

팽창재를 혼입한 슛크리트의 초기수축 및 내구성 평가

남궁경¹, 강문식², 허인², 윤경구^{1*}
¹강원대학교 토목공학과, ²한국도로공사

Early-Age Shrinkage and Durability of Shotcrete with Expansive Agent

Kyeong Nam-Gung¹, Moon-Sik Kang², In Hur² and Kyong-Ku Yun^{1*}

¹Dept. of Civil Engineering, Kangwon National University

²Korea Highway Corporation

요 약 본 논문에서는 슛크리트의 품질확보를 위하여 슛크리트에 팽창재 혼입률의 변동을 주어 혼입하여 슛크리트의 초기수축과 기초적인 내구성에 미치는 영향을 고찰하였다. 또한 각각의 팽창재 혼입률에 따라 실제 슛크리트 타설을 실시한 후 슛크리트 초기수축을 비교·분석하였으며 내구성에 대하여 고찰하였다. 시험을 실시한 모든 변수에서 타설 13~15시간 후 최대 수축이 발생하였고, 팽창재의 혼입률을 높일수록 최대수축량이 줄어들음을 알 수 있었다. 이는 급결제를 사용하지 않는 건축물 슛크리트에 참고자료로 활용될 수 있다고 판단된다. 또한 팽창재의 혼입률의 경우 시멘트 대비 15%일 때는 최대수축량은 작지만 수축과 팽창이 급격히 이루어져 미세균열에 심각하게 노출될 염려가 있으므로 11%가 적당하다 판단된다.

Abstract In this dissertation, the shrinkage and durability of shotcrete were examined. Analysis and comparison of shrinkage against the strength of shotcrete was investigated after performing actual shotcrete shooting for each mix of different percentage of expansive agent. The research on restrained shrinkage with different percentages of expansive agent used (3%, 7%, 11% and 15%) shows that the maximum shrinkage in all samples occurred in between 13-15 hrs after shotcrete shooting. And it is noticed that increasing the percentage of expansive agent can lower the shrinkage. And hence, the 15% of expansive agent not only lowered the shrinkage But it also lowered the strength.

Key Words : Shotcrete, Shrinkage, Expansive agent

1. 서론

1.1 연구배경 및 목적

1차 지보재인 슛크리트는 별도의 거푸집이 필요 없이 슛크리트 장비를 사용하여 굴착된 원지반에 공기압으로 콘크리트를 뿜어붙이는 공법으로 지반의 이완을 방지하여 원지반의 강도를 유지하고, 콘크리트 아치로서 하중을 분담하는 역할을 한다.

스�크리트의 도입 초기에는 주변 지반으로부터의 누수 침투와 동해방지, 갭내 미관 향상 등의 비구조적인 역할

로 사용되었으나, 최근에는 굴착 직후 발생하는 원지반의 초기변위 제어 및 풍화의 방지를 통한 굴착면의 붕락방지 뿐만 아니라 구조물의 장기적인 지반이완, 배수기능 저하에 따른 잔류수압 등 불확실한 요소에 대한 안전성을 확보하며 시공되고 있다.

스�크리트를 건축 구조물에 접목시켜 사용하여 기존 거푸집을 사용하여 타설하는 콘크리트 공법에서 슛크리트가 이를 대체하는 공법을 채택하여 공기를 단축시키고 있다. 슛크리트가 콘크리트를 대체하기 위해서는 내구성 및 수축 관련 균열대비가 필수적이며, 이에 대한 관심이

*Corresponding Author : Kyong-Ku Yun

Tel: +82-33-250-6236 email: kkyun@kangwon.ac.kr

접수일 12년 03월 20일

수정일 (1차 12년 09월 24일, 2차 12년 10월 05일)

게재확정일 12년 10월 11일

집중되고 있다.[3]

국내에서 숏크리트의 고성능화를 위한 연구가 부분적으로 수행되어져 왔다. 그러나 팽창재 및 수축저감제를 적용한 숏크리트에 대하여 다양한 연구가 충분하지 못하여 실제 숏크리트 타설 현장에서의 적용에 어려움이 발생하였다.[1] 이에 팽창재의 숏크리트 적용성을 판단하기 위하여 배합 후 실제적인 숏팅을 통한 초기수축의 측정 및 내구성에 관한 평가가 필요하다.

