

# 질산칼슘 혼화제를 사용한 대단면 급속 포장 콘크리트의 균열 및 내구특성

## Cracking and Durability Characteristics of High-early-strength Pavement Concrete for Large Areas using Calcium Nitrate

원종필\* · 이시원\*\* · 이상우\*\* · 박해균\*\*\*

Won, Jong Pil · Lee, Si Won · Lee, Sang Woo · Park, Hae Geun

### Abstract

The performance of high-early strength pavement concrete for large areas is influenced by the physical and chemical environment during service life. Generally, penetration, diffusion, and absorption of harmful materials that exist outside the concrete cause damage to its structure. Thus, we have to use a mixture for durability to keep the required quality for the planned service life. Moreover, in using high-early-strength cement and accelerators, a high heat of hydration to create the initial strength can cause cracks. Based on evaluations from optimal mix proportions of high-early-strength pavement concrete for large areas, we conducted water permeability, abrasion resistance, freeze-thaw, plastic, drying, and autogenous shrinkage tests. Test result showed that a mix of accelerator and PVA fibers showed excellent performance.

Keywords : crack control, calcium nitrate, durability

### 요 지

급속 포장 콘크리트는 타설 직후 공기 중에 노출되어 물리적, 화학적 영향을 많이 받아 유해물질들의 콘크리트 구조물 내부로 침투하여 사용연한이 감소하게 된다. 이와 같이 콘크리트 투과 특성은 내구성능을 결정하는데 중요한 요소이다. 또한 조강시멘트와 조강제의 성능으로 인하여 급격한 수화반응으로 인한 수화열로 열과 수분의 이동이 증가하여 구조물에 인장응력을 발생시켜 미소균열을 발생시킨다. 본 연구에서는 대단면 포장체의 급속 시공용으로 도출된 배합을 바탕으로 물투수시험, 동결융해반복시험, 마모저항성시험, 표면박리시험 및 소성수축, 건조수축, 자기수축 등의 시험을 실시하였다. 시험결과 조강제 및 섬유를 혼입한 배합이 가장 우수한 결과를 보여주었다.

핵심용어 : 급속 포장 콘크리트, 균열제어, 내구성, 질산칼슘

### 1. 서 론

콘크리트 포장은 반복되는 차량하중에 직접 노출되고 동결 융해, 부식, 콘크리트 열화 등의 손상이 발생되기 쉬운 부재이다(조서연 등, 2001). 따라서 포장 콘크리트는 외부 열화원인에 따른 포장체의 변화가 적어야 하는데 이를 위해 방수성이 우수한 재료가 요구된다. 또한 동절기 용빙제의 살포로 인한 염화물 이온의 침투는 콘크리트 포장체의 구조적 열화에 심각한 영향을 주기 때문에 염화물에 대한 저항성이 높은 재료가 필요하다. 이밖에 안전한 주행성능과 장기적인 내구성능을 가지고 있어야 하며 효율적인 유지관리가 가능한 요건을 갖추어야 한다(박해균 등, 2008). 특히 포장 콘크리트는 계획된 사용연한 동안 최소한 유지될 수 있도록 요구되는 품질과 사용성

을 보유해야 된다. 그러나 포장 콘크리트는 타설 직후부터 동절기 혹은 하절기상의 대기 중에 노출되어 사용연한 동안 각종 물리적 화학적 영향을 받게 되어 콘크리트 표면의 노후화를 촉진시켜 구조체의 사용연한이 감소하는 문제점이 발생한다. 이러한 문제점은 여러 유해물질들이 콘크리트 구조물 내부로의 침투로 인하여 발생하는데 이와 같이 콘크리트의 투과 특성은 내구성능을 결정하는 중요한 요소이다. 따라서 다양한 메커니즘에 의한 물질의 이동들 중 투과특성과 같은 하나의 특성은 각종 유해성분들의 침투에 대한 콘크리트 내구성을 효과적으로 나타낼 수 있을 것이다.

포장공사의 시공속도를 빠르게 하기 위한 급속 포장 콘크리트의 경우 초기에 교통을 개방해야 하는 특성상 초기강도를 발현시키기 위해 조강시멘트와 조강제 등을 사용하고 있

\*정회원 · 교신저자 · 건국대학교 사회환경시스템공학과 교수 (E-mail : jpwon@konkuk.ac.kr)

\*\*정회원 · 건국대학교 대학원 사회환경시스템공학과 박사과정

\*\*\*정회원 · 삼성물산(주) 건설부문 토목ENG팀 차장

다. 이러한 재료들은 급격한 수화반응을 일으켜 조기강도를 발현하지만 높은 수화열로 인해 열과 수분의 이동이 증가하고 이와 같은 이동은 내·외부적으로 구속되어 구조물에 인장응력을 발생시켜 미소균열을 발생시킨다(박해균 등, 2008). 특히 타설 초기에 콘크리트가 완전히 경화되지 않는 상태에서 구속 및 증발율이 높게 되면 소성수축 균열이 발생하게 된다. 소성수축 균열은 타설 한 후 완전히 경화되기 전 콘크리트의 온도와 외부온도의 차이가 있을 때도 역시 발생하게 된다. 또한 포장 콘크리트 구조체는 현장 조건상 기초나 다른 구조요소 등에 의해 구속을 받게 된다. 이러한 구속은 콘크리트 내부에 인장응력을 유발시키며 발생한 인장응력이 콘크리트의 인장강도보다 크게 되는 순간 콘크리트에 균열이 발생하게 된다. 급속 시공용 포장 콘크리트에서도 타설 초기 소성수축과 경화 후의 건조수축이 일어나는데 특히 타설 초기의 소성수축으로 인한 피해사례가 국내 및 국외에서 많이 발생되고 있다.

