

폴리카르본산계 조강혼화제 혼합 콘크리트의 강도 및 내구 특성

이상호¹⁾ · 홍경선²⁾ · 문한영³⁾

¹⁾대림산업(주) 기술연구소/한양대학교 토목공학과 ²⁾대림산업(주)기술연구소 ³⁾한양대학교 토목공학과

The Properties of Strength and Durability of Concrete Using Early-Strength Poly Carbonic Acid Admixture

Sang-Ho Lee¹⁾, Kyung-Sun Hong²⁾, and Han-Young Moon³⁾

¹⁾Daelim Industrial Co., Yong-In 449-826/Dept. of Civil Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

²⁾Daelim Industrial Co., Yong-In 449-826, Korea

³⁾Dept. of Civil Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

ABSTRACT This study reports the properties of high early strength & durability of concrete using PC admixture. To apply these data to construction site, we did the lab tests. The target of this study is to accomplish early strength of concrete (5.0 MPa/18 hr), and we did the durability tests such as length change test, chloride ion penetration test, freezing and thawing test, adiabatic test, etc. And we tested the properties of concrete by the different factors, such as the type of admixtures, curing temperature, the amount of binder, etc. Through the test of concrete using the different type of admixture, PC type was more excellent than PNS type admixture. As a result, we made a concrete of high early strength concrete, and excellent durable concrete. According to these tests, we concluded that we can apply this type of PC admixture to the civil & construction site, and we can reduce the term of works and finally we will accomplish the economical construction.

Keyword PC admixture, early strength, freezing/thawing, carbonation depth, chloride ion penetration

1. 서 론

1.1 서 언

건축 및 토목 구조물 공사에 있어 시공기간의 단축을 위해서는 콘크리트 타설 후의 거푸집 탈형에 필요한 시간을 단축하기 위하여 콘크리트의 조기강도 발현을 극대화하는 것이 가장 유효한 방법 가운데 하나이다. 이를 위해서는 콘크리트 제조시 적절한 배합 설계의 실시 이외에도 혼화제의 선택이 상당히 중요하다 할 수 있다. 한편, 콘크리트의 강도 발현은 양생온도에 큰 영향을 받게 되는데, 저온 환경에 노출된 콘크리트는 강도 발현이 상당히 지연되어 거푸집의 탈형, 상부층 시공을 위한 철근 거푸집 작업 및 콘크리트 타설 등 후속 공정의 진행에 악영향을 미치게 된다. 이와 같이 강도 발현 지연 문제는 콘크리트가 초기동해를 입지 않고 장기적으로 콘크리트 강도 발현에 문제가 없을지라도 동절기 콘크리트 공사의 수행을 통해 궁극적으로 얻고자 하는 골조 공사의 공기 단축이 힘들어짐에 따라 콘크리트 구조물의 안전 및 품질 확보 측면과 함께 매우 중요한 문제라고 할

수 있다. 이러한 콘크리트의 강도 발현 지연 문제를 해결하기 위해 국내에서는 현장의 가설 기자재를 이용하여 상육을 세우고, 그 내부를 갈탄 또는 열풍기를 사용하여 가열하는 공간 가열 방법이 가장 보편적으로 사용되고 있다. 그러나, 공간 가열 방법은 투입되는 비용에 비해 그 효과가 적고, 또 가열시 발생하는 이산화탄소(CO₂)에 의해 탄산화 반응에 의해 콘크리트의 내구성에 좋지 않은 영향을 미치기 때문에 동절기에 적용되는 보양 방법으로는 적절하지 않은 것으로 판단된다. 즉, 대기온도가 심하게 낮지 않은 경우에는 공간 가열이 아닌 콘크리트 재료 자체에 의한 조기 강도 확보만으로도 콘크리트 초기 동해를 막을 수 있고, 요구 재령에 동해 방지 강도 및 거푸집 탈형 강도 확보가 가능할 것으로 보인다¹⁾.

본 연구에서는 PC계 조강혼화제를 사용하여 시멘트 종류별, 양생온도별, 결합재량별로 굳지 않은 콘크리트의 특성, 조기 압축강도 발현 특성을 분석하여 PC계 조강혼화제를 사용한 한중 콘크리트의 실용화를 도모하고자 하였다. 그리고, 결정 배합비에 대한 콘크리트의 단열온도 상승 시험 및 내구성 시험을 병행하여 PC계 조강혼화제 사용 콘크리트의 내구 특성을 평가하였고, 이에 결정된 배합비의 현장 적용을 위한 충분한 자료 검증을 통하여 건설공기 단축을 통한 원가 절감 및 시공 비용 절감을 도모하고자 본 연구를 수행하게 되었다.

*Corresponding author E-mail : sangho@dic.co.kr

Received November 7, 2006, Accepted February 28, 2007

©2007 by Korea Concrete Institute

1.2 이론적 배경

혼화제의 주요 원료중 하나인 나프탈렌계 설폰산염 중합체는 콘크리트에 미치는 조강 성능 등의 제반 물성이 큰 차이가 없으나, 폴리카르본산계 원액의 종류는 그 제법 및 물성이 매우 다르며, 특히 콘크리트의 조강성에 미치는 영향은 감수 성능 및 유지 성능을 고려한 콘크리트에서의 실험을 통한 확인이 필수적이다. 현재 국내의 나프탈렌계 혼화제는, 콘크리트의 조강성 개선을 위해서, 시멘트의 수화 반응을 촉진하기 위한 무기계 급결제를 일정량 첨가하고 있다. 최근 골재 사정의 악화 등으로 인한 콘크리트의 작업성 악화와 슬럼프 로스 문제의 해결을 위하여 기존의 나프탈렌계 혼화제를 폴리카르본산계(이하 PC계로 약함) 혼화제로 대체하려는 시도가 진행되고 있다²⁾.

