

콘크리트용 고성능 수축저감제 개발에 대한 기초적 특성

박종필^{1*}, 정용욱²

¹동남기업(주) 중앙연구소, ²계명대학교 첨단건설재료실험센터

Fundamental Properties on the Development of High Performance Shrinkage Reducing Agent for Concrete

Jong-Pil Park^{1*}, Yong-Wook Jung²

¹Dept. of Dongnam Research & Development,

²Advanced Construction Materials Testing Center, Keimyung University

요약 최근 콘크리트 구조물의 내구성 저하에 따른 성능저하로 유지·보수나 보강등에 상당한 비용이 증가함에 따라 콘크리트의 고유 특성인 균열 저감에 대한 연구가 필요한 실정이다. 특히 장기간 운영에 따른 지하 전력구의 노후화로 유지·보수에 어려움이 상존함에 따라 전력구 설계단계에서 균열을 획기적으로 저감할 수 있는 저수축 콘크리트용 수축저감제 기술 개발이 필요하다. 본 연구는 콘크리트 구조물의 내구성 저하에 따른 균열을 방지하고자 균열을 획기적으로 저감할 수 있는 저수축 콘크리트를 개발하기 위한 것으로 수축저감 물질을 선정하고 모르타르 및 콘크리트 특성을 검토한 결과 클리콜계의 경우 압축강도 특성 및 건조수축 길이변화 실험결과에서 우수한 것으로 나타나 수축저감제로서의 가능성을 확인하였다. 추후 수축저감제의 범용적인 적용성 검토를 위하여 수축저감제의 사용량 및 사용재료 변화 등에 대한 다양한 재료변수 요인 검토를 통하여 수축저감제의 성능 검토가 필요할 것으로 사료된다.

Abstract The expenses of maintenance and reinforcement for aged concrete structures are significantly on the increase as their durability and general performance has been naturally degraded. Due to this reason, interests on concrete crack reduction technology are growing but more researches are required to fulfill such fast growing demands. Particularly in the underground power facilities, it is difficult to maintain the quality of aging concrete spheres for underground power as their deterioration caused by long-term operation is on-going. In recent years, many studies have been made to overcome the issues and now it is determined that the shrinkage reducing technology which can dramatically reduce the crack at the design stage is one of the most effective solutions. In this study, the test investigated fundamental properties of concrete using various shrinkage reducing materials to develop low shrinkage mortar. According to results of experimental study, for mortar and concrete, glycol based material showed excellent shrinkage property and compressive strength. For the later study to generic application of the shrinkage reducing materials, performance reviews on the shrinkage reducing materials with variable factors and various materials such as changes in the amount and type of materials should be followed.

Key Words : Crack, Durability, Drying shrinkage, Shrinkage reducing agent, Shrinkage reducing materials

1. 서론

콘크리트 구조물의 건설이 점점 증가하고 있으며 이에 따른 장기간 지속적으로 그 내구성을 확보하기 위해

서 유지 관리비용 및 인력저감을 위한 저수축 균열 저감 콘크리트 기술 개발이 필요한 상황이다.

최근에는 수축을 저감시키기 위하여 팽창제와 수축저감제를 사용하고 있지만 팽창제는 팽창량 제어가 어려워

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 April 29, 2015

Revised June 10, 2015

Accepted June 11, 2015

Published June 30, 2015

과다 팽창에 의한 균열과 들뜸현상 등을 야기시켜 크게 활용되지 못하고 있는 실정이다. 또한, 국내에서 연구되고 있는 수축저감제는 그 성능이 미비하고 콘크리트의 강도 및 내구성능등에 악영향을 미치는 것으로 보고되는 경우도 있다[1, 2, 3]. 현재 대부분이 국외에서 생산되는 고가의 수축저감제를 사용하는 사례가 대부분이며, 이로 인한 경제적 손실이 높아 고성능 수축저감제의 국산화 기술개발이 시급한 상황이다. 따라서 제품의 국산화 및 다양한 환경의 구조물에 적용될 수 있는 고성능 수축저감제 개발이 필요한 실정이다.

본 연구에서는 수입제품에 의존하고 있는 수축저감제 국산화 기술개발을 위해 문헌 및 사례조사를 통하여 수축저감 가능물질을 선정하고, 수축저감물질등에 대한 실험 및 분석을 통해 모르타르, 콘크리트의 물성과 역학적 특성에 가장 우수한 물질을 선정하고자 한다.

