

나트륨계 기반 조강형 혼화제를 사용한 콘크리트의 압축강도발현 특성

Compressive Strength Development Properties of Concrete using Sodium based Accelerating Admixtures

송 영 찬¹

이 태 규^{1*}

김 용 로¹

서 치 호²

Song, Yeong-Chan¹

Lee, Tae-Gyu^{1*}

Kim, Yong-Ro¹

Seo, Chi-Ho²

Architectural Engineering & Research Team, DAELIM Industrial Co., Ltd, Jongno-Gu, Seoul 03152, Korea ¹

Department of Architectural Engineering, Konkuk University, Gwangjin-Gu, Seoul, 05029, Korea ²

Abstract

In recent years, the early strength of concrete is important in order to shorten the time of form removal at the construction site. The purpose of this study is to analyze the moment of form removal as investigating the amount of cement contents and the physical properties and strength of the concrete according to types of admixture in the curing temperature of 10°C for concrete of 21 to 27 MPa. As a result, it was found that compressive strength of concrete could not be secured 5 MPa by 36 hours even if the amount of cement contents were increased to 360 kg/m³ with plain admixture. Also, it was confirmed that the strength improvement rate was excellent when using the accelerating agent with polycarboxylic acid type, and the moment of compressive strength of 5 MPa was estimated at 30 hours.

Keywords : form removal, compressive strength development, accelerating agent

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

건설공사에서 골조공사는 전체 공정에 미치는 영향이 매우 크기 때문에 공기단축을 위해 많은 노력을 기울이고 있으며, 그 형식이 주로 철근콘크리트조가 대다수를 차지하고 있기 때문에 이를 구성하는 콘크리트의 압축강도 발현시기에 따라 거푸집 해체 및 존치기간이 결정되어 층당 사이클에 반영되고 있다.

콘크리트의 압축강도 발현에 따른 거푸집 해체 및 존치기간은 건축공사 표준시방서, 콘크리트 표준시방서 등에 의하

여 수직부재의 경우 5MPa 이상, 슬래브, 보 밑면 등 수평부재의 경우 설계기준강도의 2/3이상인면서 14MPa 이상으로 규정하고 있으며 현장 관리공시체의 파괴검사를 바탕으로 확인하고 있다[1,2].

한편, 5월 초부터 10월 초까지의 양생온도 평균 기온은 20°C 이상으로 콘크리트의 양생에 유리한 조건이나 춘/추절기 및 동절기(급열양생 조건)의 경우 양생온도 평균 기온이 10°C 안팎으로 형성되어 콘크리트의 양생에는 매우 열악한 조건이므로, 모든 절기에 골조공기를 최적화 할 수 있는 콘크리트 품질관리 기술의 요구가 증대되고 있는 현실이다 [3,4,5].

이에 건설사에서는 콘크리트의 5MPa의 조기강도 발현을 위하여 배합측면에서 W/B의 저하, 단위 시멘트량의 증가 또는 시멘트 분말도의 증가, 고성능 감수제의 사용 등을 고려한 방법 들이 주로 검토되고 있으며 실제 현장에 적용된 사례도 증가하고 있는 추세이다[6,7,8].

Received : March 12, 2018

Revision received : March 14, 2018

Accepted : March 26, 2018

* Corresponding author : Lee, Tae-Gyu

[Tel: 82-2-369-4566, E-mail: ltg777@daelim.co.kr]

©2018 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

Table 1. Experimental design

Series	Factors	Unit binder contents (kg/m ³)	Contents rate(%)			Curing temperature (°C)	Chemical Admixture	Evaluation items
			OPC	BFS	FA			
I	Binder quantities	300	70	15	15	10	plain	<ul style="list-style-type: none"> slump air content compressive strength (24H, 36H)
		300, 330, 345	100	-	-			
II	Types of Chemical Admixture	300, 330, 360	100	-	-	10	plain, polycarboxylic acid, accelerator-A, accelerator-B	

하지만 기존의 리그닌 술폰산계, 폴리카본산계(PC) 등의 유기 혼화제의 경우 사용량이 증가할수록 시멘트의 수화속도를 지연시켜 초기강도를 저하시키는 단점이 있으며[9], 염화물을 함유하는 조강형 혼화제의 경우 철근부식 등의 문제로 인해 콘크리트의 내구성을 떨어뜨리는 문제가 있어 그 적용이 기피되는 실정이다.

또한 3종 조강시멘트의 활용이 초기강도를 발현하기 위한 가장 우수한 방안이나 레미콘 제조설비의 추가 제한 등에 의해 실용화가 제한적이었다.

따라서 본 연구에서는 기존의 혼화제의 초기강도 지연과 내구성에 대한 문제를 개선하고자 염화물을 사용하지 않으면서 방동과 강도개선효과가 우수한 나트륨 기반 조강형 혼화제[10]를 사용한 콘크리트의 압축강도발현 특성을 검토하여 콘크리트의 초기강도 확보방안으로 실제 현장에 적용 가능한 배합설계의 기초 데이터를 마련하고자 하였다.