본 연구에서는 숏크리트에 사용되는 팽창제의 혼입률을 변수로 설정하여 실험을 진행하였다. 슬럼프, 공기량, 강도발현 특성 등을 평가하여 기초특성을 고찰하였고, 부식 환경에 대한 안정성을 간접적으로 평가하기 위해 염소이온 침투저항성 시험을 실시하였다. 수축정도를 확인하기 위한 콘크리트의 초기수축실험을 측정하였다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 개요

고성능 숏크리트는 이론적 고찰에서 분석한 바와 같이 양호한 품질을 발휘하는 반면에 높은 물-시멘트비, 많은 단위결합재량 및 고성능 유동화제의 다량 사용에 따른 숏크리트의 수화반응이 활성화되어 발생하는 자기수축 및 건조환경 속에서의 건조수축 등 각종 수축균열대책이 새로운 문제점으로 대두되고 있다.[4]

따라서 본 장에서는 고성능 숏크리트의 균열제어를 목적으로 CSA계 팽창재를 사용하여, 콘크리트 조물의 품질향상과 아울러 숏크리트를 이용한 구조물에 발생할 수 있는 초기 균열저감 대책을 마련하여 궁극적으로 저균열·고품질인 고성능 숏크리트를 개발할 수 있도록 한다.

2.2 사용재료

2.2.1 시멘트

시멘트는 국내 C사에서 생산되는 1종 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 실험에 사용된 1종 보통 포틀랜드 시멘트의 물리화학적 성질은 [표 1]과 같다.

2.2.2 골재

굵은 골재는 10mm 인 세척 쇄석을 이용하였고, 잔골재는 강모래를 5mm체 통과 후 사용하였다. [표 2]는 실험에서 사용된 잔골재와 굵은 골재의 물리적 특성을 나타낸다.

[표 1] 시멘트의 물리화학적 특성

[Table 1] Chemical and Physical Properties of Cement

물리적 특성	분말도 (cm ² /g)	비중	안정도	응결시간		압축강도 (MPa)		
				초결 (분)	종결 (분)	3일	7일	28일
	3,449	3.15	0.07	245	340	23.0	30.5	39.4
화학적 특성	감열감량 (%)		MgO (%)		SO ₃ (%)			
	1.3		2.8		2.1			

[표 2] 골재의 물리적 특성

[Table 2] Physical Properties of Aggregate

재료항목	분류	밀도	흡수율 (%)
잔골재	강모래	2.60	1.14
굵은 골재	10mm	2.64	1.27

2.2.3 팽창재

팽창재는 국내에서 S사에서 시판되고 있는 CSA계 팽창재를 사용하였다. [표 3]은 팽창재의 화학적 특성을 나타낸다.

[표 3] 팽창재의 화학적 특성 (단위:%)

[Table 3] Chemical Properties of Expensive Agent (unit:%)

성분	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	R ₂ O	SO ₃	f-CaO	LOI
비율	5 이하	10-15	1.0 이하	48-53	1.5 이하	1.0 이하	27-32	18-23	3.0 이하

2.3 숏크리트 배합

2.3.1 변수설정

본 논문에서는 팽창재가 혼입된 숏크리트의 초기수축 특성 및 기초특성을 평가하기 위하여 숏크리트의 시방배합을 기준으로 팽창제는 시멘트대비 0, 3, 7, 11, 15%로 변화한 배합으로 설정하였다.

2.3.2 배합설계

본 실험에서는 팽창제의 혼입률의 변화가 숏크리트 타설 후 콘크리트에 어떠한 영향을 미치는지 파악하고자 하였다. 고성능 유동화제는 초기 슬럼프 100±20mm를 기준으로 결합재 중량 대비로 혼입하였다. 숏크리트 타설 후 모두 수중양생을 실시하였다.

숏크리트 배합은 보통 콘크리트 제조방법과는 달리 굵은 골재와 잔골재를 혼합하여 약 30초간의 건비빔을 실

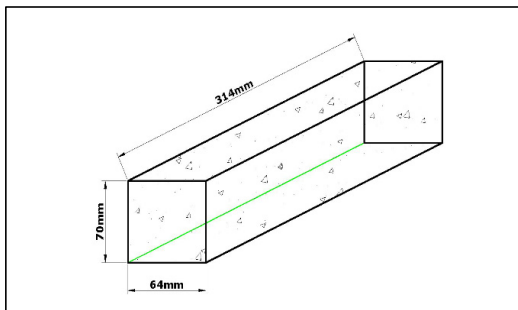
시한 후, 시멘트를 혼합하여 다시 1분 이상 배합을 실시하였다. 다음으로 유동화제가 희석된 물을 투입한 후 1분 이상의 배합을 실시하였다. 이 과정이 완료된 후 쏫크리트 머신을 사용하여 쏫팅을 실시하였다.