겨울철과 같은 한중 환경에서 콘크리트를 타설하게 되면 타설 초기에 콘크리트가 동결되어 초기동해를 입게 되고, 경화 지연으로 강도 발현이 지연되는 등의 문제가 발생하게 된다. 콘크리트의 초기동해는 경화 초기 단계에 있는 콘크리트 내의 수분이 동결하여 발생하는 것으로 콘크리트가 동해방지 강도를 확보하기 전에 동해를 입게 되면 콘크리트는 이후 시간이 경과하여도 목표 강도 확보가 어렵게 된다. 콘크리트의 초기동해를 막기 위해서는 양생 방법의 개선과 시멘트 수화 반응을 촉진시키고, 동결온도를 낮추기 위해 조강혼화제를 사용하는 방법 등이 있다. 그런데, 이 중 후자의 방법은 경우에 따라 경제적 이고 편리한 방법이 될 수 있음에도 불구하고 국외의 경우 활발한 연구 및 적용 사례가 있지만, 국내의 경우는 아직까지 적용 사례가 미미하여 국내 건설 현장에서의 실제적인 적용을 목표로 본 연구를 진행하게 되었다.

2. 폴리카르본산계 조강혼화제의 특성

본 연구에 사용되어진 PC계 조강혼화제는 Poly-Carboxylate계의 차세대 혼화제로, 일반 PC계 혼화제의 main chain에 분자량 30,000~40,000급의 조강형의 고분자 기능성 기(functional radical)를 추가로 치환하여, 일반 나프탈렌계 혼화제나 일반 PC계 혼화제에 비해 시멘트 입자의 분산 능력, 작업성 뿐만 아니라 조기강도 까지도 대폭 향상시킨 혼화제이다. 이들 혼화제의 특성은 Table 1과 같다.

Table 1에서 알 수 있듯이 나프탈렌계 혼화제에 비하여 감수율이 5~10% 가량 높아 콘크리트의 단위수량을 대폭 저감시켜 블리딩 감소는 물론이고, 단위시멘트량 감소에 의한 수화열 저감 효과도 기대할 수가 있다. 본 연구에 사용한 PC계 조강혼화제의 분자구조는 Fig. 1과 같다.

PC계 조강혼화제의 경우는 유지제 기능기들이 유연성이 있는 길이가 긴 구조로 구성되어 있어 나프탈렌계 혼화제에 비해 분산 능력, 유지 능력 및 조강 성능을 향상시키는 구조로 되어있다.

Table 1 Comparison PC with PNS admixture

Classification	PNS	PC
Water reducing rate (%)	15~25	20~35
Enduring time (min)	max. 60	max. 120
Setting time (hr)	Control	1~2 hr earlier

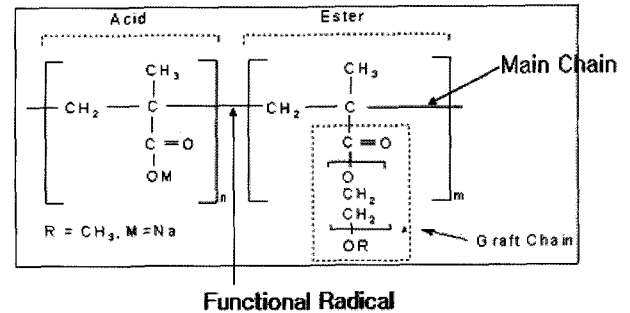


Fig. 1 Molecular structure of PC admixture

3. 시험 개요

동결기 시공 조건을 고려하여 최적의 시멘트량 및 혼화제의 종류를 결정하기 위하여 여러 종류의 조강혼화제에 대한 사전 물성 시험을 실시하였다. 그리고, PC계 조강혼화제를 혼합한 조강 콘크리트에 대하여 수직 거푸집 탈형 압축강도 기준인 5.0 MPa를 재령 18시간 이내에 만족시키기 위하여 양생온도, 시멘트량에 따른 압축강도 시험을 병행 실시하였다.

3.1 사용 재료

시멘트는 S사 보통 포틀랜드 시멘트(OPC)를 사용하였으며, 이들의 화학 성분 및 물리적 성질을 Table 2에 나타내었다. 잔골재는 세척사, 굵은골재는 25 mm 부순돌을 사용하였으며, 화학혼화제는 일반 AE감수제(이하 control로 약함), 조강형 PNS계(이하 PNS로 약함) 및 PC계 조강혼화제를 사용하였다.

3.2 시험 방법

3.2.1 콘크리트의 압축강도

콘크리트의 압축강도는 $\Phi 100 \times 200$ mm의 원주형 공시체로 재령 18 hr, 24 hr, 32 hr, 3일, 7일, 28일에서 KS F 2405에 준하여 시험하였다.

