

혼화제의 반복된 추가가 콘크리트의 역학적 특성에 미치는 영향

Effect of Repeated Addition of Admixture on Mechanical Properties of Concrete

이 시 우^{1)*}

Lee, Si Woo

이 성 태²⁾

Yi, Seong Tae

Abstract

Concrete used as structural materials in construction fields is supplied as a type of carry and placement by ready-mixed concrete (RMC) truck after proportioning in batch plant. However, during conveying of concrete to the field, due to traffic jam, weather, etc., it is not easy to maintain adequate slump. In this case, we think that the insert of an admixture to concrete has no problem in concrete. For RMC, when the slump is not sufficient, the truck driver insert water additionally without any considerations. After that, concrete is placed after re-mixing and this leads to serious reasons such as strength reduction less than design strength considered in the structural design. Accordingly, in this study, to solve the problem to insert water without realistic reasons in RMC, basic experimental studies were performed. Admixtures used frequently in fields were selected and addition's repeated time and elapsed time interval after initial addition of the admixture were selected as main variables. Authors want that the results of this study is used as basic data to resolve the question.

Keywords : Admixture, Repeated addition, Mechanical properties, Concrete

1. 서론

콘크리트의 특성파악을 위한 연구의 수행 시, 일반적으로는 타설에 앞서 배합비를 먼저 정하고 타설하며 양생을 한 후, 이들에 대한 강도시험 등을 하는 것이 통상적인 절차이다. 배합비 선정 시에도 사용되는 시멘트의 종류나 제조회사를 먼저 정하고 골재의 종류나 입도 분포 등을 고려하여 사용되는 물의 양이나 혼화제의 종류 및 사용량을 결정한다. 이때 적절한 배합비를 얻기 위해서는 다음과 같은 인자들을 고려하여 초기배합설계를 수행한다. (이문환, 2008; 한국콘크리트학회, 1997, 2004, 2005; Neville, 1996)

1) 설계강도, 2) 시멘트의 종류 (1종, 5종 등), 3) 모래의 종류 (강사, 쇠석사 등), 4) 굵은 골재의 종류 및 크기 (강자갈, 쇠석 및 굵은 골재 최대치수), 5) 혼화제의 종류 및 첨가정도 (플라이애쉬(fly ash), 석회석, 규사 등의 첨가 및 첨가정도), 6) 혼화제의 종류 및 첨가정도 (유동화제, 증점제, 공기연행제(AE제) 등), 7) 혼화제의 혼용 가능성 여부 (유동화제의 종류와 증점제의 종류에

따른 화학적 불안정 등). 앞에서 언급한 인자 외에도 공사 현장이나 용도에 따라 몇 가지 인자 (매스(Mass) 콘크리트의 경우, 수화열 등)가 추가되거나 삭제되어야 할 것으로 판단된다.

혼화제의 경우, 온도나 습도, 그리고 제조일자의 경과 등에 따른 예비실험을 통해 각기 다른 양이 사용되어야 한다. 연구자들에게 일반적으로 알려진 사실은 타설의 종료까지 슬럼프치가 유지될 정도의 혼화제를 배합시 투입하여 사용하면 되며, 실험에 근거한 체계적인 연구는 아직도 없는 실정이다. 즉, 현재까지도 교통체증으로 인해 건설현장에 늦게 도착한 레미콘의 슬럼프치가 설계치보다 작을 경우, 트럭기사들이 레미콘을 쏟아 낼 때 물을 추가로 넣어 비빈 후 타설을 함으로써 물-시멘트 비의 증가를 초래하여 강도저하에 치명적 원인을 제공하기도 한다. 이 경우, 재료의 분리가 발생할 수 있는 가능성이 충분히 내제되어 있다. 이는 설계시 결정되어 모든 설계에 사용되는 설계강도에 크게 미달하는 콘크리트를 시공할 수 있게 하여 추후 구조물의 안전성에 심각한 문제를 야기할 수 있다. 많은 전문가들이 이에 대한 우려를 갖고 있

1) 정희원, 충청대학 건축인테리어학부 교수

2) 정희원, 인하공업전문대학 토목환경과 교수

* Corresponding author : lsw15@ok.ac.kr 043-230-2332

• 본 논문에 대한 토의를 2010년 8월 31일까지 학회로 보내주시면 2010년 9월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

고 조속히 시정이 되어야 함을 인식하고 있으나 이 분야에 대한 연구는 아직도 미미한 실정이다.

