

조기강도 개선형 시멘트 및 초기수화 촉진 혼화제를 사용한 콘크리트의 조기압축강도 발현특성 평가

Evaluation of Early Compressive Strength of Concrete Using Early Strength Improvement Type Cement and Early Strength Activator

박 규 연 김 규 용* 최 경 철

Park, Gyu-Yeon Kim, Gyu-Yong* Choe, Gyoeng-Choel

Department of Architectural Engineering, Chungnam National University, Yuseong-Gu, Daejeon, 305-764, Korea

Abstract

In this study, revelation performance of concrete at early age according to types of cement, water reducing ratio of high performance superplasticizer and mixing of accelerator for early hydration was examined aiming for reduction of construction period of framework through securing strength at early age of concrete. It was observed that strength at early age, 5MPa in 12hours, 14MPa in 18hours, is secured by early strength improvement type cement and using promotion admixture for early hydration which are Sodium persulfate, Potassium hydroxide. Therefore cost reduction is expected to be possible in construction site by reducing construction period of frame work.

Keywords : early strength improvement type cement, early strength, early strength acvator, construction duration

1. 서 론

최근, 건설경기의 침체와 원자재가의 상승, 후분양제의 시행 등으로 인해 공사기간 단축에 의한 사범비 절감 요구가 증가하고 있다[1].

국내의 골조공사에서 공기지연의 원인과 빈도 분석결과 노무자의 비연속적 작업, 기후요인, 노무분쟁으로 인한 파업 등이 빈도가 높은 원인으로 분석되었다[2]. 이 중 노무자의 비연속적 작업은 콘크리트의 양생기간에 따른 탈형강도 미발현으로 후속공정인 거푸집 해체 작업이 진행되지 못하는 것에 기인한 것으로 판단된다. 이에 골조공사에서 크리티컬 패스로 작용하는 형틀공사기간을 단축하기 위하여 시스

템 거푸집의 활용, 프리캐스트 콘크리트의 적용, 철근 선조립 공법 등의 방법들이 제시되고 있다[3]. 그러나, 현장의 양중장비 운용 및 원가를 감안하면 콘크리트 타설 후 강도를 조기에 발현하여 거푸집 해체시기를 단축하는 것이 노무자의 연속작업을 가능하게 하여 골조 공사기간을 줄이는 매우 효과적인 기술요소로 채택되고 있다[4,5].

현재까지 현장타설 콘크리트의 조기강도를 확보하기 위한 기술은 단위시멘트량을 증가시켜 부배합의 콘크리트를 제조하거나[6] 특수 고성능감수제를 사용하여 단위수량을 최소화하여 강도발현을 촉진하는 방법 또는 3종 조강시멘트를 사용하는 방법 등 각각의 장단점에 의해 선택적으로 사용되고 있다. 그러나 이러한 방법은 기본적으로 콘크리트의 제조단가를 상승시키는 원인이 되어 공기단축에 의한 원가 절감의 효과가 저하되는 문제가 있다.

기존 연구에서는 1종 보통포틀랜드 시멘트의 분말도 조절 및 무수석고의 혼합을 통해 3종 조강시멘트보다 제조단가가 낮은 조기강도 발현형 시멘트를 개발하고 공동주택

Received : April 2, 2014
Revision received : April 28, 2014
Accepted : May 20, 2014

* Corresponding author : Kim, Gyu-Yong
[Tel: 82-42-821-5623, E-mail: gyuyongkim@cnu.ac.kr]
©2014 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

현장에서 1개 층의 골조공기를 5일로 가정하여 15시간에서 5MPa의 강도를 발현하는 콘크리트에 관한 연구가 진행되었다[7].