이에 본 연구에서는 조기에 교통개방을 하기 위한 포장 콘크리트에 적용하기 위하여 8시간에 설계강도를 발현하는 급속 포장 콘크리트 배합에 대한 균열 및 내구 특성을 평가하였다. 균열 실험은 소성수축, 건조수축, 자기수축시험을 실시하였으며 내구특성 실험은 물투수시험, 동결·융해반, 마모저항성시험, 표면바리시험을 실시하였다.

## 2. 배합설계

본 연구에서 사용한 배합은 8시간에 설계강도를 발현하도록 도출된 적정배합(P1)을 바탕으로 하였으며 조기교통개방 콘크리트 재료의 큰 문제점인 균열저항성을 확보하기 위해 수축저감제 및 PVA섬유의 효과를 평가하기 위하여 P2배합을 비교 실험하였다. 사용된 배합은 표 1에 나타내었다.

Control 배합은 조강 시멘트만을 사용하고 축진제를 사용하지 않은 배합으로서 조강제를 사용한 경우와의 수축 및 내구특성을 비교하기 위하여 사용하였다.

시멘트는 3종 시멘트를 사용하였으며 잔골재는 비중 2.53의 강모래를 사용하였다. 굵은 골재는 최대치수 19 mm, 비중 2.60의 부순골재를 사용하였다.

## 3. 수축특성 및 내구특성 실험방법

### 3.1 모르타르 소성수축

소성수축으로 인한 균열 가능성을 파악하기 위해 우선적으로 콘크리트에서 보다 균열이 더 많이 발생할 수 있는 모르

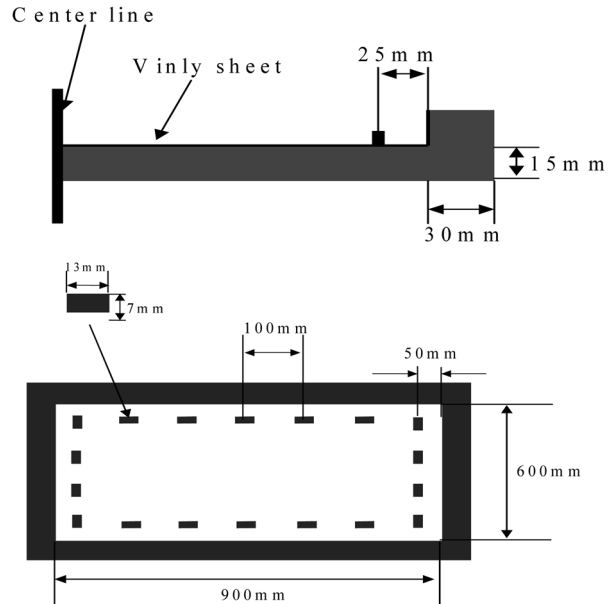


그림 1. 모르타르 소성수축 시험장치

표 1. 배합설계

Mixture	W/C	Calcium Nitrate (%)	S/a (%)	Unit weight (kg/m <sup>3</sup> )							
				W	C*	S	G	SRA**	SP***	AEA****	PVA fiber
Control	0.32	0	48	153.6	480	811.87	893.1	-	3.12	0.02	-
P1		3						-	2.64	0.01	-
P2		-						19.2	3.84	0.19	0.76

\*Type III cement, \*\*Shrinkage Reducing Agent, \*\*\*Superplaticizer, \*\*\*\*Air Entraining Agent

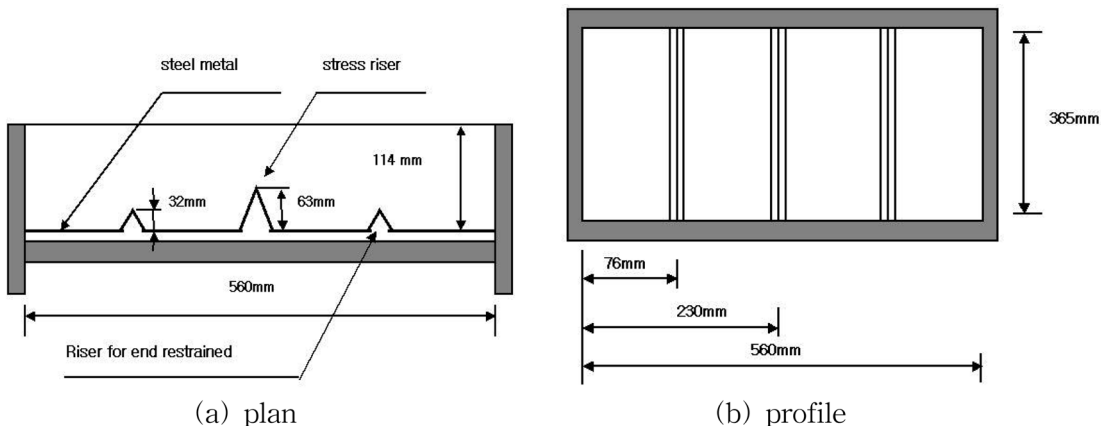


그림 2. 콘크리트 소성수축 시험장치

타르를 가지고 control 배합과 P1, P2 배합에 대해 소성수축 균열을 평가하였다. 모르타르 배합은 조기 교통개방 콘크리트배합에서 No. 4체를 이용하여 굵은 골재를 제외한 배합비를 사용하였으며 시험방법은 Kraai에 의한 시험방법으로 실시하였다(Kraai, 1985). 시험에 사용된 몰드는 그림 1과 같으며 900×600×150 mm의 얇은 판 모양으로 둘레에 인장응력을 발생시킬 수 있는 구속 조건을 100 mm 간격으로 주어 시험을 실시하였다.