2. 이론적 배경

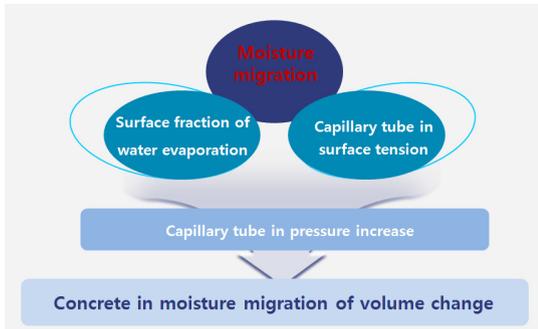


Fig. 1. Drying shrinkage mechanisms of concrete

건조수축이란 외부와 시멘트 페이스트의 수분 이동이 있는 경우 콘크리트 건조에 의한 흡착수의 손실에 따른 체적 변화이다. 시멘트 경화체의 수축에 영향을 미치는 메커니즘은 표면자유에너지, 모세관 장력, 수분의 이동 및 분리압으로 크게 4종류를 들 수 있다. 이들 이론 중 건조수축에서 가장 많은 지지를 받고 있는 이론은 모세관 장력이론과 수분의 이동이론이다 [4]. 콘크리트가 건조 조건에 놓이면 표면부에 수분이동이 일어나며 표면부가 건조함에 따라 표면장력에 의한 내부수분이 표면부로 이동하게 된다. 이러한 과정에서 콘크리트 모세관내 압력이 발생하여 수분의 이동이 가속화되면서 내부수분이 차지하고 있는 체적이 감소되어 콘크리트의 체적 감소를

발생하게 된다[5,6,7]. 콘크리트 체적감소는 콘크리트내의 인장응력을 유발시키는데 이러한 인장응력이 초과할 경우 건조수축 균열이 발생하게 된다 [Fig. 1]. 본 연구에서는 모세관 장력 이론의 메커니즘에 착안하여 수축저감제의 국산화 개발을 위한 실험계획을 수립하였다.

3. 실험계획 및 방법

콘크리트 건조수축 저감에 대한 연구는 지금까지 많은 연구가 진행되었으며 계면활성제인 수축저감제를 이용하여 물의 표면 장력을 저하시키면, 그 효과에 의해 모르타르의 건조수축을 저감할 수 있는 모세관 장력이론을 실험적으로 증명이 되었다.

물의 물성을 변화시키는 것으로 현재 시판되는 수축저감제는 기본적으로 알코올알킬렌옥시드 중합물에 알코올, 페놀, 아미노 결합물을 부가시킨 것들이 주를 이루고 있다. 이들은 모두 강알칼리 용액중에서는 그 용액의 표면장력을 대폭적으로 저하시킬뿐 시멘트의 수화를 방해하지 않기 때문에 경화체의 물성을 크게 변화시키지 않는다[8].

따라서 본 연구에서 사용한 수축저감물질로 알코올계는 앞에 제시한 선행 논문을 토대로 사용하였으며 글리콜계의 경우 알콜계와 비슷한 분자구조식을 갖고 있어 동일한 특징을 가지고 있는 물질로 사용이 적합하여 수축저감물질로 적용하였다.

지방산의 경우 지방산의 비누화 반응에 기인하는 모세관 공극 충전효과를 이용하면 기존의 수축저감제나 팽창재를 이용한 자기수축 제어방안보다 우수한 효과를 검증한 논문[9]이 발표되어있어 건조수축에서의 수축성능을 확인하기 위해 실험에 적용하였다. 따라서 약 7종류의 수축저감 물질을 선택하여 모르타르 및 콘크리트 적용 실험결과를 바탕으로 최적의 수축저감 물질을 선정하고자한다.

3.1 실험 개요

본 연구에서는 수축저감제의 국산화 개발을 위하여 모세관장력이론을 바탕으로 문헌조사와 이론적 고찰을 통해 콘크리트 내부의 표면장력을 저감시킬 수 있는 수축저감물질을 선별하여 모르타르 및 콘크리트의 특성을 검토하였다.

3.2 사용재료

Table 1에 본 연구에 사용된 각 재료의 물리·화학적 특성을 나타내었다. 시멘트는 국내 A사의 1종 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 플라이애시는 보령산으로 국내 D사의 분말도 3,850 cm²/g의 분급 정제된 재료를 사용하였다. 모르타르 골재는 국제 표준물질등록센터(COMAR)에 등록된 SiO₂ 함량이 98 % 이상인 ISO 표준사를 사용하였으며, 콘크리트 배합의 잔골재는 표건밀도 2.56, 흡수율 1.42 %인 세척사를 사용하였고 굵은 골재는 조립을 6.55, 흡수율 0.58 %인 25 mm 골재를 사용하였다. 혼화제는 밀도 1.04인 폴리카르본산계 고성능감수제를 사용하였다.

Table 2는 본 실험에 사용된 수축저감물질의 물리적 성질을 나타낸 것으로 기존문헌조사를 바탕으로 알코올계와 표면장력 감소에 우수한 특성이 있는 글리콜계를 사용하였으며, 지방산의 경우 자기수축저감제로 우수한 성능이 있으므로 건조수축에 대한 영향 및 경향을 파악하기 위하여 모르타르 실험에 적용하였다.