본 연구에서는 건설현장의 작업가능시간을 고려하여 최단시간 연속공정이 이루어 질 수 있도록 콘크리트 타설 후 12시간에 수평거푸집 해체 및 18시간에 수평부재 거푸집 해체가 가능한 콘크리트를 개발하는 것을 목표로 하여 시멘트의 종류, 고성능감수제와 초기수화 촉진 첨가제 종류에 따른 콘크리트의 조기강도 발현성능을 검토하였다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구에서는 콘크리트 조기강도 확보를 통해 노무자의 비연속적 작업시간을 감소시켜 골조공기를 단축하는 것을 목표로 하였다. Table 1은 본 연구의 콘크리트 성능 목표를 나타낸 것으로 콘크리트 공사표준시방서에서 제시하고 있는 거푸집 제거 기준을 적용하여 콘크리트의 재령에 따른 목표압축강도를 타설 후 12시간에 5MPa, 18시간에 14MPa로 설정하였다. 이는 통상 건설현장의 작업개시시간을 오전 7시로 설정하였을 경우 12시간 타설 후 익일 작업개시 시점에서 수직부재의 거푸집을 해체하고, 오후 작업개시 후 수평부재의 거푸집을 해체하는 것을 목적으로 설정하였다.

콘크리트의 조기강도 발현성능을 평가하기 위해 Table 2와 같이 시리즈 I, II로 나누어 실험을 수행했다. 시리즈 I에서는 시멘트의 종류 및 고성능감수제의 감수율에 따른 콘크리트의 조기강도 발현성능을 확인하기 위해 시멘트 종류는 1종 보통포틀랜드시멘트(Ordinary Portland Cement, 이하, OPC)와 OPC의 조기강도발현성능을 개선한 조강형시멘트(Early Strength Improvement type Cement, 이하, ESIC)로 설정하고 감수제는 고품분량이 다른 폴리카르보산계 고성능 감수제(Polycarboxylate superplasticizer, 이하, PC)를 사용하였다.

시리즈 II에서는 ESIC를 대상으로 PC에 초기수화 촉진 첨가제(Early Srength Activator, 이하, ESA) 5종을 적용하여 초기수화 촉진 성분에 따른 콘크리트의 조기강도 발현성능을 검토하였다. 또한, 콘크리트의 양생온도 영향을 평가하기 위해 12℃와 20℃의 양생온도 조건을 설정하였다.

Table 1. Target performance of early strength concrete

Vertical	Horizontal
5MPa/12hr	14MPa/18hr

Table 2. Experimental scheme

Factors		Variable
Series	Cement type ¹⁾	OPC, ESIC
I	Superplasticizer type	PC(Ordinary), PC(High range)
Series	Cement type	ESIC
II	Accelerator type ²⁾	SP, SN, SH, CN, PH
	Curing Temperature(℃)	12, 20℃

1) OPC : Ordinary Portland Cement

ESIC : Early Strength Improvement type Cement

2) SP:Sodium persulfate, SN: Sodium nitrite, SH:Sodium hydroxide, CN:Calcium nitrite, PH:Potassium hydroxide

Table 3. Chemical composition of cement

Type	Chemical Composition (%)									
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	f-CaO	L.O.I.
OPC	21.2	4.9	3.2	61.8	2.88	2.36	1.35	0.10	1.27	2.36
ESIC	21.3	4.8	3.1	63.0	2.86	3.03	1.31	0.09	1.50	0.60

Table 4. Physical properties of cement

Type	Blaine (cm ² /g)	Setting Time			Compressive Strength (MPa)			
		W/C (%)	Initial (min)	Final (hr:min)	1 d	3 d	7 d	28 d
OPC	3270	27.4	224	5:17	16.4	35.2	45.3	60.0
ESIC	4290	29.9	151	3:50	24.9	41.8	54.3	67.5

