

조기강도 개선제를 활용한 고성능 수축저감제의 성능 개선

박종필^{1*}, 정용욱²

¹동남기업(주) 중앙연구소, ²계명대학교 첨단건설재료실험센터

Performance Improvement of High Performance Shrinkage Reducing Agent using Early Strength Improving Agent

Jong-Pil Park^{1*}, Yong-Wook Jung²

¹Dept. of Dongnam Research & Development,

²Advanced Construction Materials Testing Center, Keimyung University

요약 콘크리트의 내구성 저하로 인한 균열의 보수 및 보강에 소요되는 비용은 콘크리트 구조물의 유지비용 증대로 연결되어 균열발생 저감에 대한 연구가 요구되고 있다. 특히, 전력공급용 시설인 전력구의 경우 지하 매설물이므로 보수 및 보강은 경제적으로 큰 부담이 된다. 그러므로 지하매설 전력구의 경우 효과적인 균열 저감 방안이 설계 초기단계부터 요구되어진다. 본 연구는 전력구용 저수축 콘크리트 제조를 위한 수축저감제 개발의 일환으로 수축저감제 사용 콘크리트의 초기 강도 개선을 위해 TEA를 검토하였다. 검토결과, TEA를 수축저감제의 3% 사용할 경우 초기 강도가 크게 개선되었으며, 수축저감 효과도 우수한 것으로 확인되었다. 또한, TEA 3%에 수축저감제 2.0% 혼합하여 적용하였을 경우 압축강도 특성 및 건조수축 길이변화 실험결과에서 가장 우수한 것으로 나타나 수축저감제로서의 가능성을 확인하였다. 추후 수축저감제의 범용적인 적용성 검토를 위하여 수축저감제의 사용재료 변화 등에 대한 다양한 재료변수 요인 검토를 통하여 수축저감제의 성능 검토가 필요할 것으로 사료된다.

Abstract Studies aimed at reducing the occurrence of cracks by the shrinkage of concrete are in demand because the repair and reinforcement for cracks caused by declining concrete durability costs the user to maintain the concrete structure. In particular, in underground power facilities for power transmission, the cost is a heavy burden to repair and reinforce. For this reason, underground power facilities demanded effective methods for crack reduction at the engineering design step. This study, as a part of the development of shrinkage reducing agent for low shrinkage concrete on underground power facilities, investigated TEA to complement the shrinkage reducing agent to improve the early strength of concrete. In the case of TEA 3% as a shrinkage reducing agent, the early strength was improved significantly, and the shrinkage reducing effect was excellent. In addition, TEA 3.0% and the shrinkage reducing agent 2.0% showed excellent shrinkage property and compressive strength. On the other hand, more study of shrinkage reducing materials, including performance reviews on the shrinkage reducing materials with variable factors and type of materials, will be needed to generalize these results.

Keywords : Crack, Durability, Drying shrinkage, Shrinkage reducing agent, Shrinkage reducing materials

1. 서론

한국전력공사에서는 발전소에서 만든 전기를 산업시

설이나 개인 가정 등 전력 공급을 목적으로 송전탑을 축
조하여 활용해 왔으나 토지 이용의 효율성 떨어지고 고
압 전류 송전에 따른 위험 등의 문제로 지중화한 전력구

본 논문은 전력산업융합원천기술개발(과제번호 : 20131010501790) 연구비 지원에 의해 수행되었음

*Corresponding Author : Jong-Pil Park(Dongnam Research & Development)

Tel: +82-31-683-4210 email: pjp0523@dongnamad.co.kr

Received January 13, 2016

Revised (1st March 24, 2016, 2nd April 5, 2016, 3rd April 6, 2016)

Accepted April 7, 2016

Published April 30, 2016

의 활용이 높아지고 있는 추세이다.