믹싱 후 모르타르를 몰드에 붓고 흡손을 사용하여 길이방향으로 5회 왕복하여 미장을 하였다. 타설 후 온도 28±2°C, 습도 20±5%가 되도록 유지하고 풍속 6 m/sec로 일정하게 유지하였다. 이러한 조건으로 24시간동안 유지시켜 시험을 실시한 후 균열을 관찰하였다. 발생된 균열의 평가는 균열 폭과 길이를 구하고 이를 곱하여 총 균열면적을 구하였다. 균열제어를 위한 실험은 PVA 6 mm 섬유를 단독으로 혼입한 경우와 수축저감제를 단독으로 혼입한 경우 그리고 PVA 섬유와 수축저감제를 동시에 사용하여 수행하였다.

### 3.2 콘크리트 소성수축

콘크리트 소성수축시험은 Balaguru등이 제안한 실험에 의해 실시하였다(Balaguru, 1994). 그림 2와 같이 560×365 mm의 표면 면적의 사각형태로 중심부와 양끝부에서 76 mm의 거리에 구속조건을 주는 금속조각판이 응력을 유발하여 이 부근에서 균열이 발생되도록 하였다. 몰드 바닥으로부터 콘크리트가 쉽게 분리되기 위해 몰드 내부에 적당하게 기름칠을 한 후 몰드에 콘크리트를 채우고 상부표면이 수평이 되도록 진동 다짐을 실시하였다. 총 진동다짐시간은 재료 분리를 방지하기 위해 12초내로 제한하였다. 각 시험편의 표면은 콘크리트 표면균열 형성에 영향을 주지 않도록 3회에 걸쳐 동일한 방향과 속도로 마무리 하였다. 타설 후 온도 28±2°C, 습도 20±5%가 되도록 유지하고 풍속 6 m/sec로 일정하게 유지하였다. 시험 결과를 평가하기 위하여 균열 폭은 Microscope를 이용하여 측정하고 균열길이는 실을 이용하여 균열에 따라 놓은 다음에 실의 양끝을 끈에 핀 길이를 측정하였다. 측정된 균열은 매우 미세하여 펜으로 균열을 따라 선을 덧써워 시각적으로 관찰이 쉽도록 하였다. 이렇게 하여 얻어진 균열 폭과 균열길이를 곱하여 균열면적을 산출하였다.

### 3.3 모르타르 건조수축

모르타르의 건조수축시험은 KS F 2424(모르타르 및 콘크리트의 길이 변화 시험 방법-다이얼게이지 방법)에 준하여 시험을 실시하였다(KS F 2424). 25.4×25.4×285.75 mm의 시험편을 제작하여 8시간 후 탈형하고 즉시 측정하여 이 시점의 측정값을 기준값으로 하였다. 공시체는 온도 23±2°C, 상대습도 50±5%의 항온 항습실에서 양생하고 다이얼게이지(dial gauge)를 이용하여 공시체의 수축량을 50일 동안 5일 간격으로 측정하여 기록하였다.

### 3.4 콘크리트 건조수축

건조수축 균열 실험은 바 테스트(bar test), 판 테스트(plate test) 및 링 테스트(ring test)등 여러 가지 방법이 제

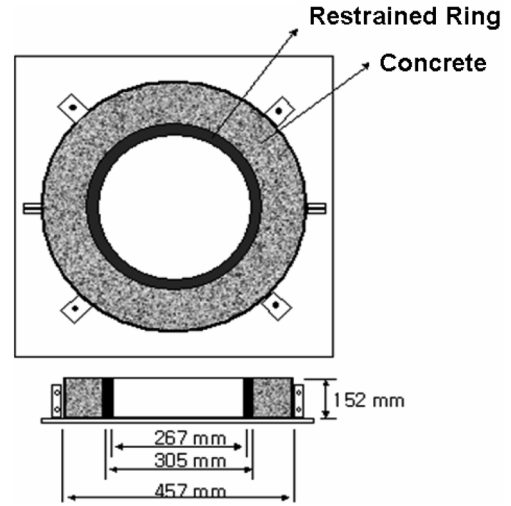


그림 3. 링 테스트 시험장치

안되고 있으나 그 중 가장 높은 구속력을 지속적으로 고르게 분포시키는 링 테스트가 보편화 되어 있다. 실제 많은 연구자들이 치수는 다르지만 링 테스트를 사용하여 건조수축 실험을 실시하였다. 본 연구에서도 교면 포장 고성능 콘크리트의 건조수축균열 제어특성을 알아보기 위하여 그림 3과 같은 AASHTO PP34-98(Standard Practice for Estimating the Crack Tendency of Concrete)에 의거하여 링 테스트로 실험을 실시하였다(AASHTO PP34-98). 실험은 두 링 사이의 공간에 콘크리트를 타설 하여 1일 후에 외부 몰드를 제거하였고 수분의 증발을 외부 원형표면으로 유도하기 위해서 콘크리트 공시체 상면을 실리콘으로 실링 하였다. 이후에 상대 습도 45%, 온도 23°C의 항온항습실에서 90일간 균열의 발생 및 성장을 관찰하였다.