2.4 시험체 제작 및 시험방법

2.4.1 초기수축 측정 실험

1) 시험체 제작

초기수축 실험은 0.001mm 감도를 가진 10mm LVDT를 사용하여 시편의 길이변화를 측정하는 방법이다. 이 실험법의 장점은 콘크리트 타설후 10mm LVDT를 통해 길이변화량이 데이터 로거로 직접 전송되므로 정확한 데이터를 획득할 수 있다는 것이다. 또한 콘크리트 시편과 폴리에틸렌 형틀과의 분리를 위하여 형틀 내부를 테프론 시트로 1차 처리하고, 폴리머 콘크리트용 박리제로 2차 처리한 후 콘크리트 타설이 이루어지기 때문에, 형틀바닥과 옆면으로부터의 마찰의 영향을 최소화 할 수 있어 상당히 정밀한 데이터를 획득 할 수 있다.[2] 또한 몰드 양 측면에 부착된 스티로폼은 초기 열팽창과 자기팽창의 영향을 평가 가능하게 하며 팽창하중을 제어하는 역할을 한다. 외부로의 수분증발을 최소화하기 위하여 콘크리트 타설후 즉시 비닐시트로 도포한 후 은박시트로 2차 처리한다. 최종적으로 플라스틱 캡을 덮어씌우고 테이프로 밀봉하여 시편준비 작업이 마무리된다. 즉, 콘크리트 타설 후 후처리과정이 전혀 투입되지 않으므로 기계적인 오차(LVDT오차)를 제외한다면 오차발생요인은 거의 발생하지 않는 실험법이다. 그림 1은 실험에 적용된 시편편의 규격을 나타낸다.



[그림 1] 초기수축 시편 규격
[Fig. 1] Specimen Geometry

2) 실험 및 측정

시험편의 자유로운 수축 및 팽창 평가가 가능하도록 형틀 내부에 팽창을 허용할 수 있는 스티로폼 틀을 제작하여 삽입하였고, 스티로폼이 수분을 흡수하지 못하도록

비닐 시트처리 하였다. 추가적으로 상부에 캡(cap)을 씌우고 절연테이프로 밀봉하여 수분증발이 억제되도록 하였다. 그림 2은 항온항습실(20±2℃, RH60±5%)에서 초기 수축을 측정하는 실험전경을 나타내는 사진이다.



[그림 2] 초기수축 실험전경
[Fig. 2] Picture of Early-Age shrinkage test

2.4.2 염소이온 투과 저항성 시험

염소이온 투과 저항성 실험은 쏫크리트로 보수·보강된 수리구조물의 경우 사계절 물에 노출되어 있기 때문에 구조물의 염화물 투과성의 정도를 파악하기 위한 상당히 중요한 내구특성이다.

염소이온 투과시험은 ASTM C1202-91 "Electrical indication of concrete stability to resist chloride ion penetration"[5]에 의거하여 수행하였다. 수중 양생한 시편을 28일에 대해서 코어를 채취하여 직경 10cm의 콘크리트 시편을 길이가 5cm가 되도록 절단한 다음 실험을 수행하기 전까지 상대습도 95%이상 유지시킨다. 실험 시 시편은 Applied Voltage Cell에 고정시키고 회로 구성을 한다. 그림 3은 A.V. Cell의 상세도이다. 이 회로에서 전원은 60±0.1V의 직류를 안정적으로 공급할 수 있어야 한다. 실험을 수행하는 동안 전해질 용액이 세지 않게 하기 위하여 사용되는 Sealant는 고무제품이고 무게는 20~40g 정도의 것으로 Cell과 시편사이를 고정시킨다.

전류를 측정하는 방법으로는 기지의 저항체를 연결하여 전압을 측정함으로써 얻을 수 있는데 이때 사용되는 저항으로는 콘크리트 시편에 적용되는 전압에 영향이 적도록 하기 위하여 가능한 작은 저항을 사용하는 데 본 실험에서는 0.3Ω을 사용하였다. 콘크리트 시편의 노출된 부분은 불투수성의 재료로 덮개를 하는데 이는 실험이 진행되는 동안 콘크리트 표면이 건조되어 염소이온의 투과에 영향을 미치는 것을 방지하기 위함이다.

