

# 증기양생이 불필요한 PC부재용 조강형 콘크리트 개발에 관한 연구

## A Study on the Development of Non-PC High-Early-Strength Concrete Without Steam Curing

전 우 철<sup>1</sup> 이 지 환<sup>2</sup> 박 희 곤<sup>2</sup> 이 재 삼<sup>1</sup> 김 경 민<sup>3\*</sup> 조 인 성<sup>4</sup>

Jun, Woo-Chul<sup>1</sup> Lee, Ji-Hwan<sup>2</sup> Park, Hee-Gon<sup>2</sup> Lee, Jae-Sam<sup>1</sup> Kim, Kyung-Min<sup>3\*</sup> Cho, In-Sung<sup>4</sup>  
*RexconBU Company Quality Control Team, Doosan E&C, Nonhyun-dong, Namdong-gu, Incheon, 405-849, Korea*<sup>1</sup>  
*Research Institute, Doosan E&C, Nonhyun-dong, Gangnam-gu, Seoul, 135-714 Korea*<sup>2</sup>  
*Architectural Engineering Research, Daewoo, Songjuk-dong, Jangan-gu, Suwon, Gyeonggi-do, 440-800, Korea*<sup>3\*</sup>  
*Research Institute, Chemicon, Jukhyeon-ri, Gwanghyewon-myeon, Jincheon-gun, Chungbuk, 365-834, Korea*<sup>4</sup>

### Abstract

This study aims to develop a rapidly hardening type of concrete to achieve the removal of form intensity (more than 10MPa) using the method of curing at room temperature in order to solve some economic environmental problems by omitting the steam curing process involved in producing PC (Precast Concrete). Therefore, this study evaluated a rapidly hardening cement containing a high amount of C3S, which is very responsive in expressing early intensity, and a rapidly hardening type of concrete which uses some hardening accelerator to increase the hydration reaction of C<sub>3</sub>S. The results of the experiment on concrete using some hardening accelerator are as follows. In the slump flow experiment for identifying the liquidity and the air test, the desired values were met. The compression strength showed rapid expression response by 12 hours, and met the desired value within 6~9 hours. Its drying shrinkage value and Autogenous shrinkage value were measured as below ( $-754.5 \times 10^{-6}$ ), and satisfied the requirements. In addition, in the Semi-Adiabatic Temperature Test, it was found that the concrete rose to its peak temperature within 24 hours and then its temperature dropped.

Keywords : steam curing, precast concrete, hardening accelerator, high-early-strength cement

## 1. 서 론

### 1.1 연구의 목적

프리캐스트콘크리트(PC)는 공장에서 제작된 콘크리트 부재를 건축 및 토목 현장으로 운반하여 조립하는 공법으로써, 콘크리트 생산 시 높은 온도를 가한 증기양생을 실시하여 콘크리트의 강도를 조기에 발현 시킨다. 증기양생을

통하여 생산된 PC 부재는 조기에 강도발현이 나타나기 때문에 제작된 즉시 현장 사용이 가능하며, 부재의 공장 생산으로 품질관리가 용이한 장점이 있다[1,2].

이러한 장점을 지니고 있는 PC 부재는 대량으로 생산하기 위하여 거푸집의 회전율이 높아야 하며, 이를 위해서는 콘크리트의 조기강도 확보가 가장 중요하다. 따라서, PC 부재를 생산하는 공장에서는 Figure 1과 같이 최고 온도 65℃의 열을 가한 증기양생을 통하여 촉진양생을 실시하고 있다[3,4]. 하지만, 증기양생을 위한 높은 열을 내기 위해서는 많은 양의 에너지(유류)가 사용되어 국제 유가의 급등으로 인한 경제적 문제와 CO<sub>2</sub>가 다량으로 발생하는 환경적 문제가 발생하고 있다.

따라서, 본 연구에서는 증기양생을 실시하지 않고, 상온

Received : December 13, 2013

Revision received : January 13, 2014

Accepted : January 20, 2014

\* Corresponding author : Kim, Kyoung-Min

[Tel: 82-31-250-1220 E-mail: kyoungmin.kim@daewoo.com]

©2014 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

양생만으로 PC 부재의 거푸집 탈형 강도를 만족할 수 있는 조강 콘크리트를 개발하여 친환경적인 PC부재 실용화를 위한 기초적 자료로 활용하고자 하는데 목적이 있다.