Table 1. 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
ISO standard sand	SiO ₂ : 98%
Fin aggregate	River sand : 5.0 mm
	F.M ¹⁾ : 2.62 SG ²⁾ : 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

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

Table 2. Proportion of shrinkage reducing materials

Series	Composition	Shape	Color	Ignition	
A1	Alcohol A	Liquid	Colorlessness	0.78	
A2	Alcohol B			0.82	
A3	Alcohol C			0.79	
B1	Shrink reducer of Country			0.88	
C1	Glycol A		Cream	1.03	
C2	Glycol B			0.86	
D1	Animal fatty acid		Light brown		0.92
D2	Vegetable fatty acid				0.98

3.3 실험방법

3.3.1 수축저감 물질의 표면장력

건조수축은 콘크리트 모세관내의 표면장력에 의해 발

생되는 것으로 알려져 있으며, 수축저감제는 콘크리트 모세관 내의 표면장력을 낮추는 것이 목적이다. 본 연구에서는 수축저감 물질의 성능평가 항목으로 표면장력을 측정하기 위하여 수축저감 물질 샘플을 온도 20℃에 안정시켰으며, Fig. 2와 같은 액체 표면장력 측정기를 이용하였다.

수축저감물질의 표면장력 측정은 JIS-K 3362에 준하여 실험을 실시하였으며 양쪽 끝을 고정시킨 탄탄한 선의 중앙에 붙어있는 지지대에 백금 Ring을 매달고 지지대를 수평으로 유지하면서 수축저감 물질 샘플의 액면에 백금 Ring을 접촉시킨다. 접촉시키는 순간 탄선을 비틀어 끌어 올릴 때의 백금 Ring과 액면에 떨어질 때 생기는 장력을 읽는다.



Fig. 2. Surface tension measuring device for liquid

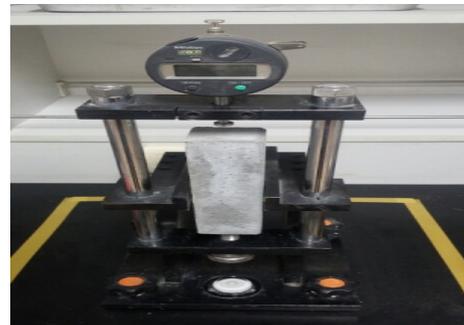


Fig. 3. Shrinkage length change tester for mortar

3.3.2 모르타르 시험

본 연구에서는 수축저감 물질을 사용한 모르타르의 특성 분석을 위하여 모르타르의 플로, 압축 및 휨강도와 건조수축 길이변화량을 측정하였다. 모르타르 플로 시험은 KS L 5111의 규정에 준하여 실시하였으며, 압축강도는 KS L 5105, 휨강도는 ASTM C 348의 규정에 준하

여 100kN UTM을 사용하여 측정하였다.

모르타르의 혼합은 7L 용량의 진동혼합기를 사용하였으며 건조수축 길이변화량 시험은 Fig. 3과 같이 KS F 2424에 준하여 40×40×160 mm의 각주형 몰드에 길이 변화 핀을 양쪽에 고정시킨 후 모르타르를 채워 공시체를 제작하였다. 제작된 공시체는 온도 20±2 °C의 실내에서 1일간 양생한 후 탈형하여 온도 20±2 °C, 습도 65±5 %의 항온항습기에서 양생하여 건조수축 길이변화량을 측정하였다.

3.3.3 콘크리트 시험

콘크리트의 혼합은 원샤프트 믹서를 사용하여 잔골재 및 굵은골재를 건비법 한 후 바인더를 투입하여 30초간 건비법을 실시하고, 물과 수축저감 물질, 혼화제를 넣고 90초간 다시 비법하여 혼합을 완료하였다.

콘크리트의 슬럼프 시험은 KS F 2402, 공기량 시험 KS F 2421 규정에 의거하여 측정하였다. 압축강도 시험체 제작은 KS F 2403에 의거하여 Ø 100×200 mm의 원주형 공시체를 이용하여 제작하였으며, KS F 2405에 준하여 각각 재령 3일, 7일, 28일에 측정을 하였다.

콘크리트 건조수축 길이변화량 시험은 모르타르와 동일하게 공시체 양쪽에 핀을 고정하여 실험을 진행하는 방식이 KS 규정이지만 양쪽 핀이 고정이 안될 확률이 높으며 콘크리트의 경우 자중이 커 다이얼 게이지 측정시 측정값의 오차가 크게 나타나 안정적으로 수축량을 확인하기 위하여 매립형 스트레인 게이지를 몰드 안에 고정시켰다. 공시체 안에 게이지가 매립되어 오차의 확률이 감소되어 일정한 데이터 확보가 가능하다.



