

# 조기강도 개선형 시멘트를 사용한 콘크리트의 조기강도 발현 특성

## Early Strength Development Properties of Concrete using Early Strength Improvement Type Cement

박 규 연<sup>1</sup>                      김 용 료<sup>2</sup>                      김 규 용<sup>2\*</sup>

Park, Kyu-Yeon<sup>1</sup>      Kim, Yong-Ro<sup>2</sup>      Kim, Gyu-Yong<sup>2\*</sup>

Department of Architectural Engineering, Chungnam National University, Yuseong-Gu, Daejeon, 305-764, Korea <sup>1</sup>  
Technology Research & Development Institute, Daelim Industrial, Jongno-Gu, Seoul, 110-732, Korea <sup>2</sup>

### Abstract

In this research, early strength development performance of early strength improvement type ordinary cement which is economically feasible early strength cement(Type III), improved early strength ordinary cement(Type I), was estimated to derive minimum curing temperature and proper water to cement ratio according to cement for early strength development through examination of fresh concrete properties and compressive strength according to water to cement ratio curing 10°C, 15°C and 20°C to suggest fundamental data for practical use of early strength concrete.

Keywords : early strength improvement type cement, early strength development, curing temperature, W/C

### 1. 서 론

건축구조물이 고층화 및 대규모화되어 가고, 철근콘크리트 건축물 공사에서는 공기단축이 프로젝트 수주 및 시공단계에 있어서 성패를 좌우하는 중요한 영향요인으로 작용함에 따라 골조 및 마감공사에서의 공기단축에 대한 요구가 점점 증대하고 있는 실정이다[1,2].

이에 따라 시스템 거푸집의 활용, 철근 선조립 공법, 경량패널 적용, 프리캐스트 공법, 콘크리트 양생 방법 개선, 조강 콘크리트 등과 같은 다양한 공기단축 기술들이 개발되고, 현장 적용을 도모하고 있다[3].

한편, 골조공사에서 1층당 사이클은 전체 공정 중에서 주공정으로 되며, 이에 따라 골조공사에서 콘크리트 타설 후 거푸집 제거시기의 결정과 관련하여 소요의 압축강도를 조

기에 확보하는 문제가 건축물의 공기단축 및 경제성 측면에서 매우 중요한 사항이다[2].

콘크리트의 조기강도를 확보하기 위한 방안으로서는 배합 측면에서 물시멘트비를 낮추거나, 단위시멘트량을 증가시키고[8,9], 촉진형 고성능감수제를 적용시키는 방법 [4,5]이 주로 검토되고 있으며, 실제 현장 적용 사례도 증가되고 있다. 그러나 이와 같은 방법은 실제 건축현장에서 적용시 공기단축에 요구되는 조기 강도 성능을 확보하는데 한계가 있거나, 또는 제조비용이 상당히 증가되는 문제점이 제기되고 있는 상황이다.

이에 따라 지금까지 개발되어 적용되고 있는 콘크리트 조기강도 발현 방법에 비해 상대적으로 제조비용 상승이 적고, 안정적인 조기강도 발현이 가능한 기술개발이 필요하며, 이를 해결하기 위한 방안으로 시멘트 자체의 조기강도 발현성을 개선하는 것도 검토되고 있다[6,7,10].

이와 같은 배경에서 본 연구에서는 분말도 및 혼합재 조정에 의해 보통포틀랜드시멘트의 조기강도 발현 성능 개선 효과를 검토하고, 이를 통해 도출된 조기강도 개선형 시멘트를 사용한 콘크리트의 조기강도 발현 특성을 검토함으로써 향후 건축 현장에서 이를 활용한 조강콘크리트의 실용화

Received : September 18, 2012

Revision received : March 30, 2013

Accepted : April 5, 2013

\* Corresponding author : Kim, Gyu-Yong

[Tel: 82-42-821-5623, E-mail: gyuyongkim@cnu.ac.kr]

©2013 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

를 위한 기초자료를 제시하고자 하였다.

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 Table 1에서 보는 바와 같이 분말도 및 석고 종류, 첨가율에 따른 1종 보통포틀랜드 시멘트의 조강 성능 개선 효과를 검토하기 위한 시리즈 I 과 이를 통하여 도출된 조강성능 개선형 시멘트를 사용한 콘크리트의 조기강도 발현 특성을 검토하기 위한 시리즈 II로 계획하였다.

Table 1. Experimental scheme

Factors		Variable
Series I	Blain (cm <sup>2</sup> /g)	3,300, 4,000, 4,300, 4,500
	Gypsum Type	Normal, Anhydrite
	Contents of Anhydrite	-0.2%, 0.0%, +0.2%, +0.4%
Series II	Cement Type	OPC, ESIC*, HSC(Type III)
	W/C (%)	40, 45, 50
	Curing Temp. (°C)	10, 15, 20

\* ESIC : Early Strength Improvement type Cement

시리즈 I에서는 시멘트의 분말도를 4수준, 석고종류를 일반, 무수석고의 2수준, 무수석고 첨가율을 4수준으로 설정하여 이를 사용한 콘크리트의 응결시간, 슬럼프, 공기량 및 조기강도를 평가하여 최적의 성능을 발현하는 수준을 도출하고자 하였다.