전력구는 콘크리트가 주요 재료인 공동구 형태의 지하 터널 구조물로 송전탑 축조에 의한 위험 방지 및 토지 이용의 효율성을 증대하는 차원에서 효과적으로 작용하지만 전력구 내부의 고압 전력케이블을 사용함에 따라 내부 온도가 상승하고 콘크리트를 급격하게 건조시켜 균열을 유발하는 문제점을 가지고 있으며, 지하에 매설된 전력구 구조물은 구조상 한정된 보수·보강 공법이 적용됨에 따라 고가의 인력 소모 및 비용이 발생하게 되어 재료적 측면에서 콘크리트 자체의 건조수축을 저감시킬 수 있는 대안이 필요한 실정이다[1, 2, 3].

콘크리트의 건조수축을 저감시키기 위한 대표적인 방법으로는 팽창제와 수축저감제를 활용하는 방법 등이 있는데 이중 팽창제를 활용한 건조수축 저감방법은 콘크리트의 수축량을 미리 예측하여 초기에 콘크리트를 팽창시켜 수축량을 보상하는 방식으로 적절한 콘크리트의 팽창은 건조수축을 저감시키는데 효과적이거나, 초기 팽창량을 제어하기가 어려울 뿐만 아니라 팽창량 과다로 인한 팽창성 균열을 유발하는 단점을 가지고 있다. 수축저감제를 활용한 건조수축저감 방법은 건조수축저감에 효과적인 장점을 가지고 있으나 국내에 적용되는 대부분의 제품들은 국외에서 수입한 것으로 고가의 비용이 발생하고, 콘크리트의 강도가 떨어지는 문제점을 가지고 있다 [4, 5, 6].

이에 본 선행연구를 통하여 콘크리트의 건조수축저감에 효과적인 수축저감제 국산화 개발을 목적으로 모세관 장력이론을 바탕으로 수축저감물질을 선정하여 건조수축저감에 매우 효과적인 글리콜계 수축저감제를 개발하였으나, 글리콜 적용시 수축저감물질을 적용하지 않은 것과 압축강도를 비교하였을 경우 약 80 % 내외의 낮은 강도발현을 하였다. 이는 콘크리트 내부의 가수 분해 과정에서 Ca^{2+} 이온과 반응하여 초기 콘크리트의 Ca^{2+} 농도에 영향을 주어 강도가 저하되는 것을 확인 할 수 있었다.

따라서 본 연구에서는 개발된 수축저감제의 성능 개선을 목적으로 조강물질을 활용한 콘크리트의 제반 특성 분석을 통하여 성능 개선형 고성능 수축저감제를 개발하고, 개발된 고성능 수축저감제의 최적 사용량을 토출함에 따라 전력구 구조물 적용을 위한 기초 자료로 활용하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험 계획

본 실험계획으로 우수한 수축저감 효과를 나타낸 글리콜계의 수축저감 물질에 조기 강도를 개선을 목적으로 콘크리트의 응결 촉진 및 조강제로 주로 사용되고 있는 $NaNO_3(NN)$, Tri-ethanol amine(TEA), Calcium Formate(CF) 3종류를 수축저감 물질에 대해 질량비로 1, 3, 및 5 (%) 각각 적용하여 총 10배치를 Table 1과 같이 실험 계획하였고, Table 3은 배합사항으로 굳지 않은 콘크리트에서 슬럼프 및 공기량을, 경화 콘크리트에서 재령별 압축강도를 측정하는 것으로 하였다.

Table 2는 개발된 고성능 수축저감제의 성능 확인 및 최적 사용량을 도출하기 위한 실험 계획으로 수축저감제를 사용하지 않는 수준을 Plain 으로 설정하고 결합제에 대한 질량비로 0.5, 1.0, 2.0 및 4.0 (%)으로 총 5배치를 실험 계획하였다. 실험사항으로 굳지 않은 콘크리트에서 슬럼프 및 공기량을 측정하는 것으로 하였고, 경화 콘크리트에서는 재령별 압축강도 및 건조수축 길이변화량을 측정하는 것으로 하였다. 콘크리트 배합사항은 Table 4와 같다.