3.2.2 동결융해저항성 시험

KS F 2456의 동결융해시험에 의하여 300 cycle까지 반복하여 식 (1)에 의해 상대 동탄성계수를 측정하였다.

$$P_c = \frac{n_1^2}{n^2} \times 100 (\%) \quad (1)$$

여기서, P_c : 동결융해 c cycle 후의 상대 동탄성계수

Table 2 Properties of OPC

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O +K ₂ O	Specific gravity	Blaine (cm ² /g)
21.95	6.59	2.81	-	60.1	3.32	-	3.15	3,110

n : 시험 개시 시의 진동주파수
 n_1 : 동결융해 c cycle 후의 진동주파수

3.2.3 건조수축 길이 변화 시험

모르타르 공시체를 제작하여 소정의 기간 동안 표준양생한 후, 모르타르의 재령별 길이 변화를 KS F 2424의 다이얼게이지 방법에 의하여 측정하여 식 (2)로 계산하였다.

$$\Delta l = \frac{l_t - l_0}{l_0} \times 100 (\%) \quad (2)$$

여기서, Δl : 길이 변화

l_t : 침지 후 재령별 모르타르의 길이
 l_0 : 침지 전 모르타르의 길이

3.2.4 탄산화 시험

페놀프탈레인 지시약 법에 의하여 재령 1주~26주에서 콘크리트 시험체의 탄산화 깊이를 측정하였다.

3.2.5 콘크리트의 염소이온 침투 저항성

콘크리트의 염소이온 침투 저항성 시험은 KS F 2711에 준하여 재령 7, 28, 56, 91일에 측정하였으며, 총 통과 전하량은 아래 식 (3)과 같이 구하였다.

$$Q_{total} = 900 \times (I_0 + 2(I_{30} + I_{60} + \dots + I_{330}) + I_{360}) \quad (3)$$

3.2.6 단열온도상승 시험

단열온도상승 시험 장비를 이용하여 콘크리트의 단열온도를 측정하였으며 식 (4)에 의해 최대 단열온도상승량(K) 및 반응 속도(α)를 구하였다.

$$T = K [1 - e^{-\alpha t}] \quad (4)$$

여기서, T : 시간 t 에서의 단열온도상승값(°C)

K : 최대 단열온도상승값(°C)

α : 반응 속도

t : 재령(일)

3.3 콘크리트의 배합

재령 28일의 설계기준강도 27 MPa, 슬럼프 18±2.5 cm 및 공기량 3.0±1.0% 목표로 PC계 조강혼화제를 사용하였으며, W/C를 42.9%로 정한 콘크리트의 배합은 Table 3과 같다(W/C 및 S/a는 동일하게 고정하고 혼화제의 양으로 물성을 조절하였다).

Table 3 Mix proportions of concrete

W/C (%)	S/a (%)	Unit weight (kg/m ³)					Note
		W	C	S	G	AD	
42.9	48.0	163	380	853	928	4.94	Control
		163	380	853	928	3.80	PNS
		163	380	853	928	2.85	PC

Table 4 The results of compressive strength (MPa)

Classification		Age					
		18 hr	24 hr	32 hr	3 day	7 day	28 day
Type of Admixture	Control*	3.2	4.9	8.8	17.5	26.5	31.6
	PNS	4.1	8.3	10.2	21.5	28.4	32.5
	PC	6.4	10.0	15.0	25.2	30.1	34.4
Curing temperature (°C)	5	2.4	3.6	4.5	6.1	20.3	31.1
	8	3.2	4.3	4.8	7.9	22.4	32.2
	13	6.4	10.0	15.0	25.2	30.1	34.4
	20	9.9	14.4	16.7	27.9	32.5	34.9
Amount of cement (kg/m ³)	310	2.7	4.7	8.3	16.5	23.5	29.2
	326	3.1	4.8	8.4	18.0	24.3	30.1
	360	5.2	9.8	13.8	24.3	28.8	32.2
	380	6.4	10.0	15.0	25.2	30.1	34.4

* Control: AE water reducing agent (naphthalene)

4. 실험 결과 및 고찰

4.1 조강 콘크리트 압축강도 특성

PC계 조강혼화제를 혼합한 콘크리트의 조기강도 발현에 대한 특성, 소요의 양생온도 및 적절한 시멘트 사용량을 파악하기 위하여 혼화제의 종류에 따른 압축강도 특성을 살펴보고, 콘크리트 양생온도 5~20°C에 대한 압축강도 특성과 시멘트 사용량 310~380 kg/m³에 따른 압축강도 시험을 실시하였고, 그 결과는 Table 4와 같다. 이때 양생온도 및 시멘트량에 대한 실험은 PC계 조강혼화제를 사용하였다.

4.1.1 혼화제 종류에 따른 압축강도

혼화제의 종류에 따른 압축강도 발현 양상을 확인하기 위하여 감수율 15%의 나프탈렌계 일반 AE감수제(이하 Control로 약함), 감수율 19%의 나프탈렌계 고성능 AE감수제(이하 PNS로 약함) 및 감수율 25%의 PC계 조강혼화제(이하 PC로 약함)를 사용하여 조기강도의 발현 양상을 살펴보았다. 이 때, 배합은 Table 3의 배합 조건으로 동일 시험 조건에서 시험을 실시하였다. 즉 W/C 및 S/a는 고정하고, 혼화제의 양을 변화시켜 품질관리 기준 이내의 조건을 만족하는 배합을 뜻한다. 그리고, 콘크리트의 양생온도는 동결기 일반적인 급열 양생온도인 13°C로 하여 시험하였고, 시험 결과는 Fig. 2와 같다.