석고 종류별 검토시에는 1종 보통포틀랜드시멘트 생산시 적용되는 석고 첨가량을 기준으로 하여 무수석고를 동일량 사용하였을 경우의 효과를 비교하고자 하였고, 무수석고 첨가율은 종류별 검토시 적용된 석고량을 기준으로 -0.2% ~ +0.4%까지 변경하여 효과를 검토하였다.

시리즈 II에서는 시리즈 I에서 도출된 시멘트와 보통포틀랜드 시멘트 및 3종 조강시멘트로 시멘트 종류를 3수준으로 설정한 후, 물시멘트비를 3수준, 양생온도를 3수준으로 설정하여 물시멘트비 및 양생온도에 따른 조기강도 발현 특성과 양생온도에 따른 최적 배합비 도출을 위한 자료를 확보하고자 하였다.

한편, 시리즈 II에서는 공동주택 현장에서의 골조 공기 기 5일 사이클을 가정하여 이에 필요한 시공성 및 조기강도

측면에서 조강 콘크리트 목표 성능을 Table 2와 같이 설정하였고, 상기 실험요인에 따른 성능을 검토하였다.

Table 2. Target performance of early strength concrete

Fresh concrete		Early age strength	
Slump	Air contents	Vertical	Horizontal
210±25 mm	4.5±1.5 %	5MPa/15hr	14MPa/42hr

### 2.2 사용재료 및 배합

본 연구에서 사용한 시멘트는 국내 S사의 제품으로서 1종 보통포틀랜드시멘트(OPC) 및 3종 조강시멘트(HSC)의 물리적 성능은 Table 3과 같다.

Table 4는 골재의 물리적 성질을 나타낸 것으로서 잔골재의 경우 바다모래와 부순모래를 7:3의 비율로 혼합하여 사용하였으며, 굵은 골재의 경우 최대치수 25mm의 부순자갈을 사용하였다.

또한, 콘크리트 제조시 사용한 혼화제는 국내 E사의 제품으로 Table 5와 같은 물리적 성질을 가지고 있는 폴리카본산계 고성능감수제를 적용하였다.

Table 3. Physical properties of cement

		OPC (Type I)	ESIC (Series II)	HSC (Type III)
Fineness	Blain (cm <sup>2</sup> /g)	3,330	4,290	4,550
	45µm(%)	7.0	1.0	0.8
Setting time (h:m)	Initial	4 : 10	4 : 10	3 : 01
	Final	6 : 00	5 : 10	5 : 20
Compressive strength of cement (MPa)	15h	2.2	7.7	8.5
	18h	3.9	11.9	13.4
	24h	7.8	16.7	18.9
	3d	33.0	38.0	40.0
	7d	44.0	48.0	49.0
	28d	58.0	60.0	63.0

Table 4. Physical properties of aggregates

Type	F.M.	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Absorption (%)
Sand	Sea sand (S1)	2.80	0.8
	Crushed sand (S2)	3.10	1.0
Gravel	Crushed stone	7.03	0.7

Table 5. Physical properties of chemical agent

Type	Color	pH	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Water reducing rate (%)
Polycarboxylate	Brown	6.5~7.0	1.0~1.2	20~23

본 연구에서 적용한 콘크리트 배합은 Table 6과 같으며, 조강 성능이 개선된 시멘트의 특성 비교를 목적으로 하여 혼화재료는 적용하지 않는 배합으로 설정하였다.

Table 6. Mix proportion of concrete

	W/B (%)	S/a (%)	W	Unit weight (kg/m <sup>3</sup> )				
				C	S1	S2	G	Ad
Series I	45.0	48.5	165	367	598	254	911	5.51
	40.0	47.5	165	413	573	244	908	6.61
Series II	45.0	48.5	165	367	598	254	911	5.51
	50.0	49.5	165	330	621	264	909	4.62

### 3. 실험결과 검토 및 분석

#### 3.1 분말도에 따른 시멘트의 품질 특성 검토

Figure 1은 1종 보통포틀랜드 시멘트의 분말도 변화에 따른 응결시간 및 24시간 이내의 조기강도 시험 결과를 나타낸 것으로서 분말도가 증가됨에 따라 응결시간이 단축되고 조기강도 발현 성능이 향상되는 경향이 나타났다.

