



## 경화촉진제를 사용한 콘크리트의 초기강도 발현 특성 검토

김규용<sup>1)</sup> · 김용로<sup>2)</sup> · 박종호<sup>3)\*</sup>

<sup>1)</sup>충남대학교 건축공학과 <sup>2)</sup>대림산업(주) 기술개발원 건축연구지원팀 <sup>3)</sup>삼표산업(주) 기술연구소

## Investigation of Early-Age Concrete Strength Development Using Hardening Accelerator

Gyu-Yong Kim,<sup>1)\*</sup> Yong-Ro Kim,<sup>2)</sup> and Jong-Ho Park<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>Dept. of Architectural Engineering, Chung-nam National University, Daejeon, 34134, Rep. of Korea

<sup>2)</sup>Architectural Engineering & Research Team, DAELIM Industrial Co., Ltd, Seoul 03152, Rep. of Korea

<sup>3)</sup>R&D Center, Sampyo Industrial Co., Gwangju-si, Gyeonggi-do, 12768 Rep. of Korea

**ABSTRACT** In this study, performance of hardening accelerator types which promote setting and hardening of cement has been reviewed in order to develop early age strength of concrete with compressive strength of 21~27 MPa after examination of strength development of the concrete at early age according to curing temperature and unit cement(binder) content. As results, soluble mineral salt showed better hardening acceleration effect than organic salt in the scope of this study. Also, hydration reaction accelerating effect of C<sub>3</sub>S by Soluble mineral salt is effective on development of early age compressive strength and it was shown that the Pt's hydration reaction accelerating effect was the best. Construction duration reduction can be expected by securing compressive strength for prevention of early aged freezing damage in 25hour-curing time under curing temperature at 15°C. Also, it was shown that compressive strength of specimen cured at 5°C was similar with plain specimen cured at 10°C. Therefore, it is expected that fuel costs and carbon dioxide can be reduced when the same construction duration is considered.

**Keywords** : cold weather concrete, curing temperature, unit cement contents, early-age strength, hardening accelerator

### 1. 서 론

최근의 건설현장에서는 공기단축이 주요한 기술경쟁력 확보 방안으로 제시되고 있고, 이를 위해 구조체 공사 및 마감 공사 등에서 다양한 방안을 적용하여 공기단축을 도모하고 있다. 공동주택이나 오피스 등과 같이 다층으로 계획된 콘크리트구조물의 경우 층당 공사 사이클이 전체 골조공사의 공정관리 및 공기단축에 있어서 주요한 항목이며, 이와 같은 층당 사이클을 동절기에도 동등한 수준으로 유지하게 되면, 기상조건에 따른 공기지연을 막을 수 있어, 공기단축에 상당히 효과적이라고 할 수 있다.

일반적으로 국내 건설현장에서는 콘크리트표준시방서의 규정에 따라 일평균기온이 4°C 이하인 조건에서는 한중콘크리트로 시공이 진행되고 있다. 콘크리트표준시방서에서는 보통의 노출상태에 있는 경우 압축강도 5 MPa

도달시까지 콘크리트의 온도를 5°C 이상으로 유지하도록 하고 있으며, 5°C 및 10°C에서 양생할 경우의 표준적인 양생일수를 제시하고 있다.<sup>1)</sup>

그러나 실제 건설현장에서는 현장양생 공시체의 압축강도를 측정하여 소요 압축강도가 도달되는 것을 확인하는 방법을 적용하여, 콘크리트표준시방서에 제시된 표준양생일수에 비해 조기에 콘크리트의 양생을 종료하고 있는 상황이다.

이를 위해 현장에서는 갈탄 난로 또는 열풍기 등을 활용하여 콘크리트의 양생온도를 한중콘크리트의 기준 온도인 4°C보다 높은 10~15°C 수준으로 관리하고 추가적으로 동절기에는 콘크리트의 강도를 상향시키는 방법 등을 활용하여 콘크리트의 초기강도를 확보하고자 하고 있다. 그러나 최근 건설현장에서는 갈탄난로 사용시 CO<sub>2</sub> 가스 발생에 따른 주변 민원, 작업자 안전 등의 문제로 갈탄난로의 사용이 지양되고 있으며, 열풍기의 경우 연료비용 등에 기인하여 충분한 양생온도 및 양생기간의 확보가 곤란한 문제가 제기되고 있다.

한편, 이와 같은 문제를 해결하기 위해 국내에서도 콘크리트의 초기강도를 확보하기 위한 방안으로 레미콘 규

\*Corresponding author E-mail : kid007kr@sampyo.co.kr

Received November 17, 2015, Revised December 31, 2015,

Accepted January 14, 2016

©2016 by Korea Concrete Institute

격을 상향시켜 단위시멘트량을 증가시키거나, 조강형 혼화제, 조강시멘트를 적용하는 방안 등이 적용되고 있다.<sup>2,3)</sup>

그러나 단위시멘트량을 증가시키게 되는 경우 촉진형 고성능감수제와 병용되어 비용이 과도하게 증가되는 경우가 있으며, 조강시멘트를 적용하는 방안은 레미콘플랜트의 설비 조건에 따라 적용이 곤란한 경우가 많은 것이 문제점으로 지적되고 있다.