### 1.2 연구의 방법 및 범위

본 연구에서는 조기강도 발현에 반응성이 높은 C<sub>3</sub>S를 다량 함유한 3종 조강 포틀랜드 시멘트(조강시멘트)를 사용하여 C<sub>3</sub>S를 자극하는 경화촉진제의 사용량에 따른 콘크리트의 초기 압축강도를 중심으로 평가하고자 하였으며, 그에 따른 응결시간, 수축 특성 및 열적 특성을 평가하여 스팀양생이 불필요한 PC 부재 개발을 위하여 상온양생으로 탈형강도 10MPa이상을 조기에 만족시킬 수 있는 조강형 콘크리트를 개발하고자 하였다.

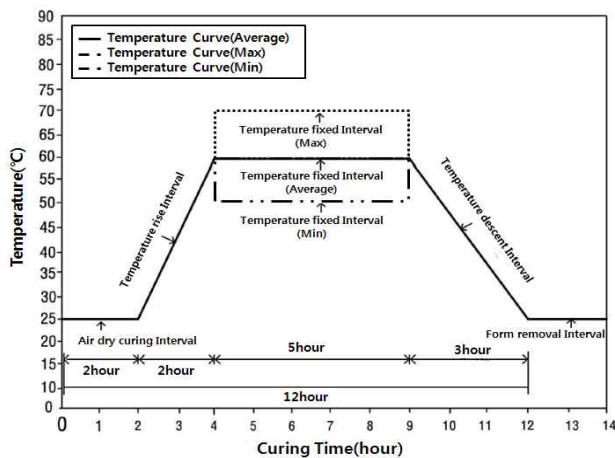


Figure 1. Management criteria of steam curing for pc production

## 2. 기존연구의 고찰

### 2.1 경화촉진제의 종류 및 특성

경화촉진제는 크게 무기염계 및 유기염계로 나눌 수 있으며, 종류와 분자구조를 Figure 2와 Figure 3에 각각 나타내었다. 무기염계 경화촉진제는 C<sub>3</sub>S의 수화반응을 촉진시켜 용액 중의 수산화칼슘(Ca(OH)<sub>2</sub>)의 과포화도가 최고에 도달하게 된다. 이 때, 시멘트 겔(CSH Gel)등 수화생성물의 석출이 매우 활발해지면서 시멘트 겔의 결정형상에 영향을 주어 장섬유상의 결정이 조직을 밀실하게 하고, 콘크리트의 조기강도를 증진시킨다고 보고되고 있다[3,5].

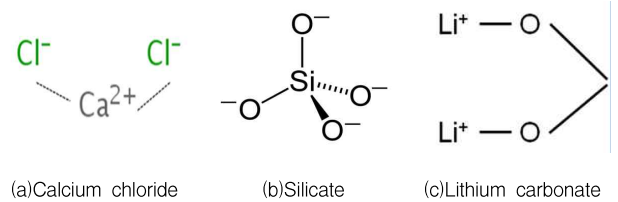


Figure 2. Molecular structure of inorganic hardening accelerator

유기염계 경화촉진제는 본 연구에서 사용될 경화촉진제를 포함하고 있으며, 주성분이 칼슘포메이트로 이루어져 있다. 칼슘포메이트의 경우 CHOO<sup>-</sup>가 C<sub>3</sub>S의 표면에 보호층을 형성하는 것을 방해하여 수화를 촉진시키는 작용을 하는 것으로 보고되고 있다[3]. 따라서, 상기 작용으로 연구에 사용될 경화촉진제는 콘크리트에 혼입하게 되면 조기강도를 확보하는데 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