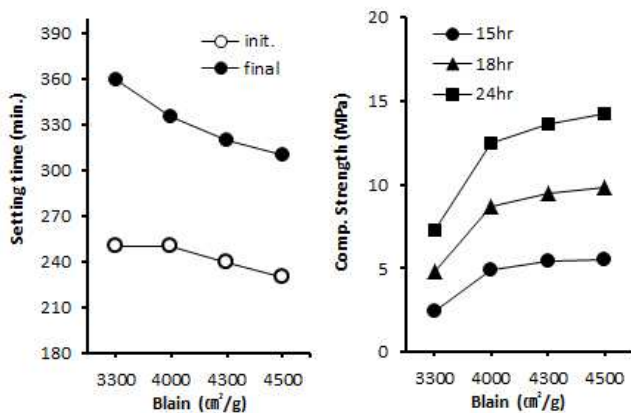


Figure 1. Setting time and compressive strength by blain of cement (Series I)

그러나 분말도 변화에 따른 슬럼프 및 공기량 시험 결과를 제시한 Figure 2에서 보는 바와 같이 분말도가 증가할수록 경과시간에 따른 슬럼프 로스가 크게 발생하는 것으로 나타났으며, 공기량도 감소하는 경향이 나타났다.

이와 같이 슬럼프 로스가 크게 발생되고, 확보되는 공기량이 낮을 경우 실제 현장 적용시 적정한 시공성 확보를 위해 단위수량이 증가되거나, 고성능AE감수제 첨가율이 증가

될 가능성이 있으며, 이에 따라 실제 확보되는 조기강도도 저하될 우려가 있으므로, 이를 고려한 적정 분말도의 설정 및 유동성 개선을 위한 조치가 필요한 것으로 확인되었다.

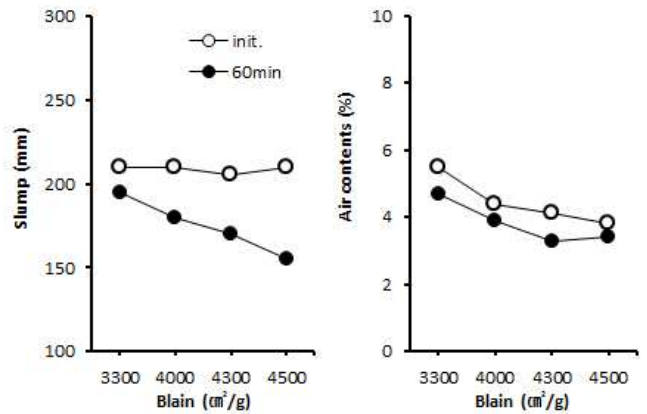


Figure 2. Slump and air contents by blain of cement (Series I)

#### 3.2 석고 종류 및 사용량에 따른 시멘트의 품질 특성 검토

Figure 3은 OPC에 추가로 석고를 첨가하여 석고 종류에 따른 응결시간 및 조기강도를 평가한 결과로서, 석고의 추가 첨가에 의해 응결시간은 단축되고, 조기강도 발현은 증가되는 것으로 나타났다.

석고 종류별로는 일반 석고를 사용하는 것보다는 무수석고를 사용하는 것이 응결시간 단축 및 조기강도 향상에 효과적인 것으로 나타났다.

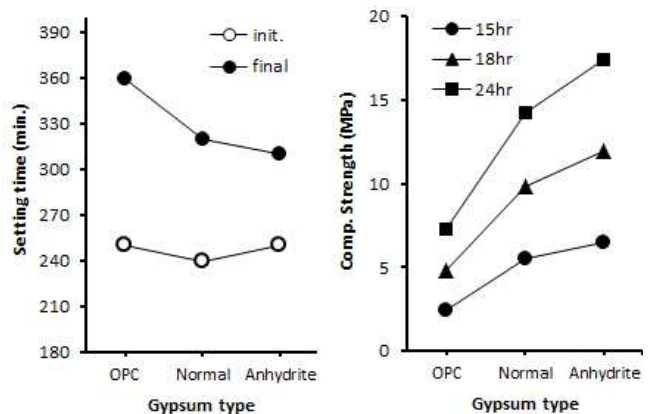


Figure 3. Setting time and compressive strength by gypsum type (Series I)

또한, Figure 4는 석고 종류에 따른 슬럼프 및 공기량 변

화를 나타낸 것으로서, 공기량의 경우 OPC에 비해 석고 첨가에 따라 감소되는 것으로 나타났으나, 슬럼프의 경우 석고 첨가에 따른 영향은 크지 않았으며, 특히 무수석고를 사용하는 경우 슬럼프 유지 성능 확보에도 효과적인 것을 확인할 수 있었다.