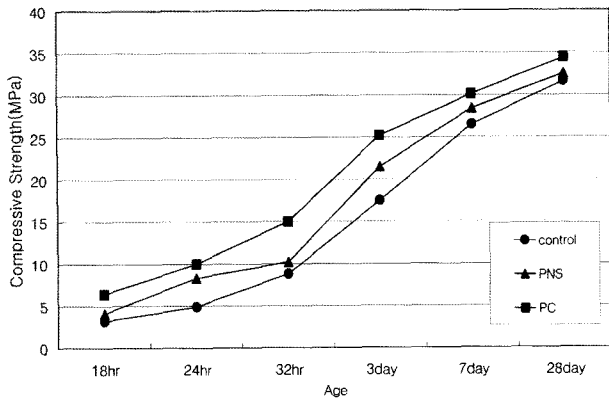


Fig. 2 Compressive strength (according to the type of chemical admixture)

상기의 13°C 양생 조건에서의 압축강도 시험 결과에서 알 수 있듯이, 나프탈렌계 고성능 AE감수제를 사용했을 때보다 PC계 조강혼화제를 사용했을 때, 전반적으로 조기강도가 증진되는 경향을 확인할 수 있었다. 혼화제의 종류를 달리하여 압축강도 시험을 실시한 결과, 목표재령 18시간, 목표강도 5.0 MPa를 PC계 조강혼화제만 만족 시키는 것으로 나타났다. 이는 배합 조건을 동일하게 유지하고 혼화제의 종류 및 혼합량을 달리해서 결정된 배합이기 때문에 배합 조건의 효과가 아닌 혼화제 자체의 특성에 기인된 결과라 판단된다.

4.1.2 양생온도에 따른 압축강도

PC계 조강혼화제를 사용하여 양생온도에 따른 콘크리트 압축강도 시험 결과는 Fig. 3과 같다. 이 때 시험은 항온항습기를 이용하여 시험을 실시하였다.

시험 결과 목표로 했던 5.0 MPa 이상의 압축강도를 18시간 이내에 만족시킬 수 있는 콘크리트 양생온도는 13°C 이상의 조건을 유지해야 되는 것으로 나타났다.

4.1.3 시멘트량에 따른 압축강도

시멘트량에 따른 압축강도의 발현양상을 살펴보고, 시험 결과는 Fig. 4와 같다. 이 시험을 통하여 목표 압축강도(5.0 MPa/18 hr)를 만족시키기 위한 최소의 시멘트량을 확인하고자 하였다. 양생온도는 13°C로 하여 시험을 실시하였다.

시멘트를 310~380 kg까지 변화시키면서 재령에 따른 압축강도의 특성을 살펴보았다. 18시간에 5.0 MPa를 만족시킬 수 있는 최소 시멘트량은 360 kg/m³인 것으로 나타났다. 이는 설계기준강도 27 MPa의 일반적인 레미콘배합이 390 kg/m³ 대인 것을 감안하면 동결기에도 약 30 kg의 시멘트량을 감소하여 콘크리트 재료 원가 절감에도 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

4.2 조강 콘크리트의 내구 특성

4.2.1 동결융해 저항성

콘크리트 양생초기에 동해를 입게 되면, 이후 강도 발

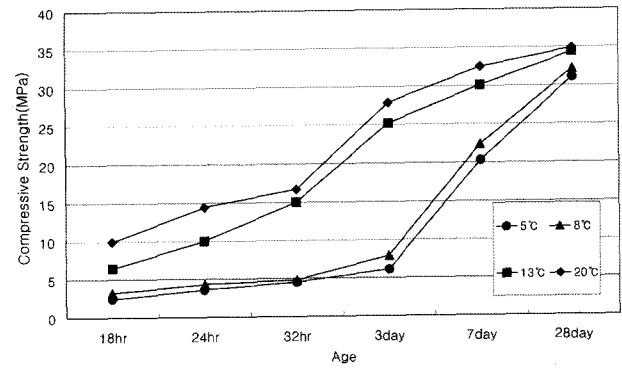


Fig. 3 Compressive strength (according to the curing temperature)

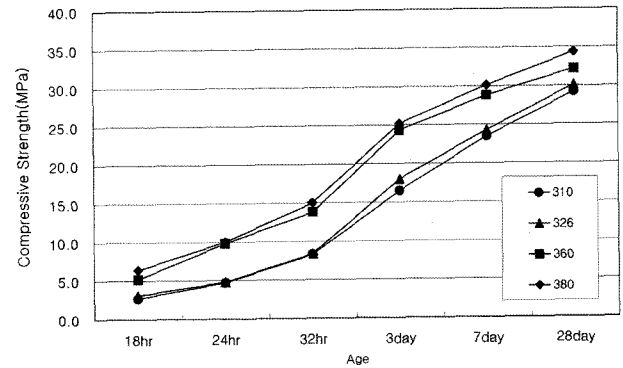


Fig. 4 Compressive strength (according to the cement amount for concrete 1 m³)

현이 느리게 진행되거나 더 이상 강도 발현이 되지 않아 구조물에 치명적인 손상을 끼칠 수 있다. ACI Committee 201에서는 낮은 물-시멘트비, 수분의 최소화를 고려한 구조물의 설계, 적절한 AE제의 사용, 품질관리, 동결융해 전의 적절한 양생, 시공 시 주의 깊은 관심으로서 동결융해에 저항할 수 있는 내구성이 뛰어난 콘크리트를 제조할 수 있다고 제안하고 있다.

본 연구에서는 동결융해 저항시험기를 이용하여 300 cycle 기간 동안 동결융해 작업을 반복하여 공시체의 질량 변화 및 상대 동탄성 계수 측정에 의한 내구성지수를 산출해 보았다. 본 연구에서 내구성지수(DF)는 다음 식 (5)에 의해 계산하였다.

$$DF = \frac{PN}{M} (\%) \quad (5)$$

여기서, P: 동결 융해 N cycle 후의 상대동탄성계수

N: P가 특정치에 달할 때 까지 cycle수 또는 실험 종료시 cycle수

M: 실험을 종료시키는 특정 cycle 수

동결융해저항성 실험 후의 질량 감소율 실험 결과는 Fig. 5와 같고, 상대 동탄성계수 측정에 의한 내구성지수 계산 결과는 Fig. 6과 같다.