Fig. 4. Shrinkage length change tester for concrete

따라서 Fig. 4와 같이 KS F 2424(매립형 스트레인 게이지를 이용)에 준하여 100×100×400 mm의 각주형 몰드의 중앙에 스트레인 게이지를 설치하여 콘크리트를 타설

하였다. 제작된 공시체는 온도 20±2 °C의 실내에서 1일간 양생한 후 탈형하여 온도 20±2 °C, 상대습도 65±5 % 조건의 항온항습기에서 재령 56일까지 데이터 로거를 사용하여 길이변화량을 측정하였다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 수축저감 물질에 따른 표면장력 특성

콘크리트의 수축에 가장 큰 영향을 미치는 것은 콘크리트 내 모세관 공극의 표면장력임에 착안하여 기존에 알려져 온 수축저감 물질 및 문헌고찰을 통해 샘플을 선정하였다. 모르타르와 콘크리트 특성에 미치는 영향 평가에 앞서 본 실험에 적용할 수축저감 물질 원액과 혼합수에 수축저감 물질을 5 % 혼합한 혼합액의 표면장력 등 각각의 물질 특성을 확인하였다.

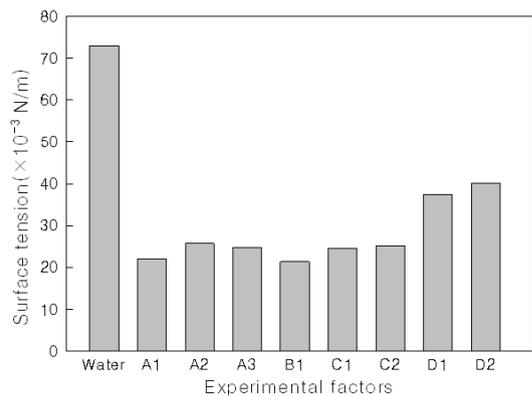


Fig. 5. Surface tension of corresponding shrinkage reducing materials

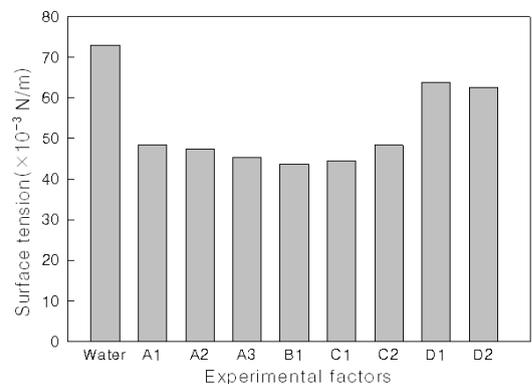


Fig. 6. Surface tension of mixing water in shrinkage reducing materials

기존 국내수축저감제와 수축저감이 가능한 7종류의 물질을 선정하여 표면장력을 측정하였으며, 각 물질별 표면장력 측정값을 Fig. 5, Fig. 6에 나타내었다.

Fig. 5는 수축저감 물질에 따른 표면장력을, Fig. 6은 수축저감 물질이 혼입된 배합수의 표면장력을 나타낸 것으로 각 물질에 따라 표면장력 차이를 보였다. 수축저감 물질의 표면장력은 물과 비교하여 모든 수준에서 크게 낮은 것으로 나타나 모르타르 및 콘크리트의 표면장력을 감소시킬 수 있을 것으로 판단된다. 또한, 배합수에 수축저감 물질을 5 % 소량 혼합한 결과에서도 배합수의 표면장력을 크게는 40 %이상 저감할 수 있는 것으로 확인되었다. 이 중 지방산인 D1과 D2는 소수기의 물질이기 때문에 물에 희석되기 어려워 사용시 유화 등의 전처리 과정이 필요할 것으로 사료된다.

4.2 수축저감 물질에 따른 모르타르 특성

수축저감 물질들의 표면장력을 측정하고 이들을 적용한 모르타르 실험을 실시하여 각 물질들이 모르타르의 특성 및 건조수축 특성에 미치는 영향에 대해 분석하기 위해 물-결합제비(W/B) 50 %, 잔골제비(C:S)를 1:2.45의 수준에서 시멘트에 대한 질량비로 플라이애시(F/A이하) 10 %를 치환하였다. 상대비교를 위하여 기존 국내 수축저감제(B1)를 실험 수준에 포함시켰으며 수축저감 물질을 사용하지 않는 수준을 Plain, 수축저감 물질을 단위수량 2 % 치환하여 수축저감 물질 7종류 총 9수준으로 실험을 계획하였다.

목표 플로는 200±25 mm를 만족하도록 모르타르 배합설계 하여, 실험변수에 따른 초기 유동성 변화를 확인하

기 위하여 굳지 않은 모르타르에서 플로를 측정하였으며, 경화모르타르는 압축강도, 휨강도, 건조수축 길이변화량을 측정하였다. 수축저감 물질에 따른 모르타르 실험 계획을 Table 3에 나타내었으며, 배합표는 Table 4과 같다.