본 연구에서는 콘크리트 슬럼프의 부족문제를 해결하기 위해 물을 추가하는 대신, 혼화제를 추가로 투입했을 때, 발생할 수 있는 굳지 않은 혹은 굳은 콘크리트의 역학적 특성을 구명하기 위한 실험적 연구를 수행하였다. 이 연구에서는, 레미콘 트럭에 정해진 혼화제를 싣고 다니면서 필요시 콘크리트에 추가하여 투입해도 콘크리트의 성질에 문제가 없도록 할 수 있는 근거를 마련하고자 하며 다른 연구자 혹은 기술자들에게 이 분야에 대한 정보를 제공하고자 한다.

2. 실험

2.1 사용재료

콘크리트의 제조를 위해 시멘트는 KS L 5201에 근거한 C사의 제1종 보통 포틀랜드 시멘트(비중=3.15)를 사용하였고, 잔골재는 KS F 2526에 따른 콘크리트용 강모래를 사용했으며 굵은골재는 4.75mm보다 크고 20mm보다 작은 쇄석을 사용하였다. 잔골재와 굵은골재의 물리적 특성은 Table 1과 같으며, 표준입도 범위 내에 들어가는 것을 사용하였다.

2.2 콘크리트 배합비

혼화제의 추가에 따른 콘크리트 특성의 변화를 검토하기 위하여 실시한 실험의 베이스 콘크리트 배합비는 목표 슬럼프치 $6\pm 1.0\text{cm}$ 를 만족하도록 하였으며, 혼화제를 투입 후 목표 슬럼프치는 $18\pm 2.0\text{cm}$ 로 하였다. 실험에 사용한 배합은 Table 2와 같으며 설계기준강도는 30 MPa를 목표로 하였다. 콘크리트 제작에 있어 사용한 콘크리트 믹서는 팬형 강제식(용량=200 liter, 25 rpm)을 사용하였으며 실험에 필요한 사용량을 고려하여 1회 배치량을 80리터 이상으로 하였다.

Table 1 Physical properties of used aggregates

Aggregates	Gravity	Absorption ratio (%)	Max. size (mm)	F.M.
Fine aggregates	2.60	1.4	-	2.86
Coarse aggregates	2.67	1.2	20	6.80

Table 2 Mixture proportion of concrete

W/C (%)	S/a (%)	Unit weight (kg/m^3)			
		C	W	S	G
57	45	320	182	785	985

2.3 실험변수 및 방법

혼화제의 추가횟수에 따른 콘크리트의 특성파악이 주목적인 본 연구에서 고려될 주요 실험변수는 다음과 같다. 첫 번째, 혼화제의 종류인데 나프탈렌(Naphthalene)과 폴리카보산(Polycarboxylate) 계열이 사용되었으며, 이 논문에서는 각각 NA와 PC로 약칭하였다. 두 번째는 투입의 반복횟수 및 시간의 경과인데 투입횟수는 1회와 2회, 3회로 하였고 시간의 경과에는 0시간, 1시간 및 2시간으로 하였는데, 0시간은 베이스 콘크리트에 바로 투입하는 것을 1시간과 2시간은 1회 투입 후 1시간과 2시간이 경과한 시간에 투입하는 것을 의미한다. 한편, NC와 PC 혼화제의 투입 횟수에 따른 추가량은 예비실험을 통하여 시간이 경과한 후에도 목표 슬럼프치 $18\pm 2.0\text{cm}$ 가 나오는 양으로 선택하였다. 실험에서는 콘크리트의 역학적 특성과 내구성 파악의 두 가지로 나누어 실시되었는데, 역학적 특성을 검토하기 위해서 슬럼프, 공기량, 압축강도와 탄성계수에 대한 시험을 실시하였고, 내구성을 검토하기 위해서 촉진 중성화 실험을 실시하였다. 실험변수 및 측정항목을 정리하여 나타내면 Table 3과 같다.