Table 1. Experimental design of concrete for improving early strength

Experimental factors		Experimental level	
W/B(%)	1	· 49.4	
S/a(%)	1	· 48.0	
Unit quantity of water (kg/m ³)	1	· 168	
Replacement Ratio of admixture(%/B)	1	· FA(10)	
Slump (mm)	1	· 180±25	
Air content(%)	1	· 4.5±1.5	
Shrink reducing materials	Type	1	· Glycol
	Amount (%/B)	1	· 2.0
Early strength materials	Type	3	· $NaNO_3(NN)$ · Tri-ethanol amine(TEA) · Calcium Formate(CF)
	Amount (%/SR)	4	· 0(Plain) · 1 · 3 · 5
Fresh concrete	2	· Slump · Air	
Hardened concrete	1	· Compressive strength	

Table 2. Experimental design of concrete corresponding to contents shrinkage reducing agent

Experimental factors		Experimental level	
W/B (%)	1	· 49.4	
S/a (%)	1	· 48.0	
Unit quantity of water (kg/m ³)	1	· 168	
Replacement Ratio of admixture (%/B)	1	· FA(10)	
Slump (mm)	1	· 180±25	
Air content (%)	1	· 4.5±1.5	
Shrink reducing materials	Type	1 · Glycol	
	Amount (%/B)	5 · 0(Plain) · 0.5 · 1.0 · 2.0 · 4.0	
Fresh concrete	2	· Slump · Air	
Hardened concrete	2	· Compressive strength · Drying shrinkage length change	

Table 3. Mix design of concrete for improving early strength

W/B (%)	S/a (%)	Unit weight (kg/m ³)							AD (%/B)
		W	B	C	FA	SR ¹⁾	S	G ₂₅	
49.4	48.0	168	340	306	34	6.8	874	909	0.7

1) SR : shrink reducing materials(use replacement unit quantity of water)

Table 4. Mix Design of concrete corresponding to contents shrinkage reducing agent

item	W/B (%)	S/a (%)	Unit weight (kg/m ³)							AD (%/B)
			W	B	C	FA	SR	S	G ₂₅	
Plain										
DN 0.5							-			
DN 1.0	49.4	48.0	168	340	306	34	1.7			0.7
DN 2.0							3.4	874	909	
DN 4.0							6.8			
							13.6			

Table 5. Properties of material

Material	Properties
Ordinary portland cement	Density : 3.15 Blaine : 3,265 cm ² /g, Ignition : 2.15
Fly ash	Density : 2.20 Blaine : 3,850 cm ² /g, Ignition : 2.50
Fin aggregate	River sand : 5.0 mm F.M ²⁾ : 2.62 SG ³⁾ : 2.65
Coarse aggregate	River sand : 25.0 mm F.M : 6.55 SG : 2.63
Admixture	Polycarboxylic acid based pH : 4.5~5.0, SG : 1.04
Shrinkage reducing agent	Glycol acid based pH : 4.5~5.0, SG : 0.98
NaNO ₃	pH : 7.48, SG : 1.29
Tri-ethanol amine	pH : 5.23, SG : 1.47
Calcium Formate	pH : 7.2, SG : 1.91

²⁾ F.M : fineness modulus, ³⁾ SG : specific gravity

2.2 사용재료

Table 5는 본 연구에 사용된 각 재료의 물리·화학적 특성을 나타내었다. 시멘트는 국내 A사의 1종 포틀랜드 시멘트를 사용하였고, 플라이애시 보령산으로 국내 D사의 분급 정제된 재료를 사용하였다. 잔골재는 표준밀도 2.62, 흡수율 1.42 %인 세척사를 사용하였고 굵은 골재는 25 mm 골재를 사용하였다. 사용된 화학 혼화제는 국내산으로 폴리카르본산계 고성능 감수제를 사용하였다.

본 실험에 사용된 수축저감물질은 표면장력 감소에 우수한 특성이 있는 글리콜계를 사용하였다.