Fig. 5에서 질량감소율 결과를 살펴보면 일반 AE감수제를 사용한 콘크리트의 경우 동결융해에 대한 저항력이 가장 낮은 것으로 나타났고, PC계 조강혼화제를 사용한

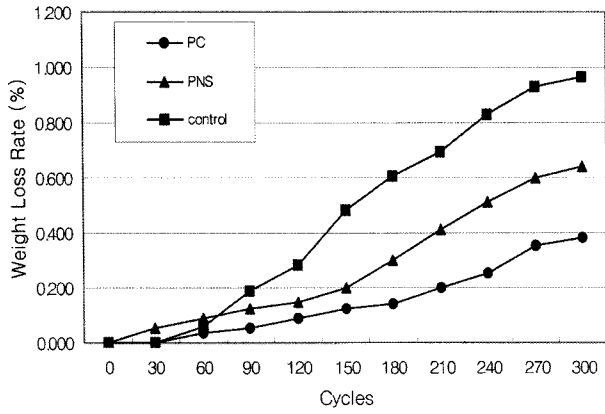


Fig. 5 Weight loss according to freezing & thawing

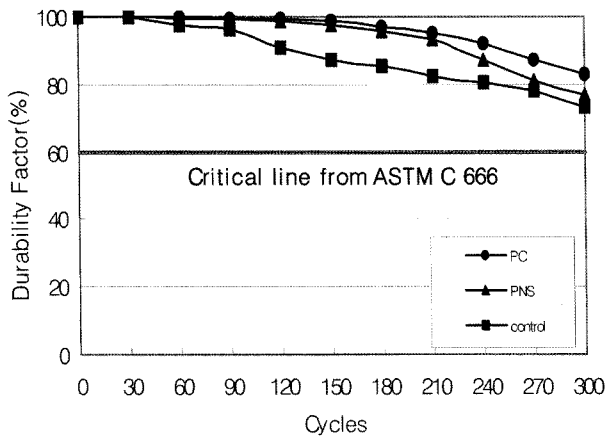


Fig. 6 Durability index

콘크리트의 경우 경화초기에 조직이 이미 치밀해져 동결융해에 대한 저항력이 상대적으로 높은 결과를 보인 것으로 사료된다. 그리고, PNS에 비해 PC계 조강혼화제에 사용되는 AE제(공기연행제)는 콘크리트 내부의 공극과 관련하여 보다 미세한 기포 발생을 유발하고, 공극률을 낮추고, 기포간의 간격을 일정하게 유지시켜주는 고품질의 AE제를 사용하기 때문에 콘크리트 조직을 보다 치밀하게 유도할 수 있어 이와 같은 동결융해 저항 특성을 갖는 것으로 판단된다.

Fig. 6의 내구성지수 산출 결과에서도 세 가지 type 모두 콘크리트 기준인 60%를 상회하고 있으나, PC계 조강혼화제를 사용한 콘크리트가 일반 AE감수제 사용 콘크리트에 비해 내구성지수가 상대적으로 높음을 확인할 수 있다.

4.2.2 건조수축 길이 변화

재령에 따른 콘크리트의 길이 변화 실험을 12주간에 걸쳐 실시하였고, 그 결과는 Fig. 7과 같다.

건조수축 길이 변화 실험을 실시한 결과, 나프탈렌계 고성능 AE감수제를 사용했을 때보다 PC계 조강혼화제를 사용하였을 경우 건조수축 길이 변화량이 적음을 확인할 수 있었다. 이는 PC계 조강혼화제를 콘크리트에 혼합할 경우 콘크리트의 조직이 다른 혼화제 사용 콘크리트

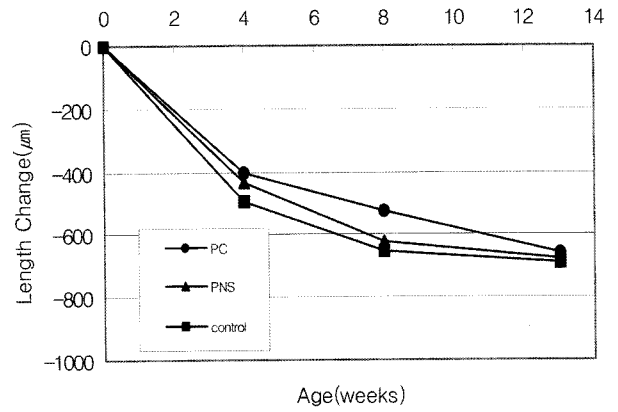


Fig. 7 Length change according drying shrinkage

트에 비해 보다 치밀해져(Fig. 10 참조) 건조수축 길이 변화에 우수한 저항성을 보이는 것으로 판단된다.

4.2.3 탄산화 깊이

콘크리트 또는 모르타르가 탄산가스(CO₂)에 노출될 때, 수분과 함께 반응하여 탄산염을 만드는 반응이 진행된다. 콘크리트 양생 과정에서의 과도적인 탄산화는 콘크리트 강도, 경도 그리고 치수 안전성을 향상시킬 수 있으나, 탄산화는 표면 가까이 있는 철근의 부식을 초래하는 성능 저하와 시멘트 페이스트의 pH 저하를 유발하여 콘크리트의 탄산화를 초래하게 된다. 일반적으로 투수성이 높은 콘크리트의 탄산화 속도는 W/C가 낮거나, 조직이 치밀한 콘크리트에 비해 빠르고 광범위하게 탄산화가 진행된다⁴⁾. 본 연구에서는 PC계 조강혼화제를 사용한 콘크리트가 일반 AE 감수제를 사용한 콘크리트에 비해 이러한 탄산화를 억제할 수 있는 능력을 확인하기 위하여 동일 물-시멘트비의 세가지 유형(일반 AE감수제, PNS, PC계 조강혼화제 사용) 콘크리트에 대해 페놀프탈레인 지시약 법에 의하여 재령 6개월까지의 실험을 실시하였고, 그 실험 결과는 Fig. 8과 같다.