1.2 연구의 방법 및 범위

본 연구에서는 실제 현장의 골조공사에 주로 활용되고 있는 설계기준강도 21~27MPa 범위의 콘크리트를 대상으로 10°C 온도조건의 범위에서 나트륨계 기반의 조강형 혼화제를 사용한 콘크리트를 단위 시멘트량, 혼화제의 변경에 따른 물성, 강도발현 등을 검토함으로써 거푸집 탈형시기를 분석해보고자 하였다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획을 Table 1에 나타냈다. 본 연구의 Series I에서는 현재 건축현장에 적용되고 있는 21~27MPa 수준을 고려하여 일반적으로 사용되고 있는 단위 시멘트량 300, 330, 345kg/m³로 설정하고 혼화제는 표준형 고성능 감수제를 사용하였다.

Table 2. Physical properties of used materials

Classification	Properties
Cement	Type1 Cement (Density : 3.15g/cm ³ , specific surface area : 3,318cm ² /g)
Blast Furnace Slag (BFS)	Type 3 (KS F 2563) Density 2.86g/cm ³ , Blain:4,300cm ² /g
Fly Ash (FA)	Type 2 (KS L 5405) Density 2.14g/cm ³ , Blain:3,964cm ² /g
Fine aggregate	S1 Washed sea sand, FM:2.01 (Density : 2.60g/cm ³ , absorption : 0.79%)
	S2 Crushed sand, FM:3.29 (Density : 2.57g/cm ³ , absorption : 0.87%)
Coarse aggregate	Crushed granitic aggregate (Size : 25mm, Density : 2.60g/cm ³ , absorption : 0.76%)
Chemical Admixture	AD Naphthalene acid Group, Density : 1.18g/cm ³
	PC Polycarboxylic acid Group, Density : 1.05g/cm ³
	ePC-A Polycarboxylic acid Group, Density : 1.10g/cm ³
	ePC-B Polycarboxylic acid Group, Density : 1.10g/cm ³

Series II 단계에서는 혼화제의 종류에 따른 콘크리트의 물성 및 강도발현에 미치는 영향을 검토하기 위하여, 혼화제 종류를 일반형 감수제, 일반형 PC 및 조강PC로 설정하였으며, 조강PC의 경우 조강제 원료가 상이한 2종의 제품을 선정하여 그 영향성을 검토하고자 하였다.

평가 항목으로는 콘크리트의 물성(슬럼프, 공기량)과 관리용 공시체를 제작하여 양생온도 10°C에서 Series I의 경우 24, 36, 48시간, 혼화제 종류에 따른 Series II에서는 강도발현의 촉진을 고려하여 24, 36시간에서 강도평가를 실시하였다. 또한 온도-시간 경과에 따른 적산온도 산정에 의하여 각 요인별 5MPa 발현시점을 검토하였다.

2.2 사용재료

잔골재는 천연 잔골재로서 밀도 2.60g/cm³, FM 2.01, 흡수율 0.79%의 세척사 및 밀도 2.57g/cm³, FM 3.29, 흡수율 0.87%의 쇄사이며, 굵은 골재는 밀도 2.57g/cm³, 흡수율 0.76% 및 최대치수 25mm의 화강암류 부순 자갈을

사용하였다.

콘크리트의 물성 확보 및 강도발현 증진을 검토하기 위한 혼화제는 나프탈렌계 고성능 감수제, 폴리카르본산계 고성능 감수제, 조강제를 포함한 폴리카르본산계 고성능 감수제 A, B제품을 사용하였다. 조강PC의 경우 A제품은 조강형 원료로 질산나트륨(NaNO_3), 트리에탄올아민(이하 TEA) 및 황산나트륨(Na_2SO_4)가 적용된 것이며, B제품은 황산나트륨을 제외한 대신에 질산나트륨의 사용량을 늘리고, TEA를 적용한 것을 사용하였다.

2.3 콘크리트 배합

본연구의 실험계획에 따른 콘크리트 배합을 Table 3에 나타냈다.

Series I은 레미콘 규격 21, 24, 27MPa를 바탕으로 레미콘 공장에서 활용되는 단위 시멘트량을 고려하여 300, 330, 345 kg/m^3 , 기준 배합인 P300은 실제 현장 공급을 반영하여 플라이애시 및 고로슬래그 미분말을 각각 15% 치환한 배합으로 선정하였으며, 그 외의 경우 초기강도를 고려하여 1종 시멘트만을 단독으로 사용하는 것으로 설정하였다.

Series II는 시멘트 증감 및 혼화제 종류에 따른 영향을 검토하기 위하여 단위 시멘트량은 고려하여 300, 330, 360 kg/m^3 으로 범위를 증가시키고 감수제 종류별 혼입율에 따른 배합을 설정하였다.

