

## 10°C 양생조건에서 단위 시멘트량 변화 및 경화촉진제의 복합사용에 따른 강도발현 성능에 관한 연구

# Effect of Cement Contents and Combinations of Accelerators on Strength Development of Concrete Cured at 10°C

송영찬<sup>1</sup> · 이태규<sup>1\*</sup> · 김용로<sup>1</sup> · 서치호<sup>2</sup>

Young-Chan Song<sup>1</sup> · Tea-Gyu Lee<sup>1\*</sup> · Yong-Ro Kim<sup>1</sup> · Chi-Ho Seo<sup>2</sup>

(Received April 6, 2018 / Revised April 18, 2018 / Accepted April 20, 2018)

The purpose of this study is to investigate the effect of combinations of different accelerators mixed on the early age strength development of concrete of 21 to 27MPa in the curing temperature of 10°C compared with existing early strength agent. The present study was assessed the early strength development of combinations of three different accelerating admixtures with early strength type agent comparing to single accelerating admixture with early strength type agent. As a result of this study, the effect of CaBr<sub>2</sub>+NaSCN+DEA combination on strength development showed better than CaBr<sub>2</sub> or NaSCN alone with early strength type agent. Therefore, we observed that concrete using CaBr<sub>2</sub>+NaSCN+DEA combination with early strength agent was achieved 5MPa 12hours earlier than use of CaBr<sub>2</sub> or NaSCN alone.

**키워드** : 강도발현, 조강형 혼화제, 경화촉진제

**Keywords** : Strength development, Early strength agent, Accelerating admixture

## 1. 서론

최근의 건설현장에는 층당 사이클 공정을 개선하여 골조공기를 단축시키는 다양한 방법들이 제안되고 있다. 이 중에서 거푸집 공사는 골조공사에 미치는 영향이 매우 크기 때문에 존치기간을 가능한 한 짧게 하여 거푸집 전용시간을 단축하는 방법이 효과적이라 할 수 있다. 따라서 층당 사이클을 안정적으로 유지하기 위해서는 수직 거푸집 탈형강도 5MPa를 초기에 빠르게 실현하여 확인하는 기술이 필수적인 사항이라고 할 수 있다(Park and Yoo, 2008).

한편, 콘크리트는 강도발현을 위하여 온도의존성이 매우 큰 재료로서 평균 온도 20°C 이상의 조건에서는 압축강도 발현이 우수하지만 20°C 미만의 조건에서는 응결속도가 서서히 지연되는 경향이 있으며, 10°C 미만의 온도조건에서는 응결시간이 20°C 이상에 비하여 2~3일까지 지연되는 것으로 보고되고 있다(Han et al, 2004). 따라서 이런 재료의 특성을 개선하기 위하여 10~15°C 범위의

온도조건에서 콘크리트의 강도를 안정적으로 발현하기 위한 다양한 연구들이 진행되고 있다.

Jun et al.(2013)은 시멘트 및 혼화제의 종류에 따른 요인에 의하여 강도발현율을 분석한 사례가 있으며, Park et al.(2013), Min et al.(2013) 등은 조기강도 개선형 시멘트를 활용하여 강도개선 효과를 검토하였다. 이러한 분체형 재료의 조기강도는 특수형 시멘트 사용조건에서 검토된 사례가 대부분으로 레미콘에 적용되어 현장에 출하하기까지는 많은 제한적 요소가 존재한다. 따라서 레미콘의 지역적 특성을 고려할 경우 다양한 종류의 시멘트를 사용하여 배합을 설정하여 생산하는 것이 난해하기 때문에 가장 많이 활용되는 1종 보통포틀랜드 시멘트를 사용하면서 촉진형 혼화제를 첨가하여 강도 향상을 도모하는 것이 간편하면서도 효과가 있을 것으로 판단된다.