베이스 콘크리트에 대한 배합은 시멘트, 모래, 자갈을 일괄투입하여 2분간 건비빔을 한 후 배합수를 투입하여 5분간 추가 비빔을 실시하였다. 배합이 완료된 후 즉시 콘크리트를 배출하여 굳지 않은 콘크리트 실험법(박승범, 1996)에 따라 슬럼프치와 공기량의 측정을 실시했으며, 비벼져 있는 콘크리트를 사용하여 실험에 소요되는 수에 따라 공시체를 제작하였다. 베이스 콘크리트에 대한 작업이 끝난 직후 첫 번째로 혼화제를 투입하여 5분간 추가 비빔을 실시한 후 슬럼프치, 공기량 및 필요 공시체를 제작하였다. 60분 경과 후 슬럼프치 및 공기량을 측정하고, 정해진 혼화제를 두 번째로 추가하여 5분간 비빈 다음 슬럼프치와 공기량을 측정하고 공시체를 제작했으며 다시 60분경과 후 슬럼프치와 공기량을 측정하였다. 그리고 세 번째로 정해진 양의 혼화제를 즉시 추가하여 5분간 비빈 후 슬럼프치와 공기량을 측정하고 필요 공시체를 제작하였다. 제작한 원주공시체는 KS F 2405에 따라 채령 1일에 탈형 하였으며, 탈형 즉시 양생조에서 필요 채령만큼 표준양생을 실시하였다. 슬럼프치와 공기량 측정은 각각 KS F 2402, KS F 2421에 따라 수행하였다.

Table 3 Test variables for mechanical properties and durability

Item	Content	Details
Slump	Height variance	-
Air contents	-	-
Compressive strength	KS F 2405	7, 14, 28 days
Elastic modulus	Stress-strain curve	7, 14, 28 days
Carbonation	Carbonation depth	Carbon dioxide concentration $5\pm 0.2\%$

굳은 콘크리트의 각 재령 별 역학적 특성치는 실험조건을 만족하도록 각 재령에서 원주공시체를 꺼내어 재하면을 연마기로 처리한 후 2,000kN UTM을 사용하여 압축강도 시험을 실시하였고 탄성계수를 측정할 때는 공시체의 중앙부 양면에 콘크리트용 스트레인 게이지(측점거리=60mm)를 부착하여 각 하중 단계별 변형률을 측정하였으며 각 실험의 단계에서 얻어지는 응력-변형률 곡선의 관계로부터 탄성계수를 계산하였다. 탄성계수를 계산하는 방법으로는 최대응력의 40%에서 구한 할선탄성계수(Secant Elastic Modulus)법 (Neville 1996, KS F 2438)을 채택하였다. 촉진 중성화 실험은 $\Phi 100 \times 200$ mm 원주공시체를 사용하여 전 양생기간 8주 경과 후 온도 $20 \pm 2^\circ\text{C}$, 상대습도 $60 \pm 5\%$, 탄산가스농도 $5 \pm 0.2\%$ 의 조건으로 실시하여 중성화 재령 1주, 4주, 8주, 13주에 대하여 페놀프탈레인 비색판별법을 이용하여 중성화 깊이를 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 굳지않은 콘크리트의 특성실험

Fig. 1(a)는 시간경과에 따라 NA 혼화제를 첨가했을 때의 슬럼프치 변화를 나타낸 것으로, 슬럼프치가 6.5cm인 베이스 1 콘크리트에 NA를 1% 첨가했을 경우 슬럼프