이에 본 연구에서는 국내 건설현장에서 가장 많이 적용되고 있는 압축강도 영역인 21~27 MPa 수준의 콘크리트를 대상으로 하여, 양생온도 및 단위결합재량에 따른 초기강도 발현 특성을 검토하여 현황을 파악하고자 하였다. 또한 초기강도를 개선하기 위한 방안으로 시멘트의 응결 및 경화를 촉진할 수 있는 경화촉진제의 종류에 따른 성능을 검토함으로써, 한중콘크리트에서 콘크리트의 양생온도 저감 및 양생기간 단축을 위한 방안으로 경화촉진제 적용을 위한 기초자료를 제시하고자 하였다.

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 실험계획

Table 1은 실험계획을 나타낸 것으로, 시리즈 I에서는 한중콘크리트 시공시 가열양생 조건을 고려하여 양생온도를 10, 15, 20°C의 3수준으로 설정하고, 21~27 MPa 수준을 고려하여 단위결합재량을 300, 330, 345 kg/m<sup>3</sup>의 3수준으로 설정하여, 양생온도 및 단위결합재량에 따른 초기강도 발현 특성을 검토하고자 하였다.

국내 건설현장의 경우 한중콘크리트 시공시 보온 및 급열 양생을 통하여 10~15°C 수준의 양생온도를 확보하는 것이 일반적이므로 시리즈 II에서는 시리즈 I의 조건 중, 양생온도 10°C 및 단위결합재량 330 kg/m<sup>3</sup> 수준에서 경화촉진제 종류에 따른 초기강도 발현 특성을 검토하고자 하였다.

평가항목으로는 굳지 않은 콘크리트의 슬럼프, 공기량, 경화콘크리트의 경우 24, 36, 48시간의 초기강도를 평가하는 것으로 설정하였다.

### 2.2 사용재료 및 배합

본 연구에서 사용한 재료의 물리적 성질은 Table 2에

Table 1 Experimental design

	Factors	Levels
I	Curing temperature (°C)	10, 15, 20
	Unit binder contents (kg/m <sup>3</sup> )	300, 330, 345
II	Curing temperature (°C)	10
	Unit binder contents (kg/m <sup>3</sup> )	330
	Accelerator type	inorganic salts : 4 organic salts : 3

나타낸 바와 같으며, 결합재는 1종 보통포틀랜드시멘트, 2종 플라이애시 및 3종 고로슬래그 미분말을 사용하였고, 골재는 잔골재의 경우 부순모래와 바다모래를 혼합하여 사용하였으며, 굵은 골재는 부순자갈을 사용하였다.

혼화제는 폴리카르본산계 고성능AE감수제를 사용하였으며, 시리즈 II에서 경화촉진제는 고성능감수제에 혼합하는 1액형의 형태로 적용하였다.

실험계획에 따른 콘크리트 배합은 Table 3과 같으며, 단위결합재량 300 및 360 kg/m<sup>3</sup>의 경우 3성분계 결합재와 1종 보통포틀랜드시멘트만을 사용한 배합으로 설정하였고, 그 외의 경우 초기강도를 고려하여 1종 시멘트만을 단독으로 사용하는 것으로 설정하였다.

또한, 콘크리트의 단위수량은 국내 레미콘 플랜트에서의 배합 현황을 고려하여 시리즈 I에서는 195 kg/m<sup>3</sup>, 시리즈 II에서는 콘크리트의 초기강도를 고려하여 180 kg/m<sup>3</sup>로 설정하였다.<sup>4)</sup>

### 2.3 경화촉진제

시멘트의 응결 및 경화를 촉진시킬 수 있는 경화촉진제로 검토되거나, 알려져 있는 재료를 크게 분류하면, Table 4와 같이 알칼리 및 알칼리 토금속의 수용성 무기

Table 2 Physical properties of used materials

Kinds	Properties
Cement	• OPC (KS L 5201, Type 1) • Density 3.15 g/cm <sup>3</sup> , Blain 3,318 cm <sup>2</sup> /g
Ground Granulated Blast Furnace Slag (BFS)	• Type 3 (KS F 2563) • Density 2.86 g/cm <sup>3</sup> , Blain 4,300 cm <sup>2</sup> /g
Fly Ash (FA)	• Type 2 (KS L 5405) • Density 2.14 g/cm <sup>3</sup> , Blain 3,964 cm <sup>2</sup> /g
Sea sand (S1)	• Density 2.61 g/cm <sup>3</sup> , FM 2.53
Crushed sand (S2)	• Density 2.60 g/cm <sup>3</sup> , FM 3.09
Coarse aggregate (G)	• Crushed gravel • Density 2.61 g/cm <sup>3</sup> , FM 6.61
Superplasticizer	• Polycarboxylic acid group • Density 1.05 g/cm <sup>3</sup>

Table 3 Mix proportion

	Name	W/B (%)	S/a (%)	Unit weight (kg/m <sup>3</sup> )						
				W	OPC	FA	BFS	S1	S2	G
I	300P	65.0	49.0	195	210	45	45	344	516	896
	300	65.0	50.0	195	300	-	-	355	532	887
	330	59.1	49.0	195	330	-	-	343	514	892
	345	56.5	48.0	195	345	-	-	334	500	903
II	330	53.0	49.0	180	330	-	-	351	526	912

