을 나타내고 있으나, 전반적으로 적산온도가 증가함에 따라 강도도 지속적으로 증진되는 것으로 나타나고 있어, NF의 초기동해 방지효과를 확인할 수 있었다. 그러나, plain과 축진형 감수제를 혼합한 경우는 일정한 적산온도(200°C)에 도달한 이후, 강도증진이 거의 없는 것으로 나타났는데, 이는 충분한 강도가 발현되지 않

은 모르타가 초기동해피해를 받게 되어 나타난 결과로 분석된다.

한편, 압축강도 5.0 N/mm²를 발휘하게 되는 적산온도

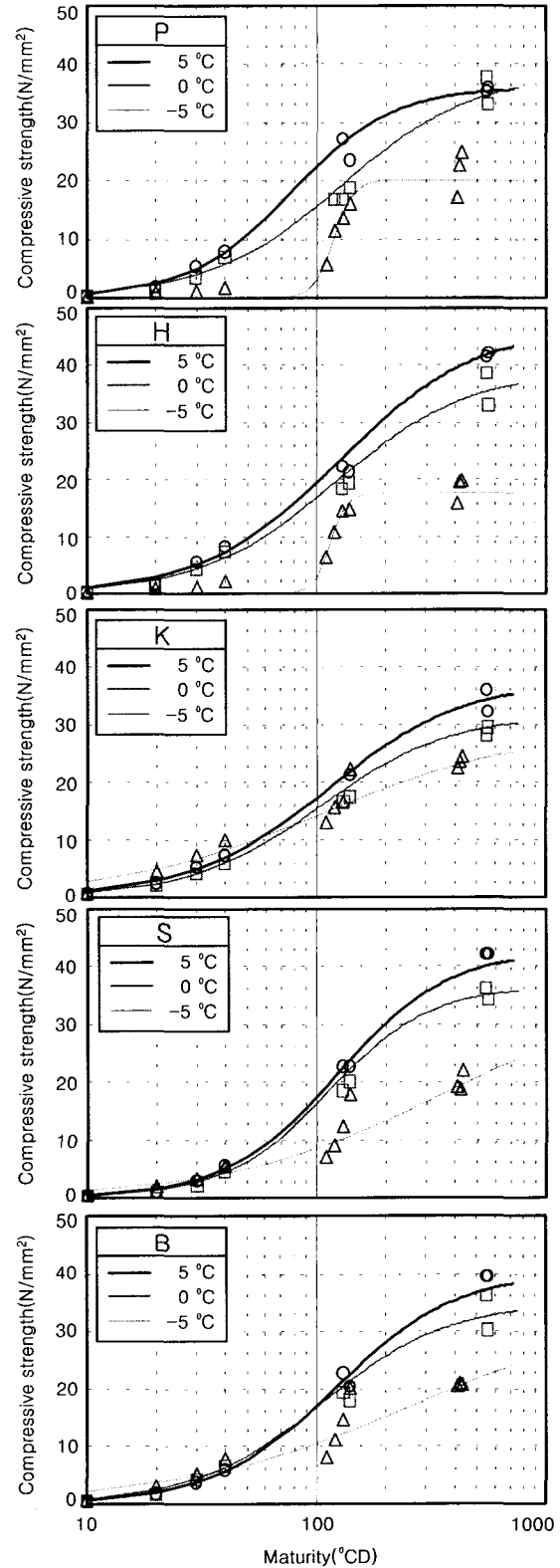


Fig. 6 Strength properties of mortar (constant temperature)

측면에서도 내한축진제 종류별로 다소 차이가 있는 것으로 나타났는데, 본 연구범위의 정온조건인 $-5^{\circ}\text{C}\sim 5^{\circ}\text{C}$ 조건에서 K는 $20\sim 30^{\circ}\text{CD}$, B는 $30\sim 40^{\circ}\text{CD}$, S는 40°CD 이후인 것으로 나타나 plain의 $30^{\circ}\text{CD}(5^{\circ}\text{C})$, $40^{\circ}\text{CD}(0^{\circ}\text{C})$, $110^{\circ}\text{CD}(-5^{\circ}\text{C})$ 인 것에 비해 상당히 유리한 것으로 나타났으며, 특히 낮은 양생조건일수록 더욱 유리한 것으로 평가되었다. 이러한 결과는 모르터의 양생온도에 따라 내한축진제의 강도증진 효과도 다소 차이가 있다는 것을 시사하고 있는 것이다. 즉, 모르터의 양생온도가 영상인 조건에서는 내한축진제를 사용함에 따른 강도증진 효과보다는 시멘트 자체의 수화반응에 따른 영향이 더 크게 작용되는 반면, 양생온도가 영하인 조건에서는 내한축진제의 시멘트 수화반응 촉진 및 내부 수분의 동결지연효과 등의 영향이 큰 것으로 분석되었다.

