



# 박층 교면포장용 아크릴 콘크리트의 물리적 특성 연구

## A Study on the Physical Characteristics of Acryl Concretes for Thin Bridge Deck Pavements

김 태 우\*      김 대 영\*\*      윤 만 뚜 안\*\*\*      이 현 증\*\*\*\*  
Kim, Tae Woo      Kim, Dae young      Nguyen, Manh Tuan      Lee, Hyun Jong

### Abstract

This study focuses on evaluating the applicability of an acryl based polymer concrete to the thin bridge deck pavements. The acryl concrete developed in this study is composed of Methyl Methacrylate(MMA) resin, benzol peroxide and fillers. To study the effects of the types and amounts of the components on the physical characteristics of the acryl concrete, viscosity, compressive strength and bending tests were conducted. The optimum mixture design was then determined based on the testing results. Several different types of laboratory tests, such as water and chlorine ion penetration tests, shrinkage and thermal coefficients tests, and tensile bonding strength tests were performed for the optimum acryl concrete and conventional cement concrete. The testing results show that water and chroline ion resistance, bonding strength between acryl and cement concrete and crack resistance of the acryl concrete is better than those of the conventional cement concrete. There are shortcomings that the conventional acryl concrete has a higher shrinkage and thermal coefficients. However, it was confirmed that to use newly developed rubberized MMA resin in this study reduces the crack resistance with substantially increased ductility.

**Keywords :** MMA, thin bridge deck pavements, acryl concretes, cement concretes, water proof, shrinkage, thermal coefficients

### 요 지

본 연구에서는 MMA 계열의 폴리머 콘크리트를 콘크리트 교량 상판의 박층 교면포장으로 적용 가능성에 대한 검토를 수행하였다. 아크릴수지와 경화제, 충전제(탄산칼슘 및 규사)로 구성되어진 아크릴 콘크리트의 성분 종류 및 배합비율 등이 아크릴 콘크리트의 물리적 특성에 미치는 영향을 파악하기 위하여 점도시험, 압축강도시험, 휨시험 등을 수행하였으며, 시험을 통해 최적 배합비율을 결정하였다. 최적 배합비율로 생산된 아크릴 콘크리트에 대해 투수저항성, 염소이온 침투 저항성, 경화수축량, 열팽창계수, 부착강도 시험 등의 물리적 특성 시험을 실시하였다. 시험결과 폴리머 콘크리트가 기존의 일반 시멘트 콘크리트에 비해 방수성능이 우수하고 염소이온 침투 저항성도 우수한 것으로 나타났다. 또한 기존 바닥 콘크리트와의 부착성도 우수하고 균열 저항성도 우수한 것으로 나타났다. 기존의 아크릴 수지는 경화시 수축량이 크고, 열팽창계수 또한 일반 시멘트 콘크리트에 비해 큰 단점이 있으나 본 연구에서 새롭게 개발한 아크릴 수지를 적용한 결과 대폭 증가된 연성으로 인해 균열발생 가능성을 낮출 수 있을 것으로 확인되었다.

**핵심용어 :** MMA, 박층 교면포장, 아크릴 콘크리트, 시멘트 콘크리트, 방수, 경화수축, 열팽창계수

\* 정회원 · 세종대학교 토목환경공학과 박사과정(E-mail : jjang717@dreamwiz.com)  
\*\* 정회원 · 세종대학교 토목환경공학과 석사과정(E-mail : ssadare@naver.com)  
\*\*\* 정회원 · 세종대학교 토목환경공학과 박사과정(E-mail : manh-tuan@hotmail.com)  
\*\*\*\* 정회원 · 세종대학교 토목환경공학과 부교수 · 공학박사(E-mail : hlee@sejong.ac.kr)



## 1. 서론

건설재료로서 대표적으로 사용되고 있는 포트랜드 시멘트 콘크리트는 경제성 및 구조적 특성상 여러 가지 장점을 가지고 있으나 결합재가 시멘트 수화물이기 때문에 상대적으로 경화가 느리고, 작은 인장강도 및 큰 건조수축, 내약품성 취약 등의 단점을 가지고 있다. 이러한 단점을 개선하기 위하여 콘크리트 제조시에 사용하는 결합재의 일부 또는 전부를 고분자 폴리머로 대체시켜 제조한 것을 폴리머 콘크리트라 한다. 폴리머 콘크리트는 결합재, 경화제, 충전재, 골재 등으로 구성되며 결합재로는 불포화 폴리에스터 수지, 폴란 수지, 페놀 수지, MMA(Methyl Methacrylate) 수지 등이 이용되고 있다. 이러한 폴리머 계열의 콘크리트는 빠른 경화로 콘크리트 구조물의 보수·보강에 많이 사용될 뿐만 아니라 교통하중으로 인한 진동에 대한 저항성 및 완벽한 방수 성능으로 교량의 방수층에도 이용될 수 있다.