조기강도 개선제는 유기염계와 무기염계 두가지로 구분할 수 있다. 아민류의 경우 석고와의 반응을 통해서 Ettringite를 형성하고 생성된 수화물중 Ettringite가 mono sulfate로의 반응 진행을 촉진시켜 수화촉진 작용을 한다. 무기염계 중 칼슘 포메이트계열은 C₃S의 수축반응을 촉진시켜 시멘트 겔(C-S-H Gel)등의 수화생성물의 석출을 매우 활발하게 촉진시켜 조기 강도를 발현시키게 된다[7].

따라서 조기강도 개선에 가장 대표적인 물질인 NaNO₃(NN), Tri-ethanol amine(TEA), Calcium Formate(CF) 액상을 동일한 고형분으로 고정하여 실험에 각각 적용하였다.

2.3 실험방법

콘크리트의 실험방법으로 슬럼프 시험은 KS F 2402, 공기량은 KS F 2421의 공기실 압력법에 의한 공기량 함유량 시험 방법에 의거하여 실시하였다. 압축강도 시험체 제작은 KS F 2403에 의거하여 Ø 100×200 mm의 원주형 공시체를 이용하여 제작하였고, 소정기간 양생이 끝난 후 KS F 2405의 규정에 준하여 최대 300 MPa UTM을 사용하여 각각 재령 3일, 7일, 28일 압축강도를 측정하였다.

콘크리트 건조수축 길이변화량 시험은 KS F 2424에 준하여 100×100×400 mm의 각주형 몰드 중앙에 매립형 스트레인 게이지를 설치하여 콘크리트를 타설하였다. 제작된 공시체는 온도 20±1 °C의 실내에서 1일간 양생한 후 탈형하였다. 탈형한 공시체는 온도 20±3 °C, 상대습도 60±5 % 조건의 항온 항습기에 재령 56일까지 양생시켜 데이터 로거를 사용하여 길이변화량을 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 조기강도 개선을 통한 고성능 수축저감제의 개발

조강물질 종류 및 사용량 변화에 따른 콘크리트 유동성 및 공기량 시험을 진행한 결과는 Fig. 1, 2와 같다.

슬럼프 실험 결과 Plain 뿐만아니라 CF 5 %를 제외한 대부분의 수준에서 목표 슬럼프 180 ± 25 mm 범위를 만족하였고 조강물질에 의한 영향으로 인해 사용량이 증가할수록 유동성이 감소하는 경향을 나타내고 있는 것을 알 수 있다.

TEA의 경우 전 사용량 모두 Plain과 유사한 결과를 나타내어 수축저감 물질의 유동성에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났으며, 가장 널리 사용되는 조강물질인 NN은 모두 목표 범위를 만족시켰으나 TEA의 성능에는 못 미치는 것으로 확인되었다. 공기량 측정 결과 유동성 결과와는 반대로 조강물질의 사용량이 증가할수록 공기량이 소폭 증가하는 경향을 나타내었으나 그 차이는 크지 않는 것으로 확인되었다.

유동성 및 공기량 결과를 종합하면 CF는 굳지 않은 콘크리트의 슬럼프와 공기량 모두에 영향을 미치는 것으로 확인되었으며, NN은 공기량에는 영향을 미치지 않으나 유동성이 저하하는 경향을 보였다. 반면, TEA은 그 영향이 미비하여 가장 우수한 성능을 나타내었다.

Fig. 3은 조강물질의 종류 및 사용량에 따른 콘크리트의 압축강도 측정결과를 나타낸 것으로 조강물질을 사용하지 않는 Plain의 재령 1, 3, 7 및 28일 압축강도는 각각 3.4, 10.4, 19.2 및 34.7 MPa로 측정되었고, 조강물질을 사용한 경우 모든 수준에서 강도가 증가하는 것으로 나타났다.