Kim et al.(2016)의 연구에 따르면 1종 포틀랜드 시멘트를 사용한 조건에서 Fig. 1과 같이 조강형 PC 혼화제에 경화촉진제를 단일

\* Corresponding author E-mail: [ltg777@daelim.co.kr](mailto:ltg777@daelim.co.kr)

<sup>1</sup>대림산업 건축연구지원팀 (Architectural Engineering & Research Team, DAELIM Industrial Co., Ltd, Jongno-Gu, Seoul 03152, Korea)

<sup>2</sup>건국대학교 건축공학과 (Department of Architectural Engineering, Konkuk University, Gwangjin-Gu, Seoul 05029, Korea)

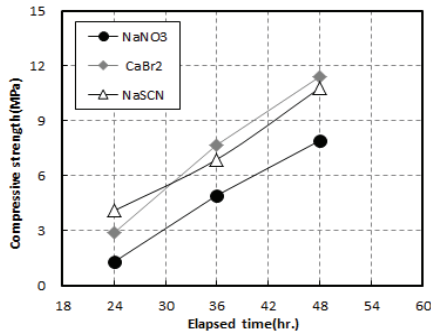


Fig. 1. Previous result, the effect of early strength agent for concrete (Kim et al. 2016)

첨가하는 경우 10°C의 조건에서 약 30시간에 5MPa 이상의 강도가 발현되는 것으로 보고되고 있다. 이는 저온조건에서도 경화촉진제를 추가 투입하는 경우 1종 포틀랜드 시멘트의 초기 강도발현을 할 수 있는 것으로 판단되지만 경화촉진제를 사용하는 경우 혼화제의 상성관계에 의하여 그 효과가 저감되거나 촉진될 수 있는 경우가 있어 경화촉진제의 복합사용에 대한 검토가 반드시 수행되어야 할 것으로 판단된다(Aggoun et al, 2008).

따라서 본 연구에서는 현장의 골조공사에 주로 활용되고 있는 설계기준강도 21~27MPa 범위의 콘크리트를 대상으로 10°C 온도조건의 범위에서 기존 조강형 혼화제를 사용한 것 대비 경화촉진제를 복합사용하여 추가 첨가할 경우 1종 보통포틀랜드를 사용한 콘크리트의 초기 강도발현에 미치는 영향을 검토하고자 하였으며, 조강형 혼화제에 경화촉진제를 단일 첨가한 기존 자료와 비교 검토를 통하여 초기강도 발현에 대한 효율성을 분석하고자 하였다.

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 실험계획 및 콘크리트 배합

본 연구의 실험계획을 Table 1에 나타냈다. 본 연구의 SERIES I에서는 골조공사에 주로 활용되는 설계기준강도 21, 24, 27MPa 콘크리트를 고려하여 단위 시멘트량 300, 330, 360kg/m<sup>3</sup>으로 설정하고 콘크리트의 조강성능을 구현하기 위하여 주로 사용되고 있는 조강 폴리카르보산계 감수제를 사용하여 강도발현을 검토하고자 하였다.

SERIES II 단계에서는 기존 연구를 참조하여 경화촉진제로서 효과가 우수한 CaBr<sub>2</sub>, NaSCN, C<sub>4</sub>H<sub>11</sub>NO<sub>2</sub>을 선정하고 조강 폴리카르보산계 감수제와 경화촉진제의 추가 투입에 따른 영향성을 검토하고자 하였으며 이들 경화촉진제의 복합사용에 따른 상성관계를 확인해보고자 하였다.

콘크리트의 평가 항목은 현장의 작업성을 고려하여 슬럼프, 공기

Table 1. Experimental design

Series	Cement contents (kg/m <sup>3</sup> )	Curing temp. (°C)	Admixture type	Accelerators	Evaluation
I	300, 330, 360	10	Poly carboxylate	N/A	<ul style="list-style-type: none"> <li>Slump(mm)</li> <li>Air(%)</li> <li>Compressive strength (24hr, 36hr)</li> </ul>
II	300, 330, 360	10	Poly carboxylate	CaBr <sub>2</sub> +DEA CaBr <sub>2</sub> +NaSCN+DEA	<ul style="list-style-type: none"> <li>Slump(mm)</li> <li>Air(%)</li> <li>Compressive strength (24hr, 27hr, 30hr)</li> </ul>

Table 2. Physical properties of used materials

Classification		Properties
Cement		OPC(Density : 3.15g/cm <sup>3</sup> , specific surface area : 3,318cm <sup>2</sup> /g)
Fine aggregate	S1	Washed sea sand, FM:2.01 (Density : 2.60g/cm <sup>3</sup> , absorption : 0.79%)
	S2	Crushed sand, FM:3.29 (Density : 2.57g/cm <sup>3</sup> , absorption : 0.87%)
Coarse aggregate		Crushed granitic aggregate(Size : 25mm, Density : 2.60g/cm <sup>3</sup> , absorption : 0.76%)
Agent	PC	Polycarboxylic acid Group, Density : 1.05g/cm <sup>3</sup>
Accelerating admixture	C_b	Calcium bromide, CaBr <sub>2</sub>
	S_t	Sodium thiocyanate, NaSCN
	DEA	Diethanolamine, C <sub>4</sub> H <sub>11</sub> NO <sub>2</sub>

량 등 콘크리트의 물성 및 초기 거꾸집 탈형을 위한 강도발현의 시기를 평가하기 위하여 관리용 공시체를 제작하여 각각 설정한 재령시간에서 압축강도를 평가하였다.