**Table 4** Classification of concrete accelerators

Kinds		Main substance
Soluble inorganic salts	Chloride	CaCl <sub>2</sub> , NaCl, KCl
	Nitrite/Nitrate	Ca(NO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> , NaNO, Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> , NaNO <sub>3</sub> , KNO <sub>3</sub>
	Carbonate	CaCO <sub>3</sub> , Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> , K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>
	Sulphate	CaSO <sub>4</sub> , Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
	Thiocyanate	NaSCN, KSCN
	Aluminate	Al(OH), Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Soluble organic salts	Carboxylic acids	Ca(HCOO) <sub>2</sub> , Ca(CH <sub>3</sub> COO) <sub>2</sub>
	Alkanolamines	TEA, TIPA

**Table 5** Evaluated accelerators in this study

Kinds	Accelerators
Soluble inorganic salts	Calcium nitrite (Cn), Sodium nitrate (Sn), Sodium nitrite (Sni), Potassium thiocyanate (Pt)
Soluble organic salts	Calcium formate (Cf), Sodium acetate (Sa), Triethanolamine (TEA)

염과 수용성 유기염으로 구분할 수 있다.<sup>5)</sup>

수용성 무기염 중에서는 염화물이 촉진 효과나 경제성 측면에서 가장 효과적인 것으로 알려져 있으나, 철근의 부식에 악영향을 미칠 수 있어, 철근콘크리트 구조물로의 적용은 곤란한 상황이다. 이외에 방동제의 원료로도 활용되는 아질산/질산염과 탄산염, 황산염, 티오시안산염 등이 촉진 성능이 있는 수용성 무기염으로 알려져 있다.<sup>6)</sup> 또한, 수용성 유기염으로는 칼슘포메이트나 아세테이트 등과 같은 카르복실산이나 트리에탄올아민(TEA) 등과 같은 알카놀아민류가 촉진제로 알려져 있다.<sup>7)</sup>

국내에서 활용되고 있는 조강형 고성능감수제는 주로 TEA가 촉진제로 적용되고 있는 것으로 알려져 있으며, 최근 PC공장에서 증기양생의 대체를 위한 조강제로 칼슘포메이트를 활용한 연구도 보고되고 있다.<sup>8)</sup>

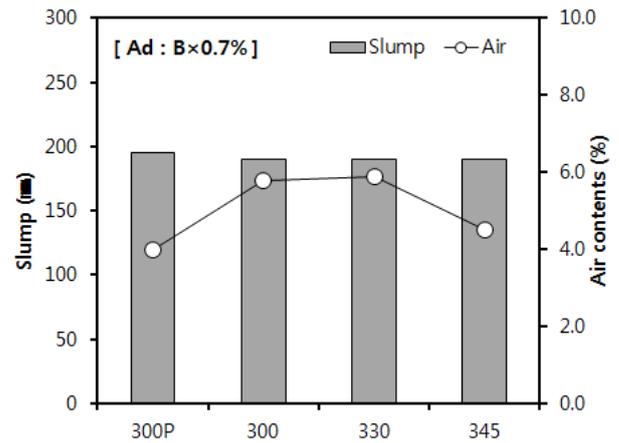
본 연구에서는 이와 같은 기존의 기술자료를 참고로 하여 Table 5에서 보는 바와 같이 경화촉진제 원료를 선정하였다. 경화촉진제는 고성능AE감수제에 혼합하는 1액형으로 적용하였고, 각 촉진제별 고형비는 사전 검토를 통하여 최적 성능이 발휘될 수 있도록 설정하였다.

### 3. 실험결과 검토 및 분석

#### 3.1 양생온도 및 단위결합재량에 따른 특성 검토

##### 3.1.1 굳지않은 콘크리트 물성

Fig. 1은 단위결합재량에 따른 슬럼프 및 공기량 측정



**Fig. 1** Slump and air contents with binder contents

결과를 나타낸 것으로, 혼화제 사용량을 단위결합재량의 0.7%로 동일하게 사용하였으며, 슬럼프는 300P가 195 mm, 그 외의 경우 모두 190 mm로 측정되어, 단위결합재량에 관계없이 유동성은 유사한 수준인 것으로 나타났다.

또한, 공기량의 경우 고로슬래그 미분말 및 플라이에시를 혼합한 300P에 비해 OPC만을 단독으로 사용하였을 경우 동일한 혼화제 사용량에서 공기량이 다소 증가되었으나, 단위결합재량에 관계없이 KS F 4009의 기준인 3~6% 수준은 모든 만족하고 있어, 본 연구에서 검토된 배합수준에서 굳지않은 콘크리트의 물성은 크게 차이가 없는 것으로 나타났다.

##### 3.1.2 초기강도 발현 특성

양생온도 및 단위결합재량 변화에 따른 초기재령의 강도 측정 결과를 Fig. 2에 나타냈다.

양생온도가 낮아짐에 따라 콘크리트의 초기강도는 낮게 발현되었으며, 양생온도 20°C에서 15°C로 저하시 초기강도 발현이 지연되는 수준에 비해 15°C에서 10°C로 저하되는 경우 상대적으로 초기강도 발현 지연폭이 큰 것으로 나타났다. 또한, 양생온도가 낮을수록 초기강도 발현이 지연됨에 따라, 양생온도 10°C의 경우 초기 재령인 24, 36 h에서는 본 연구에 적용된 범위의 단위결합재량 조건에서는 강도발현 차이가 나타나지 않았다.

단위결합재량에 따른 초기강도를 살펴보면, 단위결합재량이 증가할수록 초기강도가 높게 발현되었으며, 이는 양생온도가 높을수록 뚜렷한 경향이 나타났다.