치가 18cm를 나타냈으며, 60분 경과 후 슬럼프치가 10cm로 감소하였다. 다시 NA를 0.5% 더 추가 했을 때 슬럼프치는 19cm로 회복되었다. 다시 60분 경과 후 슬럼프치는 4cm로 감소하였으며, 이후 슬럼프치를 회복시키기 위해 NA를 1%까지 더 추가 하였으나 슬럼프치가 11cm를 나타내 처음 60분 경과했을 때보다 슬럼프치 회복이 적게 나타났다. 따라서 NA를 첨가했을 경우에는 베이스 콘크리트에서 60분 경과 까지는 슬럼프치를 회복시킬 수 있었으나, 120분 경과 후에는 슬럼프의 회복이 적게 나타난다는 것을 확인할 수 있었다.

Fig. 1(b)는 시간 경과에 따라 PC 혼화제를 첨가했을 경우의 슬럼프치 변화를 나타낸 것으로, 슬럼프치가 6.0cm인 베이스 2 콘크리트에 PC 혼화제를 0.6% 첨가했을 경우 슬럼프치가 21cm를 나타냈으며, 60분 경과 후 슬럼프치가 11cm로 감소하였다. 이후 NA를 0.3% 더 추가 하였을 때 슬럼프치는 20cm로 회복되었으며, 다시 60분 경과 후 슬럼프치는 13cm로 감소하였다. 다시 NA를 0.3% 더 추가했을 때 슬럼프치는 다시 20cm로 회복되었다.

따라서 PC 혼화제를 첨가했을 경우에는 베이스 콘크리트에서 120분 경과 후에도 PC를 첨가함으로써 슬럼프치를 회복시킬 수 있음을 알 수 있었다.

Fig. 2(a)는 시간경과에 따라 NA 혼화제를 첨가했을 경우의 공기량 변화를 나타낸 것으로, 베이스 1 콘크리트의 공기량은 3.2%였으며, NA를 1% 첨가했을 때의 공기