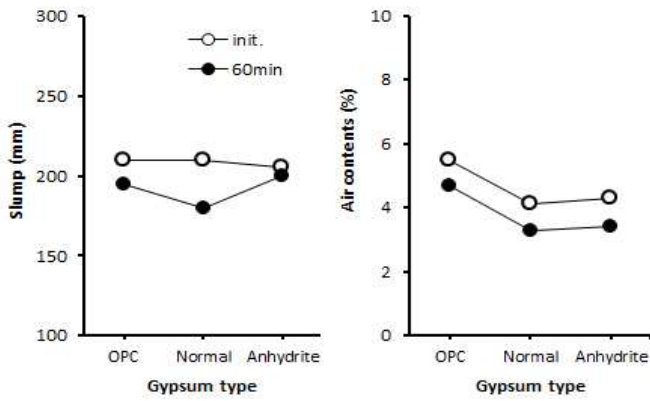


Figure 4. Slump and air contents by gypsum type (Series I)

한편, Figure 5는 Figure 4의 석고 종류별 검토에서 슬럼프 유지성능 측면에서 효과적인 것으로 확인된 무수석고의 사용량을 조정하였을 경우의 슬럼프 및 공기량 변화를 나타낸 것으로서, 무수석고의 사용량이 감소함에 따라 슬럼프 유지 성능이 다소 저하되었으나, 본 연구의 범위 내에서는 무수석고 사용량에 따른 유동성의 영향은 크지 않은 것으로 나타났다.

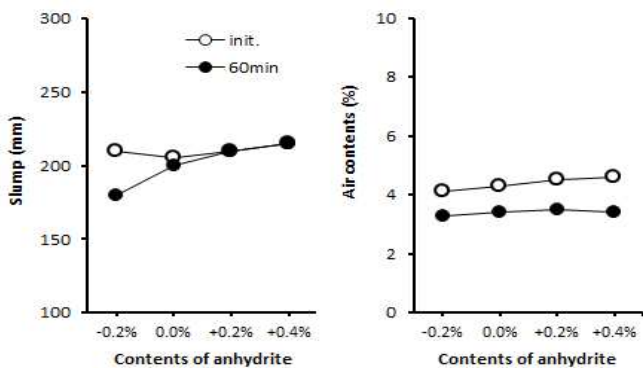


Figure 5. Slump and air contents by content of anhydrite (Series I)

그러나 조기강도의 경우 무수석고 사용량 조정에 따른 15

시간 압축강도 결과를 나타낸 Figure 6에서 보는 바와 같이 기준 사용량보다 0.2%를 추가 사용하였을 경우까지는 사용량의 증가에 따라 조기강도가 증가되는 경향을 보이지만, 0.4% 추가 사용시 강도발현이 오히려 저하되는 것으로 나타났다. 이는 석고의 과다 사용에 따른 응결시간 지연 등에 기인한 것으로 판단되며, 보통포틀랜드시멘트의 조기강도 개선을 위한 첨가시 적정량의 적용이 필요할 것으로 사료된다.

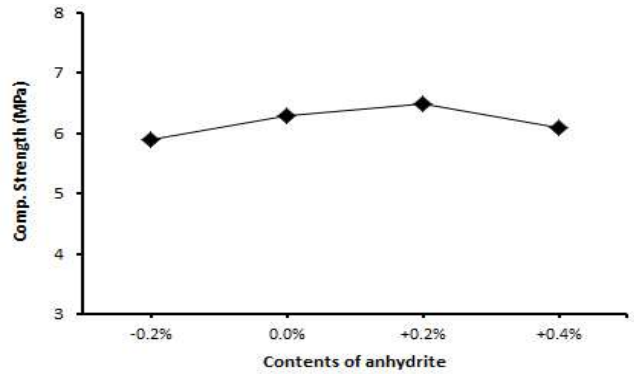


Figure 6. 15hr compressive strength by content of anhydrite (Series I)

### 3.3 시멘트 종류에 따른 콘크리트 특성 검토

Figure 7은 W/C 45% 조건에서 시멘트 종류에 따른 슬럼프 및 공기량 변화를 나타낸 것으로서, 조강형 시멘트인 ESIC 및 HSC의 경우 동일한 배합 상태에서 OPC에 비해 슬럼프 및 공기량이 다소 낮게 나타났으나, 본 연구에서 목표로 설정한 성능을 확보하는데 문제가 없는 것을 확인할 수 있었다.