### 3.5 자기수축

급속 보수용 포장 콘크리트의 자기수축시험은 KS F 2586(시멘트풀, 모르타르, 콘크리트의 자기 수축 및 자기 팽창 시험 방법)에 준하여 시험을 실시하였다(KS F 2586). 그림 4와 같이 100×100×400 mm 몰드에 테플론 시트 및 폴리에스테르 필름 등을 이용하여 시료의 자유로운 변형이 구속되는 것을 방지하고 게이지 플러그를 약 30 mm의 깊이로 매설시킨 다음 콘크리트 타설하였다. 다이얼 게이지를 이용하여 각 시료의 초결 시간의 수축값을 기준 값으로 하여 8시간 후 수축량을 측정하고 바로 탈형한다. 탈형 후 공시체 전면을 얇은 알루미늄 집착테이프로 봉하고 곧바로 수축량을 측정한다. 공시체는 온도 23±2°C, 상대습도 50±5%의 항온 항습실에서 양생하고 5일 간격으로 30일 동안 수축량을 측정하였다.

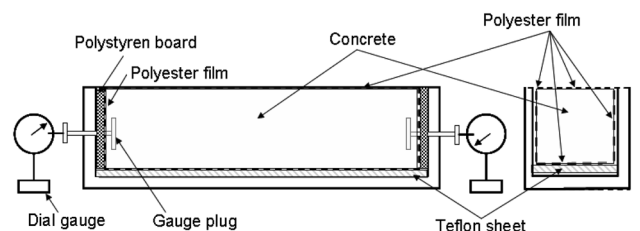


그림 4. 자기수축 시험장치

### 3.6 물투수

포장 콘크리트에 있어서 투수성은 가장 중요한 요소이면서 강도뿐만 아니라 내구성에서도 중요한 의미를 갖는다. 투수성의 증가는 균열의 확장에 의해 강도를 저하시키는 작용뿐만 아니라 동결·융해 및 마모 등 내구성을 악화시킨다. 본 연구에서는 조기 교통개방 콘크리트의 투수성을 평가하기 위해서 US Army CRD-C 48-92 규정과 유사한 외압식 투수실험방법에 따라 투수시험을 실시하였다(엄주용, 1996). 외압식 투수실험방법은 내부에서 가압하여 외부로 물을 투수시켜 투수계수를 측정하는 방법으로 그림 5와 같은 물투수실험 장비를 이용하여 사용한다. 실험은 질소가스통의 압력이 가스관을 통하여 물탱크에 가해진다. 이때 정압계를 통과하여 물탱크에 압력이 가해지기 때문에 수압이 일정하게 가해지도록 조절하는 것이 가능하다. 적정 수량의 물을 채운 수조에서 투수계수 측정용 실린더까지는 가압관을 통하여 압력이 전달되도록 되어있다. 시편을 통과한 물은 시험대 밑의 메스실린더에 모이도록 하여 그 통과유량을 측정한다. 그 후 투수계수를 이론식을 통하여 계산하게 되는데 계산 방법은 Darcy의 법칙을 이용하여 투수계수를 계산할 수 있게 된다. 외압투수계수 측정에서 발생하는 투수현상은 2차원적인 축대칭 흐름으로 간주할 수 있다. 따라서 기본 1차원 흐름에서 Darcy의 식을 유도하면 식(1)과 같이 정리가 된다(엄주용, 1996) 실험은 측정 시간이 오래 걸리기 때문에 8시간의 짧은 재령을 평가하기에 무리가 있으므로 Ø150×300 mm의 원주형 공시체를 1일, 7일, 28일의 재령 별로 2개의 공시체를 제작하여 실시하였다.

$$K = -\frac{1}{2\pi h P} \frac{Q}{\ln \frac{a}{b}} \quad (1)$$

- 여기서,  $P_0$  : 시험기 외부 발생압  
 $Q$  : 유출유량  
 $a$  : 시험기 실린더의 내경  
 $b$  : 시험기 실린더의 외경  
 $h$  : 시편의 수직 높이

### 3.7 마모저항성

마모 저항성을 측정하기 위해서 ASTM C 944(Abrasion Resistance of Concrete or Mortar Surfaces by the Rotating-



그림 5. 물투수실험 장비

Cutter Method)의 시험방법에 준해 시험을 실시하였다 (ASTM C 944). Ø150×60 mm 원주형 공시체를 각 배합 별로 6개씩 제작하여 23±2°C, 상대습도 50±5%의 양생실에서 1일 동안 양생한 후 탈형하고, 23±2°C의 항온조건에서 8시간, 24시간, 7일, 28일간 수중 양생한 후 재령별로 2개씩의 마모시험을 시행하였다. 20 kg의 추를 중심축에 재하하여 콘크리트 시편에 지속적으로 20 kg의 하중을 전달시킨 상태에서 200 rpm의 rotating cutter를 회전시켰다. 2분간 회전시킨 결과를 1회로 하여 총 3회 실시하여 손실무게를 측정하였고 시험결과는 단위 면적당 손실무게로 나타내었다. 손실량의 무게 측정은 0.01 g의 정밀도를 갖는 저울을 사용하였다.

### 3.8 동결·융해 반복

콘크리트 포장체는 동절기 기온의 변화와 함께 동결·융해의 반복 작용을 받는다. 동결·융해 작용은 콘크리트 중의 자유수가 동결되어 체적이 팽창되므로 콘크리트 내부에 큰 팽창압력으로 인한 인장응력이 발생되어 콘크리트를 파괴시킨다. 본 연구에서는 조기 교통개방 콘크리트의 동결·융해의 저항성을 측정하기 위해서 100×100×400 mm의 각주형 공시체를 제작하여 온도 23±2°C, 상대습도 50±5%의 항온항습실에서 14일간 양생한 후 KS F 2456(급속 동결·융해에 대한 콘크리트의 저항시험 방법 중 B 방법-공기 중에서 급속 동결하여 수중에서 융해시키는 시험과정)에 따라 동결·융해시험을 수행하였다(KS F 2456). 1사이클을 4시간 이내로 하였으며 기준 공시체를 제작하여 공시체 중심에서의 온도를 4°C로 올리는 융해작용을 반복하였다. 매 30사이클에서 상대동탄성 계수를 측정하였으며 시험결과는 공시체 2개의 평균값을 사용하였다.