한편, 단위결합재량별로 살펴보면, 24시간에서는 단위결합재량 345 kg/m<sup>3</sup>, 양생온도 20°C 조건에서만 초기동해 제어 강도인 5 MPa 확보가 가능하였으며, 36시간에서는 양생온도 15°C 이상에서 OPC만을 단독으로 사용할 경우 300 kg/m<sup>3</sup> 이상에서는 5 MPa 확보가 가능한 것으로 나타났다. 또한, 48시간에서는 양생온도 10°C 이상, OPC 단독 사용 300 kg/m<sup>3</sup> 이상에서 5 MPa가 확보되었다. 고로슬래그 미분말과 플라이에시를 혼합(총 30%)하여 사용한 300P의 경우 양생온도를 15°C 이상으로 유지한 상태

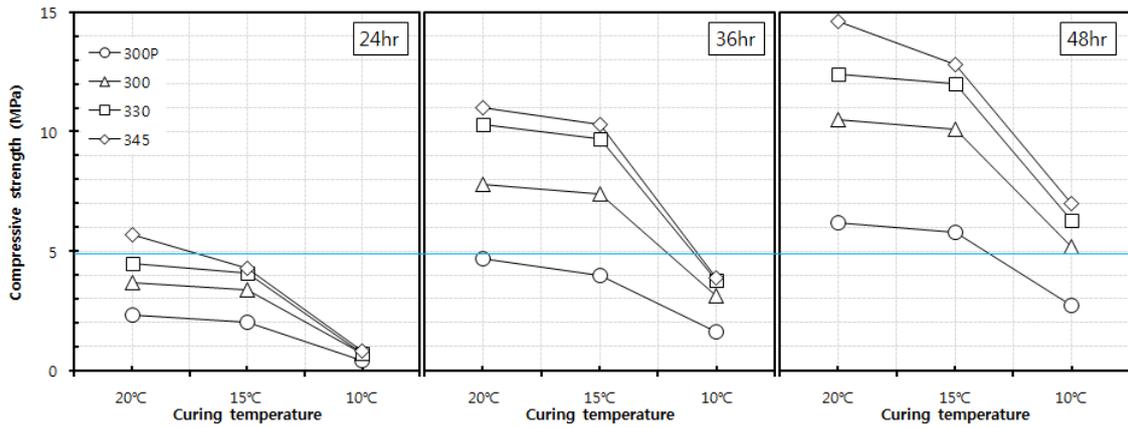


Fig. 2 Early-age strength with curing temperature and unit binder contents

에서 48시간이 경과되어야 5 MPa 확보가 가능한 것으로 나타났다.

이상과 같은 시험 결과를 고려할 때, 동절기 콘크리트 공사시 평균양생온도를 10°C 수준으로 가정할 경우, 단위시멘트량은 300 kg/m<sup>3</sup>에서 최소 48시간 양생시 압축강도가 5 MPa 이상 발현하는 것으로 나타나 48시간 이내에 거푸집 탈형 작업을 수행하기 위해서는 콘크리트 배합 설정시 단위시멘트량은 300 kg/m<sup>3</sup> 이상 적용할 필요가 있을 것으로 판단된다.

### 3.1.3 초기동해 제어 강도 도달시간 검토

단위결합재량에 따른 5 MPa 도달시간 검토를 위해 적산온도방식으로 분석한 결과를 Fig. 3에 나타냈다.

본 연구에 적용된 배합의 경우 초기동해 제어가 가능한 강도인 5 MPa를 확보하기 위한 적산온도는 300P의 경우 1171°C·h, 330은 829°C·h, 330은 736°C·h, 345는 703°C·h로 분석되었으며, 이상과 같은 결과로부터 양생온도별 5 MPa 도달시간을 정리하면 Table 6과 같다. 양생온도 20°C에 비교하여 양생온도 10°C에서는 약 12 시간 이상 강도 발현 시기가 지연되었으며, 양생온도 5°C에서는 약 2배 정도 강도 발현 시기가 지연되는 것으로 나타났다.

한편, 적산온도 방식의 적용성 검토를 위하여 Table 6에 제시된 5 MPa 도달시간과 실측 데이터를 추세한 데이터를 비교하여 Fig. 4에 나타냈다.

양생온도 20°C의 경우 적산온도 방식과 실측 데이터의 차이가 1시간 이내로 비교적 일치하는 것으로 나타났으나, 적산온도 방식이 15°C의 경우 약 4시간 정도 지연되는 것으로 예측되고, 10°C의 경우 약 5시간 이상 빠르게 강도가 발현되며, 특히 300P의 경우 약 16시간 정도 강도가 빠르게 발현되는 것으로 예측되어 양생온도가 낮을수록 적산온도 방식 적용시 오차가 크게 발생하는 것으로 나타났다.