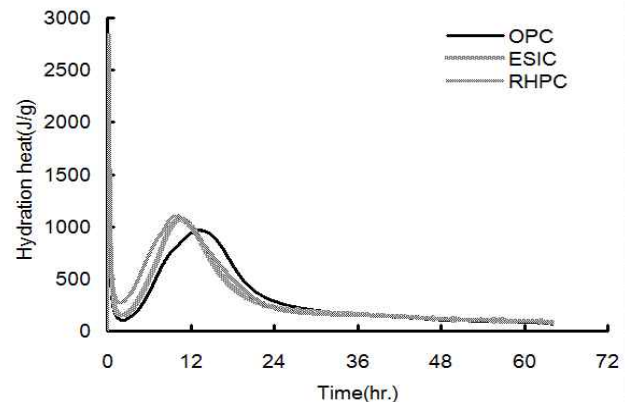


Figure 1. Hydration heat according to cement type

2.2 사용재료

2.2.1 시멘트

시멘트는 국내 H사에서 제조한 OPC와 ESIC를 사용하였으며, 시멘트의 화학성분 및 물리성능을 각각 Table 3와 Table 4에 나타냈다. ESIC는 OPC대비 CaO 및 SO₃ 함량이 높고, 강열감량이 낮으며, 모르타르 1일 강도가 약 150% 수준으로 초기강도가 우수하고 28일 강도도 110~120% 수준으로 높은 특성을 가지고 있다.

또한, 시멘트의 미소수화열의 경우 Figure 1에 나타난 바와 같이 ESIC은 3종 조강시멘트(Rapid Hardening Portland Cement, 이하, RHPC)와 비교해 최대발열온도는 낮고 OPC보다 발열속도는 약간 빠르지만 최대발열온도나 전체 발열량은 OPC와 유사한 것을 사용하였다.

Table 5. Properties of super-plasticizer

Series	Type	High early additive agent	Color	pH	Density (g/cm ³)	Solid contents (%)	Water reducing rate(%)
I	PC (Ordinary)	None	Brown	5.0~7.0	1.0~1.2	14±2	18
	PC(High range)	None	Yellow Brown	5.0~7.0	1.0~1.2	18±2	20
II	ESA-SP	Sodium persulfate		4.0~6.0	1.0~1.2	20±2	21
	ESA-SN	Sodium nitrite		4.0~6.0	1.0~1.2	20±2	21
	ESA-SH	Sodium hydroxide	Yellow Brown	4.0~6.0	1.0~1.2	20±2	21
	ESA-CN	Calcium nitrite		4.0~6.0	1.0~1.2	20±2	21
	ESA-PH	Potassium hydroxide		4.0~6.0	1.0~1.2	20±2	21

Table 6. Physical properties of aggregate

Type	Density (g/cm ³)	Absorption Rate (%)	Stability (%)	Abrasion Resistance (%)	Ratio of Absolute Solid Volume (%)	F.M.
Coarse	2.67	0.5	4.5	18.3	-	6.75
Fine	2.62	0.7	-	-	65.3	2.80

Table 7. Concrete mix design

W/B (%)	Slump (mm)	Air (%)	S/a (%)	Unit Amount of Materials (kg/m ³)			
				W	C ¹⁾	S	G
47.0	180±25	4.5±1.5	47.0	160	340	858	974

1) Series I : OPC, ESIC, Series II : ESIC

Table 8. Tests of concrete properties

Concrete	Test Items
Fresh Concrete	• Slump, Air Content
Hardened Concrete	• Compressive Strength (10, 12, 14, 16, 18hours, 1, 3, 7, 28days)

2.2.2 고성능 감수제

고성능 감수제의 특성을 Table 5에 나타내었다. 시리즈 I에서 사용한 감수제는 고흡분의 함량이 14±2%, 18±2%로 각각의 감수율은 18% 및 20%인 것을 사용하였다. 또한, 시리즈 II에서 사용한 감수제는 고흡분 함량 20±2%, 감수율 21%의 것을 사용하였으며, 초기수화 촉진 첨가제로서 각각 Sodium persulfate, Sodium nitrite Sodium hy-

droxide, Calcium nitrite, Potassium hydroxide를 포함한 5종을 사용하였다.

2.2.3 굵은골재 및 잔골재

굵은골재는 최대치수 25mm 화강암 부순골재를 사용하였으며, 잔골재는 태안산 바닷모래를 사용하였다. 각각의 골재에 대한 물리특성을 Table 6에 나타내었다.