Fig. 8에서 재령 8주까지는 거의 차이가 발생하지 않으나, 이후로는 PC계 조강혼화제 사용 콘크리트 > PNS 사용 콘크리트 > 일반 AE감수제 사용 콘크리트의 순으로 PC계 조강혼화제를 사용한 콘크리트가 탄산화에도 뛰어난 내구성을 가짐을 확인할 수 있었다. 이는 PC계 조강혼화제 사용 콘크리트의 경우 초기에 일반 콘크리트에 비해 조직이 보다 치밀해져서 탄산화에 견디는 저항성이 더 우수하다는 것으로 해석된다.

4.2.4 염소이온 침투 저항성

해양 환경에 놓인 콘크리트 구조물은 조수 간만에 의한 침식 작용, 건습 반복에 의한 염의 결정 성장압, 동결융해의 작용, 침투한 유해이온과 시멘트 수화물의 반응 및 염소이온에 의한 철근 부식 등의 복합적인 작용으로 인하여 내구성이 저하되며, 이를 일반적으로 염해라고 한다³⁾. 본 연구에서는 PC계 조강혼화제 사용 콘크리트의 염소이온 침투 저항성을 확인하기 위하여 재령 91

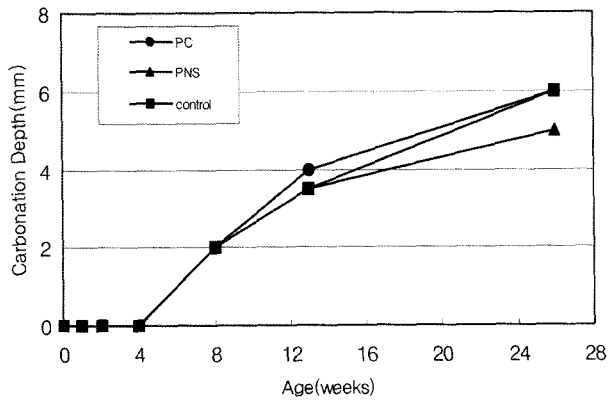


Fig. 8 Carbonation depth

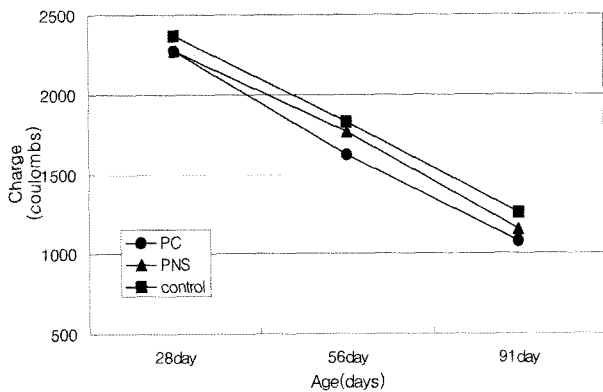


Fig. 9 Chloride ion penetration resistivity

일 까지의 총 통과전하량을 KS F 2711에 의해 구하였으며, 그 결과는 Fig. 9와 같다.

91일 재령까지 실험을 실시하였고, PC계 조강혼화제를 사용한 콘크리트의 경우 일반 콘크리트에 비해 염소이온 침투 저항성이 뛰어난 것을 확인할 수 있었고, 이는 조직이 치밀해지고 공극률이 낮아 염소이온 침투에 대한 저항성이 증가되었다고 판단이 된다.

PC계 조강혼화제 혼합 콘크리트의 압축강도, 동결융해 저항성, 염소이온 침투 저항성에 대한 각각의 혼화제 종류에 대한 특성을 살펴보기 위하여 콘크리트 재령 24시간 및 재령 91일에서의 SEM 촬영에 의한 기기 분석을 실시하였다. SEM 촬영 결과는 Fig. 10과 같다. 재령 91일에는 이미 조직이 모두 치밀화되어 SEM으로는 구분이 잘 되지 않으나, 재령 24시간의 조기재령에서는 PC계 조강혼화제 사용 콘크리트가 조기에 보다 치밀한 구조를 보임을 확인할 수 있었다.

이는 PC계 조강혼화제를 사용할 경우 시멘트 클링커 중의 C₃S나 C₃A와 반응하여 C-S-H, C-A-H 등의 수화물들이 다량 생성되어 조직을 치밀하게 하여 염소이온에 대한 저항성을 높인 것으로 판단된다.