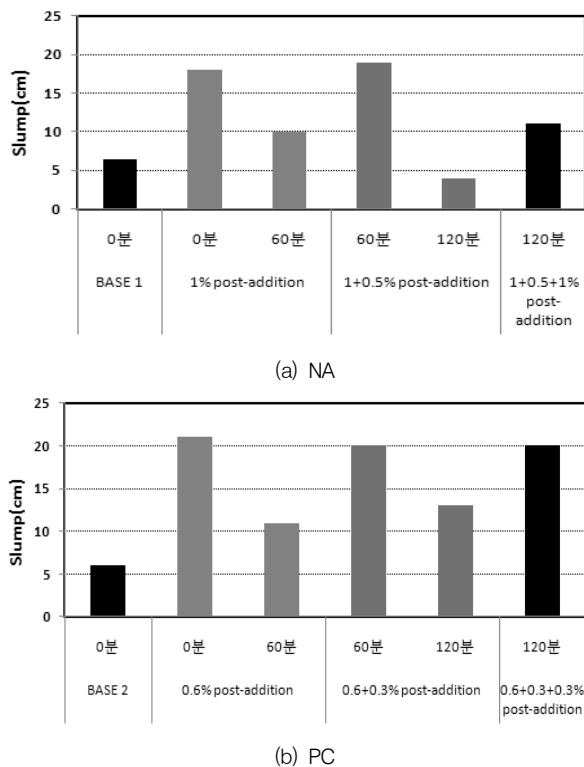


Fig. 1 Relation between slump and age for NA and PC

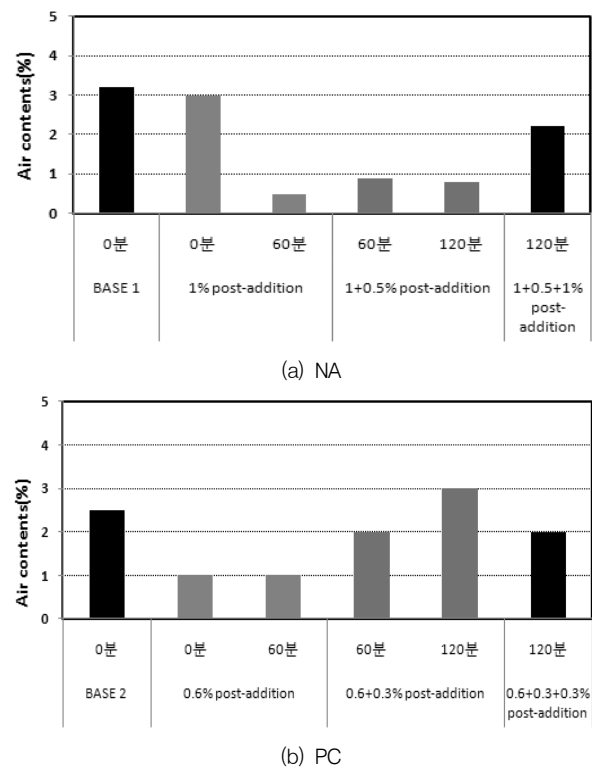


Fig. 2 Relation between air contents and age for NA and PC

량은 3%를 나타냈다. 이후 NA를 첨가함에 따라 공기량이 0.5%~2.2%의 범위를 나타내 시간경과에 따라 공기량이 감소함으로 NA 혼화제 첨가시 AE제를 추가하여야 할 것으로 사료된다. Fig. 2(b)는 시간경과에 따라 PC 혼화제를 첨가하였을 경우의 공기량 변화를 나타낸 것으로, 베이스 2 콘크리트의 공기량은 2.5%였으며, 이후 PC를 첨가함에 따라 공기량이 1.0%~3.0%범위를 나타내 시간경과에 따라 공기량이 감소하였으나 NA를 첨가했을 때보다는 감소량이 작은 것으로 나타났다.

3.2 굵은 콘크리트의 역학적 특성실험

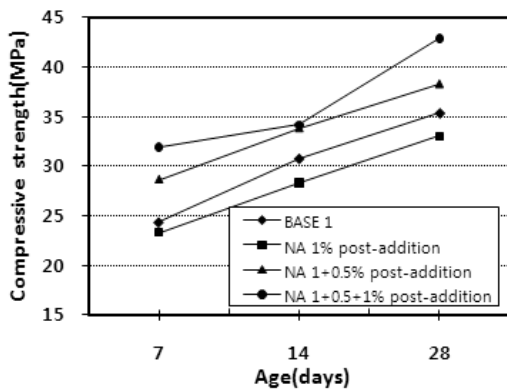
Fig. 3(a)는 NA 혼화제를 첨가한 콘크리트의 재령에 따른 압축강도 변화를 나타낸 것으로, 베이스 1 콘크리트에 NA를 1% 첨가했을 경우 압축강도가 감소하였으며, 다시 NA를 0.5%씩 더 추가하였을 경우 전 재령에 걸쳐 오히려 베이스 1 콘크리트보다 압축강도가 점진적으로 증가함을 알 수 있다. 이로부터 혼화제의 추가 투입이 압축강도에 영향이 있음을 알 수 있으며, 1회 투입에서는 NA의 첨가로 인한 유동성이 상당히 증가되나 오히려 부분적으로 재료의 분리가 발생하여 강도가 감소하였고 2

와 3회 첨가시는 유동성은 여전히 유지되고 베이스 콘크리트에서의 시간의 경과로 인한 수분감소로 물-시멘트비가 감소되어 강도와 치밀성이 상승되었음을 알 수 있다.