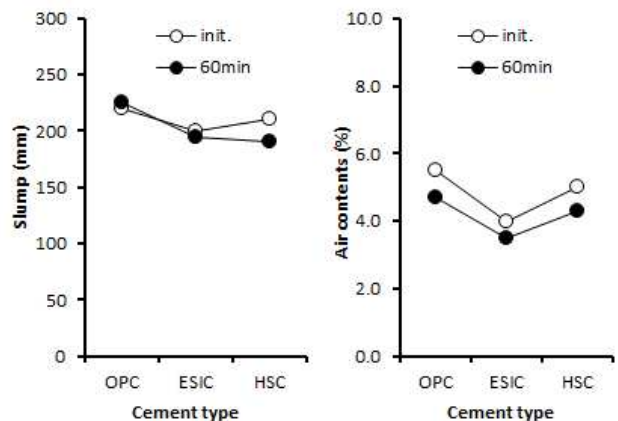


Figure 7. Slump and air contents by cement type (Series II)

시멘트 종류에 따른 압축강도의 경우 시멘트 종류별 재령에 따른 강도 발현 결과를 나타낸 Figure 8에서 보는 바와 같이 OPC의 경우 15시간에서 목표로 한 5MPa 확보가 곤란한 것으로 나타났으며, 시멘트 종류별로는 15시간까지는 HSC > ESIC > OPC의 순서로 조기강도의 발현이 빠르게 나타났으나, 42시간 이후에는 ESIC 및 HSC의 강도 발현에는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

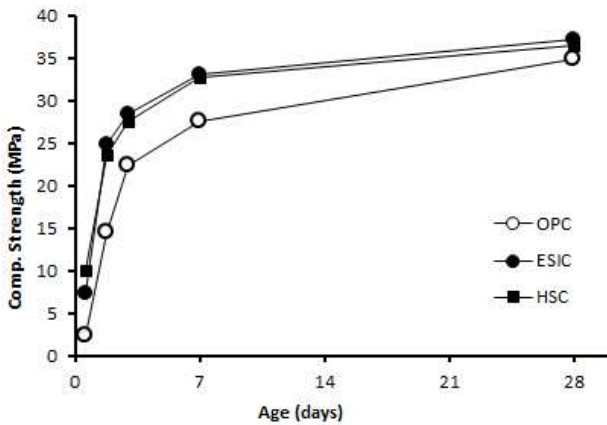


Figure 8. Compressive strength by cement type and age (Series II)

또한, 조강형 시멘트인 ESIC 및 HSC의 경우 재령 7일까지는 OPC에 비해 높은 강도를 발현하고 있으나, 재령 28일에서는 OPC와 유사한 강도를 발현하고 있어, 장기 재령에서의 강도 발현율은 다소 저하하는 것을 알 수 있었다.

### 3.4 양생온도에 따른 조기강도 발현 특성 검토

Figure 9은 W/C 45% 조건에서 양생온도별 시멘트 종류에 따른 조기강도 발현 특성을 나타낸 것으로서, 시멘트 종류에 관계없이 양생온도가 낮을수록 조기강도 발현도 저하되는 것으로 나타났다.

양생온도 10℃에서는 본 연구에서 목표로 한 수직부재의 강도발현시기인 15시간에서 5MPa를 만족하는 시멘트는 없었으나, 시멘트 종류별로는 HSC의 조기강도 발현 성능이 가장 우수하였으며 약 16.5시간에서 수직부재 탈형 강도 확보가 가능한 것으로 나타났다.

또한, 양생온도 15℃ 이상에서는 ESIC 및 HSC의 경우 목표로 설정한 5MPa/15hr의 수직부재 탈형 강도를 발현할 수 있는 것으로 나타났으며, 24시간 이후에는 수평부재의 탈형 목표 강도도 가능한 것으로 나타나 조강형 시멘트의 사용에 의한 조기강도 콘크리트 제조의 유효성을 확인할 수 있었다.

시멘트 종류별로는 Figure 10에서 보는 바와 같이 본 연구에서 수직부재의 탈형 목표로 설정한 15시간 압축강도를 기준으로 하여 양생온도 10℃에서 OPC 대비 ESIC가 675%, HSC가 875%, 양생온도 15℃에서 ESIC가 304%, HSC가 420%, 양생온도 20℃에서 ESIC가 199%, HSC가 208%의 강도발현 성능을 보이고 있어, 양생온도가 낮을수록 조강형 시멘트의 효과가 우수한 것으로 나타났다.