이는 콘크리트 초기의 에트르사이트의 침상 구조가 이미 모노설페이트의 판상 구조로 상당부분 변환되어 조직을 조기에 치밀화시키는 것을 확인할 수 있다. 이로 인해 조기강도 발현 증진, 염소이온 침투 저항성 증대, 탄

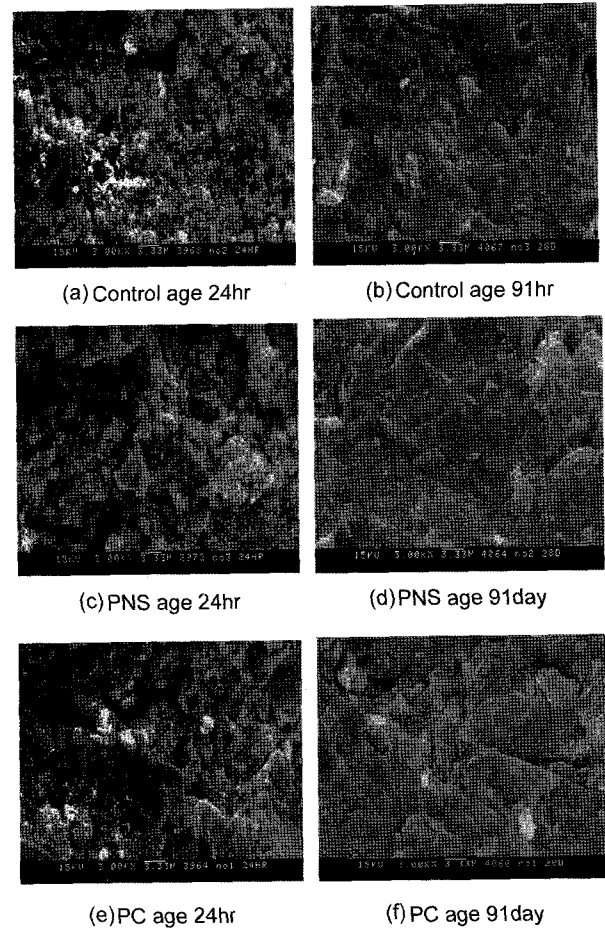


Fig. 10 SEM image (×3000, 13°C curing)

산화 깊이 저감 등의 콘크리트 내구성을 향상시키는 주 원인으로 분석된다.

4.3 조강 콘크리트의 단열온도 특성

콘크리트의 단열온도 상승 실험을 실시한 결과는 Fig. 11과 같다. 이 때 동일한 조건에서의 수화 발열 특성을 확인하기 위하여 시멘트량을 380 kg/m³로 고정하여 각각의 종류별 단열온도 상승량을 확인하였다.

단열온도 상승식은 $Q = K(1 - e^{-\alpha t})$ 를 사용하였고, 혼화제 종류에 따른 단열온도 상승값들을 살펴본 결과, PC계 조강혼화제를 사용한 콘크리트의 경우 K는 49.4°C, α는 1.074로 나프탈렌계 혼화제에 비해 K값이 약 1.5~2.0°C 정도 높게 나타나고, α값은 0.12~0.25 정도 높게 나타나 전반적으로 조기강도 발현을 위해 초기 수화열 및 온도기울기가 약간 높게 형성되어 있는 것을 알 수 있다. 하지만, 상기의 데이터 자료는 동일 시멘트량을 기준으로 실험한 결과이고, 일반 콘크리트에 비해 PC계 조강혼화제 사용 콘크리트의 경우 단위 수량을 약 20~30 kg/m³가량 절감할 수 있기 때문에 온도응력에 의한 균열 문제는 오히려 더 저감시킬 수 있을 것으로 판단이 된다.

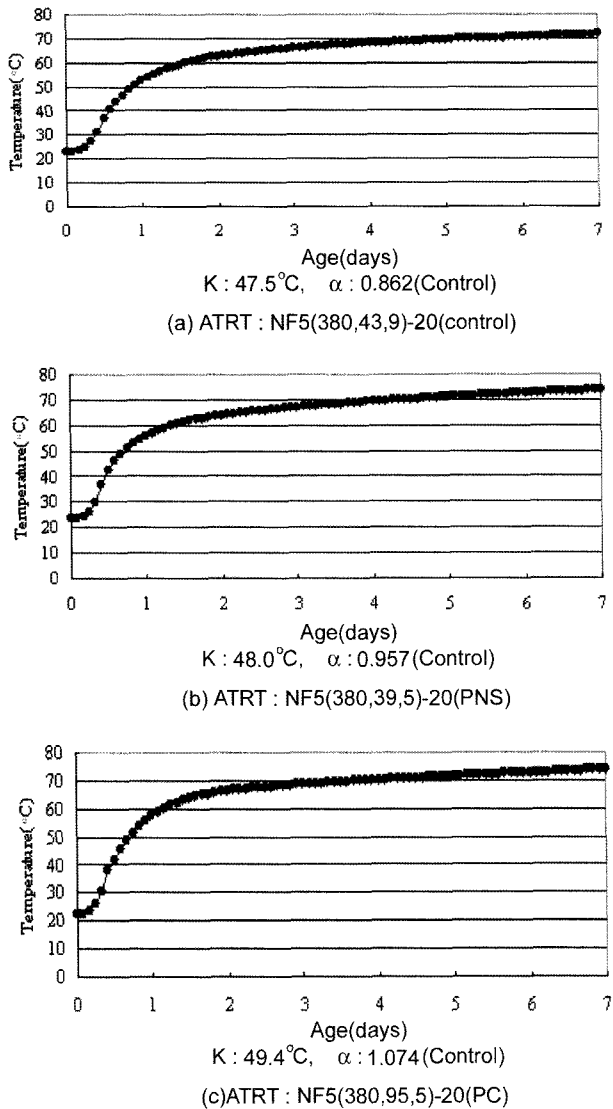


Fig. 11 Adiabatic temperature test result

5. 결 론

본 연구에서는 PC계 조강혼화제를 사용한 콘크리트의 조기강도 발현 특성 및 내구성 평가를 실시하였다. 본 연구의 결과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) PC계 조강혼화제를 사용하여 시멘트량에 따른 콘크리트 압축강도 시험을 실시해 본 결과, 동결기 급열 양생의 기준으로 콘크리트 양생온도인 13°C 조건에서 시멘트량 360 kg/m³ 이상이 필요한 것으로 나타났다.
- 2) 동결용해 저항 시험을 실시해본 결과 PC계 조강혼화제를 사용한 콘크리트가 기준 콘크리트에 비해 저항성이 뛰어난 것으로 나타났다.
- 3) 건조수축 길이 변화 시험을 실시해본 결과 PC계 조강혼화제를 사용한 콘크리트가 기준 콘크리트에 비해 길이 변화량이 적어 저항성이 뛰어난 것으로 나타났다.
- 4) 탄산화 시험을 실시해본 결과 PC계 조강혼화제를