이에 상대적으로 양생온도가 낮게 설정되는 한중콘크리트의 특성을 고려할 때, 건설현장에서 동절기 초기동해 제어를 위한 가열양생계획 설정시 적산온도 방식 적용을

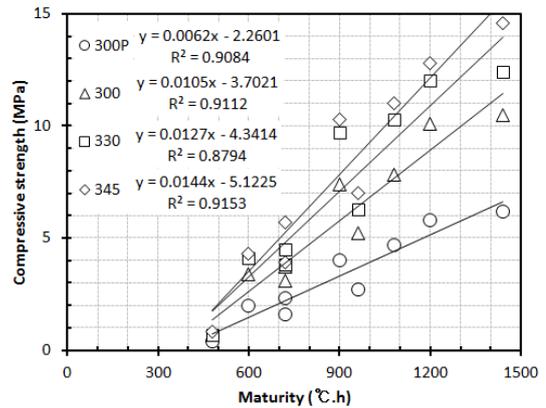


Fig. 3 Strength development with maturity

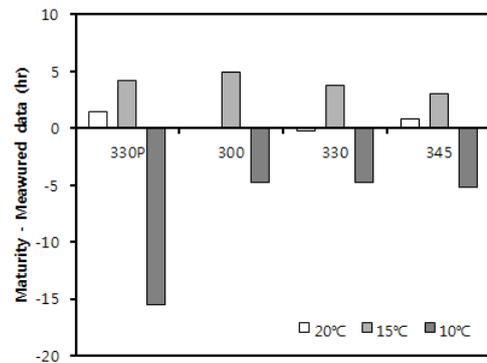


Fig. 4 Time difference with maturity method and measured data

Table 6 Prediction of 5 MPa reaching time by maturity method (hr)

Unit Binder Contents (kg/m <sup>3</sup> )	Curing temperature (°C)			
	20	15	10	5
300P	39.0	46.8	58.5	78.1
300	27.6	33.2	41.4	55.3
330	24.5	29.4	36.8	49.0
345	23.4	28.1	35.1	46.9

위해서는 사전에 현장에 사용하고자 하는 콘크리트의 온도 특성에 대한 파악 후, 적용이 필요할 것으로 판단된다.

### 3.2 경화촉진제 종류에 따른 특성 검토

#### 3.2.1 굳지않은 콘크리트 물성

Fig. 5는 경화촉진제 종류에 따른 슬럼프 및 공기량 측정 결과를 나타낸 것으로, 혼화제 첨가율은 Plain은 단위결합재량의 0.7%, 그 외의 경우 1.0%를 적용한 것이다. 경화촉진제의 경우 고성능감수제에 1액형으로 적용하였기 때문에, 기본 고성능감수제의 분산제 등이 감소되어 첨가량이 증가된 것으로 판단된다. Fig. 5에서 보는 바와 같이 경화촉진제를 사용한 경우에도 Plain과 유사한 슬럼프를 보이고 있어, 본 연구에서 검토한 경화촉진제의 경우 콘크리트의 유동성에 크게 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 단, 경화촉진제 Cn 및 Sa의 경우 Plain에 비해 약 15 mm 정도 슬럼프가 저하되는 것으로 나타났으며, Cf의 경우 20 mm 정도 슬럼프가 증가되는 것으로 나타났다.

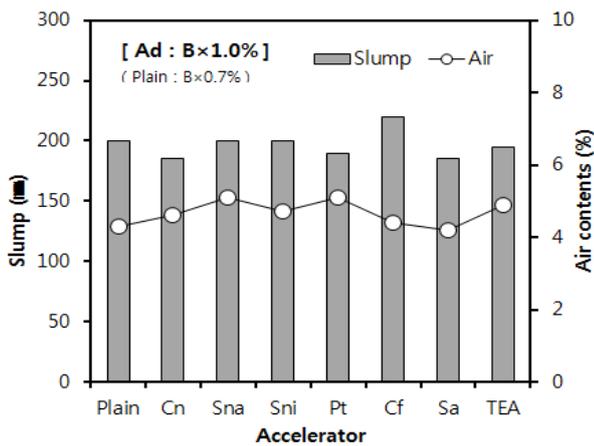


Fig. 5 Slump and air contents with accelerators

#### 3.2.2 초기강도 발현 특성

Fig. 6은 경화촉진제 종류에 따른 24, 36, 48시간의 압축강도를 나타낸 것으로, 경화촉진제의 적용에 의해 Plain에 비해 초기강도는 향상되었으나, 단위결합재량 330 kg/m<sup>3</sup>, 양생온도 10°C 조건에서는 본 연구에서 검토된 경화촉진제를 사용하여도 24시간에서 초기동해 제어 강도인 5 MPa를 확보할 수는 없는 것으로 나타났다.

경화촉진제 종류별로는 24시간에서는 Pt > Cn > Sni > Sa > TEA > Sna > Cf의 순서, 36 및 48시간에서는 Pt > TEA > Sni > Cn > Sna > Cf > Sa의 순서로 초기강도 발현 촉진효과가 크게 나타났다. 경화촉진제 중 수용성 무기염의 초기강도 발현은 시멘트 광물 중 C<sub>3</sub>S의 수화를 촉진시키는 효과에 의한 것이며, 유사한 물농도 조건에서는 아래와 같은 순서로 음이온 및 양이온의 효과가 높은 것으로 알려져 있다.<sup>6,9,10)</sup>

- 음이온 : Cl<sup>-</sup> > SCN<sup>-</sup> > I<sup>-</sup> > NO<sub>3</sub><sup>-</sup> > ClO<sub>4</sub><sup>-</sup>
- 양이온 : Ca<sup>2+</sup> > Sr<sup>2+</sup> > Li<sup>+</sup> > K<sup>+</sup> > Na<sup>+</sup> > Rb<sup>+</sup>

이와 같은 효과를 고려하면 CaCl<sub>2</sub>의 경화촉진 효과가 가장 우수할 것으로 기대되지만, 전술한 바와 같이 철근의 부식 문제로 철근콘크리트구조물에서는 적용이 곤란한 문제점이 있다.