2.3 콘크리트 배합 및 실험 방법

2.3.1 콘크리트 배합조건

Table 7은 본 연구에 사용한 콘크리트 배합조건을 나타낸 것으로 목표슬럼프 및 목표공기량은 각각 180±25mm 및 4.5±1.5%로 설정하였으며, W/C 47%, 잔골재율 47%, 단위수량을 160kg/m³으로 설정하였다.

2.3.2 콘크리트 제작 및 평가 방법

콘크리트는 KS F 2425에 준하여 1축형 강제식 믹서를 사용하여 혼합하였다. 콘크리트의 비빔순서는 믹서에 시멘트와 잔골재, 굵은골재를 투입한 후 건비빔을 30초 실시하고, 고성능감수제를 투입한 배합수를 넣고 콘크리트를 혼합하였다.

콘크리트의 성능 평가는 Table 8에서 보는 바와 같이 굳지 않은 콘크리트에 대해서는 유동성 평가를 위해 KS F 2421에 의한 슬럼프플로 및 KS F2421에 의한 공기량시험을 실시하였다. 경화 콘크리트의 압축강도는 KS F 5405에 따라 실시하였으며, 초기 재령의 강도를 평가하기 위하여 10, 12, 14, 16, 18, 24시간 강도를 측정하였고, 이후 3일, 7일, 28일에서 압축강도를 측정하였다.

3. 실험결과 검토 및 분석

3.1 시멘트 및 감수제 종류에 따른 콘크리트의 유동성 및 압축강도발현 특성

Figure 2와 3은 시멘트 종류 및 감수제의 감수율에 따른 슬럼프 및 공기량의 시험결과를 나타낸 것이다. 초기슬럼프 범위에서 60분의 경시변화 이후 약 10~30mm 감소하였지만 목표 슬럼프치를 만족하는 것으로 나타났으며, 육안상으로도 재료분리가 없어 현장에서의 시공성을 충분히 만족할 것으로 판단된다. 또한 공기량은 경시변화에 따른 손실값이

0.3~0.5%로 시멘트 및 감수제 종류에 따라 큰 차이를 나타내지 않았다.