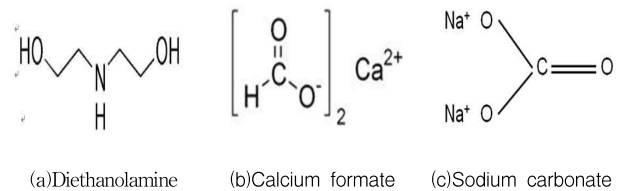


Figure 3. Molecular structure of organic hardening accelerator

### 2.2 조강시멘트를 사용한 콘크리트의 특성

조강시멘트는 보통포틀랜드 시멘트 대비 조기강도를 확보할 수 있다. 이러한 특성은 PC 부재에 적용 시, 탈형강도의 조기 확보 또는 증기양생 온도를 낮추어도 우수할 것으로 보고되었다[6,7]. 또한, 투수에 대한 저항성도 크며, 건조수축은 보통포틀랜드 시멘트를 사용할 경우와 유사하다고 보고된 바 있다[8]. 따라서, 본 연구에서는 C<sub>3</sub>S를 다량으로 함유하고 있는 조강시멘트를 사용하는 것을 필수적인 요건으로 하였다. 이에, C<sub>3</sub>S의 반응을 촉진시키는 경화촉진제를 사용한 콘크리트는 조기강도 발현을 향상시킬 수 있을 것이라 사료된다.

## 3. 실험 계획 및 방법

### 3.1 실험 계획

본 실험에 사용된 배합사항은 Table 1과 같으며, 실험항

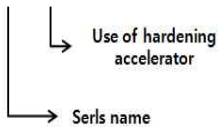
목 및 수준은 Table 2에 나타내었다. 경화촉진제 사용량에 따른 콘크리트의 특성을 평가하고자 사전 연구를 통하여 조기강도를 확보할 수 있다고 판단한 W/C(물-시멘트비) 32.0%의 조건에 조강시멘트를 500kg/m<sup>3</sup> 사용하였으며 [9], 경화촉진제는 조강시멘트 대비 (0, 1, 3, 5)%의 4 수준으로 혼입하였다. 그에 따른 실험은 굳지않은 콘크리트의 유동성 확인을 위한 슬럼프 플로와 공기량 및 응결시간을 확인하였다. 또한, 조기 압축강도 확인을 위해 재령 6, 9, 12, 18, 24시간의 강도를 측정하였으며, 콘크리트에서 발생할 수 있는 수축특성을 파악하기 위하여 자기수축 및 건조수축과 열 특성을 확인하기 위한 간이단열온도 상승시험을 실시하였다.

Table 1. Mix proportion of concrete

Division	W/c (%)	S/a (%)	Unit weight(kg/m <sup>3</sup> )				Ad (%)	Ha (%)
			W	C	S	G		
H-0							1.0	0
H-1	32.0	46.5	160	500	796	923	0.9	3.0
H-3								
H-5								

여기서,

H - 0



- W : Water
- C : Cement
- S : Sand
- G : Gravel
- Ad : Superplasticizer
- Ha : Hardening accelerator

Table 2. Measurement items and levels

Measurement items	Measurement range
Slump Flow	(600±100) mm
Air content	3.0% below
Concrete setting time	Initial set : 3.5MPa Final set : 28.0MPa
Compressive strength	(6, 9, 12, 18, 24)hours
Drying shrinkage	49 day
Autogenous shrinkage	168 hour
Semi-adiabatic temperature test	168 hour

### 3.2 사용 재료

Table 3~6은 본 실험에서 사용된 재료들의 특성을 나타낸 것으로서, 사용된 시멘트는 조기강도 발현을 높일 수 있는 C<sub>3</sub>S가 다량으로 함유된 S사의 조강시멘트를 사용하

였다. 또한, 본 연구의 핵심 재료인 경화촉진제는 시멘트 내 C<sub>3</sub>S의 수화작용을 높일 가능성이 있으며, 주성분이 칼슘 포메이트로 이루어진 흰색 분말형 재료를 사용하였다.

잔골재와 굵은 골재는 KS F 2526 및 KS F 2527에 준한 골재를 사용하였으며, 화학 혼화제는 고성능 AE 감수제를 사용하였다.