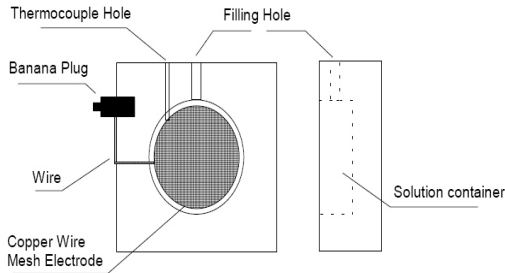
A.V. Cell의 (-) 전극에 3.0%의 NaCl 용액을 채우고 (+) 전극 쪽에는 0.3N의 NaOH 용액을 채운다. 3% NaCl 용액은 물 900ml에 NaCl 30g을 용해시킨 후 물을 가하

여 1000ml의 용액을 만들고 0.3N NaOH는 물 1ℓ에 NaOH 12g을 용해시켜 제조한다. 실험 시 용액의 초기 온도는 20~25℃를 유지하도록 한다. 또한 실험 중 용액의 온도는 90℃이하가 되도록 한다.

시험 중 30분마다 0.3Ω의 저항에 걸리는 전압을 Data Logger로 측정하여 기록한다. 이 때 전압은 0.1mV까지 측정 가능해야 하고 ±0.1%의 정도를 가진 장치이어야 한다. 측정된 전압 값은 다음 식에 의하여 전류치로 환산한다.

$$I = \frac{V}{R} = \frac{V}{0.2}$$

여기서, I = 전류(amperes, A)
 V = 전압(volts, V)
 R = 저항(ohms, Ω)



[그림 3] A.V. Cell 상세도
 [Fig. 3] Typical detail of A.V. Cell

염소이온 투과실험은 매 시편마다 6시간이 소요되고 30분 간격으로 전압값을 측정한다. 측정된 전압을 전류로 환산하고 다음 식을 이용하여 회로를 통과한 총 전하량을 산정한다.

$$Q = 900 \times (I_0 + 2I_{30} + 2I_{60} + \dots + 2I_{330} + I_{360})$$

여기서,

Q = 회로를 통과한 전하량(coulomb)
 I_n = 실험시작 후 n분이 경과하였을 때의 전류(amperes)

ASTM의 규정에서는 본 실험에서 산정된 전하량을 염소이온 투과성과 비교하는 자료를 제시하고 있고 표 4와 같다.

[표 4] 통과전하량에 따른 투수성 평가
 [Table 4] Chloride Ion Penetrability Based on Charge Passed

통과전하량(Coulombs)	투과성
4000이상	높음
2000~4000	보통
1000~2000	낮음
100~1000	매우 낮음
100이하	무시할만함

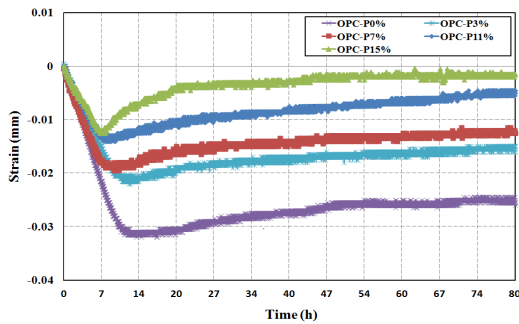
본 실험에 사용된 시편은 숏크리트 타설후에 28일간 수중양생한 후 5cm 두께로 절단하여 염소이온 투과시험을 수행하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 초기수축 실험 결과 및 고찰

숏크리트의 초기거동에 관한 실험으로 숏팅 후 초결이 끝난 후 실험을 진행하였다. 실험 데이터는 기존 참고자료를 기준으로 최소 80시간 이상 측정하였다. 시험편의 자유로운 수축 및 팽창 평가가 가능하도록 형틀 내부에 팽창을 허용할 수 있는 스티로폼 틀을 제작하여 삽입하였고 스티로폼이 수분이 흡수하지 못하도록 비닐 시트처리 하였다. 또한 추가적인 수분 역제를 방지하기 위하여 상부에 캡을 씌운 후 절연테이프로 밀봉하여 항온항습실(20±2℃, RH 60±5%)에서 초기수축을 측정하였다.