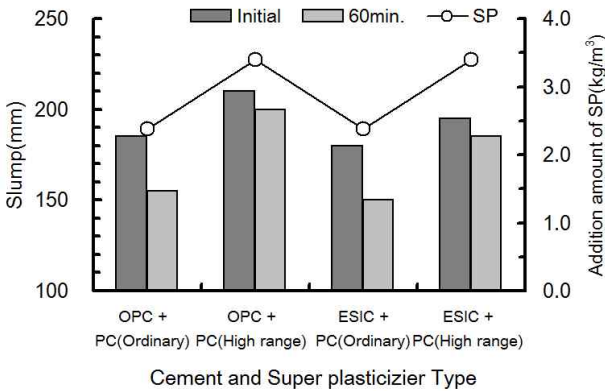


Figure 2. Concrete Slump with cement and superplasticizer type

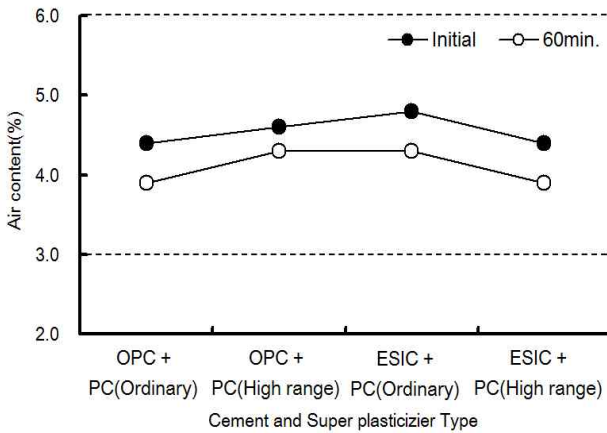


Figure 3. Air content with cement and superplasticizer type

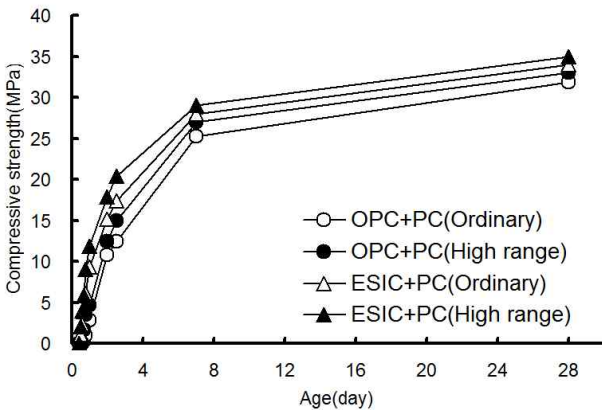


Figure 4. Compressive strength of Serise I with age

Figure 4는 시멘트 및 감수제 종류 따른 콘크리트의 재령 28일까지의 압축강도 발현 곡선을 나타낸 것이다. 28일

압축강도는 31~35MPa로 나타났으며, ESIC를 사용한 콘크리트가 약간 높은 강도를 나타냈다.

3.2 시멘트 및 감수제 종류에 따른 콘크리트 조기강도 발현 특성

Figure 5는 시멘트 및 감수제 종류에 따른 콘크리트의 24시간까지의 초기강도를 나타낸 것이다. OPC를 사용한 콘크리트는 16시간 이후 강도측정이 가능하였고, 감수제 종류에 따른 압축강도 발현의 차이는 크게 나타나지 않았다.

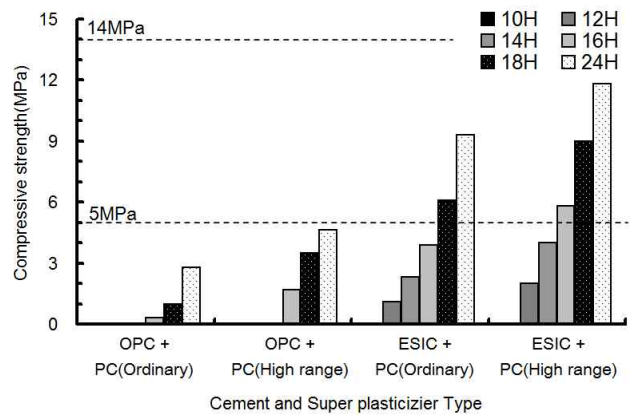


Figure 5. Early Compressive strength with cement and superplasticizer type

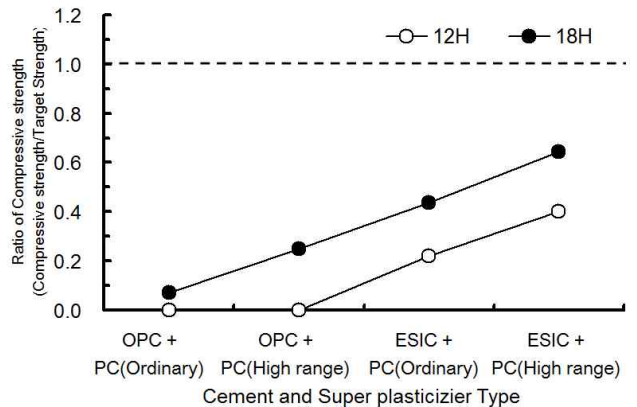


Figure 6. Ratio of compressive strength of serise I (compressive strength/target strength, 12H,18H)

ESIC + PC(Ordinary)를 사용한 경우, 12시간에서 강도 측정이 가능하였고, OPC콘크리트 보다 조기강도의 발현이 빠른 경향을 보였다. 또한, ESIC에 PC(high range)를 적용한 콘크리트에서 가장 빠른 조기강도 발현을 확인할 수 있었다. 그러나 Figure 6에 나타낸 바와 같이 본 연구에서 목표로 하는 수직부재 거푸집 탈형시간인 12시간 을 만족할 수

없었으며, 가장 초기강도 발현이 우수한 ESIC+PC(High range)콘크리트의 경우에도 16시간 이후에 수직부재의 거푸집 탈형이 가능한 것으로 확인되었다.