콘크리트의 양생온도는 항온습습기를 활용하여 10°C에서 수행하였으며, SERIES별 강도 평가시기는 SERIES I의 경우 24, 36 시간, SERIES II에서는 강도발현이 촉진될 것으로 예상되어 24, 27, 30 시간에서 강도평가를 실시하였다.

### 2.2 사용재료

Table 2에 본 연구에서 사용한 재료의 물리적 특성을 나타냈다. 시멘트는 분말도 3,318cm<sup>2</sup>/g 및 밀도 3.15g/cm<sup>3</sup>의 1종 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 결합제는 콘크리트의 물성 및 강도발현에 영향을 줄 수 있으므로 사용하지 않았다.

잔골재는 천연 잔골재로서 밀도 2.60g/cm<sup>3</sup>, FM 2.01, 흡수율 0.79%의 세척사 및 밀도 2.57g/cm<sup>3</sup>, FM 3.29, 흡수율 0.87%의 쇄사이며, 굵은 골재는 밀도 2.57g/cm<sup>3</sup>, 흡수율 0.76% 및 최대치수 25mm

의 화강암류 부순 자갈을 사용하였다.

콘크리트의 물성 및 조기강도를 검토하기 위하여 사용된 혼화제는 조강형 폴리카르보산계 고성능 감수제를 사용하였으며, 추가적으로 첨가되는 경화촉진제는 CaBr<sub>2</sub>, NaSCN, C<sub>4</sub>H<sub>11</sub>NO<sub>2</sub>를 일정 비율로 혼합하여 사용하였다.

### 2.3 콘크리트 배합

본 연구의 실험계획에 따른 콘크리트 배합을 Table 3에 나타냈다. SERIES I은 설계기준강도 21, 24, 27MPa를 구현하기 위하여 기존 레미콘 배합을 참고하여 300, 330, 360kg/m<sup>3</sup>으로 설정하였으며 SERIES II는 경화촉진제의 영향을 검토하기 위하여 SERIES I의 배합조건에서 경화촉진제의 치환율을 단위 시멘트량의 0.5, 1.5% 추가로 첨가하였다.

또한, 콘크리트의 단위수량은 경화촉진제 사용에 따른 슬럼프 저하 및 레미콘 배합현황을 고려하여 195kg/m<sup>3</sup>으로 고정하였으며, 잔골재는 조립률 2.50~2.60을 만족하기 위하여 세척사 및 쇄사를 4:6의 비율로 혼합하였다. 또한 콘크리트의 물성은 KS기준을 고려하여 Slump는 180±25mm, 공기량은 4.5±1.5%로 설정하였다.

### 2.4 실험방법

굳지 않은 콘크리트의 물성 평가를 위한 슬럼프, 공기량시험방법은 KS F 2402 ‘콘크리트의 슬럼프 시험방법’, KS F 2421 ‘압력법에 의한 굳지 않은 콘크리트의 공기량시험방법’에 의하여 실시하였다.

경화된 콘크리트의 압축강도 측정은 KS F 2043 ‘콘크리트의 강도 시험용 공시체 제작방법’에 준하여 Ø100mm×200mm 시험체를 제작한 후, KS F 2405 ‘콘크리트 압축 강도 시험방법’에 준하여 계획된 재령에서 300ton급 UTM을 이용하여 최대하중을 측정 후 압축강도를 계산하였다.