기본 OPC에 팽창재의 혼입률을 변화하여 실시한 초기수축의 실험결과이다. 숏팅 후 80시간동안 발생하는 수축량을 살펴보면, 팽창재를 시멘트 대비 15% 혼입한 변수가 무혼입 변수보다 월등히 적은 수축량을 보인다. 이는 숏크리트가 경화하는 과정에서 팽창성 수화물을 형성하여 에트링가이트와 수산화칼슘 생성에 의한 팽창력을 이용하는 팽창재의 성질 때문임을 알 수 있다. 또한 모든 변수에서 초결 후 12시간 이내에 모든 초기수축이 일어나는 것으로 나타났다. 이러한 양상은 시멘트의 경화 과정에서 발생하는 급격한 수분소산 및 증발로 인한 수축으로 인해 일어나는 거의 모든 미세균열 및 균열은 초기단계에 발생한다고 추측할 수 있다. 따라서 초결 후 12시간 경과한 뒤, 재료 자체의 수축으로 인해 발생하는 균열의 거의 없다고 할 수 있다. 실험 결과는 다음 아래의 그림 4에 나타내었다.



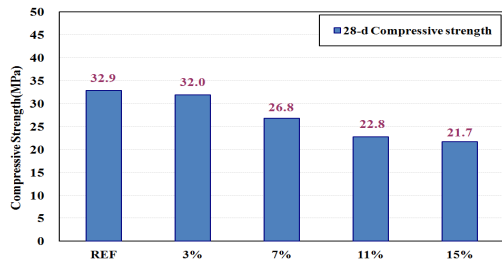
[그림 4] 팽창제 혼입률에 따른 초기수축
[Fig. 4] Early-Age Shrinkage of different percentage of expansive agent

3.3 압축강도 측정 결과 및 고찰

팽창제 혼입률에 따라 숏크리트 타설 후 콘크리트의 기초적 특성을 알아보기 위하여 재령 28일에서의 압축강도를 측정하였다.

실험결과는 다음 아래의 그림 5에 나타내었으며, 팽창제 혼입 모든 변수에서 한국도로공사 터널 설계 기준 재령 28일 압축강도 21MPa를 모두 만족하는 결과를 얻을 수 있었다. 그러나 팽창제의 혼입률이 증가함에 따라 강도의 저하가 나타나는 것을 알 수 있었다.

팽창제의 혼입률이 3% 미만인 경우에는 강도저하가 미비한 반면에 3%이상으로 혼입할 경우 전반적으로 저하하는 것으로 나타났다.



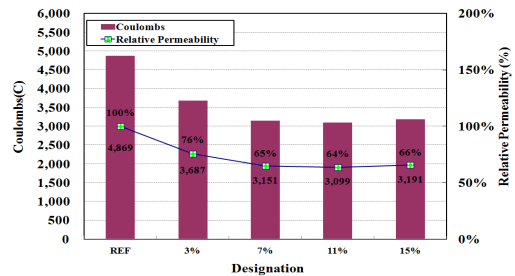
[그림 5] 팽창제 혼입률에 따른 압축강도
[Fig. 5] Compressive Strength of different dosages of expansive agent

3.4 염소이온 투과 저항성 실험 결과 및 고찰

콘크리트의 내구특성 실험으로 ASTM C 1202의 규정에 의한 염소이온 투과시험방법에 따른 투수시험을 재령 28일에 각 실험변수에 따라 실시하였다. 시험체는 타설된 숏크리트를 채취하여, 직경 10cm의 콘크리트 공시체를 길이 5cm로 절단한 후, Vaccum Saturation 장치를 이용하여 시험편 내부를 완전히 포화시킨 후 실시하였다.

시험중 6시간동안 30분마다 0.2Ω에 걸리는 전압을 데이터로거로 측정하여, 측정된 전압을 전류로 환산하여 회로를 통과한 총 전하량을 계산하였다.

실험결과는 그림 6에 나타내었다. OPC 기본배합의 경우 팽창제의 혼입률이 증가함에 따라 통과전하량의 감소로 저항성의 증가가 나타났다. 이는 콘크리트가 경화되며 발생하는 에트린자이트를 팽창제가 다량으로 발생시켜 내부조직이 치밀해져 팽창제 혼입시 투과저항성 향상에 기여하는 것으로 판단된다. 또한 기준배합은 4000Coulombs 이상의 “높음” 등급인데 반해 팽창제 혼입배합은 모든 변수에서 4000Coulombs 이하의 “보통” 등급이 나타난다.