Table 3. Characteristics of cement

Type	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Blain (cm <sup>2</sup> /g)	Compound composition(%)			
			C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF
High early strength cement	3.15	4 790	58.17	14.71	6.82	10.29

Table 4. Characteristics of hardening accelerator

Division	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Main component	Form	Color
Hardening accelerator	2.15	Calcium formate	Powder	White

Table 5. Characteristics of sand and gravel

Division	Type	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Fineness modulus	Water absorption ratio (%)
Sand	Washed sand	2.50	2.86	1.02
Gravel	Crushed gravel	2.63	6.55	0.58

Table 6. Characteristics of admixture

Division	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Main component	Type	Color
Hight performance water reducing agent	1.05	Poly carboxylate	Liquid	Dark brown

### 3.3 실험 방법

본 실험의 굳지 않은 콘크리트의 슬럼프 플로와 공기량 시험은 KS F 2595 및 KS F 2421에 각각 준하여 실시하였으며, 콘크리트의 응결시간은 KS F 2436에 준하여 실시하였다. 한편, 경화콘크리트의 실험방법으로 압축강도는 KS F 2405에 준하여 온도 (20±2)℃ 및 (60±5)% 습도의 환경 조건하에 기건양생을 실시하여 재령 24시간까지의 측정을 실시하였다. 또한, 건조수축 길이변화 시험은 (100×100×400)mm의 각주 시험체를 제작하여 상온 (20±2)℃, 습도 (60±5)%의 환경 조건하에 기건양생을 실시한 후, 부착형 스트레인게이지를 사용하여 49일간 연속 측정하였으며, 자기수축 길이변화 시험은 동일 시험체

를 제작한 후, 콘크리트와 외기의 수분이동을 막기 위해 랩핑 후 매립형 스트레인게이지를 사용하여 168시간(7일) 동안 측정하였다. 간이단열온도상승 시험은 콘크리트의 열 특성을 확인하기 위하여 Figure 4에 나타난 바와 같이 단열성이 우수한 스티로폼 상자에 콘크리트를 채운 후 T-type의 열전대를 이용하여 168시간(7일)동안 측정하였다.



Figure 4. Semi-adiabatic temperature test

#### 4. 실험결과 및 고찰

##### 4.1 굳지않은 콘크리트 특성 평가

Figure 5는 굳지않은 콘크리트의 슬럼프 플로 및 공기량 실험결과를 나타낸 것으로써, 슬럼프 플로 시험결과, 목표치인 (600±100)mm 범위로 만족시켰다. 경화촉진제를 1%를 혼입한 H-1은 H-0에 비해 유동성이 증가하는 것으로 나타났지만, 경화촉진제를 3% 혼입한 H-3, 5%를 혼입한 H-5은 혼입량이 증가할수록 유동성이 점점 감소하는 경향을 나타내었다. 이 결과는 경화촉진제 3% 초과 혼입한 배합은 빠른 수화반응으로 발생한 급결로 유동성이 저하되는 것이라 판단된다. 따라서, 경화촉진제 사용 시 급결로 인한 유동성 문제가 발생할 수 있으므로 3%이하의 범위에서 사용이 이루어져야 할 것으로 판단된다.

공기량 시험결과, PC 부재 생산 시 목표로 하는 3.0% 이하의 범위를 모두 만족하였으며, 경화촉진제가 증가함에 있어 증가하는 경향을 나타내었다. 하지만, 모든 배합의 공기량 차이는 크게 나타나지 않았다. 따라서, 경화촉진제 혼입량에 따른 공기량의 영향은 없는 것으로 판단된다.

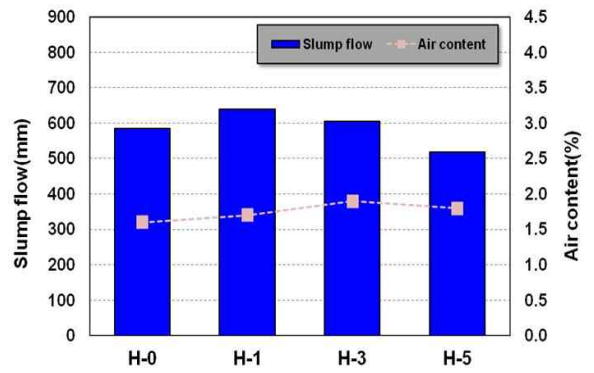


Figure 5. Result of slump flow and air content test

##### 4.2 콘크리트의 응결시간 평가

Figure 6은 콘크리트 응결시간 시험결과를 나타낸 것이며, Table 7은 회귀분석으로 도출한 초결 및 종결시간을 나타낸 것으로써, 경화촉진제의 혼입량이 증가함에 따라 초결과 종결시간이 뚜렷한 차이를 내었다. H-0 대비 초결은 144~273분, 종결은 121~307분으로 응결시간은 급격히 빨라지는 것으로 나타났다. 이는, 경화촉진제가 조강시멘트에 함유되어 있는 C<sub>3</sub>S를 자극함으로써 수화반응을 촉진하여 나타난 결과라고 판단된다. 하지만, PC부재 타설을 고려한다면, 최소 60분 이상 타설시간을 확보하는 것이 바람직 할 것으로 사료된다.