Table 3. Experimental plan of mortar using various corresponding shrinkage reducing materials (series I)

Experimental factors		Experimental level	
W/B(%)	1	· 50	
C:S	1	· 1:2.45	
Replacement Ratio of admixture(%/B)	1	· FA(10%)	
Flow(mm)	1	· 200±25	
Shrink reducing materials	Type	· Alcohol A(A1) · Alcohol B(A2) · Alcohol C(A3) · Shrink reducer of Country(B1) · Glycol A(C1) · Glycol B(C2) · Animal fatty acid(D1) · Vegetable fatty acid(D2)	
	Amount (%/B)	2	· 0 (Plain) · 2.0
Fresh mortar	1	· Flow	
Hardened mortar	3	· Compressive strength	
		· Flexural strength	
		· Drying shrinkage length change	

Fig. 7은 수축저감 물질에 따른 모르타르의 유동성 실험결과를 나타낸 것으로 Plain과 대부분의 수준에서 점성이 조금 낮아지는 경향을 보였지만 모르타르의 물성에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 확인되었다.

Fig. 8은 압축강도 측정 결과로 지방산을 제외한 모든 수준에서 Plain 대비 75~90 %사이의 낮은 강도발현율을 나타내었다. 지방산의 경우 강도발현이 크게 저하하

Table 4. Mix Design of mortar using various corresponding shrinkage reducing materials (series I)

C:S	Experimental factors		W/B (%)	Unit weight(kg/m ³)						AD ⁸⁾ (%/B)	SR (%/B)
	Division	Composition		W ³⁾	SR ⁴⁾	B	C ⁵⁾	F/A ⁶⁾	S ⁷⁾		
1:2.45	Plain	-	50.0	282	0	564	507.6	56.4	1,381	1.0	2.0
	A1	Alcohol A									
	A2	Alcohol B									
	A3	Alcohol C									
	B1	Shrink reducer of country									
	C1	Glycol A									
	C2	Glycol B									
	D1	Animal fatty acid									
	D2	Vegetable fatty acid									

3) W : water, 4) SR : shrink reducing materials(use replacement unit quantity of water), 5) C : cement 6) F/A : fly ash, 7) S : ISO standard sand, 8) AD : polycarboxylic superplasticizer

는 경향을 나타내었는데 이는 소수기의 지방산이 배합수와 혼합되지 못하고 한곳에 집중적으로 몰린 것으로 판단되며 앞서 고찰했던 표면장력 실험결과와 같이 추후 지방산을 수축저감제로 사용하기 위해서는 전처리 과정이 필요할 것으로 판단된다.

Fig. 9는 휨강도 특성을 나타낸 것으로 압축강도와 마찬가지로 재령 3일에서 모든 수준이 Plain보다 낮은 강도를 나타내었으나 재령 7일 이후 28일에서 오히려 Plain과 비슷하거나 상회하는 경향을 보였다. 이는 수축저감제의 사용으로 인한 수축량 감소로 모르타르 내부의 미세균열이 감소되어 강도가 증가한 것으로 사료된다.

Table 5는 수축저감 물질에 따른 재령 14일, 56일 모르타르의 건조수축량과 Plain대비 수축감소율을 나타내었으며, Fig. 10은 수축저감 물질을 사용한 모르타르의 재령 경과에 따른 건조수축 길이변화량을 나타낸 것이다. 모르타르의 건조수축 길이변화량은 Plain에서 가장 큰 수축량을 나타내어 수축저감 물질이 수축저감에 효과가 있는 것으로 확인되었다. 알코올계(A1~A3)의 경우 초기수축량은 Plain보다 큰 것으로 확인되었으나 재령 20일 이후 수축량이 감소하여 Plain과 큰 차이를 보였으나 글리콜계(C1~C2)의 경우 알코올계보다 수축저감율이 적어 수축저감에 우수한 효과를 보였으며 재령 20일 이후 건조수축량이 크게 증가하지 않고 일정해지는 경향을 확인할 수 있었다. 따라서 수축저감 물질 중 글리콜계가 가장 우수한 수축저감 효과를 나타내었으며 그 중 글리콜계 C1은 공학적인 특성에서도 비교적 우수한 것으로 확인되어 추후 콘크리트 실험 결과에 따라 새로운 수축저감제로서의 가능성이 가장 높은 물질로 판단되었다.