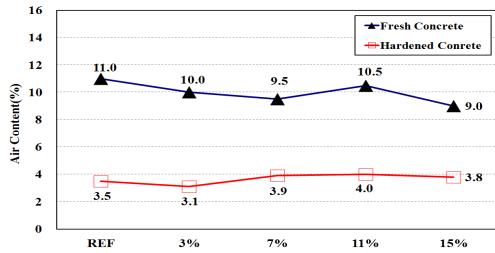
[그림 6] 팽창제 혼입률에 따른 염소이온 투과 저항성
[Fig. 6] RCPT of different dosages of expansive agent

3.4 화상분석에 따른 공극구조 분석

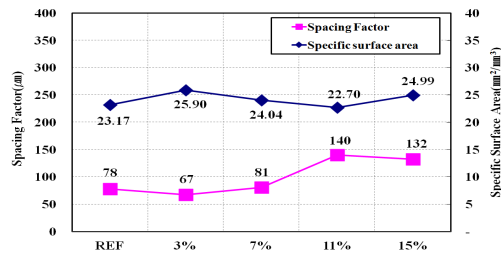
본 연구에서 경화 전 숏크리트의 공기량은 압력법(KS F 2421)으로 측정하였고, 경화 후 숏크리트의 공기량은 화상분석 실험(ASTM C 457)을 수행하여 측정하여 비교하였다.

그림 7는 각 변수별 공기량 특성을 나타내는 그래프이다. 그래프에서 볼 수 있듯이 경화 전 공기량에 비해 슈팅 후의 화상분석을 통한 공기량은 전체적으로 감소하는 경향이 나타났다. 이는 수화반응과 포졸란 반응에 더불어 슈팅을 통해서 공극이 충전 되어 시멘트 경화체의 구조가 밀실하게 되었다는 것으로 판단된다.

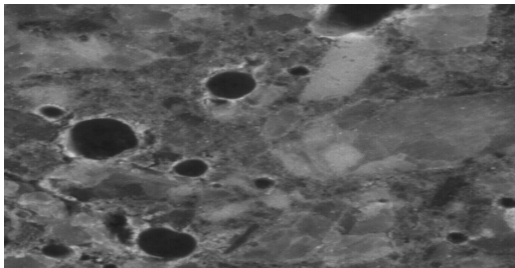
그림 8은 각 변수별 간격계수와 비표면적을 나타낸 그래프이다. 그래프에서 보면 알 수 있듯이 Kansas DOT Specification(250 μ m이하)과 Mindess의 저서에 제시된 간격계수 기준(간격계수 200 μ m이하, 공극의 비표면적 25mm²/mm³이상)을 모든 변수에서 만족하고 있어 동결융해 저항성 및 내구성 지수를 95%이상 확보 할 수 있는 것으로 평가된다.



[그림 7] 각 변수별 공기량 비교
 [Fig. 7] Air Content of different dosages of expansive agent



[그림 8] 각 변수별 간격계수와 비표면적
 [Fig. 8] Spacing Factor and Specific Surface Area of different dosages of expansive agent



[그림 9] 화상분석
 [Fig. 9] Image analysis

4. 결론

본 논문에서는 팽창재 혼입률 변동에 따른 슛크리트의 기초적 물성과 초기수축 특성에 미치는 영향에 대하여 분석하였다. 또한 터널 슛크리트에서 벗어나 근래에 연구되고 있는 건축물 슛크리트의 실리카흄을 혼입한 배합을 사용하여 버리는 콘크리트라고 생각하는 슛크리트가 아닌 고성능 슛크리트의 수축 및 내구성 평가에 대해 연구를 수행하였다.

이상의 연구에 대한 종합적인 결론은 다음과 같이 나

타내었다.