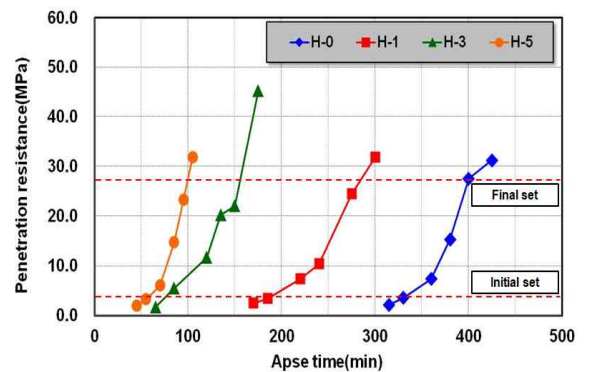


Figure 6. Concrete setting time test result

Table 7. Result of regression analysis of setting time

Division	Initial set (min)	Final set (min)
H-0	329	410
H-1	185	289
H-3	79	154
H-5	56	103

### 4.3 콘크리트 간이단열온도 평가

Figure 7은 콘크리트의 간이단열온도상승 시험결과를 나타낸 것이다. 경화촉진제 혼입량과 관계없이 24시간 이내에 Peak 온도를 나타내었으며, 최고온도 도달시간과 최고온도를 H-0는 24시간에 43.5℃, H-1은 21시간에 52.4℃, H-3는 19시간에 56.4℃, H-5는 17시간에 58.9℃로 각각 나타내었다. 따라서, H-0 대비 경화촉진제 혼입량이 증가함에 따라 수화열의 발생속도는 약 3~7시간 빠르고, 약 10℃이상의 높은 열을 발생시키는 것을 확인할 수 있었다. 따라서, 경화촉진제를 사용하여 빠른 시간에 높은 온도를 나타냄으로 응결시험의 초결 및 종결시간을 단축시킨 것으로 사료된다.

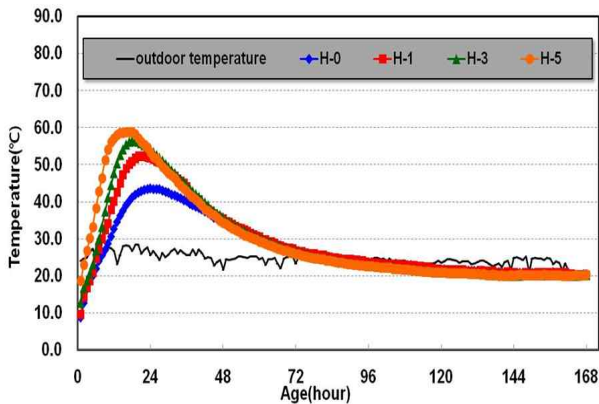


Figure 7. Result of semi-adiabatic temperature test

이로 인하여, 본 실험에 사용된 경화촉진제는 초기 강도 발현을 높이는 C<sub>3</sub>S를 자극하여 수화속도를 높임으로써 초기에 높은 강도발현과 급격한 수축을 나타낼 것으로 판단된다. 또한, 조강시멘트의 광물 성분 중 수화열이 낮은 C<sub>2</sub>S보다 수화열이 높은 C<sub>3</sub>S의 함량이 높기 때문에 나타난 결과라 사료된다[5].

### 4.4 콘크리트 압축강도 특성

Figure 8은 24시간까지의 초기재령 압축강도 결과를 나타낸 것이며, Table 8은 압축강도 10MPa를 만족하는 시간을 회귀분석을 통해 도출한 것으로서, 경화촉진제의 혼입량이 증가할수록 동일 재령 압축강도는 증가하며, 빠른 시간 내 PC 부재의 탈형강도 10MPa 이상을 만족하는 것으로 나타났다. 회귀분석을 통하여 경화촉진제 5%를 사용한 H-5는 6시간, 3%를 사용한 H-3는 약 7시간, 1%를

사용한 H-1은 약 9시간 만에 10MPa를 상회하는 것으로 나타났으며, 경화촉진제를 혼입하지 않은 H-0은 약 10시간에 상회하는 것으로 나타났다.