또한, 콘크리트의 단위수량은 국내 레미콘 플랜트에서의

배합 현황을 고려하여 시리즈 I에서는 195 kg/m^3 , 시리즈 II에서는 콘크리트의 초기강도를 고려하여 185 kg/m^3 이하로 설정하였으며, 잔골재는 조립을 2.50~2.60을 만족하기 위하여 세척사 및 쇄사를 4:6의 비율로 혼합하였다.

현장조건을 고려하여 충분한 작업성을 갖기 위하여 일반 강도 콘크리트의 Slump는 $180 \pm 25\text{mm}$, 공기량은 $4.5 \pm 1.5\%$ 로 설정하였다.

2.4 실험방법

굳지 않은 콘크리트의 물성 평가를 위한 슬럼프, 공기량 시험 방법은 KS F 2402 『콘크리트의 슬럼프 시험 방법』, KS F 2421 『압력법에 의한 굳지 않은 콘크리트의 공기량 시험방법』에 의하여 실시하였다.

경화된 콘크리트의 압축강도 측정은 KS F 2043 『콘크리트의 강도 시험용 공시체 제작방법』에 준하여 $\phi 100\text{mm} \times 200\text{mm}$ 시험체를 제작한 후, KS F 2405 『콘크리트 압축 강도 시험 방법』에 준하여 계획된 재령에서 300 ton급 UTM을 이용하여 최대하중을 측정 후 압축강도를 계산하였다.

또한, 측정된 시간-양생온도와 강도발현의 상관성을 고려하여 콘크리트 표준시방서에서 제시하고 있는 적산온도 산정식(1)[2]을 이용하여 각 수준별 5MPa 발현시기를 분석하였다.

Table 3. Mix proportion

Classification	W/B (%)	S/a (%)	Slump (mm)	Air (%)	Binder contents (kg/m^3)	Unit weight(kg/m^3)							AD (B×%)		
						W	OPC	FA	BFS	S _s	S _c	G			
I	P300	AD	65.0	49		300	195	210	45	45	344	516	896	0.7	
	C300	AD	65.0	50	180±25	300	195	300	-	-	355	532	887	0.7	
	C330	AD	59.1	49											
	C345	AD	56.5	48		345	195	345	-	-	333	500	903	0.7	
		AD													0.7
	C300	PC	61.7	50		300	185	300	-	-	360	540	900	0.8	
		ePC												1.0	
II		AD												0.7	
	C330	PC	54.5	49	180±25	330	180	330	-	-	351	526	912	0.8	
		ePC													
		AD													0.7
	C360	PC	48.6	48		360	175	360	-	-	341	512	853	0.8	
	ePC													1.0	

※ OPC : type1 cement, FA : Flyash, BFS : Blast Furnace Slag, S_s : Sea sand, S_c : Crushed sand, G : Crushed , AD : water reducing agent, AE : air-entraining agent
 ※ agent contents rate : AD B×0.7%, PC B×0.8%, ePC B×1.0%

$$M(^{\circ} D.D) = \sum_{z=1}^N (\theta_z + 10) \text{ ----- (1)}$$

M : 적산온도(D.D)

z : 재령(일)

N : 구조체 콘크리트의 강도 관리 재령(일)

θ_z : 재령 z 일에서 콘크리트의 일평균 양생온도($^{\circ}C$)

3. 실험결과 및 고찰

3.1 굳지않은 성상

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

Table 4. Fresh properties of concrete

Classification		Admixture contents (B×%)	Slump (mm)	Air (%)	
I	P300	Ad 0.7	195	4.0	
	C300	Ad 0.7	190	5.8	
	C330	Ad 0.7	190	5.9	
	C345	Ad 0.7	190	4.5	
C300	Ad	0.7	190	5.8	
	PC	0.8	200	4.8	
	ePC-A	1.0	200	3.8	
	ePC-B	1.0	195	4.3	
	Ad	0.7	190	5.9	
	PC	0.8	200	5.1	
II	C330	ePC-A	1.0	195	4.3
		ePC-B	1.0	190	5.1
	C360	Ad	0.7	190	5.5
		PC	0.8	200	4.9
C360	ePC-A	1.0	190	4.4	
	ePC-B	1.0	200	4.4	

Series I 배합의 경우 목표 슬럼프 및 공기량을 만족하기 위한 혼화제 사용량은 단위결합재량의 0.7%로 동일하게 사용하였으며, 슬럼프는 P300이 195 mm, 그 외의 경우 모두 190 mm로 측정되어 단위결합재량의 증가에 관계없이 시공성은 만족하는 것으로 나타났으며, 공기량의 경우 KS F 4009의 기준인 3.0~6.0% 수준을 모든 만족하고 있어, 굳지 않은 콘크리트의 물성은 크게 차이가 없는 것으로 판단되었다.

1종 보통 포틀랜드 시멘트만을 사용하는 경우 고로슬래그 미분말 및 플라이애시를 각각 15% 혼합한 P300에 비해 공기량이 다소 증가되는 것으로 나타나고 있으나 이는 플라이애시의 미연소 탄소분에 의한 공기량의 흡착 현상에 기인한 것으로 추정된다.