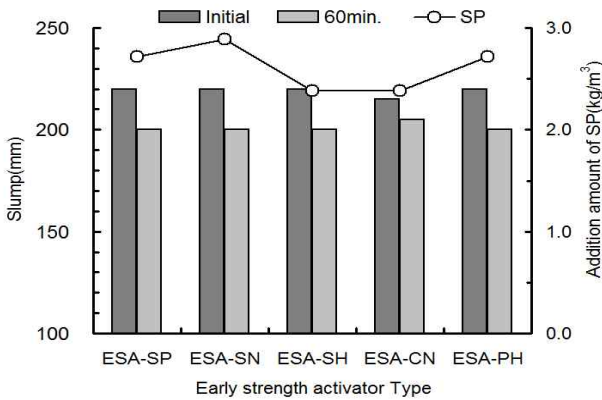


Figure 7. Concrete slump with early strength activator type

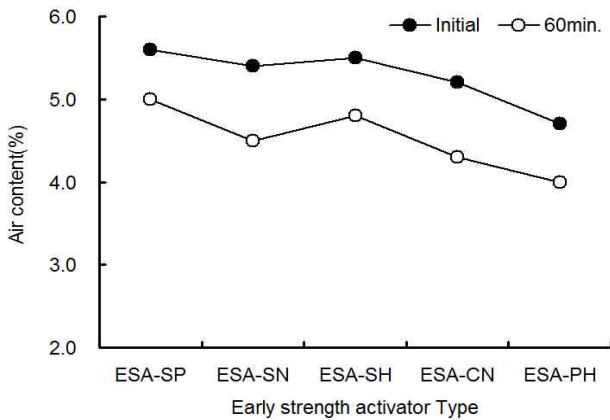


Figure 8. Air content with early strength activator type

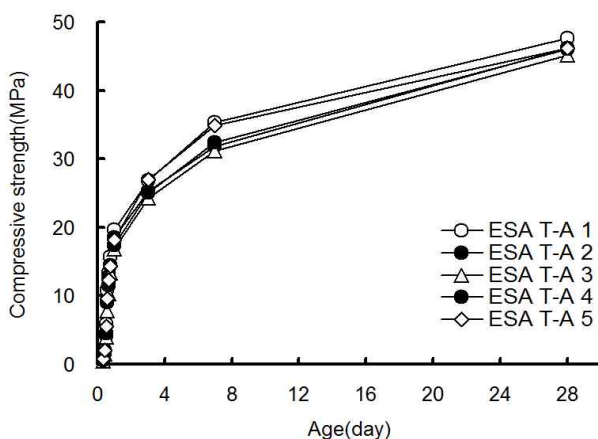


Figure 9. Compressive strength of Serise II with age

3.3 초기수화 촉진 첨가제 종류에 따른 콘크리트의 유동 및 강도특성

Figure 7과 8은 초기수화 촉진 첨가제 종류에 따른 콘크리트의 슬럼프 및 공기량 시험결과를 나타낸 것이다. 초기의 슬럼프값과 공기량은 각각 215~200mm와 5.6~4.7%의 범위로 나타났으며 목표슬럼프 및 공기량을 만족하는 것으로 확인되었다.

첨가제 종류에 따른 슬럼프의 차이는 나타나지 않았으나 공기량은 ESA-SP가 가장 높고 ESA-PH가 가장 낮은 결과로 나타났다. 60분 경시변화 후의 슬럼프 및 공기량은 초기의 값에 비해 5~20mm와 0.6~0.9%의 범위로 감소되는 경향을 보였으나 목표치인 180±25mm 및 4.5±1.5%의 범위에 만족하는 것으로 나타났다.