Table 3. Mix proportion

SERIES	W/B (%)	S/a (%)	Slump (mm)	Air (%)	Binder (kg/m <sup>3</sup> )	Unit weight(kg/m <sup>3</sup> )					AD (B×%)	EA (B×%)	
						W	C	Ss	Sc	G			
I	P300	60.0	50	180±25	4.5±1.5	300	195	300	363	544	907	1.0	-
	P330	54.5	49			330	195	330	351	526	912	1.0	-
	P360	50.0	48			360	195	360	339	508	917	1.0	-
II	PE300	60.0	50	180±25	4.5±1.5	300	195	210	363	544	907	1.0	0.5
												1.5	
	PE330	54.5	49			330	195	300	351	526	912	1.0	0.5
													1.5
													1.5
	PE360	50.0	48			360	195	330	339	508	917	1.0	0.5
1.5													
1.5													

※ C: Ordinary portland cement, Ss: Sea sand, Sc: Crushed sand, G: Crushed coarse aggregate  
 ※ AD: Accelerating admixture, EA: Early strength agent

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 굳지 않은 성상

Table 4는 SERIES I 및 SERIES II의 굳지 않은 콘크리트의 시험결과를 나타낸 것이다.

동일한 고성능감수제 사용량 조건에서 경화촉진제 첨가에 따른 콘크리트 슬럼프는 유의할 만한 경향이 나타나지 않았으며, 본 검토에서 목표로 하는 슬럼프를 모두 만족하는 것으로 나타났다. 본 연구의 범위에서는 경화촉진제가 콘크리트의 유동성에 미치는 영향은 크지 않은 것으로 판단된다.

한편, 공기량의 경우 Plain과 비교하여 경화촉진제 CaBr<sub>2</sub>+DEA의 복합사용은 금번 첨가량 범위에서는 크게 영향이 없는 것으로 나타났으나, 경화촉진제 CaBr<sub>2</sub>+NaSCN+DEA의 복합사용의 경우

Table 4. Fresh properties of concrete

SERIES	Type	Early strength Agent		Slump (mm)	Air (%)	
		Type	Replacement (B×%)			
I	P300	-	-	200	3.8	
	P330	-	-	195	4.3	
	P360	-	-	190	4.4	
II	PE300	CaBr <sub>2</sub> +DEA	0.5	185	5.1	
			1.5	185	5.5	
		CaBr <sub>2</sub> +NaSCN+DEA	0.5	185	4.8	
			1.5	185	4.1	
	PE330	CaBr <sub>2</sub> +DEA	0.5	190	5.0	
			1.5	200	5.3	
		CaBr <sub>2</sub> +NaSCN+DEA	0.5	185	5.0	
			1.5	185	4.4	
		PE360	CaBr <sub>2</sub> +DEA	0.5	195	5.2
				1.5	200	5.1
	CaBr <sub>2</sub> +NaSCN+DEA		0.5	180	4.5	
			1.5	195	4.0	

첨가량이 증가할수록 공기량이 감소되는 경향을 보이고 있다. 따라서 첨가량 증가 시 AE제 사용량 증가 등이 필요할 수 있을 것으로 판단된다. 그러나 금번 검토 범위 내에서는 모두 공기량 3~6% 범위를 확보하는 데 문제가 없는 것으로 나타났다.

### 3.2 압축강도 발현성상

Fig. 2는 단위 시멘트량 변화에 따라 조강 PC를 사용한 콘크리트의 강도발현을 나타낸 것으로 초기 24시간에는 2MPa 이하로 그 차이는 미미한 것으로 확인되었으나 36시간에서는 단위 시멘트량 330kg/m<sup>3</sup> 이상의 수준에서 6MPa 이상의 강도발현을 보였다.

Fig. 3, 4는 CaBr<sub>2</sub>+DEA의 복합사용에 따른 압축강도를 나타낸 것으로 혼화제의 첨가량에 따라 초기 24시간의 강도는 3~4MPa의 범위로 큰 차이는 발생하지 않는 것으로 확인되었으며, 30시간 이

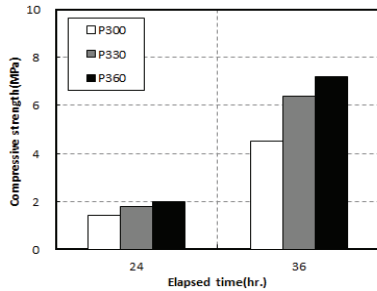


Fig. 2. Compressive strength of concrete with AD at elapsed time

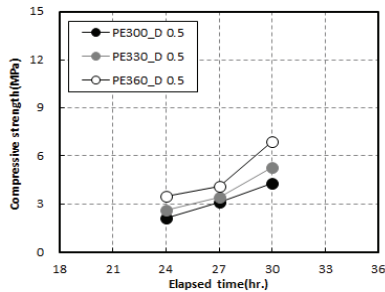


Fig. 3. Compressive strength of concrete mixed CaBr<sub>2</sub>+DEA 0.5% at elapsed time