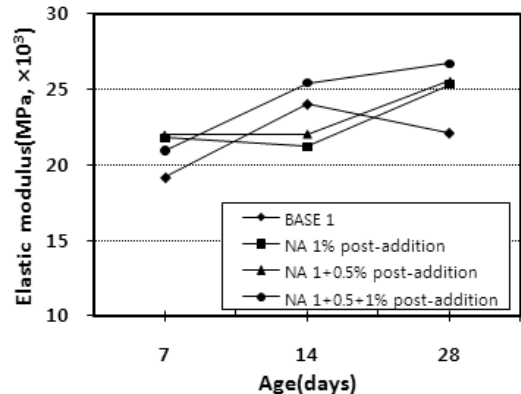
Fig. 3(b)는 PC 혼화제를 첨가한 콘크리트의 재령에 따른 압축강도 변화를 나타낸 것으로, 베이스 콘크리트에 PC를 2회 추가한 경우의 28일째 압축강도를 제외하고는 NA를 추가한 경우와 비슷한 결과를 보여주고 있다.

일반적으로 연구자들이 실험의 수행시에 혼화제의 추가가 콘크리트에 미치는 영향이 거의 없다고 알고 있으나 위의 사실로부터 혼화제의 추가량도 중요하지만 투입횟수와 투입 후 시간의 경과에도 큰 관심을 가져야 함을 알 수 있다.

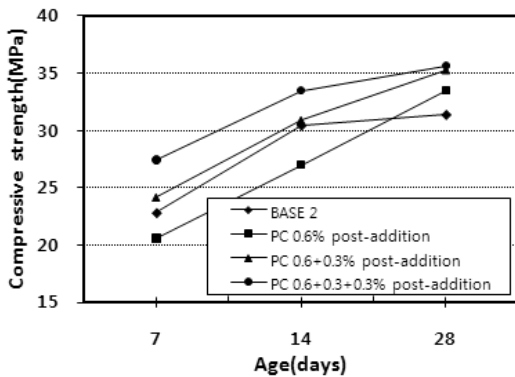
Fig. 4(a)의 결과에 따르면, 베이스 1 콘크리트에 첫 번째와 두 번째로 NA를 추가했을 때는 14일째 탄성계수는 낮으나 7일과 28일의 탄성계수는 오히려 높고, NA를 3번째 추가하는 전 재령에 걸쳐 탄성계수가 증가하였다. 따라서 NA를 사용한 경우 혼화제의 첨가에 따른 특별한 경향은 판단할 수 없었다. Fig. 4 (b)의 결과에 따르면, PC를 두 번 첨가한 28일째 탄성계수를 제외하고는 베이스 2 콘크리트보다 탄성계수가 증가함을 알 수 있다. 이는 압축강도와 유사한 결과를 보여주고 있다.



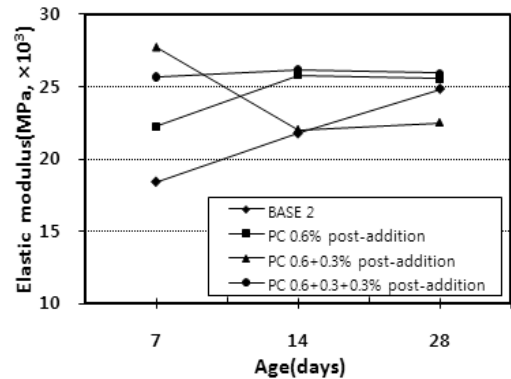
(a) NA



(a) NA



(b) PC



(b) PC

Fig. 3 Relation between compressive strength and age for NA and PC

Fig. 4 Relation between elastic modulus and age for NA and PC

3.3 내구성 실험

Fig. 5(a)는 NA 혼화제를 첨가한 콘크리트의 촉진 중성화 실험 결과를 나타낸 것으로, 중성화 재령 91일까지 베이스 1 콘크리트는 3.77~13.9mm, NA 1% 추가(post-addition) 콘크리트는 4.15~14.91mm, NA 1+0.5% 추가(post-addition) 콘크리트는 2.11~13.28mm, NA 1+0.5+1% 추가(post-addition) 콘크리트는 2.51~12.06mm의 범위를 나타냈다.