Figure 9는 초기수화 촉진 첨가제 종류에 따른 콘크리트의 강도발현 특성을 나타낸 것으로 재령 28일에서 콘크리트의 압축강도는 45~47MPa로 측정되었으며, 강도발현곡선은 전체적으로 유사한 형태로 나타났다.

3.4 초기수화 촉진 첨가제 종류에 따른 콘크리트의 조기강도 발현 특성

Figure 10은 초기수화 촉진 첨가제 사용에 따른 콘크리트의 초기강도발현을 나타낸 것으로 콘크리트 배합 후 10시간부터 압축강도가 발현되는 것을 확인할 수 있었다. 또한 첨가제 종류에 따른 효과는 ESA-SP와 ESA-PH가 가장 효과적인 것으로 나타났다.

Figure 11은 12시간과 18시간에서의 목표강도에 대한 압축강도 발현을 나타낸 것이다. 12시간에서의 목표강도인 5MPa를 만족하는 첨가제는 ESA-SP와 ESA-PH로 나타났고, 18시간에서는 ESA-SH를 제외한 모든 종류의 수준에서 목표강도를 만족하는 것으로 나타났다. 12시간과 18시간에서의 압축강도 발현의 결과로부터 ESA-SP를 혼입한 콘크리트가 초기압축강도 발현에 가장 효과적인 것으로 확인되었다.

ESA-SP는 Sodium persulfate 계열로 Sodium 및 sulfate의 이온화 경향이 크고 콘크리트 내부에서 반응촉진 유도체의 역할을 하여 시멘트의 수화반응을 촉진시키는 역할을 하는 것으로 판단된다.

Figure 12는 목표조기강도를 만족하는 ESA-SP와 ESA-PH 콘크리트의 양생온도에 따른 초기강도는 나타낸 것이다. 20℃양생온도 조건에서는 12시간과 18시간에서

목표강도인 5MPa 및 14MPa를 만족하는 결과를 나타냈지만 12℃양생온도 조건에서는 모두 목표강도에 미달하는 것으로 나타났다. 저온환경시 콘크리트의 조기강도는 양생온도의 관리가 매우 중요한 요인이 되는 것으로 판단된다.

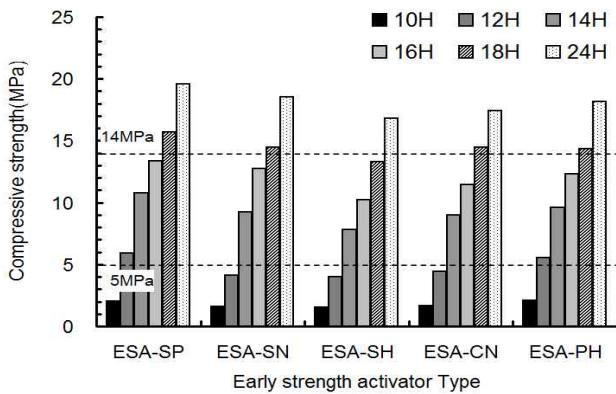


Figure 10. Early Compressive strength with early strength activator type

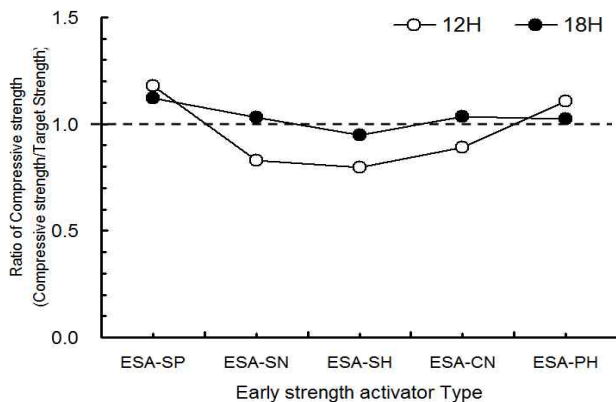


Figure 11. Ratio of compressive strength of serie II (compressive strength/target strength, 12H,18H)