단위 시멘트량 및 혼화제 종류별 요인에 따른 Series II 배

합의 경우 목표 슬럼프 180±25 mm를 만족하기 위한 혼화제 첨가율은 단위 시멘트량에 관계없이 일반 감수제에 비해 조강PC에서 증가되는 경향을 보였으며, 혼화제 종류에 따라 목표 슬럼프를 확보하기 위한 첨가량은 다소 변화되었으나, 콘크리트의 슬럼프는 유사한 수준이었으며, 육안관찰에 의한 유동성도 유사한 수준인 것으로 나타났다. 조강PC의 경우 혼화제를 구성하는 고행분 중 조강형 원료가 추가되어 있으며 분산제 등의 비율이 감소된 것에 기인하여 목표 슬럼프를 확보하기 위하여 혼화제 치환량이 증가되는 것으로 판단된다.

또한, 공기량의 경우 슬럼프 실험결과와 유사하게 단위 시멘트량에 관계없이 일반 감수제에 비해 조강PC를 사용한 경우 비빔직후의 공기량이 다소 감소되는 것으로 확인되었으나 전 수준에서 KS에 제안된 공기량 범위인 3~6%를 만족하는 것으로 나타나 현장 적용을 위한 문제는 없는 것으로 확인되었다.

3.2 압축강도 발현성상

단위 시멘트량 및 혼화제 종류에 따른 압축강도 발현성상을 Table 5에 나타내었으며, 각각의 배합수준에 따른 압축강도 결과를 Figure 1 및 Figure 2에 도식화 하였다.

단위 시멘트량의 변화에 따른 압축강도 성상은 Figure 1에 나타낸 바와 같이 24시간에 전 수준에서 1MPa 미만, 36시간에는 1~4MPa, 48시간에는 2~7MPa의 값으로 확인되고 있으며, 5MPa 발현시점은 P300 배합의 경우 48시간에도 미발현 되었지만 시멘트만을 사용한 배합의 경우 전 수준에서 강도발현이 나타나는 것으로 확인되었다.

Table 5. Compressive strength of concrete with cement amount and admixture type

Classification	Compressive strength (MPa)				
	24hr	36hr	48hr		
I	P300	Ad	0.4	1.6	2.7
	C300	Ad	0.7	3.1	5.2
	C330	Ad	0.7	3.8	6.3
	C345	Ad	0.8	3.9	7.0
C300	Ad	0.7	3.1	-	
	PC	1.1	4.1	-	
	ePC-A	1.4	4.5	-	
	ePC-B	1.5	4.7	-	
II	C330	Ad	0.7	3.8	-
		PC	1.3	4.9	-
	ePC-A	1.8	6.4	-	
	ePC-B	2.2	6.9	-	
C360	Ad	0.8	3.9	-	
	PC	1.8	6.9	-	
C360	ePC-A	2.0	7.2	-	
	ePC-B	2.4	7.6	-	

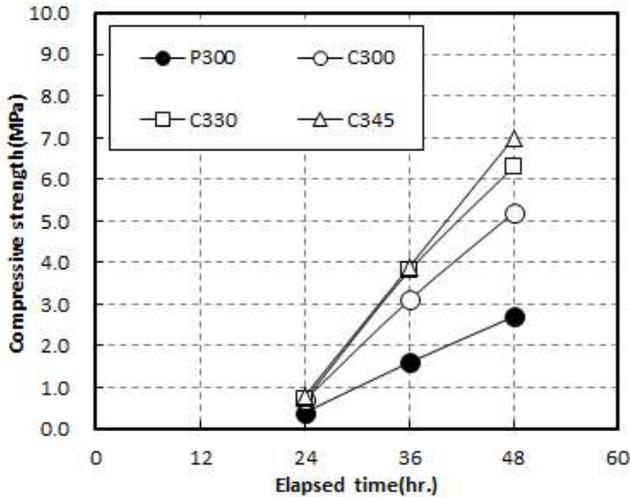


Figure 1. Compressive strength of concrete with cement amount

일반형 감수제를 활용하는 경우 24시간 이내의 경우 단위 시멘트량을 증가하여도 초기 수화반응에 미치는 영향이 거의 없는 것으로 확인되었으며, 36시간 이후부터 단위결합재량에 따른 강도발현의 차이가 급격하게 나타나는 것을 알 수 있다.

기존의 연구결과에 의하면 양생온도에 따라 15℃는 OPC 단독 사용 300kg/m³ 이상, 20℃는 혼화제 치환율 30% 조건에서 단위결합재량 345kg/m³ 이상에서 5MPa가 24시간에 확보되는 것으로 보고되고 있으나[4] 10℃ 양생조건에서 레미콘 생산을 고려한 본연구의 범위에서는 5MPa 발현시점을 최소 48시간으로 설정하고 품질관리를 실시해야 할 것으로 판단된다.