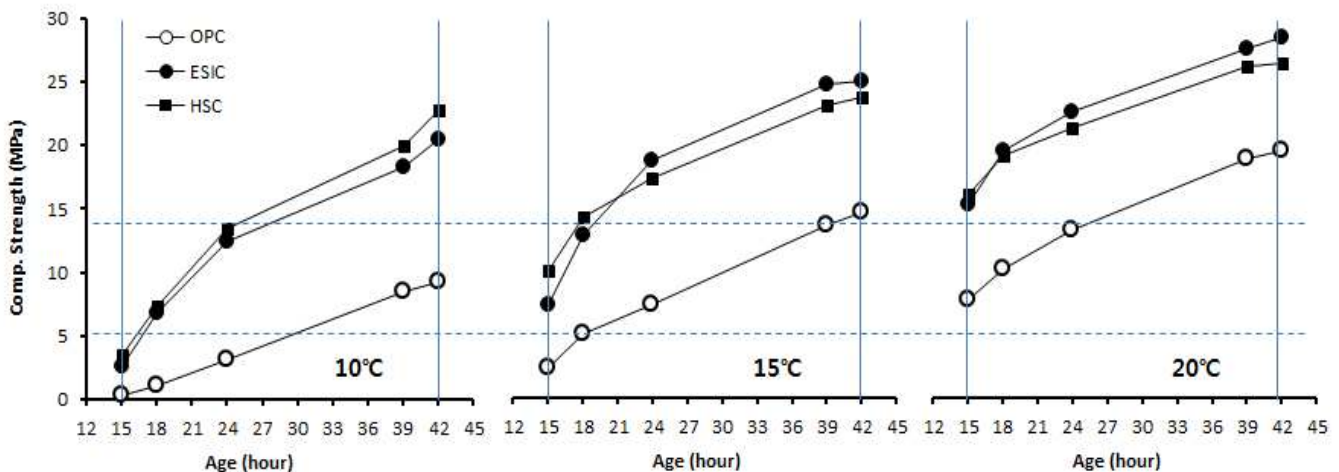


Figure 9. Compressive strength by cement type and curing temperature (W/C 45%) (Series II)



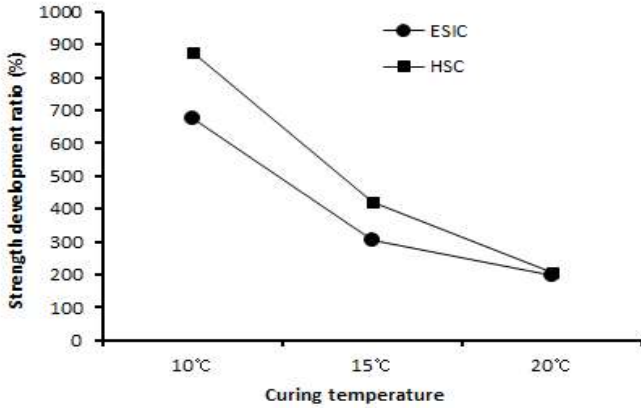


Figure 10. Strength development ratio for OPC by curing temperature (W/C 45%) (Series II)

### 3.5 물시멘트비에 따른 조기강도 발현 특성 검토

Figure 11은 양생온도 15°C 조건에서 물시멘트비별 시멘트 종류에 따른 조기강도 발현 특성을 나타낸 것으로서, 시멘트 종류에 관계없이 물시멘트비가 낮을수록 조기강도는 높게 발현되는 것으로 나타났다.

OPC의 경우 양생온도 15°C에서는 물시멘트비 40%에서도 본 연구에서 설정한 목표 성능인 5MPa/15hr의 확보는 곤란한 것으로 나타났으며, 수평부재 탈형 강도 목표를 만족시키기 위해서는 물시멘트비 45% 이하로의 설정이 필요한 것으로 나타났다.

그러나 조강형 시멘트인 ESIC 및 HSC의 경우 양생온도를 15°C 수준으로 확보할 경우 물시멘트비 50%에서도 5MPa/15hr의 확보가 가능한 것을 알 수 있으며, 물시멘트

비 40%의 경우 18시간에서 수평부재 탈형 강도 목표로 설정한 14MPa 이상을 확보할 수 있는 것으로 나타났다.

한편, Figure 12는 본 연구에서 수직부재 대상 요구성능으로 설정한 5MPa/15hr 확보를 위해 필요한 물시멘트비를 도출하기 위하여 양생온도 및 시멘트 종류에 따른 시멘트물비와 압축강도의 관계로서,  $R^2$  값은 모두 0.9 이상으로 신뢰도가 있는 것으로 나타났다.

Table 7. Unit cement content for 5MPa/15hr

Curing Temperature	OPC	ESIC	HSC
10°C	632 kg/m <sup>3</sup>	451 kg/m <sup>3</sup>	446 kg/m <sup>3</sup>
15°C	458 kg/m <sup>3</sup>	331 kg/m <sup>3</sup>	290 kg/m <sup>3</sup>
20°C	333 kg/m <sup>3</sup>	221 kg/m <sup>3</sup>	203 kg/m <sup>3</sup>

Table 7은 Figure 12에서 도출된 회귀식으로부터 양생온도 및 시멘트 종류에 따라 5MPa/15hr의 조기 강도 확보를 위해 필요한 단위시멘트량을 산출하여(단위수량 165kg/m<sup>3</sup>로 고려) 나타낸 것으로서 조강형 시멘트인 ESIC 및 HSC의 경우 양생온도에 따라 차이는 있지만 OPC에 비해 ESIC가 약 110~180kg/m<sup>3</sup>, HSC가 약 130~190kg/m<sup>3</sup> 정도의 단위시멘트량 절감이 가능한 것으로 나타나, 조강 성능 개선을 위한 분말도 조정 및 첨가제 투입에 의한 시멘트 제조 비용 상승을 고려하더라도 본 연구에서 검토된 조강성능 개선형 시멘트의 적용에 의해 동일 목표 성능을 확보하기 위한 경제적인 배합 설계도 가능할 것으로 판단된다.