### 3.9 표면박리저항성

표면박리란 콘크리트 표면이 환경에 노출되어 있을 때 환경의 변화로 인해 점차 붕괴되어 표면부분이 떨어져 나가는 현상을 말한다. 콘크리트 표면 어디서나 발생할 수 있으나 특히 제설제와 제빙제가 많이 쓰이는 터널의 출입구, 경사로, 굴절 구간 등에서 자주 발생한다.

우리나라에서 현재 동절기에 제설제로 제빙염을 사용하고 있어 본 연구에서도 동결·융해에 의한 표면박리저항성을 측정하기 위해서 ASTM C 672(Scaling Resistance of Concrete Surfaces Exposed to Deicing Chemicals)의 시험방법에 따라 실시하였다(ASTM C 672). 시험은 220×220×80 mm의

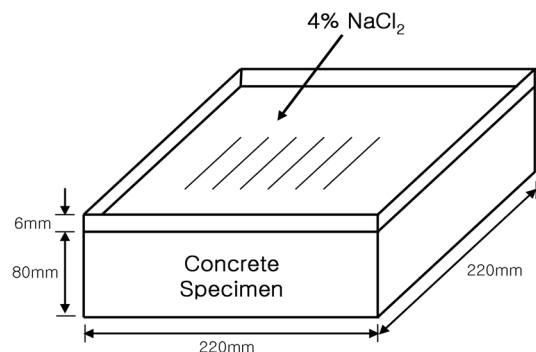


그림 6. 표면박리시험

표 2. 콘크리트 표면바리 등급(Kenjin 등, 2005)

Rating	Condition of Surface
0	no scaling
1	very slight scaling (3.2 mm depth, max, no coarse aggregate visible)
2	slight to moderate scaling
3	moderate scaling (some coarse aggregate visible)
4	moderate to severe scaling
5	severe scaling (coarse aggregate visible over entire surface)

정사각형 공시체를 제작하여 14일 동안 23±2°C에서 수증양 생을 한 후 동일한 온도와 상대습도 45~55%의 항온 항습 실에서 14일간 양생을 하였다. 28일간의 양생 후 공시체 표면 가장자리에서 높이 6 mm 정도의 벽을 만든 후 4%의 염화칼슘(CaCl<sub>2</sub>) 용액을 공시체 표면에 유지시켰다. 이때 동결·융해반복은 -17±1.7°C에서 16~18시간 동안 동결을 시킨 다음 23±2°C, 상대습도 45~55%에서 6~8시간 동안 융해시키는 것을 1사이클로 하여 총 50사이클 동안 수행하였다. 매 5사이클마다 표면상태를 측정하기 위해 ASTM 규정에 따라 표 2의 등급으로 표면바리정도를 관찰하였다. 시험은 각 배합별로 공시체 2개를 제작하여 실시하였으며 시험에 사용된 공시체는 그림 6과 같다.

#### 4. 실험결과

##### 4.1 모르타르 소성수축

소성수축균열은 초결 동안에 콘크리트의 체적변화와 인장 강도발현 사이에 상호 의존적인 관계에 많은 영향을 받고 표면에서 증발된 수분을 대체할 블리딩 수가 충분치 않을 때 발생한다. 그림 7~9는 각 배합에 따른 시험 후의 균열 모습을 나타낸 것이다. 3종 시멘트만을 사용한 control 배합과 조강제를 첨가한 P1 배합 모두 많은 소성수축균열이 나타났다. 특히 조강제를 사용한 P1 배합에서 많이 발생하였는데 특히 폭이 큰 균열이 많이 발생하였다. 이는 조기 강도 발현을 위한 급격한 수화반응과 낮은 물-시멘트비의 영향으로 판단된다. 소성수축균열 제어를 위해 수축저감제와 균열 제어에 효과적인 PVA섬유를 혼입한 P2 배합에서는 균열이 발생하지 않았다.

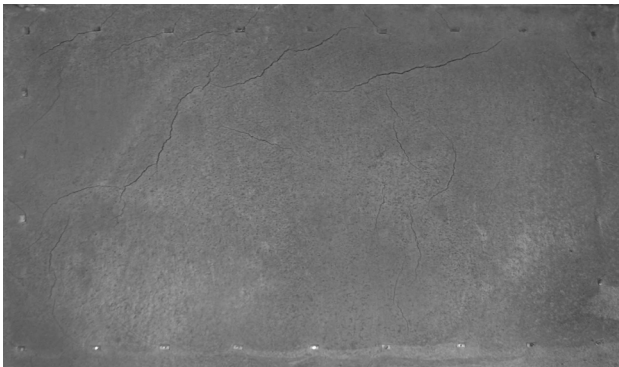


그림 7. 모르타르 소성수축 균열모습 (control)

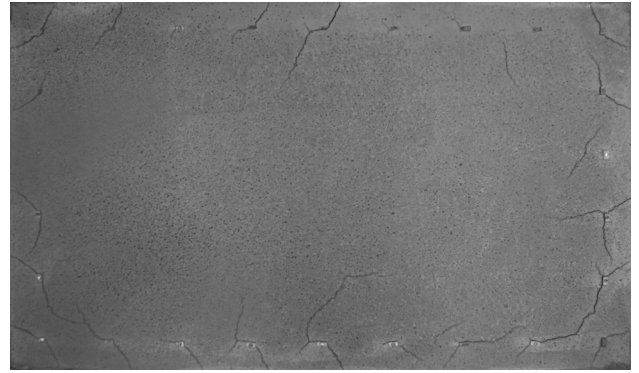


그림 8. 모르타르 소성수축 균열모습 (P1)