Fig. 5(b)는 PC 혼화제를 첨가한 콘크리트의 촉진 중성화 실험 결과를 나타낸 것으로, 중성화 재령 91일까지 베이스 2 콘크리트는 4.36~15.73mm, PC 0.6% 추가(post-addition) 콘크리트는 5.09~17.33mm, PC 0.6+0.3% 추가(post-addition) 콘크리트는 3.92~16.73mm, PC 0.6+0.3+0.3% 추가(post-addition) 콘크리트는 4.10~15.17mm의 범위를 나타냈다.

일반적으로 중성화는 콘크리트의 수밀성과 밀접한 관계를 갖고 있으며) 본 실험의 경우에도 압축강도가 가장 높게 나온 NA 1+0.5+1% 추가(post-addition) 콘크리트와 PC 0.6+0.3+0.3% 추가(post-addition) 콘크리트의 중성화 깊이가 가장 작은 것으로 나타났으며, 압축강도가 가장 낮게 나온 NA 1% 추가(post-addition) 콘

리트와 PC 0.6% 추가(post-addition) 콘크리트의 중성화 깊이가 가장 깊게 나타남을 확인하였다.

또한 NA 혼화제와 PC 혼화제를 첨가한 콘크리트와 베이스 콘크리트와의 중성화 상태를 비교한 결과 NA 혼화제와 PC 혼화제의 첨가가 콘크리트의 중성화 속도에 미치는 영향은 크지 않은 것으로 분석된다.

4. 결론

혼화제의 첨가가 콘크리트의 특성에 미치는 영향에 대한 연구를 수행한 본 연구의 범위에서 도출된 결과를 정리하면 다음과 같다.

1) NA의 경우, 60분 경과까지는 NA를 첨가함으로써 슬럼프치를 회복시킬 수 있었지만 120분 경과 후에는 회복이 적게 나타났다. PC의 경우, 60분과 120분의 양 경우에 혼화제를 첨가함으로써 슬럼프치를 회복시킬 수 있었다.

2) NA의 경우, 시간의 경과에 따라 NA를 첨가해도 공기량이 많이 감소하므로 AE제를 추가해야 한다. PC의 경우, 시간의 경과에 따른 혼화제의 첨가시, NA보다 공기량의 감소가 적음을 알 수 있었다.

3) NA와 PC를 투입했을 경우, 초기에는 강도가 감소하나 시간의 경과후의 투입시는 오히려 강도가 증가함을 알 수 있었다. NA를 사용한 경우의 탄성계수는 경향 파악이 어려웠지만, PC를 사용한 경우의 탄성계수는 압축강도와 유사한 경향을 보였다.

4) NA와 PC의 첨가가 콘크리트의 중성화 속도에 미치는 영향은 크지 않은 것으로 판단되었다.

5) 본 연구의 결과가 더 발전된다면, 부족한 슬럼프치를 합리적인 근거없이 물을 추가해 보상받는 기존의 방법으로부터 탈피하여 품질에 대한 상호불신을 배제할 수 있으며, 타설될 레미콘의 품질을 체계적으로 관리하여 구조물의 안전성에 대한 신뢰도를 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다.

즉, 현장에 투입되는 레미콘이 취할 수 있는 다양한 조건에 대한 품질변화의 자료를 제시함으로써 변화가 심한 콘크리트의 특성을 정량화할 수 있고, 이와 관련된 기존 연구성적을 검증할 수 있으며 향후의 연구방향에 기본적인 지침이 될 수 있어 관련 연구자에게 도움을 줄 것으로 사료된다.

추후 연구

추후의 연구에서는 저렴하면서도 빈번하게 사용되는 혼화제들에 대한 실험적 연구 및 결과의 분석을 통해 이들 혼화제를 추가해서 사용해도 좋은 횡수와 시간간격 등에 대한 가이드 라인(guide line)을 제시하고자 한다. 특