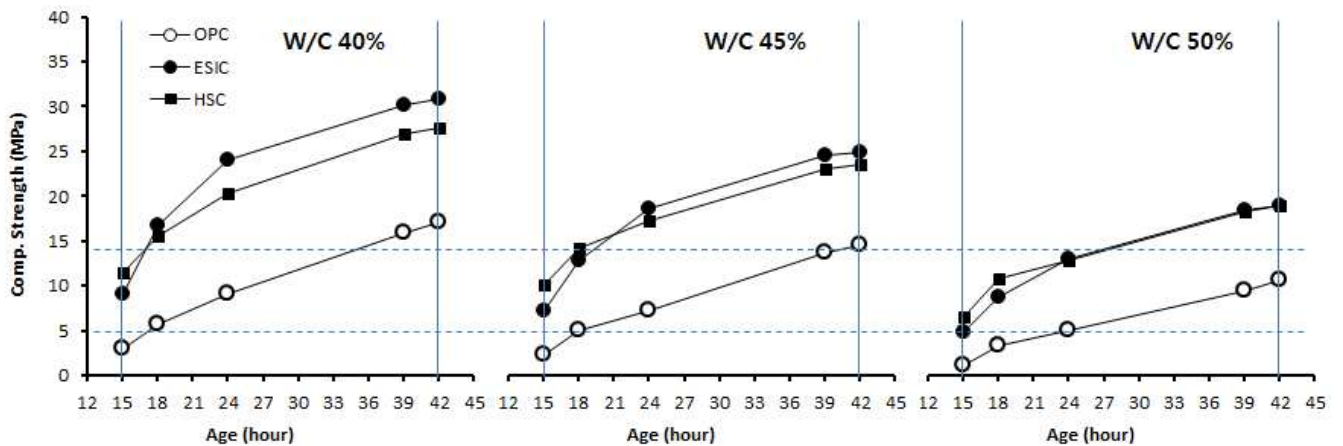


Figure 11. Compressive strength by cement type and W/C (curing temperature 15°C) (Series II)

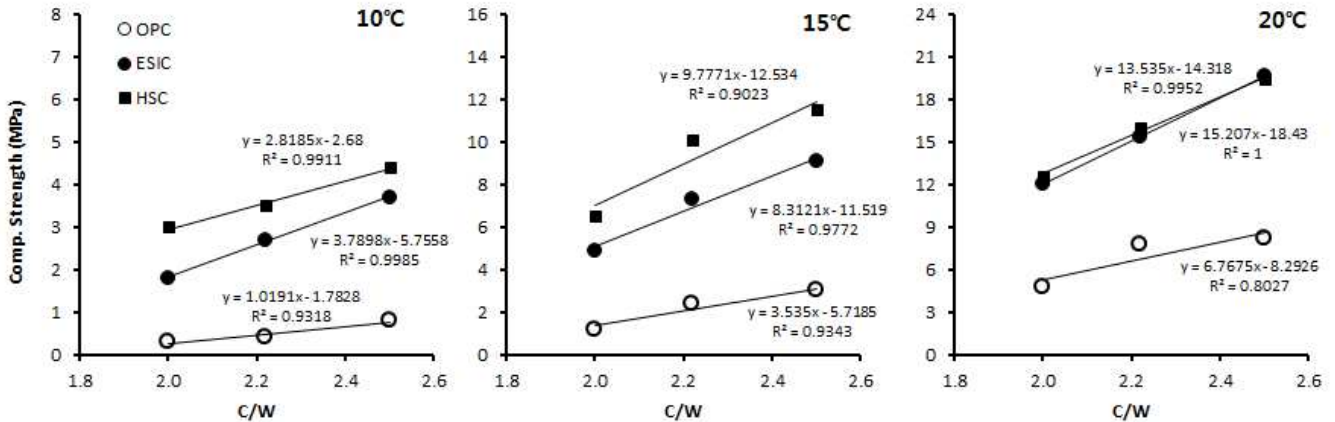


Figure 12. Compressive strength by C/W according to curing temperature (Series II)