그림 9. 모르타르 소성수축 균열모습 (P2)

##### 4.2 콘크리트 소성수축

콘크리트의 소성수축을 시험한 결과 모르타르 소성수축 시험과 달리 모든 배합에서 균열이 발생하지 않았다. 소성수축 균열에 더 민감한 모르타르와 달리 콘크리트에서는 조강제 혼입 유, 무에 상관없이 균열이 발생하지 않았다. 이는 굵은 골재가 많이 들어갈수록 치수안전성, 즉 수축할 수 있는 체적이 감소하게 되므로 모르타르와는 달리 콘크리트 소성수축 실험에서는 균열이 발생하지 않은 것으로 판단된다.

##### 4.3 모르타르 건조수축

급속 시공용 8시간 교통개방 포장 콘크리트의 모르타르 건조수축 시험결과는 그림 10과 같다. P2 배합 및 P1 배합이 50일 후 각각 887 μm, 1006 μm의 길이변화율을 보인 반면 조강제를 첨가하지 않은 control 배합은 1223 μm의 길이변화율을 보였다. 이는 control 배합이 조강제를 혼입하지 않았으므로 강도발현을 위한 수화반응이 느림에 따라 잉여

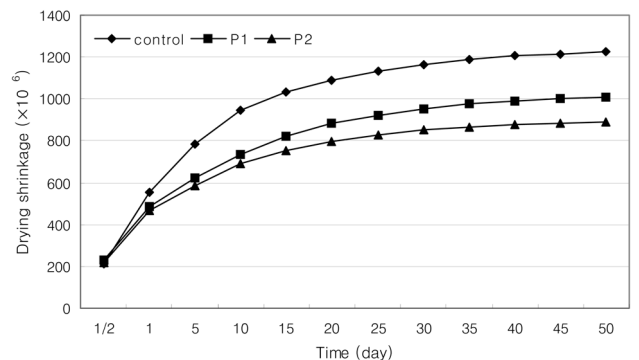


그림 10. 모르타르 길이변화

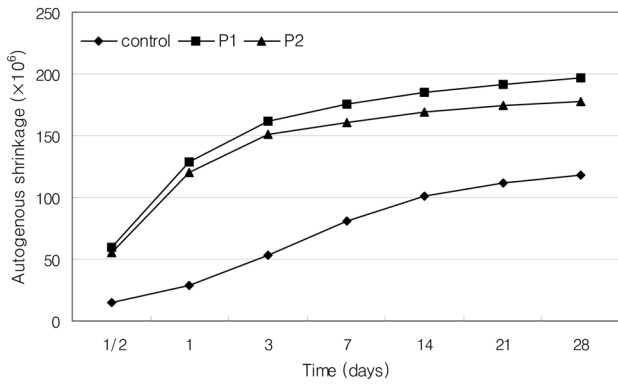


그림 11. 자기수축 시험결과

수의 증발로 인해 다른 배합보다 많은 손실이 발생된 결과라 판단된다. P2 배합과 P1 배합은 최대길이변화율에서는 큰 차이는 보이지 않고 모두 길이변화율이 서서히 증가하였지만 수축저감제와 PVA섬유 혼입으로 인하여 P2 배합이 P1 배합보다 재령 50일까지 길이변화가 보다 작게 발생하는 것을 관찰할 수 있었다.

#### 4.4 콘크리트 건조수축

90일 동안 항온항습실에서 링 테스트를 통해 콘크리트 건조수축을 측정된 결과 3종류의 배합 모두 균열이 발생하지 않았다. 콘크리트 건조수축 역시 콘크리트 소성수축과 마찬가지로 골재의 영향과 두께로 인해 균열이 발생하지 않은 것으로 판단된다.

#### 4.5 자기수축

조기 개방용 급속 포장 콘크리트의 자기수축 시험결과는 그림 11과 같다. 자기수축 시험결과 조강제가 혼입되지 않은 control 배합의 경우 118  $\mu\text{m}$ 의 수축량을 보인 반면 조강제가 혼입된 P2 배합 및 P1 배합은 수축량이 각각 178  $\mu\text{m}$ , 197  $\mu\text{m}$ 으로 크게 나타났다. 조강제가 혼입된 두 배합에서 8시간에 고강도를 발휘함으로써 상대적으로 건조수축보다는 자기수축이 커지는 것으로 판단된다.

#### 4.6 물투수

급속 보수용 포장 콘크리트의 물투수실험 결과는 그림 12와 같다. 실험 결과 control 배합의 경우 P1 배합, P2 배합과 유사한 투수성을 나타내었다. 28일 재령에서 계산된 control, P1, P2 배합의 투수계수는 각각  $7.01 \times 10^{-12}$  cm/sec,  $6.23 \times 10^{-12}$  cm/sec,  $6.48 \times 10^{-12}$  cm/sec가 나타났는데 모든 배합에서 일반적인 콘크리트의 투수계수인 약  $10^{-10}$  cm/sec보다 매우 낮은 값을 나타냄으로써 내구성능에 있어서 가장 중요한 요소인 투수저항성에서 우수한 성능을 발휘한다고 볼 수 있다.