또한 일반형 감수제를 사용하는 배합의 경우 5MPa를 확보하기 위해서는 단위 시멘트량은 300kg/m³ 이상 적용할 필요가 있으며, 현재 국내 현장에서 적용되고 있는 레미콘 배합을 고려할 경우 안전율을 고려하여 호칭강도 기준으로 24~27MPa 이상을 적용해야 할 것으로 판단된다.

단위 시멘트량 및 혼화제 종류에 따른 초기재령의 압축강도 결과는 Figure 2에 나타난 바와 같이 혼화제 종류별로는 양생온도 10℃ 조건에서 일반형 감수제의 경우 단위 시멘트량 360kg/m³까지 증가하여도 36시간까지 5MPa를 확보할 수 없는 것으로 나타나 단위 시멘트량의 상승만을 고려한 배합의 변경은 지양해야 할 것으로 판단된다.

PC계 혼화제의 사용에 따른 압축강도의 경향은 일반 PC < ePC-A < ePC-B로 강도발현이 증가하며 초기 24시간

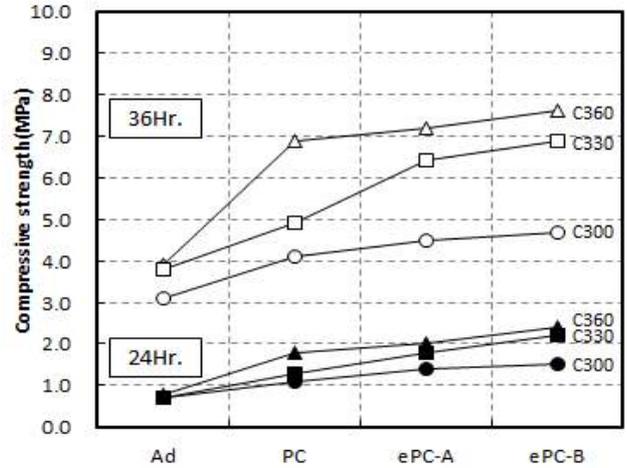


Figure 2. Compressive strength of concrete with cement amount and admixture type

강도발현은 2.4MPa 이하로 낮은 값을 나타내고 있으나 ePC-A 및 ePC-B의 조강형 혼화제의 경우 2MPa 이상의 값으로 초기 발현이 일반형 감수제에 비하여 다소 높음으로 확인되었다. 따라서, 일반형 감수제에 비해 폴리카르보산계 고성능감수제를 적용한 경우 상대적으로 초기 재령에서 강도 발현이 양호하였으며, 조강형 원료를 적용할 경우 초기 강도 발현 성능은 향상되는 것을 확인할 수 있었다.

한편, 일반PC의 경우 단위 시멘트량 360kg/m³에서 36시간에 5MPa를 확보할 수 있는 것으로 나타났으며, 조강PC의 경우 단위 시멘트량 330kg/m³ 이상에서는 36시간에 5MPa를 확보할 수 있는 것으로 나타났다. 또한, 조강PC 중에서는 질산나트륨의 사용량을 늘리고, TEA를 적용한 B제품이 질산나트륨(NaNO₃), TEA 및 황산나트륨(Na₂SO₄)이 함유된 A제품에 비해 상대적으로 초기 강도 발현 성능이 우수한 것으로 나타나, 조강형 원료 중에서는 황산나트륨에 비해 질산나트륨의 효과가 우수한 것을 확인할 수 있었다.

그러나 본 연구범위에서 시멘트량의 증가 및 조강형 혼화제의 활용을 실시하여도 10℃ 조건에서 36시간 이내의 조건에서 5MPa의 확보는 어려운 것으로 확인되어 현장조건을 고려하는 경우 조강형 원료에 관한 추가 검토가 필요할 것으로 판단된다.

Table 6은 24시간과 36시간의 각각의 재령에서 단위 시멘트량 변화에 따른 강도발현율과 혼화제 종류 변화에 따른 강도발현율을 나타낸 것이며, Figure 3 및 Figure 4는 이를 도식화한 것이다.