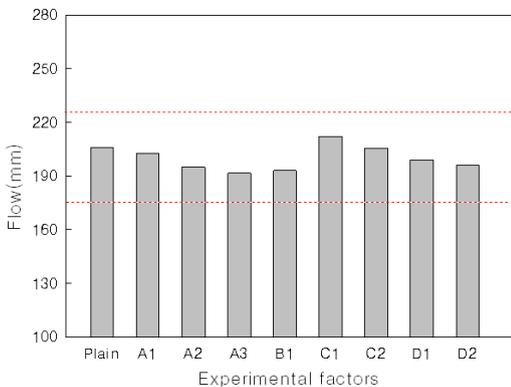


Fig. 7. Flow of mortar using various corresponding shrinkage reducing materials

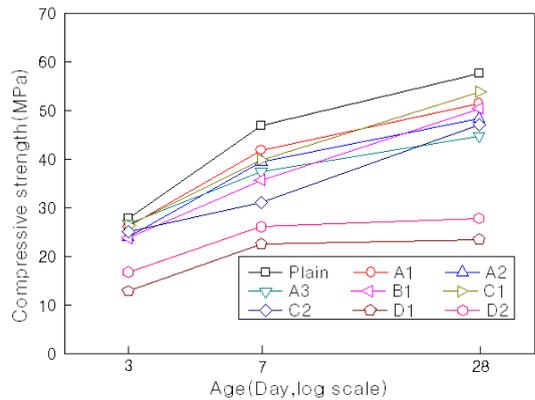


Fig. 8. Compressive strength of mortar using various corresponding shrinkage reducing materials

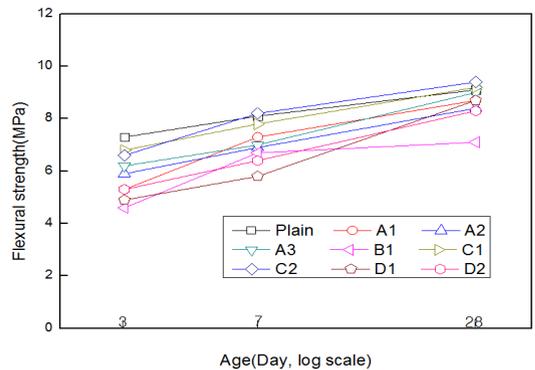


Fig. 9. Flexural strength of mortar using various corresponding shrinkage reducing materials

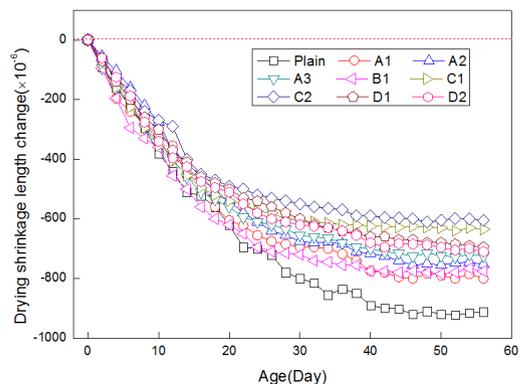


Fig. 10. Drying shrinkage length change of various corresponding shrink reducing materials

Table 5. Relative comparison of the drying shrinkage length change using various corresponding Shrinkage reducing materials

Type	14days		56days	
	shrinkage ($\times 10^{-6}$)	relative ratio(%)	shrinkage ($\times 10^{-6}$)	relative ratio(%)
Plain	-510	100	-912	100
A1	-455	89.2	-800	87.7
A2	-415	81.4	-753	82.6
A3	-460	90.2	-725	79.5
B1	-500	98.0	-775	85.0
C1	-455	89.2	-635	69.6
C2	-400	78.4	-605	66.3
D1	-410	80.4	-695	76.2
D2	-425	83.3	-710	77.9

4.3 수축저감 물질에 따른 콘크리트 특성

수축저감 물질에 따른 콘크리트의 특성검토는 수축저감 물질들이 모르타르의 특성에 미치는 영향 평가 후 비교 분석결과를 바탕으로 5종류의 수축저감 물질을 최종 선정하였다. 콘크리트의 특성평가는 수축저감 물질을 사용하지 않는 수준을 Plain으로 설정하였으며 수축저감 물질(SR) 5종류를 단위수량에 2 %치환하여 총 6수준으로 설정하였다. 굳지 않는 콘크리트에서 슬럼프, 공기량을 측정하였으며, 경화 콘크리트에서는 압축강도, 건조수축 길이변화량을 측정하였다. 수축저감 물질의 콘크리트 특성에 미치는 영향을 평가하기 위한 실험계획을 Table 6에 나타내었으며, 배합표는 Table 7과 같다.

Fig. 11과 12는 수축저감 물질을 사용한 콘크리트의 유동성 및 공기량 측정 결과를 나타낸 것으로 수축저감 물질을 사용한 콘크리트에서는 모르타르 실험결과와 동일하게 점성이 저하되는 현상이 나타났으나, 글리콜계 경우 점성 저하가 가장 적은 것으로 확인되었다. 공기량은 수축저감 물질의 종류에 따라 큰 영향을 미치지 않는 것으로 확인되었다.