본 연구에서도 초기재령에서 경화촉진효과가 가장 우수한 수용성 무기염은 K<sup>+</sup>와 SCN<sup>-</sup>의 조합인 Pt로 기존의 기술자료와 유사한 결과가 나타났다.

한편, 본 검토에서 경화촉진 효과가 두 번째로 높게 나타난 수용성 유기염인 TEA는 시멘트 광물 중 C<sub>3</sub>A의 반응을 촉진시키며, 일정 사용량 이상에서는 C<sub>3</sub>S의 수화반응을 지연시키는 것으로 알려져 있다. 금번 실험에서는 경화촉진제를 고성능AE감수제에 혼합하여 1액형으로 투입하였으며, 이에 따라 단위시멘트량에 대한 촉진제의 비율이 낮았기 때문에 C<sub>3</sub>S의 지연 효과는 나타나지 않은

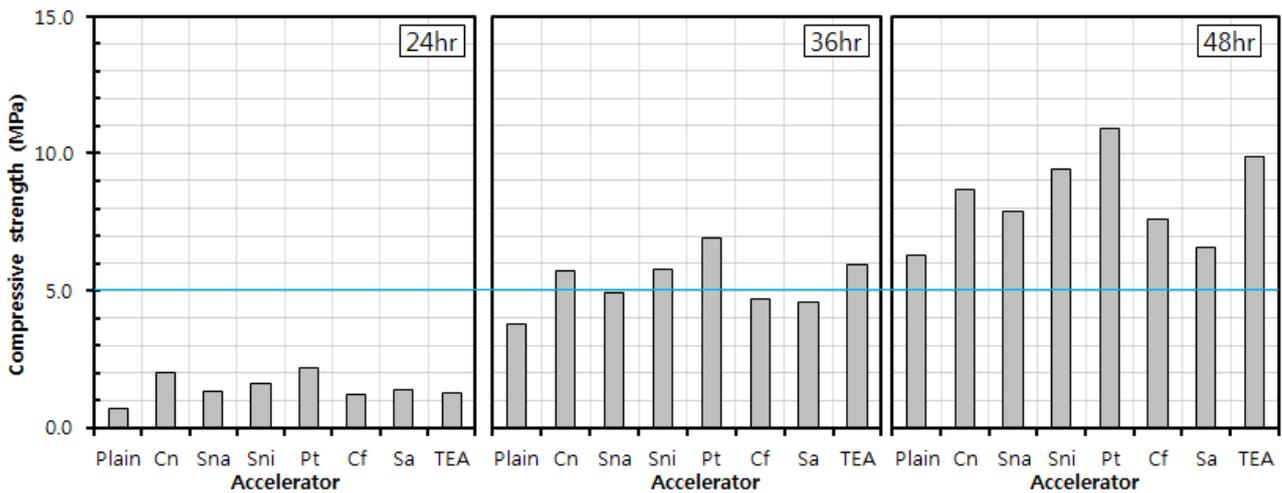


Fig. 6 Early-age strength with accelerators

것으로 판단된다.

본 검토 범위에서는 수용성 무기염이 유기염에 비해 상대적으로 경화촉진 효과가 우수하게 나타났으며, 단위시멘트량 대비 사용량이 낮은 범위에서는 상대적으로 수용성 무기염에 의한 C<sub>3</sub>S의 수화 반응 촉진이 초기강도 발현에 효과적인 것을 알 수 있었다.

### 3.2.3 초기동해 제어 강도 도달시간 검토

Fig. 7은 경화촉진제 종류별로 5 MPa 도달시간 검토를 위하여 적산온도로 환산하여 나타낸 것이다.

단위시멘트량 330 kg/m<sup>3</sup> 조건에서, 본 연구에 적용한 경화촉진제를 사용할 경우 초기동해 제어가 가능한 강도인 5 MPa를 확보하기 위한 적산온도는 경화촉진제를 사용하지 않은 Plain은 838°C·h, Cn은 685°C·h, Sna는 739°C·h, Sni는 682°C·h, Pt는 629°C·h, Cf는 759°C·h, Sa는 796°C·h, TEA는 679°C·h, 비교용으로 검토한 단위시멘트량 345 kg/m<sup>3</sup> 조건에서는 806°C·h로 분석되었다.