Fig. 7은 1시리즈의 연구결과를 바탕으로 plain과 2종류(K, B)의 NF만을 대상으로 변온조건인 $[0^{\circ}\text{C}(5^{\circ}\text{C}\sim -5^{\circ}\text{C})$ 와 $-5^{\circ}\text{C}(0^{\circ}\text{C}\sim -10^{\circ}\text{C})$ 에서 양생한 공시체의 압축강도 시험결과를 Fig 7과 동일한 요령으로 나타낸 것이다. 즉, 평균 양생온도가 $-5^{\circ}\text{C}(0^{\circ}\text{C}\sim -10^{\circ}\text{C})$ 이고, plain인 경우, 정온조

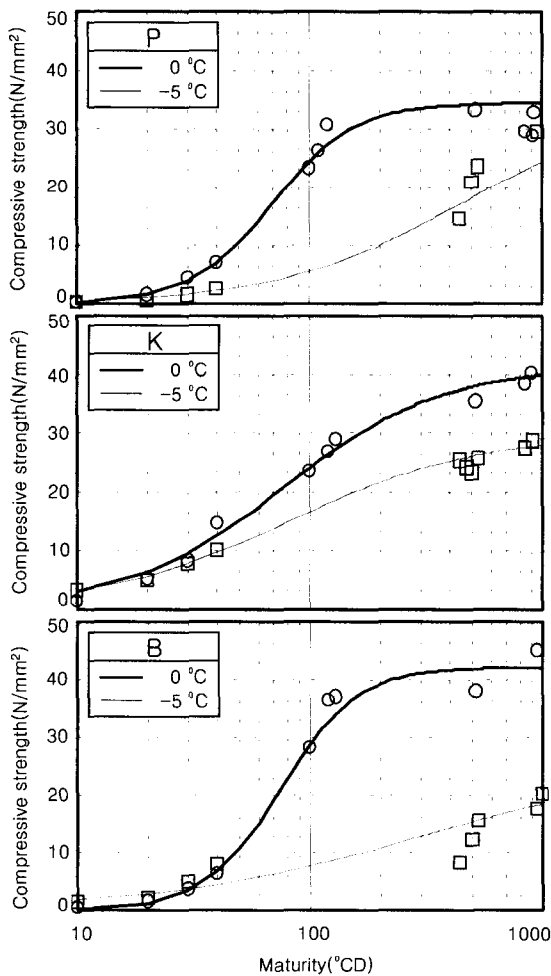


Fig. 7 Strength properties of mortar (variable temperature)

건인 경우와는 달리 영하의 양생온도조건임에도 불구하고, 동일 적산온도($1,000^{\circ}\text{CD}$)에서 정온조건에 비해 약 25%정도의 강도증진 효과가 있는 것으로 나타났다. 더욱이, 변온조건인 경우 정온조건과는 달리 압축강도가 지속적으로 증진되고 있다는 점을 감안하여 볼 때 그 차는 더욱 크게 될 것으로 사료된다.

따라서, 한중콘크리트의 구조체 강도를 평가함에 있어, 동일 적산온도라 할지라도 정온조건보다는 실제콘크리트 구조물의 환경에 대응할 수 있을 것으로 판단되는 변온조건이 콘크리트의 초기동해를 방지하는 효과나 거푸집 제거시기를 단축하는 등의 측면에서 더욱 유리하다는 것을 알 수 있었다.

4. 결 론

내한축진제의 실무 활용 가능성을 사전에 검토할 목적으로 콘크리트 단계에 앞서 모르터 단계에서 내한축진제를 사용한 모르터의 기초성상과 정온 및 변온조건에서 양생한 모르터의 강도발현성상 등을 검토한 결과는 다음과 같다.

1) 내한축진제의 종류에 따른 구분 없이, 내한축진제의 사용량이 증가함에 따라 모르터의 동결온도는 낮아지는 반면, 축진형 감수제의 경우는 동결온도 저하에 거의 영향이 없는 것으로 나타났다. 내한축진제 종류별로는 S($-0.3^{\circ}\text{C}\sim -1.8^{\circ}\text{C}$)나 B($-0.7^{\circ}\text{C}\sim -1.9^{\circ}\text{C}$)의 동결특성에 비해 K($-0.9^{\circ}\text{C}\sim -3.7^{\circ}\text{C}$)를 사용한 경우가 가장 낮은 동결특성이 있는 것으로 나타났으며, 내한축진제의 농도변화에 따른 동결온도와 모르터 조건에서의 동결온도간에도 밀접한 상관관계가 있다는 것을 알 수 있었다.

2) 내한축진제의 표준사용량($4\text{ l/C}=100\text{ kg}$)을 사용한 모르터의 응결특성은 양생온도가 낮을수록, 내한축진제의 응결촉진 효과가 우수한 것으로 평가되었으며, 염화물량은 공히 KS F 4009의 관리규준을 만족하고 있었다.