조강물질 사용량별 압축강도는 조강물질 사용량 1 %의 경우 초기 1일 재령에서 Plain 대비 NN은 0.2 MPa, TEA은 0.8 MPa, CF는 0.3 MPa의 강도증진이 발생하였으며, 28일에는 각각 0.5, 2.5 및 1.2 MPa의 강도 증가를 나타내었다. TEA 사용시 Plain에 비해 약 120 % 이상의 높은 강도증진 효과를 나타내었는데 이는 TEA 사용량에 따른 수화축진에 기인한 것으로 강도개선에 우수한 효과를 보인 것으로 판단된다.

사용량 3 %에서도 TEA은 1일에 2.0 MPa, 3일에 3.9 MPa, 7일에 6.7 MPa, 28일에 4.7 MPa의 강도 증가를 확인할 수 있었다. 반면, NN와 CF에서도 약간의 강도

증진효과는 있었으나 TEA에 비하여 효과가 떨어지는 것으로 나타났다.

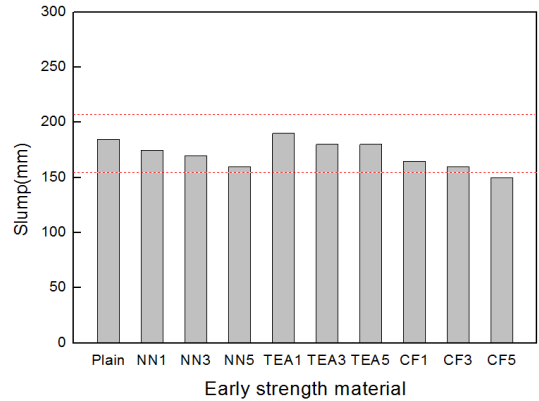


Fig. 1. Slump test result of concrete for improving early strength

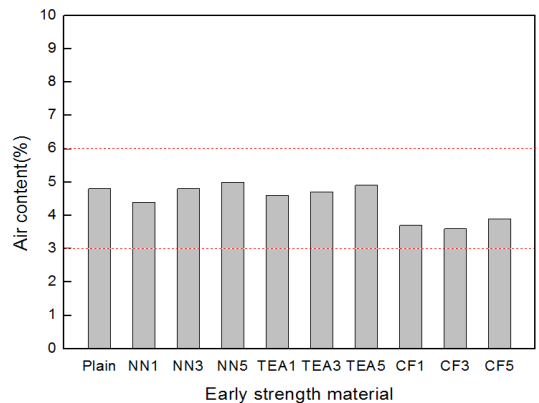


Fig. 2. Air content test result of concrete for improving early strength

조강물질 사용량 5 %에서는 사용량 3 %에 비하여 강도증진 효과가 크지 않는 것으로 나타나 조강물질 5 %의 사용은 슬럼프 및 공기량 변동의 우려와 경제적 비용 상승에 비해 그 효과는 크지 않는 것으로 판단되어, 고성능 수축저감제의 강도개선을 위한 물질은 TEA 3 %의 추가 수준에서 최종 결정하여 고성능 수축저감제를 개발하였다.

3.2 고성능 수축저감제의 사용량에 따른 콘크리트 특성

개발된 고성능 수축저감제의 성능 검증과 최적 사용

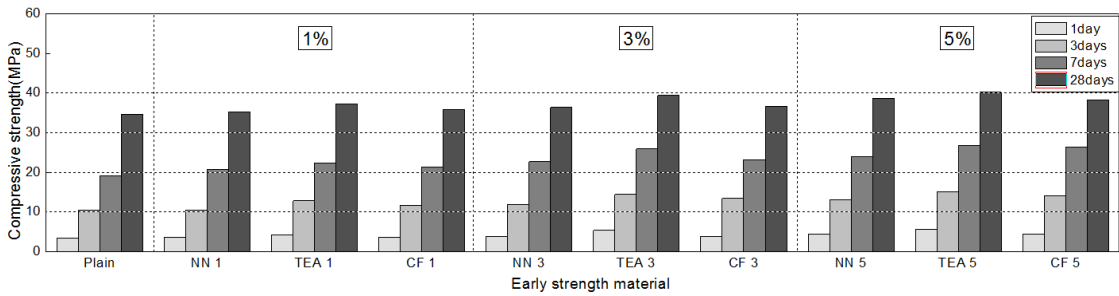


Fig. 3. Compressive strength of concrete(early strength material of 1~5 %)

량 결정을 위하여 개발 수축저감제의 사용량을 변화시켜 콘크리트의 슬럼프 및 공기량 특성을 검토 실험결과를 Fig. 4, 5와 같다.