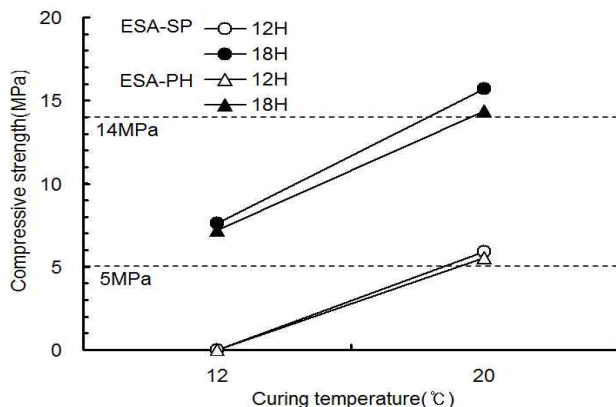


Figure 12. Compressive strength at 12H and 18H with curing temperature

4. 결 론

조기강도 개선형 시멘트 및 초기수화 촉진 첨가제를 사용한 콘크리트의 조기강도 특성을 평가한 결과, 결론은 다음과 같다.

- 1) 시멘트 종류에 따른 콘크리트의 조기강도 발현성능 검토 결과 조기강도 개선형 시멘트를 사용한 콘크리트가 조기강도 발현성능이 우수한 것으로 나타났으나 12시간에 5MPa의 목표강도를 확보할 수 없었다.
- 2) 조기강도 개선형 시멘트를 사용하고 PC(High range)계 고성능감수제에 Sodium persulfate계 수화촉진 첨가제를 사용하면 목표강도를 만족하는 것으로 나타났다.
- 3) 20℃양생의 경우 목표강도를 확보할 수 있었으나, 12℃의 저온양생에서는 조기강도의 발현이 지연되는 것으로 나타났다. 따라서 동절기 시공 시, 현장 양생온도의 관리가 필요할 것으로 판단된다.
- 4) 본 연구의 범위에서 검토한 조기강도발현 콘크리트를 사용하여 양생온도를 20℃이상으로 유지할 경우, 골조 1개 층당 3일 Cycle이 가능한 콘크리트 성능을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

요 약

본 연구에서는 콘크리트의 조기강도 확보를 통해 골조공기를 단축하는 것을 목표로 하여 시멘트 종류, 고성능감수제의 감수율, 초기수화 촉진 혼화제의 혼입에 따른 콘크리트의 조기강도 발현성능을 검토하였다. 조기강도 개선형 시멘트와 Sodium persulfate, Potassium hydroxide의 초기수화 촉진물질에 의해 12시간에 5MPa, 18시간에 14MPa의 조기강도를 확보할 수 있는 것으로 나타났다. 이를 통해 건설현장에서 거푸집의 골조공기를 단축시켜 원가절감이 가능할 것으로 기대된다.

키워드 : 조기강도 개선형 시멘트, 조기강도, 초기수화 촉진제, 골조공기

References

1. Kim DH, Kim MJ, Lee SH, An Experimental Study on Reduction

- of Workin Period of Concrete using High Early Strength Binder, Proceedings of the fall Symposium of the Korea Concrete Institute; 2008 Nov 7; Ilsan, Korea; Korea Concrete Institute; 2008 p. 513–6
2. Jung JH, Lee G, Hong GH, Lee CH, An Analysis on Difficulties and Delay Factors for the Development and Application of Technologies for Reduction of Construction Duration, Journal of Architectural Institute of Korea, 2010 Jan;26(1):121–8
 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. 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 Oct 24; Chuncheon, Korea: Architectural Institute of Korea; 2009. p. 471–4
 5. 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
 6. 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 Architectural Institute of Korea, 2004 Apr;20(4):77–84
 7. Park KY, Kim YR, KIM GY, Early Strength Development Properties of Concrete Using Early Strength Improvement Type Cement, Journal of the Korea Institute of Building Construction, 2013 Jun;13(3):227–34