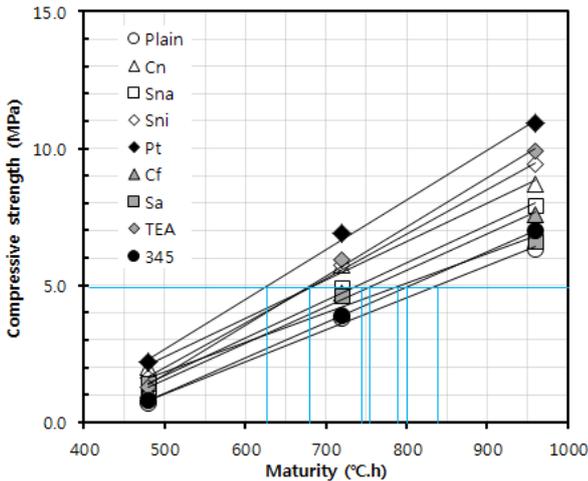


Fig. 7 Strength development of concrete using accelerator with maturity

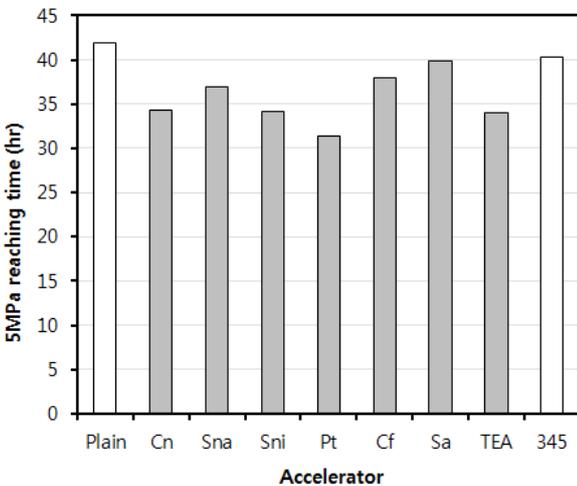


Fig. 8 5 MPa reaching time by maturity method

이와 같은 적산온도 분석 결과로부터 5 MPa 도달시간을 정리하여 Fig. 8에 나타냈다.

본 연구에서 검토된 단위시멘트량 330 kg/m<sup>3</sup> 배합은 별도의 경화촉진제를 사용하지 않을 경우 5 MPa 도달을 위해 양생온도 10°C 조건으로 약 42시간이 소요되며, 단위시멘트량을 15 kg/m<sup>3</sup> 증가시키면 약 2시간 단축이 가능한 것으로 나타났다.

경화촉진제 종류별로는 수용성 무기염 중 촉진 효과가 가장 우수한 Pt의 경우 약 31시간이 소요되어, Plain에 비해 11시간이 단축될 수 있는 것으로 나타났으며, 수용성 유기염 중 효과가 우수한 TEA의 경우 약 34시간이 소요되어, Plain 대비 약 8시간 양생시간의 단축이 가능한 것으로 나타났다.

한편, Table 7은 이와 같은 적산온도 분석 결과를 기초로 하여 양생온도에 따른 5 MPa 도달 시간을 정리하여 나타낸 것이다. Table 7에서 보는 바와 같이 급변 검토된 경화촉진제를 적용할 경우 Sna, Cf, Sa를 제외하면 양생온도 20°C 조건에서 24시간 이내에 5 MPa 확보가 가능한 것으로 나타났으며, 촉진 효과가 가장 우수한 Pt의 경우 양생온도 15°C 조건에서도 약 25시간에 초기동해 제어 강도 확보가 가능하여, 동절기 콘크리트 공사에 적용시 공기단축 효과를 기대할 수 있을 것으로 판단된다. 또한, Pt의 경우는 양생온도 5°C에서도 양생온도 10°C 조건의 Plain과 유사한 시간에 5 MPa 확보가 가능한 것으로 나타나, 동일한 공기를 고려할 경우 연료비용 및 CO<sub>2</sub> 가스 발생 저감 등의 효과를 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

한편, 대부분의 국내 건설현장에서는 사용의 편의성 측면에서 이온전극법에 의해 콘크리트의 염화물 함유량을 측정하여 평가하고 있는 상황이다. 그러나 최근 본 연구에서 검토된 수용성 무기염에 포함된 음이온 중 SCN<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 등의 경우 Cl<sup>-</sup> 이온이 아님에도 불구하고 이온전극법 방식에서는 방해이온으로 작용하여 염화물 함유량이 실제보다 높게 측정되는 문제점이 제기되고 있다.<sup>11)</sup>

이에 본 연구에서 검토된 수용성 무기염을 콘크리트용

Table 7 Prediction of 5 MPa reaching time of concrete using accelerator (hr)

Accelerator	Curing temperature (°C)			
	20	15	10	5
Plain	27.9	33.5	41.9	55.8
Cn	22.8	27.4	34.3	45.7
Sna	24.6	29.6	37.0	49.3
Sni	22.7	27.3	34.1	45.5
Pt	21.0	25.2	31.4	41.9
Cf	25.3	30.4	38.0	50.6
Sa	26.5	31.9	39.8	53.1
TEA	22.6	27.2	34.0	45.3
345	26.9	32.2	40.3	53.7

경화촉진제로 활용하기 위해서는 염화물 함유량 측정 방법에 대한 재정비 및 이에 대한 사전 이해가 필요할 것으로 사료된다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 한중콘크리트에서 콘크리트의 양생온도 저감 및 양생기간 단축을 위한 방안으로 경화촉진제 적용을 위한 기초자료 확보하기 위하여 21~27 MPa 수준을 대상으로 양생온도 및 단위결합재량에 따른 콘크리트의 특성을 검토한 후, 경화촉진제의 종류에 따른 초기강도 발현 특성을 검토하였다.