#### 4.7 마모저항성

콘크리트의 마모저항성은 콘크리트의 구조와 직결되며 일종의 수밀성과도 관계된다고 볼 수 있다. 다시 말해 조직이 치밀하면 마모에 대한 저항성도 증가된다고 볼 수 있다. 조기 교통개방용(8시간) 포장 콘크리트의 배합에 대한 마모저항에 대한 시험결과는 그림 13과 같다. Control 배합은 조

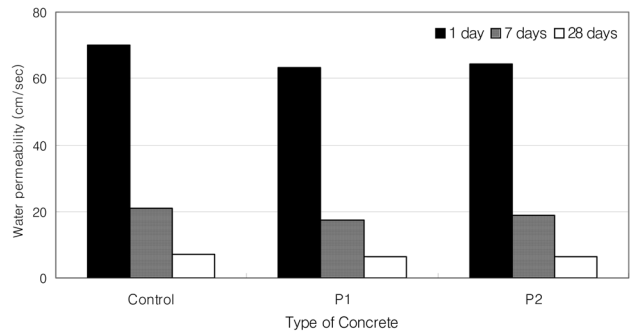


그림 12. 물투수 시험결과

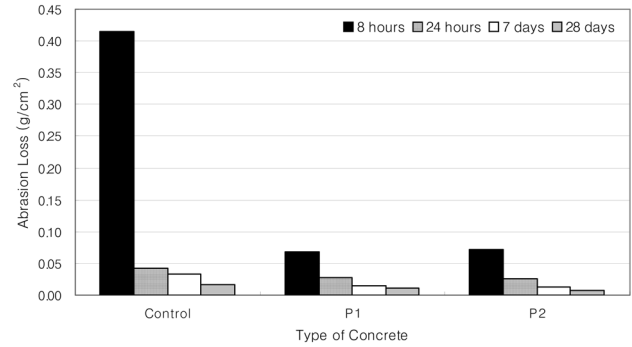


그림 13. 마모저항성 시험결과

강제가 혼입되지 않아 재령 8시간에 강도발현이 되지 않아 마모율이 매우 높게 나타났다. 하지만 재령 1일 이후로는 다른 배합들과 유사한 강도가 발현됨에 따라 마모저항성이 증가하였다. 수축저감제와 PVA섬유를 혼입한 배합이 혼입하지 않은 배합보다 마모저항성이 다소 높게 나타났는데 큰 차이는 발생하지 않았다. 1일 이후의 재령에서는 모든 배합에서 우수한 마모저항성을 보여주었다.

#### 4.8 동결·융해 반복시험

신속개방형 급속 포장 콘크리트의 동·융해 반복 시험결과는 그림 14와 같다. 시험결과 모든 배합에서 재령이 증가함에 따라 동결·융해 저항성이 떨어지지만 우수한 동결·융해저항성을 확인할 수 있다. 모든 배합이 240 cycle이 지난 후에도 육안으로 관찰하기에도 매우 좋은 상태를 유지하였다. 초기의 상대동탄성계수에 비해 control 배합은 92.95%, P1 배합은 93.30%, P2 배합은 93.57%를 나타내어 P2 배합이 가장 우수한 동결·융해 저항성을 보였지만 그 차이는 크지 않았다. 이와 같은 결과는 콘크리트 내부구조의 밀실화

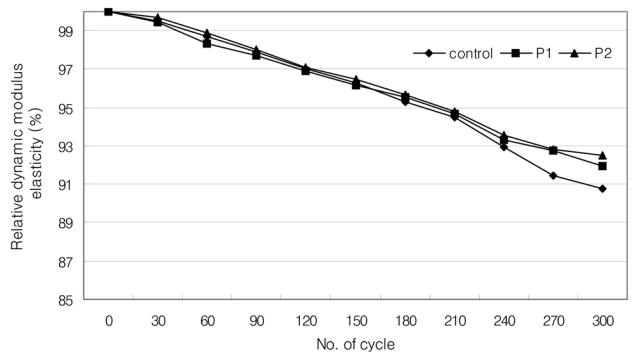


그림 14. 동결·융해 반복 시험결과

표 3. 표면박리저항성 시험결과

(Visual rating: 0=Best, 5=Worst)

Type of Mixture		Cycle										Sum of Rating
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	
Control	Batch 1	0	0	0	0	1	2	2	2	2	3	12
	Batch 2	0	0	0	0	0	1	1	2	2	3	9
P1	Batch 1	0	0	0	0	0	1	1	2	2	3	9
	Batch 2	0	0	0	0	1	2	2	2	2	3	12
P2	Batch 1	0	0	0	0	0	1	1	2	2	2	8
	Batch 2	0	0	0	0	1	1	2	2	2	2	10

를 통해 수분의 침투를 억제하는 동시에 동결팽창에 의한 압력을 충분히 흡수할 수 있는 공기량을 확보하였기 때문이다.

4.9 표면박리저항성

급속 포장 콘크리트의 표면박리저항성에 대한 육안판독 결과를 표 3에 나타내었다. 육안판독 결과 모든 배합에서 20 사이클까지 아무런 현상이 없다가 25사이클 이후부터 서서히 박리현상이 일어났다. 조강제 및 수축저감제, PVA섬유의 혼입에 따른 배합별 표면박리저항성은 큰 차이가 나타나지 않음을 알 수 있는데 이와 같은 결과는 모든 배합에서 1일 이후에 고강도를 발휘하여 밀실한 구조를 이루고 있기 때문이라 판단된다.

5. 결 론

본 연구에서는 대단면 급속 포장 콘크리트의 내구특성 및 수축현상을 파악하기 위하여 물투수실험, 마모저항성, 동결·융해, 표면박리저항성 및 수축시험을 실시하였다. 실험 결과 PVA 섬유를 혼입한 P2 배합의 경우 수축균열 제어에 효과적인 것으로 나타났다. 또한 질산칼슘 조강제를 사용한 P1과 P2의 경우 control 배합에 비해 보다 밀실한 구조를 이루고 있어 보다 우수한 내구성능 결과를 보여주었다.