Figure 3은 혼화제가 동일한 조건에서 단위 시멘트량의

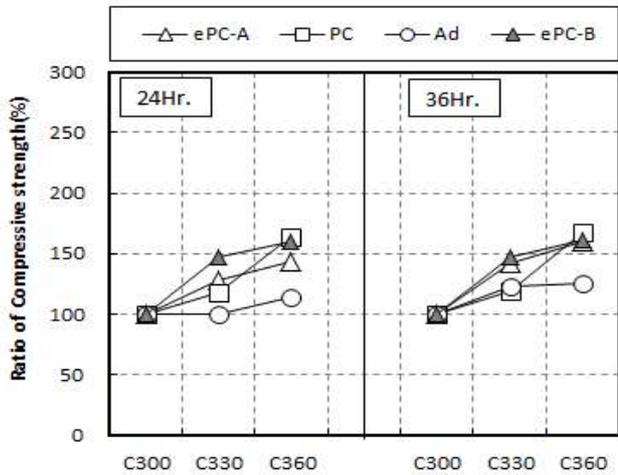


Figure 3. Ratio of compressive strength of concrete by cement amount

변화에 따른 압축강도 발현율을 나타낸 것으로 단위시멘트량 30kg/m³ 증가시 압축강도 증가율은 재령 24시간에는 평균 약 23%, 재령 36시간에는 평균 약 27% 개선되는 것으로 나타났으며, 재령에 따른 개선효과는 크게 나타나지 않았다. 또한 단위 시멘트량을 증가하는 경우에도 동일 혼화제를 사용하는 경우 약 110~160%의 강도 개선율로 그 영향이 크지 않는 것으로 확인되었다.

Figure 4는 단위 시멘트량이 동일한 조건에서 혼화제 종류에 따른 강도발현율을 나타낸 것으로 혼화제 종류의 변화에 따라 Ad < PC < ePC-A < ePC-B 순으로 강도발현율이 증가하는 것으로 나타났으며 재령 24시간에서 조강제를 사용하는 경우 증가 폭이 재령 36시간에서의 증가 폭 보다 큰 것으로 확인되었다. 이에 초기 재령에서의 콘크리트의 강도발현을 향상시키기 위해서는 조강제를 함유한 PC계 혼화제를 사용함으로써 수화반응을 촉진시켜 응결 및 경화시점을 단축하는 것이 유효한 것으로 확인되었다.

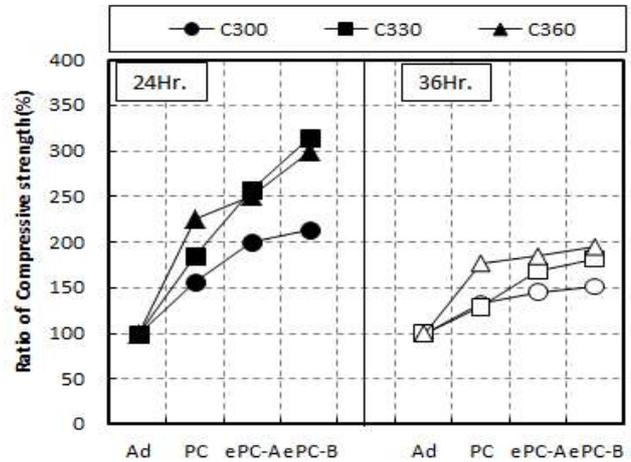


Figure 4. Ratio of compressive strength of concrete by admixture type

3.3 5MPa 발현시점 분석

현장에서 콘크리트의 안정적인 압축강도의 확인을 위해서는 현장 관리공시체를 활용하여 재령별 파괴시험을 실시하는 것이 바람직하지만 경제성과 시공성을 고려하여 배합을 설정하고 예측이 가능하다면 현장품질관리가 매우 용이할 수 있다.

이에 현장에서 활용가능한 배합범위에서 압축강도를 예측하기 위하여 본 연구에서 수행한 연구결과를 바탕으로 적산온도에 의한 5MPa강도 발현시점을 추정하였다.

Figure 5는 적산온도와 압축강도의 관계성을 나타낸 것으로 초기 재령의 경우 식 (2)와 같은 추정식에 의하여 제안이 가능할 것으로 판단된다.

$$\sigma_M = a \cdot M + b \text{ ----- (2)}$$

σ_M : 압축강도(MPa)

M : 적산온도(D.D)

a, b : 상수

Table 6. Ratio of compressive strength development of concrete with cement amount and admixture type

Admixture type	by cement contents						by admixture type					
	24 hr.			36 hr.			24 hr.			36 hr.		
	300kg/m ³	330kg/m ³	360kg/m ³	300kg/m ³	330kg/m ³	360kg/m ³	300kg/m ³	330kg/m ³	360kg/m ³	300kg/m ³	330kg/m ³	360kg/m ³
Ad	100%	100%	114%	100%	123%	126%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
PC	100%	118%	164%	100%	120%	168%	157%	186%	225%	132%	129%	177%
ePC-A	100%	129%	143%	100%	142%	160%	200%	257%	250%	145%	168%	185%
ePC-B	100%	147%	160%	100%	147%	162%	214%	314%	300%	152%	182%	195%