- 1) 초기수축 시험을 실시한 모든 변수에서 타설 13~15시간 후 최대 수축이 발생하였고, 팽창재의 혼입률을 높일수록 최대수축량이 줄어들음을 알 수 있었다. 이는 급결제를 사용하지 않는 건축물 슛크리트에 참고자료로 활용될 수 있다고 판단된다. 또한 팽창재의 혼입률의 경우 시멘트 대비 15%일 때는 최대수축량은 작지만 수축과 팽창이 급격히 이루어져 미세균열에 심각하게 노출될 염려가 있으므로 11%의 혼입이 적당하다.
- 2) 압축강도 시험 결과 모든 변수에서 한국도로공사 제령 28일 기준 강도 21MPa를 모두 만족하였지만, OPC 기본배합에서 팽창재 혼입률이 증가 할수록 강도저하가 나타났다. 반면, 실리카흄 9% 혼입배합의 경우 팽창재 혼입률 증가에 따른 강도저하가 나타나지 않아 향후 건축물 슛크리트 사용시에는 혼화제를 사용함으로써 강도저하를 막을 수 있을 것이다.
- 3) 염소이온 투과저항성 시험의 결과 일반 OPC를 사용하여 배합하였을 때 4000Coulombs 이상인 “높음” 등급이었지만, 팽창재 혼입시 시멘트가 경화되면서 발생하는 에트린자이트를 촉진시켜 2000~4000Coulombs 사이인 “보통”등급으로 떨어져 저항성을 증가시킬 수 있었다. 하지만 혼화제인 실리카흄을 사용하였을 경우 모든 변수에서 “매우낮음” 등급을 보여 적절한 혼화제의 사용으로 균열 및 내구성 향상에 기여할 수 있다.
- 4) 화상분석의 결과 S.Mindess 문헌기준 간격계수 200 μm 이하, 비표면적 25.00mm²/mm³ 이상, Kansas DOT 기준 공기량 5% 이상, 간격계수 250μm 이하를 기준으로 하여, 기준치 이상의 결과 도출시 높은 내구성을 기대 할 수 있다고 생각되는데, 모든 변수에서 이 기준을 통과하여 팽창재의 사용이 슛팅시 공기량의 소산으로 인한 내구성 감소가 소폭 억제된다고 판단된다.

References

- [1] Shim, Hyun-Bo, A Experimental Study on the Drying Shrinkage Characteristic of Concrete with Expansive Additives, Kon-Kuk University, 2000
- [2] Park, Sun-Gyu, Study on the Autogenous Shrinkage Prediction of High Strength Concrete using Shrinkage

Reducing Admixture, Journal of the Architectural Institute of Korea, 2008

- [3] Wen, Xue Long, Engineering Properties of High Performance Concrete with the Combination of Expansive Additive and Shrinkage Reducing Agent, Chongju University, 2004
- [4] Hong, Sang-hee, Jun, Byung-Chea, Song, Myong-Shin, Han, Cheon-Goo, Bahn, Ho-Yong, An Experimental Study on the reduction of High Drying and Autogenous Shrinkage of High Performance Concrete Using CSA Expansive Additives, Journal of the Architectural Institute of Korea, 1998
- [5] ASTM C1202-91 "Electrical indication of concrete stability to resist chloride ion penetration"

남 궁 경(Kyeong Nam-Gung) [정회원]



- 2010년 2월 : 강원대학교 토목공학과 (토목공학석사)
- 2012년 2월 : 강원대학교 토목공학과 (토목공학석사)
- 2012년 9월 ~ 현재 : 강원대학교 토목공학과 (박사과정)

<관심분야>
토목, 숏크리트, 콘크리트 구조물

강 문 식(Moon-Sik Kang) [정회원]



- 1999년 2월 : 성균관대학교 토목공학과 (토목공학석사)
- 2012년 9월 : 강원대학교 토목공학과 (토목공학박사)
- 1989년 12월 ~ 현재 : 한국도로공사 녹색환경처 팀장 재직

<관심분야>
토목, 숏크리트, 콘크리트 구조물

허 인(In Hur) [정회원]



- 1997년 2월 : 한양대학교 토목공학과 (토목공학석사)
- 2009년 3월 ~ 현재 : 강원대학교 토목공학과 (토목공학박사 수료)
- 1983년 7월 ~ 현재 : 한국도로공사 기술심사처 처장 재직

<관심분야>
토목, 숏크리트, 도로, 도로설계

윤 경 구(Kyeong-Ku Yun) [정회원]



- 1992년 2월 : 미국미시간주립대학 토목공학석사
- 1995년 2월 : 미국미시간주립대학 토목공학박사
- 2000년 3월 ~ 현재 : 강원대학교 토목공학과 교수

<관심분야>
토목, 숏크리트, 콘크리트 구조물, 도로포장