3) 강도증진성상은 내한축진제를 혼합한 경우, 로지스틱 곡선식을 이용한 강도증진해석 결과와 거의 유사한 것으로 나타났다. 그러나, 정온양생조건이 영하 5°C 이고, plain과 축진형 감수제를 사용한 경우는 강도증진해석 결과의 표준오차가 상대적으로 매우 크게 나타나, 강도증진해석을 목적으로 사용되는 로지스틱 곡선이나 적산온도와 압축강도의 관계에서 적용성이 낮은 것으로 평가되었다.

4) 내한축진제를 혼합한 모르터가 압축강도 5.0 N/mm^2 을 발휘하게 되는 적산온도는 각각 $20\sim 30^{\circ}\text{CD}$ (K), $30\sim 40^{\circ}\text{CD}$ (B), 40°CD (S)이후인 것과 같이 차이를 보이고 있기 때문에 향후, 현장에 적용할 경우에는 사전에 내한축진제의 종류에 따른 성능검토가 선행되어야 할 것으로 판단된다.

5) 양생조건에 따른 한중콘크리트의 압축강도는 동일

적산온도라 할지라도 정온조건보다는 실무환경과 유사한 조건이라 할 수 있는 변온조건이 더 유리한 것으로 나타났다.

참고문헌

1. 한천구의 2인, “내한성 혼화제를 이용한 시멘트 모르타르의 동결온도 및 강도증진특성,” 대한건축학회논문집, 제17권 5호, pp. 75~80, 2001.
2. Carino, N. J., “The Maturity Method Theory and Application,” *Journal of Cement and Concrete*, Vol.6, No. 2, 1984.
3. 鎌田英治, 浜幸雄, 林直樹, “寒中コンクリートを対象としたコンクリート強度増進曲線の検討,” *セメント技術年報*, 1990.
4. 浜幸雄, “耐寒促進剤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 博士學位論文*, 1998.
5. 한천구의 4인, “적산온도방식에 의한 콘크리트의 강도증진해석에 있어 한계온도범위의 검토,” *한국콘크리트학회학술발표논문집*, 제9권 2호, pp.111~116, 1997.

요 약

콘크리트의 초기동해는 응결과정이거나 종결 후에도 충분한 강도발현이 되지 않은 단계에서 콘크리트중의 수분이 동결함에 따라 발생하는데, 초기동해를 방지하기 위해서는 콘크리트가 동결하기 이전에 일정강도를 조기에 발휘하는 것이 필요하다. 따라서, 이에 대한 많은 대처방안이 제시되고 있는데, 최근에는 내한축진제를 사용하는 방법이 검토되고 있다. 따라서, 본 연구에서는 내한축진제를 혼합한 콘크리트의 실무 활용 가능성을 검토할 목적으로 콘크리트 단계에 앞서 모르타 단계에서 내한축진제의 동결온도, 응결시간 및 염화물량 등을 측정하고, 아울러 정온 및 변온조건에서 양생한 모르타의 강도특성도 검토함으로써 내한축진제를 사용한 한중콘크리트의 개발에 기초자료를 제시하고자 하였다.

연구결과, 내한축진제를 혼합한 모르타의 동결온도는 내한축진제의 사용량이 증가할수록 낮아지는 반면, 축진형 감수제의 경우는 동결온도 저하에 거의 영향이 없는 것으로 나타났으며, 응결특성은 양생온도가 낮을수록, 내한축진제의 응결축진 효과가 우수한 것으로 평가되었다. 염화물량은 공히 KS F 4009의 관리규준을 만족하고 있었다. 강도증진성상은 내한축진제를 혼합한 경우, 로지스틱 곡선식을 이용한 강도증진해석 결과와 거의 유사한 것으로 나타난 반면, 정온조건으로 영하 5°C이고, plain과 축진형 감수제를 사용한 경우는 강도증진해석 결과의 표준오차가 상대적으로 매우 크게 나타나, 강도증진해석을 목적으로 사용되는 로지스틱 곡선이나 적산온도와 압축강도의 관계에서 적용성이 매우 적은 것으로 평가되었다. 한편 내한축진제를 혼합한 모르타의 압축강도가 5.0 N/mm²을 발휘하게 되는 적산온도는 각각 20~30°C(D(K)), 30~40°C(D(B)), 40°C(D(S))이후인 것과 같이 내한축진제의 종류에 따라 크게 상이한 것으로 나타났다. 정온 및 변온양생조건에 따른 한중콘크리트의 압축강도는 동일 적산온도라 할지라도 정온조건보다는 변온조건이 더 유리한 것으로 나타났다.

핵심용어 : 강도증진, 내한축진제, 동결온도, 적산온도, 양생조건