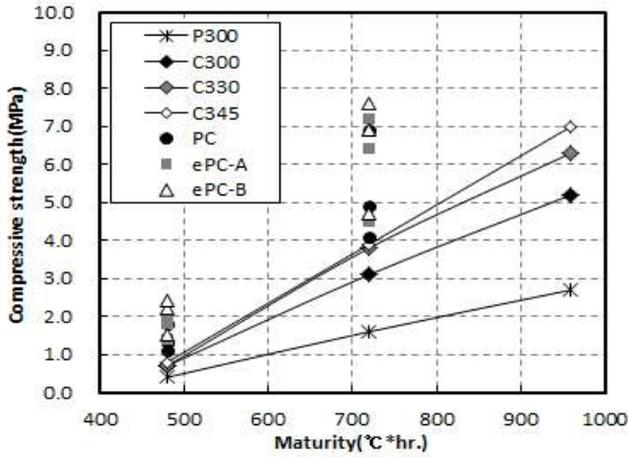


Figure 5. Strength development of concrete using accelerator with maturity

적산온도와 압축강도의 상관관계는 1차 추정식으로 추정 이 가능하며 단위시멘트량 330kg/m³ 이상에서는 유사한 기울기를 갖는 것으로 나타났으며, PC계 이상의 고성능 혼화제를 사용하면 그 효과가 뛰어나며 조강제의 활용에 의해 증감이 월등히 높게 되는 것으로 확인된다. 이를 바탕으로 추정식에 대한 계수를 산정하고 5MPa를 발현하기 위한 적산온도 및 발현시기를 계산하면 Table 7과 같이 나타낼 수 있다.

일반형 혼화제 및 결합재를 치환한 현장배합의 경우 적산온도 1,377D.hr, 시멘트만을 사용한 배합의 경우 시멘트량의 증가에 따라 800 D.hr까지 감소하는 것으로 나타나 10°C 안팎의 양생온도조건에서 강도발현을 하기 위해서는 혼화제의 사용은 지양하고 시멘트량을 330kg/m³ 이상 사용해야 함을 확인할 수 있었다. 또한 시멘트만을 사용하는 경우 5MPa 발현시점이 기존 69시간에서 40시간까지 단축되는 효과도 추정할 수 있었다.

단위시멘트량의 증가 및 혼화제 종류에 따라서는 단위시멘트량의 증가에 따라 5MPa의 발현을 위한 적산온도 및 시간이 단축되는 것으로 확인되고 있으며, 그중 효과가 가장 우수한 ePC-B를 활용하면 330kg/m³의 수준에서 강도발현시기를 31시간까지 단축할 수 있는 것으로 확인되었다. 하지만 330kg/m³이상의 수준에서 단위시멘트량을 증가하고 조강형 PC를 사용하여도 그 효과가 크지 않는 것으로 확인되어 현장의 조건을 고려한 배합의 설정에 있어서는 단위시멘트량은 330kg/m³를 기준으로 조강 혼화제의 사용 또는 조강제의 개선에 따른 검토가 이루어져야 할 것으로 판단되었다.

본 연구의 결과는 각 건설 현장마다 레미콘 실생산을 고려하면 원재료 변동 또는 배합이 다소 달라질 수 있으므로 5MPa 발현시점이 다소 예측한 값과 다르게 나타날 수 있으나, 현장에서 콘크리트의 조기강도 확보를 위한 품질관리 및 거푸집 탈형시기 예측을 위한 기초적 데이터로서 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

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

Classification	coefficient		maturity D,hr	Time hr		
	a	b				
I	P300	Ad	0.005	-1.9	1,377	69
	C300	Ad	0.010	-4.1	910	46
	C330	Ad	0.013	-5.5	808	40
	C345	Ad	0.013	-5.4	800	40
C300	Ad	0.010	-4.1	910	46	
	PC	0.013	-4.9	762	38	
	ePC-A	0.013	-4.8	754	38	
II	ePC-B	0.013	-4.9	762	38	
	Ad	0.013	-5.5	808	40	
	C330	PC	0.015	-5.9	727	36
	ePC-A	0.019	-7.4	653	33	
C360	ePC-B	0.020	-7.2	610	31	
	Ad	0.013	-5.4	800	40	
	PC	0.021	-8.4	638	32	
	ePC-A	0.022	-8.4	609	30	
	ePC-B	0.022	-8.0	591	30	

4. 결 론

10°C 양생조건에서 단위시멘트량 및 혼화제 종류 변화에 따른 콘크리트의 거푸집 탈형시기 검토에 대한 연구를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 단위 시멘트량 증가 및 혼화제 치환률에 따른 콘크리트 물성은 전수준에서 목표치를 만족시키는 것으로 확인되었으며, 조강형 PC의 경우 혼화제 구성에 기인하여 혼화제 치환률이 증가되는 것으로 나타났다.
- 2) 일반형 혼화제의 경우 단위 시멘트량을 증가해도 5MPa 발현이 재령 36시간 이내에선 어려우며, 재령 48시간에 발현되는 것으로 나타났다. 또한 P300 배합의 경우 재령 48시간에도 강도발현이 되지 않아 10°C 양생조건에서 혼화제의 치환은 지양해야 할 것으로 판단된다.
- 3) PC계 혼화제의 사용은 단위 시멘트량 330kg/m³ 이상인 경우 재령 36시간에 5MPa의 발현이 가능한 것으로 나타났으며, 조강형 PC 혼화제의 경우 그 효과가

우수한 것으로 확인되었다.