고성능 수축저감제 사용량에 따른 슬럼프 실험 결과 1.0 %까지 Plain과 유사한 결과를 나타내었으나, 2.0 및 4.0 %에서는 유동성이 소폭 저하되는 결과를 나타내었다. 이는 액상의 수축저감제를 사용량에 따라 단위수량에 치환 사용되는 배합수의 양이 감소하여 유동성이 저하한 것으로 판단되며 고성능 수축저감제 2.0 % 이상 사용시에는 단위수량 보정이나 감수제의 추가 사용이 필요할 것으로 판단된다.

Plain의 경우 0.5 % 로 공기량을 만족하였고, 수축저감제의 사용량 변화에 따라 공기량이 소폭 감소하지만 모든 사용량에서 목표 공기량 4.5±1.5 % 범위를 만족하였다. 수축저감 물질이 콘크리트에 미치는 영향 검토에서 확인된 바와 같이 고성능 수축저감제의 사용으로 인해 공기량이 소폭 감소하는 경향을 보이는데 이는 콘크리트의 점성저하에 의한 경향으로 사료되며, 그 영향은 사용량의 변화와는 큰 관계가 없는 것으로 판단된다.

Fig. 6은 개발 수축저감제의 사용량 변화에 따른 압축강도 실험 결과를 나타낸 것으로 선형실험에서 클리블계의 수축저감 물질 단독 사용시 압축강도는 사용량 2.0 %를 기준으로 Plain 대비 약 80 % 내외의 낮은 강도 발현을 나타내었다. 하지만 강도증진 물질인 TEA를 결합한 고성능 수축저감제의 경우 초기 재령에서도 90 % 이상의 양호한 강도발현을 나타내었으며, 장기재령에서는 Plain과 유사한 강도발현을 나타내었다. 이는 앞서 얘기한 C₃A 또는 석고와 반응하여 빠르게 수화를 촉진함으로써 강도증가에 기여한 것으로 판단된다.

고성능 수축저감제의 사용량 변화에 따른 영향은 사용량이 증가할수록 소폭의 강도 저하가 발생하였고, 초

기 3일 재령에서는 사용량 0.5, 1.0, 2.0 및 4.0 %에서 각각 97, 95, 90 및 87 %의 강도 발현율을 나타내었다. 초기 재령 이후 강도의 편차는 감소하기 시작하여 재령 28 일에서는 각각 98, 98, 99 및 93 %의 강도 발현율을 나타내어 2.0 %까지는 강도 저하가 거의 없는 것으로 확인되었다. 반면, 사용량 4.0 %의 경우에서는 약간의 강도 저하 현상을 나타내었으나, 초기재령에서 87 %의 강도 발현율을 나타내었고, 장기재령에서는 90 % 이상의 강도를 확보할 수 있는 것으로 확인되었다. 그러나 강도가 중요시 되는 현장에서는 4.0 % 이상 사용시 충분한 검토가 필요할 것으로 판단되며, 2.0 %이하의 사용량에서는 강도에 대한 고려 없이 사용할 수 있을 것으로 판단된다.

Fig. 7은 개발 수축저감제의 사용량 변화에 따른 건조수축 길이변화 실험 결과를 나타낸 것으로 Plain은 선형 실험과 유사한 경향을 나타내었으며, 재령 40일 전후에 수렴되는 경향을 나타내어, 재령 56일에 약 605×10⁻⁶의 건조수축량을 나타내었다.