#### 4. 결 론

본 연구에서는 보통포틀랜드시멘트의 분말도 및 혼합재 조정에 의한 조기강도 개선 효과를 검토하고, 조기강도 개선형 시멘트를 사용한 콘크리트의 양생온도 및 물시멘트비에 따른 특성을 검토함으로써 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 시멘트의 분말도 증가에 의해 응결시간 단축 및 조기강도 향상 효과가 확인되었으나, 슬럼프 로스 및 공기량 감소를 고려한 적정 분말도의 설정이 필요한 것으로 나타났다.
- 2) 혼합재로서 석고의 첨가에 따른 조기강도 개선 효과가 확인되었으며, 슬럼프 유지 성능을 고려할 경우 무수 석고의 적용이 효과적인 것을 확인할 수 있었다.
- 3) 시멘트 종류에 따른 조기강도 발현 특성 검토 결과 15시간까지는 HSC > ESIC > OPC의 순서로 빠르게 나타났으나, 42시간 이후에는 ESIC 및 HSC의 강도 발현에는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.
- 4) 시멘트 종류에 관계없이 양생온도가 낮을수록 조기강도 발현도 저하되었으며, 양생온도가 낮을수록 조강형 시멘트의 효과가 우수한 것으로 나타났다.
- 5) 시멘트물비와 조기강도와와의 관계를 통해 본 연구에서 목표로 설정한 15시간에서의 수직부재 탈형 강도를 고려할 경우 조강성능이 개선된 시멘트의 적용으로 약 110 ~ 180 kg/m<sup>3</sup> 정도 단위시멘트량 저감이 가능한 것으로 나타났다.
- 6) 분말도 및 혼합재 첨가에 의해 보통포틀랜드시멘트의 조강성능을 개선한 시멘트를 사용한 조강콘크리트의

성능 검토 결과, 우수한 조기강도 발현 효과뿐만 아니라 경제적인 배합 설계 적용이 가능한 것을 확인할 수 있었다.

#### 요 약

본 연구에서는 3종 조강시멘트에 비해 경제성을 개선하고, 1종 보통포틀랜드시멘트에 비해 조강성능을 개선한 조기강도 개선형 시멘트를 사용한 조강콘크리트의 양생온도 및 물시멘트비에 따른 굳지 않은 콘크리트 특성 및 조기강도 발현 특성을 검토함으로써, 이를 활용한 조강콘크리트의 실용화를 위한 기초자료를 제시하고자 하였다.

**키워드** : 조기강도 개선형 시멘트, 조기강도 발현, 양생온도, 물시멘트비

#### References

1. Jung JH, Lee K, Hong KH, Lee CH. An Analysis on Difficulties and Delay Factors for the Development and Application of Technologies for Reduction of Construction Duration, Journal of the Architectural Institute of Korea, 2010 Jan;26(1);121-8.
2. Kim GD, Lee SH, Han CG, Hwang IS, Na W. The Practical use of early strength development technology for form stripping earlier than normal state in apartment, Proceedings of the Fall Symposium of the Korea Concrete Institute; 2004 November 6; Suwon, Seoul(Korea): The Korea Concrete Institute; 2004. p. 765-8.

- 
3. Kim MH, Lee SH, Kang SP, Khil BS, Joo JH, Development of early strength of high-strength concrete according to curing temperature for application of system form, *Journal of the Korea Concrete Institute*, 2001 Dec;13(6):536-43.
  4. Lee SH, Hong KS, Moon HY, The properties of strength and durability of concrete using early-strength poly carbonic acid admixture, *Journal of the Korea Concrete Institute*, 2007 Apr;19(2):217-24.
  5. Lee MH, Lee GC, Evaluation of the properties of the concrete using the liquid type high early strength agent through the mock-up test, *Journal of the Architectural Institute of Korea*, 2008 Jun;24(6):77-84.
  6. Kim KM, Park SJ, Hwang IS, Kim KH, Practical Application of High Early Strength Type Concrete Using High Early Strength Type Binder, *Proceedings of the Fall Symposium of Architectural Institute of Korea*; 2009 October; Chuncheon, Seoul (Korea): The Architectural Institute of Korea; 2009, p. 471-4.
  7. Lee SS, Song HY, Lee JH, An experimental study on the early strength development properties of concrete according to curing condition and used materials, *Journal of the Korea Concrete Institute*, 2008 Dec;20(6):721-9.
  8. Han CG, Hwang IS, Lee SH, Kim GD, Properties of Strength Development of Concrete at Early Age with Water Cement Ratio and Cement Factor, *Journal of the Architectural Institute of Korea*, 2004 Apr;20(4):77-84.
  9. Kang CW, Lee JS, Kim JS, Sung YH, Ryu DH, A Study on Properties of Early Strength Development of the Concrete, *Proceedings of the Fall Symposium of the Korea Concrete Institute*; 2008 November 7; Ilsan, Seoul (Korea): The Korea Concrete Institute; 2008 p. 541-4.
  10. Shin IK, Ha SW, Huh SJ, Kim JB, Kwon IP, Park CH, A study on the development and field application of early strength concrete for cold weathering construction, *Proceedings of the Spring Symposium of the Korea Concrete Institute*; 2012 May 3; Gyeongju, Seoul (Korea): The Korea Concrete Institute; 2012, p. 281-2.