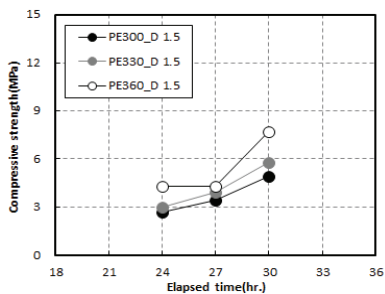


Fig. 4. Compressive strength of concrete mixed CaBr<sub>2</sub>+DEA 1.5% at elapsed time

상의 시간에서 단위 시멘트량 및 혼화제의 증가에 따라 강도발현율이 상승하는 것으로 확인되었다. 또한 조강 PC만을 사용한 콘크리트에 비하여 30시간에 5MPa 이상의 강도가 발현되어 6시간 정도의 초기 탈형강도 시간이 개선되는 것으로 확인되었다.

Fig. 5 및 6은 경화촉진제 CaBr<sub>2</sub>+NaSCN+DEA의 복합사용에 따른 콘크리트의 강도발현율을 나타낸 것으로 단위 시멘트량 및 혼화제의 첨가량에 따라 초기 강도발현율이 큰 폭으로 상승하는 경향이 있는 것으로 나타났으며, 시멘트량 360kg/m<sup>3</sup>, 양생온도 10°C 조건에서 경화촉진제 CaBr<sub>2</sub>+NaSCN+DEA를 1.5% 사용한 콘크리트가 초기 강도발현율이 매우 우수한 것으로 확인되었다. 또한 5MPa/24시간을 만족하는 것으로 나타났다.

한편, 단위 시멘트량이 330kg/m<sup>3</sup> 미만인 되는 경우 혼화제 치환율이 증가하여도 24시간에서 5MPa를 확보할 수 없는 것으로 나타났으며, 27시간에서 5MPa를 확보할 수 있는 것으로 나타났다. 또한 단위 시멘트량 300kg/m<sup>3</sup> 수준에서는 CaBr<sub>2</sub>+DEA의 복합사용 결과와 동일하게 30시간 이내에 5MPa를 확보할 수 없는 것으로 나타났으므로 초기 강도를 상승시키기 위해서는 단위 시멘트량 330kg/m<sup>3</sup> 이상의 조건에서 경화촉진제를 첨가하는 것이 경화촉진제의 첨가에 따른 효과가 증가될 것으로 판단된다.

전반적으로 경화촉진제 종류 및 첨가량에 따른 강도발현율은 경화촉진제 종류에 관계없이 첨가량이 증가할수록 초기 재령의 압축

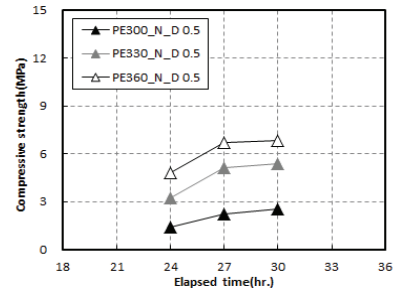


Fig. 5. Compressive strength of concrete mixed CaBr<sub>2</sub>+NaSCN+DEA 0.5% at elapsed time

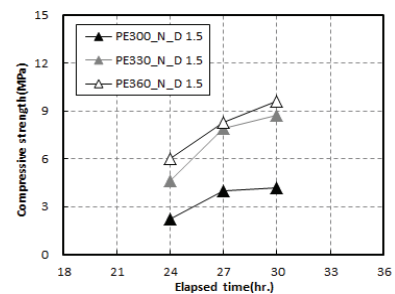


Fig. 6. Compressive strength of concrete mixed CaBr<sub>2</sub>+NaSCN+DEA 1.5% at elapsed time

강도발현은 촉진되는 것으로 나타났으며, CaBr<sub>2</sub>+NaSCN+DEA의 복합사용 조건에서 단위 시멘트량 300kg/m<sup>3</sup>를 제외하면 재령 27시간까지는 첨가량이 0.5%인 조건에서도 CaBr<sub>2</sub>+DEA의 복합사용 조건에 비하여 강도발현 촉진 효과가 크게 증진되는 것으로 확인되었다. 따라서 현장 적용을 위해서는 CaBr<sub>2</sub>+NaSCN+DEA의 첨가를 검토해야 할 것으로 판단된다.