반면, 고성능 수축저감제 사용시 초기재령에서 Plain에 비해 수축량이 감소하는 것으로 나타났고, 고성능 수축저감제의 사용량이 증가할수록 콘크리트의 수축량은 감소하여, 0.5 % 사용시에도 재령 56일 콘크리트의 건조수축량은 605×10⁻⁶로 약 20 % 정도 감소시키는 것으로 나타났다. 고성능 수축저감제 2.0 % 사용은 Plain에 비해 40 % 내외의 수축저감 효과를 확인할 수 있었고, 사용량이 많을수록 수축저감 효과는 증가하였으나, 압축강도 및 기초물성의 저하가 발생할 가능성이 있으므로 2.0 %를 넘지 않는 수준에서 사용해야 할 것으로 판단된다.

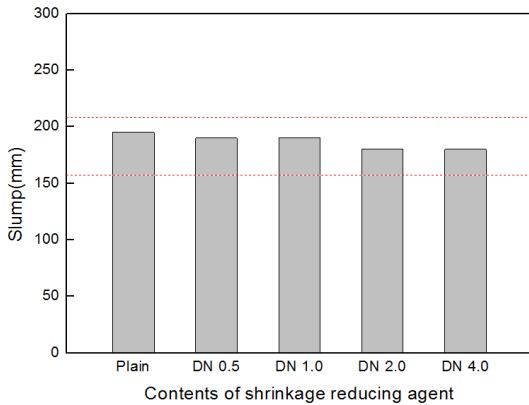


Fig. 4. Slump of concrete corresponding to contents shrinkage reducing agent

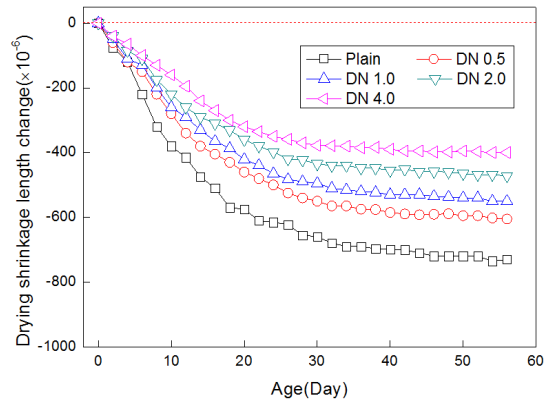


Fig. 7. Drying shrinkage length change of concrete corresponding to contents shrinkage reducing agent

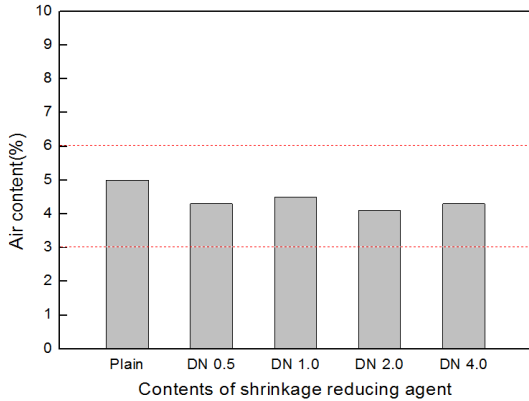


Fig. 5. Air content of concrete corresponding to contents shrinkage reducing agent

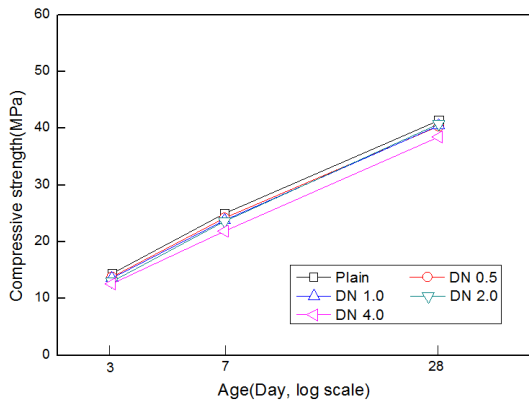


Fig. 6. Compressive strength of concrete corresponding to contents shrinkage reducing agent

5. 결론

본 연구에서는 글리콜계 수축저감제의 성능 개선을 목적으로 조강물질을 활용한 콘크리트의 제반 특성 분석을 통하여 성능 개선형 고성능 수축저감제를 개발하고, 개발된 고성능 수축저감제의 최적 사용량을 토출함에 따른 콘크리트 특성 평가 및 성능을 검토한 것으로 결론을 요약하면 다음과 같다.