사용한 콘크리트가 기준 콘크리트에 비해 저항성이 뛰어난 것으로 나타났다.

- 5) 염소이온 침투 저항성 시험 결과 기준 콘크리트에 비해 PC계 조강혼화제를 사용한 콘크리트의 조직이 치밀해져 더 우수한 결과를 보였다.
- 6) 단열온도 상승 시험을 실시해본 결과 기준 콘크리트에 비해 초기 수화발열과 관련되어 최고 단열 상승온도가 약 2°C 정도 높게 나타나는 것으로 나타났다.

끝으로 본 연구를 통해 PC계 조강혼화제를 사용한 콘크리트의 강도 및 내구 특성에 대한 시험을 실시하여 실제 건설 현장에의 적용 가능성을 확인하였고, 콘크리트의 조기강도를 향상시켜 공사기간 단축에 의한 시공원가 절감이 가능함을 확인할 수 있었다. 본 논문에는 언급이 되어 있지 않지만 실제로 현재 3~4개 아파트 현장에 적용중이고, 적용시 주의 사항으로는 조강 콘크리트의 특성상 응결이 빠르고 점성이 강하고, 외부의 양생온도 변화에 따른 반응을 보이기 때문에 이에 따른 시공 관리 방안을 동시에 마련하는 것이 무엇보다 중요하다 할 수 있다.

참고문헌

1. 황인성, 나운, 이승훈, 류현기, 한천구, “콘크리트의 초기 강도발현에 미치는 혼화제의 영향”, 한국콘크리트학회 학술발표논문집, Vol.15, No.1, 2003, pp.741~744.
2. 윤섭, 황인성, 이승훈, 한천구, “조기강도발현형 AE감수제를 사용한 콘크리트의 초기강도발현 및 내구특성”, 한국구조물진단학회 추계학술발표회 논문집, Vol.7, No.2, 2003, pp.203~208.
3. Vu, D. D., “Strength and Durability Aspects of Mortar and Concrete”, *Cement Concrete Composites*, Vol.23, 2003, pp.471~478.
4. Gagine, R., Pigeon, M., and Aichin, P. C., “Deicer Salt Scaling Resistance of High Performance”, *Paul Klieger Symposium on Performance of Concrete*, ACI SP-122, 1989, 11.
5. Neville, A. M., *Properties of Concrete*, Pitman Publishing Ltd., 1973.
6. Mehta, P. K. and Monteiro, P. J. M., *Concrete-Structure, Properties, and Materials*, Prentice Hall, 1993, pp.43~77.
7. Green, H., *Impact Strength of Concrete*, *Proc. Inst. C.E.*, Vol.28, 1964, pp.383~396.
8. Bartel, F. F., “Sampling and Testing Ready Mix Concrete”, *Concrete*, Vol.62, 1954, pp.40~43.
9. Scrivener, K. L. and Pratt, P. L., *Characterisation of Interfacial Microstructure*, In: J.C. Maso, Editor, *Interfacial Transition Zone in Concrete*, E&FN Spon, London, RILEM Report 11, 1996.
10. Young, J. F., *A Review of the Pore Structure of Cement Paste and Concrete and Its Influence on Permeability*, In:ACI Convention on Permeability (Second Revised Edition ed.), D. Whiting and A. Walitt, Editors., 1994, pp.1~18.

요 약 이 연구는 PC계 조강혼화제를 사용한 콘크리트의 조기강도 및 내구 특성에 대한 내용이다. 이들 데이터를 건설현장에 적용하기 위하여 실내 시험을 실시하였다. 이 연구의 목표는 조기강도 즉 재령 18시간에 5.0 MPa의 강도를 확보하기 위하여 진행되었다. 그리고, 건조수축 길이 변화 시험, 염소이온 침투 저항성 시험, 동결융해 저항성 시험, 단열온도 상승 시험 등과 같은 내구성 시험을 실시하였다. 연구를 실시함에 있어 각각의 시험 인자들 즉, 혼화제의 종류, 콘크리트의 양생온도, 결합재의 사용량 등의 시험 인자들을 변수로 하여 각각의 콘크리트의 물성을 확인하였다. 혼화제 종류에 따른 콘크리트의 시험 결과 PC계 혼화제를 사용했을 때 PNS를 사용했을 때보다 훨씬 뛰어난 성능을 발휘한다는 사실을 확인할 수 있었다. 결론적으로 이 연구를 통하여 조기강도를 확보하고, 고 내구성을 확보한 콘크리트를 제조할 수 있었다. 이들 시험을 통하여, 토목 및 건축 현장에서 PC계 조강혼화제를 사용할 수가 있고, 조기강도를 앞당김으로써 공사 기간 단축에 의한 공사 원가 절감으로 경제적인 시공이 가능하였다.

핵심용어 : PC계 혼화제, 조기강도, 동결융해, 탄산화 깊이, 염소이온 침투