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 양생온도가 저하될수록 콘크리트의 초기강도는 낮게 발현되었으며, 적산온도 방식을 활용한 분석 결과 양생온도 20°C에 비교하여 양생온도 10°C에서는 약 12시간 이상 강도발현시기가 지연되었으며, 양생온도 5°C에서는 약 2배 정도 강도 발현 시기가 지연되는 것으로 나타났다.
- 2) 단위결합재량이 증가할수록 초기강도가 높게 발현되었으며, 이는 양생온도가 높을수록 뚜렷한 경향이 나타났다. 또한, 본 연구에 적용된 단위결합재량 범위에서는 양생온도 10°C의 경우 초기 재령인 24, 36시간에서는 초기강도가 유사한 수준으로 나타났다.
- 3) 본 연구의 실험 결과를 고려할 때, 한중콘크리트 공사시 평균양생온도를 10°C 수준으로 가정할 경우, 48시간 이내에 거푸집 탈형을 위해서는 단위시멘트량은 300 kg/m<sup>3</sup> 이상이 필요한 것으로 나타났다.
- 4) 본 연구에서는 수용성 무기염 4종, 수용성 유기염 3종의 경화촉진제를 검토하였으며, Plain과 유사한 슬럼프를 보이고 있어, 콘크리트의 유동성에 크게 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.
- 5) 경화촉진제 종류별로는 24시간에서는 Pt > Cn > Sni > Sa > TEA > Sna > Cf의 순서, 36 및 48시간에서는 Pt > TEA > Sni > Cn > Sna > Cf > Sa의 순서로 초기강도 발현 촉진효과가 크게 나타났다.
- 6) 본 연구 범위에서는 수용성 무기염이 유기염에 비해 상대적으로 경화촉진 효과가 우수하였으며, 사용량이 낮은 범위에서는 수용성 무기염에 의한 C<sub>3</sub>S의 수화 반응촉진효과가 초기강도 발현에 효과적인 것을 알 수 있었다.
- 7) 경화촉진제 중 Pt의 경우 양생온도 15°C 조건에서도 약 25시간에 초기동해 제어 강도 확보가 가능하여 공기단축 효과를 기대할 수 있으며, 양생온도 5°C에

서도 양생온도 10°C 조건의 Plain과 유사한 시간에 5 MPa 확보가 가능한 것으로 나타나, 동일한 공기를 고려할 경우 연료비용 및 CO<sub>2</sub> 가스 발생 저감 등의 효과를 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

#### References

1. Korea Concrete Institute, Concrete Standard Specification, Chapter 14 cold weather concrete, 2009, pp.157-158.
2. Lee, J. H., Jung, Y. H., Kim, Y. R., "Development of early strength concrete technology for shortening the construction period", *Dealim Technology Information*, 2009, pp.36-45.
3. Kim, K. M., Park, S. J., Kim, K. H., Hwang, Y. S., "Practical Application of High Early Strength Type Concrete Using High Early Strength Type Binder", *Journal of Korea Architectural Institute Conference*, Vol. 29, No.1, 2009. 10, pp.23-24.
4. Jung, Y. H., Gim, Y. R., Choi, I. H., Lee, D. B., Hong, K. S., "A Study on the status of unit water content control of the Ready-Mixed Concrete plants in the country", *Journal of Korea Concrete Institute Conference*, Vol.18, No.1, pp.606-609.
5. The American Concrete Institute, Committee Report ACI 212.3R-04, "Chemical Admixtures for Concrete", 2004.
6. Roar Myrdal, "Accelerating admixtures for concrete", SINTEF Report, 2007, pp.9-10.
7. Mohamed, H., "Effect of calcium formate as an accelerator on the physicochemical and mechanical properties of pozzolanic cement pastes", *Cement and Concrete Research* 34, 2004, pp.1051-1056.
8. Min, T. B., Cho, I. S., Lee, H. S., "Fundamental Study on the Strength Development of Cement Paste using Hardening Accelerator and High-Early-Strength Cement", *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, Vol.13, No.4, 2013, pp.407-415.
9. Wise, T., Ramachandran, V.S., and Polomark, G.M., "The effect of thiocyanates on the hydration of portland cement at low temperatures", *Thermochimica Acta* 264, 1995, pp.157-171.
10. Taylor, H.F.W., "Cement Chemistry", Chapter 11, Academic Press Limited, London, 1990, pp.358-359.
11. Son, Y. J., Yang, S. G., Lim, C. Y., Kim, D. S., Chung, Y. S., "Test Method to Determine Chloride Content in Fresh Concrete Using Ion Electrode", *Journal of Korea Concrete Institute Conference*, Vol.27, No.1, 2015, pp.469-470.

---

**요약** 본 연구에서는 21~27 MPa 수준의 콘크리트를 대상으로 하여, 양생온도 및 단위결합재량에 따른 초기강도 발현 특성을 검토한 후, 초기강도를 개선하기 위한 방안으로 시멘트의 응결 및 경화를 촉진할 수 있는 경화촉진제의 종류에 따른 성능을 검토하였다. 검토 결과 본 연구의 범위에서는 수용성 무기염이 유기염에 비해 상대적으로 경화촉진 효과가 우수하였으며, 사용량이 낮은 범위에서는 수용성 무기염에 의한 C<sub>3</sub>S의 수화 반응촉진효과가 초기강도 발현에 효과적인 것으로 나타났다. 또한, 경화촉진제 중에서는 Pt(Potassium thiocyanate)의 촉진효과가 가장 우수하였으며, 양생온도 15°C 조건에서도 약 25시간에 초기동해 제어 강도 확보가 가능하여 공기단축 효과를 기대할 수 있고, 양생온도 5°C에서도 양생온도 10°C 조건의 Plain과 유사한 시간에 5 MPa 확보가 가능하여, 동일한 공기를 고려할 경우 연료비용 및 CO<sub>2</sub> 가스 발생 저감 등의 효과를 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

**핵심용어** : 한중콘크리트, 양생온도, 단위시멘트량, 초기강도, 경화촉진제