- 1) 고성능 수축저감제의 강도개선 방안인 Tri-ethanol amine 3 %의 경우 Plain 대비 초기재령 1일 158 %, 7일에는 135 %, 28일에는 113 %의 강도향상을 확인할 수 있었다.
- 2) 고성능 수축저감제의 사용량이 증가할수록 콘크리트의 수축량은 감소하는 것으로 나타났으며, 고성능 수축저감제 2.0 % 사용시에는 Plain 대비 약 40 % 내외의 우수한 수축저감제 효과를 확인할 수 있었다. 2.0 %의 경우에서 가장 큰 폭으로 수축저감 효율이 증가하였으며 4.0 %에서는 효율성이 2.0 %보다는 증가폭이 낮아 수축저감제 2.0 %의 사용이 콘크리트의 건조수축 저감에 가장 효과적인 것으로 판단된다.

수축저감제의 범용적으로 적용하기 위해서는 강도개선 효과가 있는 Tri-ethanol amine 3 %에 글리콜계 수축저감제 2.0 %를 콘크리트에 적용시 압축강도 및 수축에

우수하여 콘크리트의 내구성을 크게 개선시켜 콘크리트 용 수축저감제로 사용이 가능할 것으로 판단된다.

References

- [1] W. Hansen, Drying shrinkage mechanisms in portland cement paste, *Journal of the American Ceramic Society*, 70(5), pp. 323-328, 1987.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1151-2916.1987.tb05002.x>
- [2] M. Y. Han, Shrinkage mechanisms and role of water, *Journal of Korea Concrete institute*, 3(2), pp. 46-52, 1991.
- [3] Z. P. Bazant, S. Baweja, Creep and shrinkage prediction model for analysis and design of concrete structures; Model B3, *Materials and structures*, 29(2), pp. 126, 1996.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/BF02486204>
- [4] S. H. Lee, "Properties of Reducing Drying Shrinkage by Using Shrinkage Reducing Agent", *Journal of Korean society of civil engineers*, 16(1-4), pp. 435-443, 1996.
- [5] N. C. Han, Estimation of the Auto genous Shrinkage of the High Performance Concrete Containing Expansive Additive and Shrinkage Reducing Agent, *Journal of Korea institute of building construction*, 7(3), pp. 123-130, 2007.
- [6] I. S. Hwang, N. C Han, C. G Han, Properties of Drying Shrinkage of Concrete with Unit Water and Contents of Shrinkage Reducing Admixtures, *Journal of Architectural institute of korea*, 20(6), pp. 75-82, 2004.
- [7] T. B. Min, I. S. Cho, H. S. Lee, Experimental Study on the Early Strength Development Mechanism of Cement Paste Using Hardening Accelerator and High-Early-Strength Cement, *Journal of Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, 18(1), pp. 84-92, 2014.
DOI: <http://dx.doi.org/10.11112/jksmi.2014.18.1.084>

정 용 옥(Yong-Wook Jung)

[정회원]



- 1999년 2월 : 계명대학교 토목공학과 (공학석사)
- 2004년 8월 : 계명대학교 토목공학과 (공학박사)
- 2004년 12월 ~ 2011년 8월 : 계명대학교 첨단건설재료실험센터 책임연구원
- 2011년 9월 ~ 현재 : 계명대학교 첨단건설재료실험센터 조교수

<관심분야>

콘크리트 구조, 건설재료

박 종 필(Jong-Pil Park)

[정회원]



- 2013년 2월 : 국립한밭대학교 건축공학과 졸업 (석사)
- 2012년 12월 ~ 현재 : 동남기업(주) 중앙연구소 주임연구원

<관심분야>

건설재료, 건설시공