1. 모르타르 소성수축 균열평가를 시험한 결과 조강 시멘트만을 사용한 배합과 조강제를 첨가한 배합 모두 많은 소성수축균열이 나타났다. 특히 조강제를 사용한 배합에서 많이 발생하였는데 그 중에서도 균열폭이 큰 균열이 많이 발생하였다. 이는 조기 강도발현을 위한 급격한 수화반응과 고강도로 인한 자기수축의 영향으로 판단된다. 소성수축균열 제어를 위해 수축저감제와 PVA섬유를 혼입한 배합에서는 균열이 발생하지 않았다.
2. 모르타르 건조수축 시험결과 P2 배합과 P1 배합은 최대 길이변화율에서는 큰 차이는 보이지 않고 모두 길이변화율이 서서히 증가하였지만 수축저감제와 PVA섬유 혼입 유·무 대한 차이로 P1 배합의 경우 P2 배합보다 재령 50일까지 길이변화가 보다 크게 발생하는 것을 관찰할 수 있었다.
3. 콘크리트의 소성수축 및 건조수축을 시험한 결과 모르타르 소성수축 시험과 달리 모든 배합에서 균열이 발생하지 않았다.
4. 콘크리트의 자기수축 시험결과 control 배합에서는 자기수축보다는 건조수축의 영향으로 수축이 크게 발생하였고 조

강제가 혼입된 두 배합에서 8시간에 고강도를 발휘함으로써 상대적으로 건조수축보다는 자기수축의 양이 커지는 것으로 판단된다.

5. 물투수실험 결과 28일 재령에서 투수계수는 각각 모든 배합에서 일반적인 콘크리트의 투수계수인 약  $10^{-10}$ cm/sec 보다 매우 낮은 값을 나타냄으로써 보수용 포장 콘크리트에 있어서 가장 중요한 요소인 투수저항성에서 우수한 성능을 발휘한다고 볼 수 있다.
6. 수축저감제와 PVA섬유 혼입 유·무 따른 마모저항성을 살펴보면 수축저감제와 PVA섬유를 혼입한 배합이 혼입하지 않은 배합보다 마모저항성이 다소 높게 나타났는데 큰 차이는 발생하지 않았다. 1일 이후의 재령에서는 모든 배합에서 우수한 마모저항성을 보여주었다.
7. 동결·융해 반복 시험결과 모든 배합이 210 cycle이 지난 후에도 육안으로 관찰하기에도 매우 좋은 상태를 유지하였다. 이는 모든 배합에서 공기량의 범위를 3~6% 범위를 만족함으로써 내부수분이 동결하여 체적이 팽창함에 따라 발생하는 팽창압을 완화시키는 작용을 했기 때문이다.
8. 표면박리저항성에 대한 육안판독 결과 모든 배합에서 25 사이클 이후부터 서서히 박리현상이 일어났다. 조강제 및 수축저감제, PVA섬유의 혼입에 따른 배합별 표면박리저항성은 차이가 거의 나타나지 않지 않았다. 이와 같은 결과는 모든 배합에서 1일 이후에 고강도를 발휘하여 밀실한 구조를 이루고 있기 때문이라 판단된다.

참고문헌

박해균, 원종필(2008) 고성능 콘크리트를 활용한 교량 교면포장 기술, 한국콘크리트학회 봄 학술 발표회 논문집, 한국콘크리트학회, Vol. 20, No. 1, pp. 1113-1116.

엄주용(1996) 일반콘크리트 및 특수콘크리트의 투수특성 연구(II), 한국도로공사 도로연구소 최종보고서.

조서연, 한범성, 이상달, 이성수, 이상순, 이일용(2001) 교면 포장 및 바다관 손상 방지를 위한 내 부 침투수 처리시스템 개발, 한국콘크리트학회 가을 학술발표회 논문집, 한국콘크리트학회, Vol. 13 No. 2, pp. 1175-1180.

한국도로공사(2005) 고속도로 공사용 건설재료 품질 및 시험기준. 한국콘크리트학회(2005) 최신콘크리트공학.

ASTM C 944, Abrasion Resistance of Concrete or Mortar Surfaces by the Rotating-Cutter Method.

KS F 2456, 급속 동결·융해에 대한 콘크리트의 저항시험 방법 중 B 방법-공기 중에서 급속 동 결하여 수중에서 융해시키는 시험과정.

ASTM C 672, Scaling Resistance of Concrete Surfaces Exposed to Deicing Chemicals.

- Kenjin Wang, Daniel E. Nelsen, and Wilfrid A. Nixon (2005) Damaging effects of deicing chemicals on concrete materials.
- Balaguru (1994) Contribution of fibers to crack reduction of cement composites during the initial and final setting period, *ACI Materials Journal*, pp. 280-288.
- Kraai, P.P. (1985) A proposed test to determine the cracking potential due to drying shrinkage of concrete, *Concrete Construction*, pp. 775-778.
- KS F 2424, 모르타르 및 콘크리트의 길이 변화 시험 방법-다이얼게이지 방법.
- AASHTO PP34-98, Standard Practice for Estimating the Crack Tendency of Concrete.
- KS F 2586, 시멘트풀, 모르타르, 콘크리트의 자기 수축 및 자기 팽창 시험 방법.
- (접수일: 2008.10.21/심사일: 2008.11.13/심사완료일: 2008.11.13)