### 3.3 경화촉진제 복합사용에 따른 영향성 분석

Fig. 7는 조강 PC를 사용한 콘크리트 대비 경화촉진제를 복합하여 첨가한 콘크리트의 강도발현 비율을 나타낸 것이다. 전반적으로 초기 강도가 향상되는 결과로서 CaBr<sub>2</sub>+DEA의 경우 100~200%의 범위이고, CaBr<sub>2</sub>+NaSCN+DEA의 경우 150~300%의 범위 정도의 강도향상 효과가 확인되었다. CaBr<sub>2</sub>+DEA의 경화촉진제의 경우 0.5%의 경우 단위 시멘트량 300kg/m<sup>3</sup> 이하의 조건에서 초기 강도발현이 우수한 것으로 확인되었으나 거푸집 탈형강도인 5MPa의 범위는 못 미치는 것으로 확인되었으며, 27시간까지 강도증진이 거의 나타나지 않는 유사한 수준으로 나타났다.

경화촉진제 CaBr<sub>2</sub>+NaSCN+DEA의 혼합제를 복합사용한 경우 시멘트량의 증가에 따라 증가폭이 선형 형태로 크게 증가하는 경향이었고 혼화제의 증가에 따라 그 폭은 더 커지는 것으로 확인되었으며 30시간에는 조강 PC를 사용한 콘크리트 대비 300% 정도

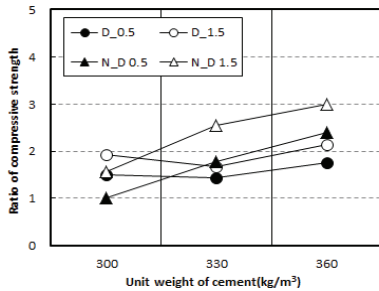


Fig. 7. Ratio of compressive strength of concrete mixed early strength agent with unit weight cement

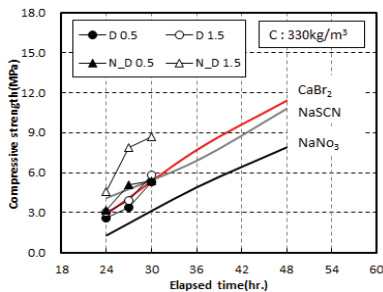


Fig. 8. Comparisons of compressive strength of concrete mixed with early strength agent

의 높은 강도발현율이 확인되어 경화촉진제의 첨가에 따른 효과가 크게 증대되는 것으로 확인되었다.

Fig. 8은 기존 연구결과인 CaBr<sub>2</sub>, NaSCN, NaNO<sub>3</sub>를 단일 사용한 결과와 본연구의 실험결과를 비교한 것으로 CaBr<sub>2</sub>+DEA의 강도증진 효과는 CaBr<sub>2</sub>, NaSCN과 차이가 거의 없는 것으로 나타났지만 CaBr<sub>2</sub>+NaSCN+DEA의 경우 0.5% 사용한 경우 27시간에 5MPa 발현되며, 1.5% 사용한 경우 발현율이 크게 상승되는 것으로 확인되었다. 따라서 경화촉진제의 혼입에 있어서 NaSCN이 복합 사용 시에 큰 효과가 있는 것으로 확인되어 단위 시멘트량 330kg/m<sup>3</sup> 이상의 조건에서 추가 첨가하게 되면 기존 조강형 PC 또는 경화촉진제를 단일 사용한 것에 비하여 5MPa 발현시점이 12시간 정도 단축하는 것으로 확인되었다.