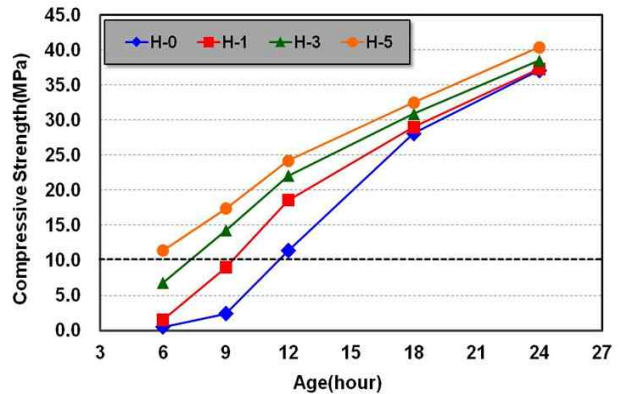


Figure 8. Result of compressive strength test

Table 8. Result of compressive strength regression analysis

Division	Regression analysis result (hour : min)	Target of compressive strength
H-0	10 : 00	
H-1	8 : 48	more than 10MPa
H-3	7 : 12	
H-5	6 : 00	

이 결과는 간이단열온도 상승 시험을 통하여 확인한 결과를 바탕으로 확인하였을 때, 경화촉진제의 혼입량이 증가함으로써 초기에 급격한 수화작용으로 초기강도가 발현된 것이라고 사료된다. 따라서, 경화촉진제와 조강시멘트를 사용함으로써 PC부재 생산 시 양생시간을 감소시키며, 스팀양생 공정을 생략함에 따라 생산 시 사용되는 몰드의 전용 횟수를 2일 1회 사용에서 1일 2회 사용으로 경제성을 높일 수 있을 것으로 판단된다.

또한, 재령 12시간 이후 H-0은 급격한 강도 발현을 나타내었지만, H-0를 제외하고 경화촉진제를 사용한 배합의 유사한 강도발현의 경향을 나타내며, 재령 18시간에는 모든 배합이 소폭의 차이로 유사해지는 경향을 나타내었다. 따라서, 경화촉진제의 사용은 빠른 수화반응으로 초기 재령 12시간 이전의 압축강도 발현에 매우 유효한 것으로 사료된다.

### 4.5 콘크리트 수축 특성

Figure 9와 Figure 10은 콘크리트의 건조수축과 자기

수축의 길이변화 시험결과를 나타낸 것이다.