- 4) 콘크리트의 강도발현율을 검토한 결과, 시멘트의 증가에 따른 강도개선율은 약 110~160%로서 혼화제를 병용 사용하는 것이 강도개선율이 매우 우수한 것으로 확인되었으며, 강도개선율은 Ad < PC < ePC-A < ePC-B 순으로 나타나 조강제에 의한 수화반응을 촉진시켜 응결 및 경화시점을 단축하는 것이 유효한 것으로 확인되었다.
- 5) 적산온도에 의한 5MPa의 발현시기를 검토한 결과, 조강형 PC를 사용하는 경우 30시간까지 단축이 가능한 것으로 확인되었으나, 단위시멘트량을 360kg/m³까지 증가시 조강형 PC 사용효과가 크지 않아 경제적 배합설계 고려시 단위시멘트량은 330kg/m³를 기준으로 조강형 혼화제의 사용이 적정할 것으로 판단된다.
- 6) 향후 조강형 혼화제 사용시 콘크리트 및 철근의 내구성 등에 미칠 수 있는 영향에 대한 추가 연구가 필요할 것으로 판단된다.

요 약

최근, 건설현장에서는 콘크리트의 거푸집 해체 및 존치기간을 단축하기 위해서는 5MPa의 강도발현이 조기실현 되어야 한다. 한편, 국내의 온도분포를 분석하면 춘/추절기 및 동절기(급열양생 조건)의 경우 양생 온도가 10℃ 안팎으로 형성되어 콘크리트의 양생에는 매우 열악한 조건이라고 할 수 있으며, 전체 공기에 미치는 영향이 매우 크므로 이를 고려한 콘크리트 품질관리 기술의 요구가 증대되고 있는 현실이다. 이에 콘크리트의 5MPa의 조기강도 발현을 위하여 배합측면에서 W/B의 저하, 단위 시멘트량의 증가 또는 시멘트 분말도의 증가, 고성능 감수제의 사용 등을 고려한 방법들이 주로 검토되고 있으나, 지역적 공급제한, 경제성 등에 의한 실용화가 일부 제한적으로 실시되고 있다. 본 연구에서는 실제 현장의 골조공사에 주로 활용되고 있는 설계기준강도 21~27MPa 범위의 콘크리트를 대상으로 10℃ 온도조건 범위에서 단위 시멘트량, 혼화제의 변경에 따른 물성, 강도발현 등을 검토함으로써 거푸집 탈형시기를 분석해보고자 하였다. 실험결과, 일반형 혼화제를 사용한 상태에서 단위 시멘트량 360kg/m³까지 증가하여도 36시간까지 5MPa를 확보할 수 없는 것으로 나타났으며, 결합재 치환을 실시

하는 경우에는 48시간에도 5MPa 확보가 어려운 것으로 확인되었다. 또한, 혼화제의 종류에 따라서는 조강형 PC를 사용하는 경우 강도개선율이 우수한 것으로 확인되었으며, 적산온도 평가 결과 5 MPa 발현시기가 30시간으로 추정되었다. 따라서 현장의 배합설계 있어서는 단위시멘트량은 330 kg/m³를 기준으로 조강 혼화제의 사용 또는 조강제의 개선에 따른 검토가 이루어져야 할 것으로 판단되었다.

키워드 : 거푸집 해체, 존치기간, 강도발현, 조강형 혼화제

References

1. Architectural Institute of Korea, Korea Architectural Standard Specification, 2013.
2. Korea Concrete Institute, Concrete Standard Specification, Chapter 14 cold weather concrete, 2009.
3. Lee TG, Kang YW, Choi HG, Choe GC, Kim GY, Suggestion for non-destructive testing equation to estimate compressive strength of early strength concrete, Journal of the Korea Institute of Building Construction, 2016 Jun;16(3)229-36.
4. Park SJ, Yoo JK, 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, 2008 Nov;24(11)101-8.
5. Kim KM, Park SJ, Kim KH, Hwang YS, Practical application of high early strength type concrete using high early strength type binder, Journal of Korea Architectural Institute Conference, 2009 Oct;29(1)23-4.
6. Dachtar J, Calcium sulfoaluminate cement as binder for structural concrete [Dissertation], [Sheffield (England)]: Sheffield University, 2004, p. 215
7. Gartner EM, Young JF., Damidot DA, Structure and performance of cements, 2nd ed, New York: Spon Press, 2002, p. 57-113
8. Juilland P, Gallucci E, Flatt RJ, Scrivener KL, Dissolution theory applied to the induction period in alite hydration, Cement and Concrete Research, 2010 June;40(6)831-44.
9. Choi JJ, Park WT, Kim KH, Choi YW, Effect of excessive addition of organic admixtures on the properties of concrete, Journal of Korea Concrete Institute Conference, 1999 May;11(1):631-37.
10. Korhonen CJ, Cortez ER, Durning TA, Jeknavorian AA, Antifreeze admixtures for concrete, special report 97-26, US Army Corps of Engineers, Engineer Research and development Center, National Technical Information Service, USA, 1997 Oct, 22 p.