### 4. 결론

10°C 양생조건에서 단위 시멘트량 변화 및 경화촉진제의 복합 사용에 따른 강도발현 성능에 관한 연구를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 단위 시멘트량 증가 및 경화촉진제의 복합사용에 따른 콘크리트의 물성은 전 수준에서 슬럼프, 공기량의 목표치를 만족시키는 것으로 확인되었으며, 경화촉진제의 혼입량 증가에 따라 공기량은 다소 저하하는 것으로 확인되었으나 물성에는 문제가 없는 것으로 나타났다.
2. 경화촉진제의 복합사용에 있어서 조강 PC만을 사용한 것 대비 초기 강도발현이 증진되는 것으로 확인되었으며 CaBr<sub>2</sub>+DEA보다 CaBr<sub>2</sub>+NaSCN+DEA를 활용할 경우 그 경향이 더욱 뚜렷해지는 것으로 나타났다.
3. 단위 시멘트량이 330kg/m<sup>3</sup> 미만인 되는 경우 혼화제 치환율이 증가하여도 27시간에서 5MPa를 확보할 수 있는 것으로 확인되어 초기 강도를 상승시키기 위해서는 단위 시멘트량 330kg/m<sup>3</sup> 이상의 조건에서 경화촉진제를 첨가하는 것이 강도증진 효과가 있을 것으로 분석되었다.
4. CaBr<sub>2</sub>+NaSCN+DEA를 복합사용한 경우 CaBr<sub>2</sub>, NaSCN의 단일 사용에 비하여 시멘트량 및 혼화제의 사용에 따라 강도발현율이 증가되는 경향으로 조강 PC를 사용한 콘크리트 대비 200~300% 정도의 높은 강도발현율이 확인되고 있으며, 단위 시멘트량 330kg/m<sup>3</sup> 이상의 조건에서 추가 첨가하게 되면 기존 조강형 PC 또는 경화촉진제를 단일 사용한 것에 비하여 5MPa 발현시점이 12시간 정도 단축할 수 있는 것으로 확인되었다.

## References

- Aggoun, S., Cheikh-Zouaoui, M., Chikh, N., Duval, R. (2008). Effect of some admixtures on the setting time and strength evolution of cement pastes at early ages, *Construction and Building Materials*, **22(2)**, 106-110.
- Han, C.G., Hwang, I.S., Lee, S.H., Kim, G.D. (2004). Engineering properties of concrete using AE water reducing agent of early-strength type, *Journal of the Architectural Institute of Korea*, **20(6)**, 99-106 [in Korean].
- Jun, M.H., Bang, J.D., Lee, B.S., Park, S.S., Park, J.Y., Cho, G.H. (2013). Analysis on stripping time of form of high-early-strength concrete incorporating binder and admixture, *LHI Journal*, **4(2)**, 193-200 [in Korean].
- Kim, G.Y., Kim, Y.R., Park, J.H. (2016). Investigation of early-age concrete strength development using hardening accelerator, *Journal of the Korea Concrete Institute*, **28(3)**, 309-316 [in Korean].
- Min, T.B., Cho, I.S., Lee, H.S. (2013). 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*, **13(4)**, 407-415 [in Korean].
- Park, G.Y., Kim, Y.R., Kim, G.Y. (2013). Early strength development properties of concrete using early strength improvement type cement, *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, **13(3)**, 227-334 [in Korean].
- Park, S.J., Yoo, J.K. (2008). A study on the evaluation of concrete strength at early age for field application using ultrasonic velocity and rebound test method, *Journal of the Architectural Institute of Korea*, **24(11)**, 101-108 [in Korean].

### 10°C 양생조건에서 단위 시멘트량 변화 및 경화촉진제의 복합사용에 따른 강도발현 성능에 관한 연구

본 연구에서는 현장의 골조공사에 주로 활용되고 있는 설계기준강도 21~27MPa 범위의 콘크리트를 대상으로 10°C 온도조건의 범위에서 기존 조강형 혼화제를 사용한 것 대비 경화촉진제를 복합사용하여 추가 첨가할 경우 1종 보통포틀랜드를 사용한 콘크리트의 초기 강도발현에 미치는 영향을 검토하고자 하였으며, 조강형 혼화제에 경화촉진제를 단일 첨가한 기존 자료와 촉진 효과가 우수한 3가지의 경화촉진제를 선정하여 이에 대한 복합사용에 대한 검토를 수행하였다. 본 연구의 실험결과 CaBr<sub>2</sub>+NaSCN+DEA를 복합사용한 경우 CaBr<sub>2</sub>, NaSCN의 단일사용에 비하여 시멘트량 및 혼화제의 사용에 따라 강도발현율이 증가되는 경향이 나타났으며, 단위 시멘트량 330kg/m<sup>3</sup> 이상의 조건에서 복합형태의 경화촉진제를 첨가하게 되면 기존 조강형 혼화제 또는 경화촉진제를 단일 사용한 것에 비하여 5MPa 발현시점이 12시간 정도 단축할 수 있는 것으로 확인되었다.