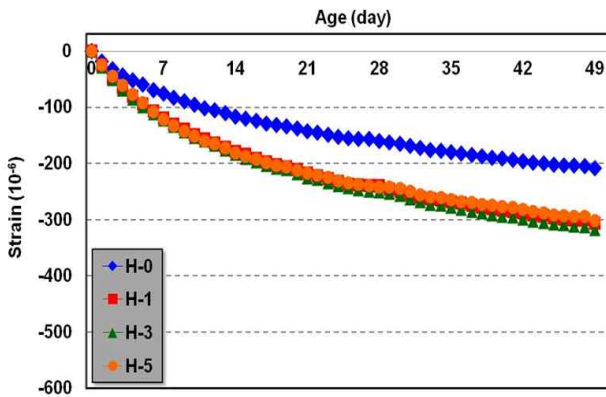


Figure 9. Result of drying shrinkage test

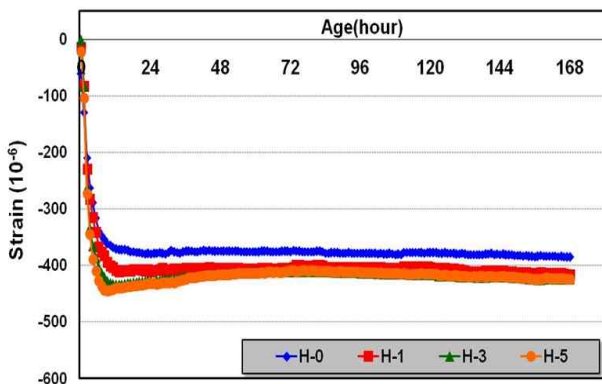


Figure 10. Result of autogenous shrinkage test

건조수축의 길이변화 시험결과, H-0의 최대 수축량은  $(-210 \times 10^{-6})$ 을 나타내었다. H-0 대비 경화촉진제를 혼입함에 수축량은 증가하는 경향을 나타내었지만, 최대 수축량의 차이는  $(-90 \times 10^{-6}) \sim (-110 \times 10^{-6})$ 의 범위로 내구성에 문제가 되지 않을 범위에서 차이를 나타낸 것이라 판단되며, H-0을 제외한 배합은 경화촉진제 혼입량과 관계없이 유사한 수축 결과를 나타내었다.

자기수축의 길이변화 시험결과는 경화촉진제의 혼입량이 증가함에 따라 초기재령에 급격한 수축량을 보였다. 이는, 경화촉진제의 급격한 수화작용으로 나타낸 경향으로 사료된다. H-0의 최대 수축량은, 약  $(-386 \times 10^{-6})$ 을 나타내었으며, 경화촉진제를 혼입함에 있어 최대 수축량의 차이는 H-0 대비  $(-30 \times 10^{-6}) \sim (-59 \times 10^{-6})$ 의 범위에서 차이를 나타내었다.

건조수축 및 자기수축량에 대해서 일본건축학회 JASS

5에서는 내구성 확보를 위한 수축균열 저감 목표치를  $(-800 \times 10^{-6})$ 이하로 제시하고 있다[10]. 하지만, 본 실험에서 실시한 건조수축 및 자기수축의 최대 수축량의 합이  $(-595.7 \times 10^{-6}) \sim (-754.5 \times 10^{-6})$ 의 범위로 모든 배합에서  $(-800 \times 10^{-6})$ 이하로 나타났기 때문에 수축균열 저감 목표치를 만족하였으므로 경화촉진제의 혼입에 따라 수축 균열로 인한 내구성 문제는 발생하지 않을 것으로 사료된다.

## 5. 결론

본 연구는 경화촉진제를 사용한 PC용 조강형 콘크리트 개발의 일환으로써 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 굳지않은 콘크리트의 슬럼프 플로 시험으로 확인한 유동성은 경화촉진제 1%의 혼입 시 증가하는 것으로 나타나지만, 이후, 3, 5%의 혼입량이 증가함에 따라 유동성은 점점 감소하는 것으로 나타났다. 또한, 촉진제를 혼입함에 있어서 공기량에 큰 영향성은 나타나지 않는 것으로 나타났다.
- 2) 경화촉진제를 혼입함으로써 사용하지 않은 콘크리트에 대비하여 빠른 응결시간을 나타내었고, 초결 및 종결의 도달시간이 2~5시간 빨라지는 것으로 나타났다.
- 3) 경화촉진제 혼입량과 관계없이 24시간 이내에 Peak 온도를 나타내었으며, 경화촉진제를 사용하지 않은 배합 대비 경화촉진제 혼입량이 혼입함에 따라 콘크리트의 발열속도는 3~7시간 빠르고, 약  $10^{\circ}\text{C}$ 이상의 높은 열을 발생시키는 것으로 나타났다.
- 4) 압축강도 10MPa를 만족하는 시간을 회귀분석을 통하여 확인한 결과, 경화촉진제를 혼입하지 않은 H-0는 재령 10시간에 만족하였으며, 경화촉진제의 혼입량이 증가함에 있어 1~4시간 빠른 강도발현을 나타냈다. 또한, 재령 12시간 이후 경화촉진제를 사용하지 않은 배합의 강도는 급속도로 증가하여 18시간 후에는 경화촉진제의 혼입량과 관계없이 유사한 강도를 나타내었다.
- 5) 경화촉진제를 혼입함에 따라 수축량은 증가하였지만, 건조수축 및 자기수축량의 합이  $(-595.7 \times 10^{-6}) \sim (-754.5 \times 10^{-6})$  범위로 나타났으며, 이 결과는 일본건축학회 JASS 5에서 제시한 내구성 확보를 위한 수축균열

저감 목표치 ( $-800 \times 10^{-6}$ )이하를 만족하였다.