Table 6. Experimental plan of concrete using various corresponding shrinkage reducing materials (series II)

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	5	· Alcohol A(A1) · Alcohol B(A2) · Alcohol C(A3) · Glycol A(C1) · Glycol B(C2)
	Amount (%/B)	2	· 0(Plain) · 2.0
Fresh concrete	2	· Slump	· Air
Hardened concrete	2	· Compressive strength · Drying shrinkage length change	

Fig. 13은 수축저감 물질을 사용한 콘크리트의 압축 강도시험 결과를 나타낸 것으로 수축저감 물질을 적용한 모든 수준에서 Plain보다 낮은 강도발현을 하였으며 알코올계의 경우 강도발현이 가장 떨어지는 것으로 확인되었는데 이는 초기재령에서 알코올이 콘크리트내의 가수분해되는 과정에서 Ca²⁺이온과 반응하여 초기 콘크리트의 Ca²⁺이온의 농도를 저하시키는 것으로 판단된다. 반면, 글리콜계는 다른 수축저감 물질에 비해 강도저하 폭이 작았으나 Plain보다 약간 낮은 강도발현을 나타내었다. 따라서 수축저감제의 개발을 위해서는 조기강도 증진 등의 성능개선이 필요할 것으로 판단된다.

Table 8에 수축저감 물질에 따른 재령 14일, 56일 콘크리트의 건조수축량과 Plain대비 수축감소율 값을 나타내었으며 Fig. 14는 수축저감 물질을 사용한 콘크리트의 건조수축 길이변화량을 그래프화하여 경향을 나타낸 것으로 콘크리트의 경우 모르타르에 비해 굵은 골재의 영

Table 7. Mix Design of concrete using various corresponding shrinkage reducing materials (series II)

Experimental factors		W/B (%)	S/a (%)	Unit weight(kg/m ³)								AD (%/B)	AE (%/B)	SR (%/B)
Series	Composition			W	B	C	FA	SR	FS ⁹⁾	CS ¹⁰⁾	G25			
Plain	-	49.4	48.0	168	340	306	34	0	437	437	909	0.7	0.015	2.0
A1	Alcohol A					299.9	33.3	6.8						
A2	Alcohol B													
A3	Alcohol C													
C1	Glycol A													
C2	Glycol B													

9) FS : Fin aggregate, 10) CS : Coarse aggregate

향으로 수축량이 모르타르보다 약 30 %정도 감소하였으며 건조수축 경향은 모르타르 실험 결과와 유사한 결과를 보였다. 모든 수준에서 채령 20일 전까지 수축이 크게 진행하다가 20일 이후 수축량이 점점 감소하여 30일 이후부터 건조수축 변화량이 작아지는 경향을 나타내었다. Plain의 경우 수축량이 현저히 크게 나타났으며 알코올계의 경우 Plain보다 작은 수축량을 나타내었지만 우수한 수준은 아니었다. 반면, 글리콜계인 B1, B2는 Plain과 비교하여 채령 14일에 56~60 %, 28일에 62~66 %, 56일에는 66~68 %로 감소하여 가장 우수한 수축제어 효과를 나타내어 수축저감제가 들어가지 않는 일반 콘크리트에 비해 약 50 % 이상 균열이 감소되어 내구성이 개선된 것으로 확인하였다. 따라서 콘크리트용 수축저감제로 사용이 가능할 것으로 판단된다.

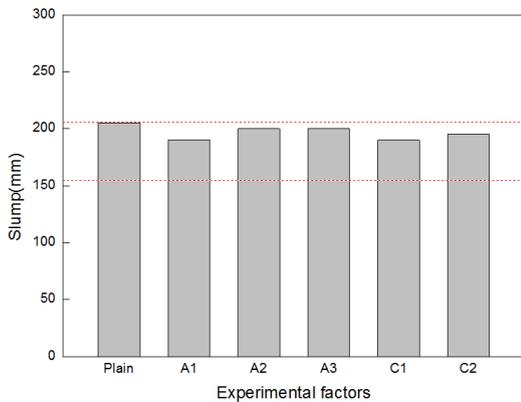


Fig. 11. Slump of concrete using various corresponding shrinkage reducing materials

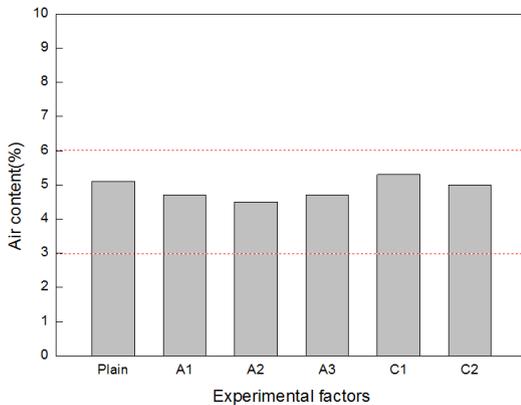


Fig. 12. Air of concrete using various corresponding shrinkage reducing materials

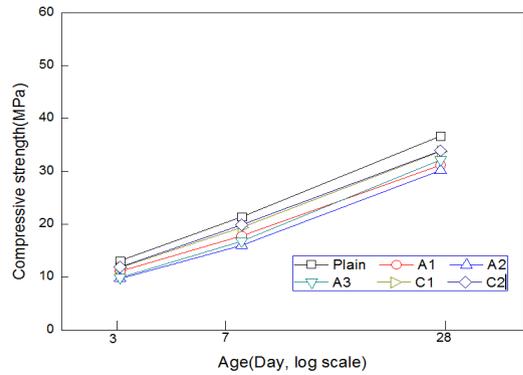


Fig. 13. Compressive strength of concrete using various corresponding shrinkage reducing materials