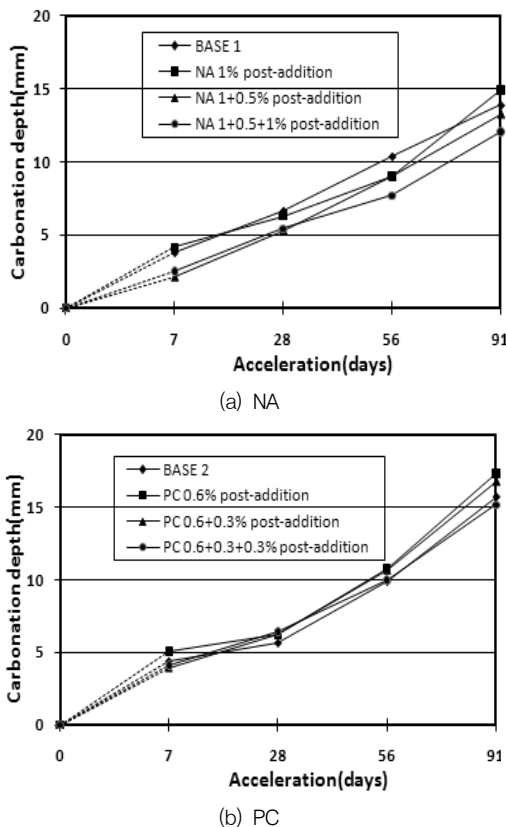


Fig. 5 Measured accelerated carbonation depth

히, 혼화제의 추가 후 시간간격을 2시간 이상으로 하는 연구도 수행하고자 한다.

감사의 글

본 논문은 2008년도 충청대학 교내연구비 지원에 의하여 이루어 졌음.

참고문헌

1. 박승범, 토목재료실험, 문운당, 1996. pp. 97-99, pp. 105-110.
2. 이분환, 동슬래그 골재를 함유한 콘크리트의 내구성 평가 연구, (사)한국콘크리트학회, 2008. 12, pp. 773-784.

3. 한국콘크리트학회 편, 최신 콘크리트공학, (사)한국콘크리트학회, 2005.
4. 한국콘크리트학회 편, 콘크리트 혼화재료, (사)한국콘크리트학회, 1997. pp. 49-75.
5. 한국콘크리트학회 편, 특수콘크리트공학, (사)한국콘크리트학회, 2004, 12, pp. 535-546.
6. Neville, Adam M, Properties of Concrete, 1996. pp. 359-371.
7. Sidney Mindess, J.Francis Young, David Darwin, Concrete, 2003. pp. 165-192.

(접수일자 : 2010년 3월 4일)

(1차수정일자 : 2010년 4월 14일)

(심사완료일자 : 2010년 5월 14일)

요 지

각종 건설현장에서 구조재료로 사용되고 있는 콘크리트는 레미콘 공장에서 배합되어 레미콘 트럭에 의해 현장까지 운송 타설되는 형태로 공급되고 있다. 그러나 콘크리트가 현장까지 운송되는 동안 교통 체증, 기후 및 기타 여러 영향으로 인해 적절한 슬럼프의 유지가 곤란한 경우를 겪게 된다. 이럴 경우 콘크리트의 적절한 슬럼프 유지를 위해 혼화제를 첨가하게 된다. 그러나 실제 현장에 배달되는 레미콘의 경우는 트럭기사들이 레미콘을 쏟아 낼 때 슬럼프치가 부족하면 혼화제 대신 물을 추가로 넣어 비빈 후 타설을 하여 강도저하의 치명적 원인을 제공하는 경우가 발생되기도 한다. 이는 설계시 결정되어 모든 구조물 설계에 사용된 설계강도에 크게 미달하는 콘크리트 사용하게 됨으로써 추후 심각한 문제를 야기할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 레미콘에 추가로 물을 첨가하는 문제를 해결하고자, 콘크리트에 현장에서 많이 사용되고 있는 혼화제를 정해진 시간간격으로 추가하는 것이 굳은 혹은 굳지 않은 콘크리트의 역학적 특성에 미치는 영향을 검토하여 콘크리트의 슬럼프 유지를 위한 적절한 혼화제 사용에 대한 근거자료를 제시하고자 한다.

핵심 용어 : 혼화제, 반복된 추가, 역학적 특성, 콘크리트