본 연구를 통하여 경화촉진제를 혼입한 조강형 콘크리트의 개발로 스팀양생 공정을 제외한 PC 부재를 생산하는데 기여할 것으로 판단된다. 또한, 향후 경화촉진제의 최적 혼입량을 선정하기 위한 배합설정이 필요할 것이며, PC 부재에 적용성 검토가 필요할 것으로 사료된다.

## 요 약

본 연구는 PC(Precast Concrete)부재 생산 시 스팀양생 공정을 생략하여 경제적 및 환경적 문제를 해결하고자 상온양생으로 탈형강도(10MPa이상)를 만족시킬 수 있는 조강형 콘크리트를 개발하는데 목적이 있다. 따라서, 조기 강도 발현에 반응성이 높은  $C_3S$ 를 많이 함유하고 있는 조강 시멘트와  $C_3S$ 의 수화반응을 높이는 경화촉진제를 사용한 조강콘크리트를 평가하였으며, 경화촉진제를 사용한 콘크리트 실험결과는 다음과 같다. 유동성 확인을 위한 슬럼프 플로 시험과 공기량은 목표값을 만족하였다. 경화촉진제를 혼입함에 있어 압축강도는 12시간까지 급격한 발현 성상을 나타내었으며, 6~9시간 만에 목표를 만족하였다. 건조수축 및 자기수축의 최대 수축량은 ( $-800 \times 10^{-6}$ )이하의 값을 나타내어 양호한 것으로 나타났다. 또한, 간이단열온도상승 시험으로 24시간 이내에 Peak 온도를 나타내고 감소하는 것을 확인하였다.

**키워드** : 증기양생, 프리캐스트 콘크리트, 경화촉진제, 조강시멘트

## Acknowledgement

This study is part of the output of the research funding for Advanced-City Development project 2012 of the Ministry of Land, Transport, and Maritime Affairs(Project No. 12, Advanced-City C19)

## References

1. Kwon HS, Chou EK, Lim NK, Lee YD, Jung SJ. An Effects of the Strength Development of High Strength Mortar under Temperature History by Steam Curing. Journal of the Korea Institute of Building Construction, 2010 Aug;8(4):115-21.
2. Park HG, Park SK, Kim SH, Hong GH, Kim JH, Kim UJ, Kang SM, Choi KK. Development Precast Concrete System for High-rise Apartment Building. Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction, 2007 Jul;51(7):108-15.
3. Min TB, Cho IS, Lee HS. Fundamental Study on the Development of Precast Concrete without Steam Curing. Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction, 2012 Dec;28(12):61-8.
4. Korea concrete institute. Concrete Standard Specification Explanation, 3th ed. Korea: Kimoondang; 2009. p. 553-70.
5. Min TB, Cho IS, Lee HS. 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, 2013 Jun;13(4):407-15
6. Lee WJ, Lee WA, Um TS, Lee JR. The Characteristics of the Strength Development and Chloride Attack Resistance on the Concrete using High Early Strength Cement by Steam Curing Temperature Condition. Journal of the Korea Institute of Concrete Fall Academic Conference, 2005;17(2):599-602.
7. Lee WJ, Yoo WH, Keum KH, Ha JD. The Study on Steam Curing Energy Reduction of Precast Concrete Using High Early Strength Cement. Journal of the Korea Institute of Concrete Spring Academic Conference, 2012;24(1):147-8.
8. No DH. Estimation of the Strength Development of the Concrete using Fine Particle Cement and Practical Application [Doctor's thesis]. [Cheongju (Korea)]: Cheongju University; 2010. 250 p.
9. Jun WC, Lee JH, Seo I, Lee JW, Lee JS, Cho IS. Properties of the Early Strength of the Concrete According to the Usage of Hardening Accelerator, urnal of the Korea Institute of Building Construction Spring Academic Conference, 2012;12(2):221-2.
10. Ryu DW, Kim WJ, Yang WH, Park DC. An Experimental Study on the Carbonation and Drying Shrinkage of Concrete Using High Volumes of Ground Granulated Blast-furnace Slag. Journal of the Korea Institute of Building Construction, 2012 Dec;12(4):393-400.