Table 8. Relative comparison of the drying shrinkage length change by using various corresponding shrinkage reducing materials

	14days		56days	
	shrinkage ($\times 10^{-6}$)	relative ratio(%)	shrinkage ($\times 10^{-6}$)	relative ratio(%)
Plain	-579	100	-756	100
A1	-447	77.2	-639	84.5
A2	-386	66.7	-575	76.1
A3	-399	68.9	-597	79.0
C1	-349	60.3	-516	68.3
C2	-326	56.3	-500	66.1

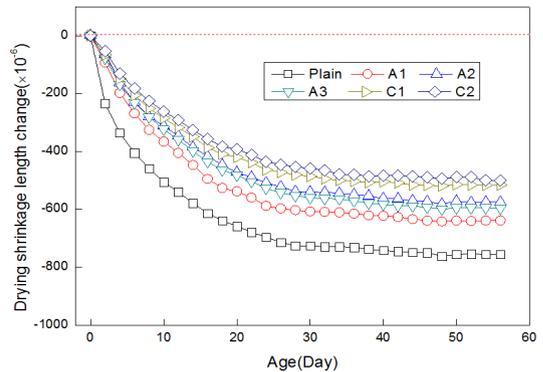


Fig. 14. Drying shrinkage length change of concrete using various corresponding shrinkage reducing materials

5. 결론

본 연구는 고성능 수축저감제의 국산화 개발을 위하여 문헌 및 기초 자료조사를 통해 수축저감제로서의 가

능성이 있는 여러 물질들을 선정하여 이를 모르타르 및 콘크리트에 적용하여 유동성, 공기량, 강도 및 건조수축 길이변화량 등의 특성에 미치는 영향을 검토한 것으로 결론을 요약하면 다음과 같다.

- 1) 수축저감 물질의 표면장력은 물과 비교하여 모든 수준에서 크게 낮은 것으로 나타나 모르타르 콘크리트의 표면장력을 감소시키고, 배합수에 수축저감 물질을 5 % 소량 혼합한 결과에서도 배합수의 표면장력을 크게 40 %이상 저감할 수 있는 것으로 확인되었다.
- 2) 수축저감 물질을 모르타르에 적용하였을 경우 대부분의 수준에서 점성이 조금 낮아지는 경향을 보였으나 모르타르 물성에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 확인되었으며 압축강도에서 Plain대비 낮은 강도발현을 하였지만 휨강도 재령 28에서 오히려 Plain과 비슷하거나 상회하는 강도 경향을 보였는데 이는 수축저감 물질의 사용으로 인한 수축량 감소로 모르타르 내부의 미세균열이 감소되었기에 따른 강도 증진효과로 사료된다.
- 3) 수축저감 물질에 따른 콘크리트의 실험 결과 유동성 및 공기량 모두 양호한 결과를 나타내었으며 글리콜계의 경우 점성저하가 가장 적었다. 압축강도에서 Plain → 글리콜계 → 알코올 순서로 강도 발현을 하였으나, 길이변화축정결과 글리콜계 → 알코올계 → Plain 순서로 글리콜계의 경우 가장 우수한 수축제어 효과를 나타내어 수축저감제로 사용이 가능할 것으로 판단된다.

후후 수축저감제의 범용적인 적용성 검토를 위하여 수축저감제의 사용량 및 사용재료 변화 등에 대한 다양한 재료변수 요인 검토를 통하여 수축저감제의 성능 확인을 현재 실험 진행중에 있으며 성능개선에 대한 연구를 계속 진행하고 있는 중이다.

References

- [1] 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.
- [2] N. C. Han, Estimation of the Autogenous 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.

- [3] 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.
- [4] L. Granger, J. M. Torrenti, P. Acker, Thoughts about drying shrinkage; Experimental results and quantification of structural drying creep, *Materials and structures*, 30(10), pp. 588-598, 1997.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/BF02486900>
- [5] 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>
- [6] M. Y. Han, Shrinkage mechanisms and role of water, *Journal of Korea Concrete institute*, 3(2), pp. 46-52, 1991.
- [7] 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>
- [8] C. J. Park, Analysis of Drying Shrinkage of the Concrete Using Calcium Sulfa Aluminate(CSA) Based Expansive Additive, Master Dissertation, University of Cheongju, Korea, 2011.
- [9] D. G. Lee, Mitigation of Autogenous Shrinkage for High Strength Concrete Applying Edible Oils, Doctoral Dissertation, University of Cheongju, Korea, 2011

박종필(Jong-Pil Park)

[정회원]



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

<관심분야>
건설재료, 건설시공

정 용 욱(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