최근에는 미국과 유럽의 경우 이러한 폴리머 콘크리트(주로 폴리에스터 및 MMA 수지 계열)를 사용하여 콘크리트 상판 교량의 박층 교면포장으로 적용하는 사례가 증가하고 있다(ACI 548.5R-94, 1998). 미국에서는 콘크리트 상판 교량의 경우 기존에는 대부분 노출 바닥판을 선호하였으나 콘크리트 상판의 균열과 철근의 부식 문제, 유지보수의 어려움, 평탄성 저하 등의 문제로 인해 일부 주에서는 노출 바닥판 위에 2cm 이내의 박층 폴리머 콘크리트 포장을 적용하고 있다. 일례로 캘리포니아에 건설되고 있는 Bay Bridge의 경우 콘크리트 상판구간에 2cm 내외의 폴리에스터 콘크리트를 포장재로 적용하는 등 많은 교량의 신설포장 또는 개보수 포장에 폴리머 콘크리트 포장을 적용하고 있다. 박층 폴리머 콘크리트 포장의 경우 기존의 8cm 두께의 아스팔트 포장에 비해 두께가 1/4 수준으로 얇기 때문에 교량의 사하중을 대폭 경감할 수 있어 경제성 측면에서 유리할 뿐만 아니라 내구성 측면에서도 유리하기 때문에 그 사용이 점차 증대될 것으로 판단된다.

국내의 경우에는 현재까지 폴리머 콘크리트를 박층 교면포장재로 적용한 사례는 없으나 최근 한국도로공사와 세종대학교에서 공동으로 노화된 교량의 상판 보수 및 방수재로 사용하기 위하여 MMA 계열의 폴리머 콘크리트(이하 아크릴 콘크리트로 명칭함)를 개발하여 현장에 적용한 사례가 있다(이광호 등, 2007). 아크릴 콘크리트의 경우 물리적 특성에 대한 연구(연구석 등, 2006)가 이미 국내에서도 시도된바가 있으나 콘크리트 상판의 박층 교면포장으로 적용가능한가에 대한 연구는 전무한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 세종대학교가 공동으로 개발한 아크릴 수지(MMA 수지)를 사용하여 폴리머 콘크리트를 개발하고, 다양한 물리 역학적 시험을 통해 박층 교면포장재로서 아크릴 콘크리트의 적용 가능성에 대한 검토를 수행하였다. 본 연구에서 개발한 아크릴 콘크리트는 아크릴 수지와 경화제, 충전재(탄산칼슘 및 규사) 등으로 구성되어 있다. 따라서 이러한 구성성분의 종류 및 배합비율 등이 아크릴 콘크리트의 물리적 특성에 미치는 영향을 파악하기 위하여 점도시험, 압축 및 인장강도 시험, 휨시험, 경화수축 및 열팽창계수 시험 등을 실시하였다.

## 2. 시험재료 및 방법

### 2.1 시험재료

본 시험에 사용된 아크릴 수지는 기존의 연구(서재운 등, 2007)에서 개발된 수지를 사용하였다. 아크릴 콘크리트의 충전재로 사용되는 규사와 탄산칼슘은 입자 크기와 배합비율을 달리하여 시험을 실시하였다. 규사는 입경 1.5~0.8mm의 규사 4호와, 입경 0.8~0.4mm의 규사 5호를 1:1비율로 혼합한 규사 4-5호, 입경 0.8~0.4mm의 규사 5호와 입경 0.4~0.2mm의 규사 6호를 1:1비율로 혼합한 혼합 규사 5-6호, 입경 0.4~0.2mm의 규사 6호와 0.2~0.1mm의 규사 7호를 1:1비율로 혼합한 혼합

규사 6-7호, 총 3종류의 혼합규사를 시험에 사용하였다. 탄산칼슘은 최대 입경이 각각 140 $\mu$ m (100mesh), 53 $\mu$ m (270mesh), 46 $\mu$ m (300mesh)의 세 종류를 사용하였고, 혼합규사와 탄산칼슘의 배합비율을 변동하여 시험을 실시하였다.

실내 물성시험은 그림 1과 같이 크게 4개 부분으로 나누어 진행하였다. 먼저 1차적으로 탄산칼슘의 입경과 배합비율이 아크릴 콘크리트의 물리적 특성에 미치는 효과를 분석하기 위하여 표 1과 같이 입경이 다른 3종류의 탄산칼슘을 규사와의 혼합비율을 달리하여 시험을 실시하였다. 일반적으로 수지의 함량은 전체 혼합물의 중량 대비 20% 내외가 적절한 것으로 알려져 있으며, 본 시험에서는 기존의 연구(서재운 등, 2007; 이광호 등, 2007)에서 결정된 배합비율을 기본적으로 준용하였다. 규사는 본 연구에서 선정한 3 종류의 규사 가운데 입경이 중간 크기인 혼합규사 5-6호를 사용하였다.

2차 시험에서는 표 2에서 보는바와 같이 1차 시험에서 결정된 1종류의 탄산칼슘을 사용하여 규사의 입경과 배합비율을 달리하여 시험을 실시하였다. 또한 3차 시험에서는 1차 및 2차 시험에서 결정된 탄산칼슘 및 규사에 대해 이들의 배합비율은 일정하게

고정을 하고 표 3에서 보는바와 같이 수지의 첨가량만을 조절하여 시험을 실시하였다. 최종 4차 시험에서는 1, 2, 3차 시험을 통해 결정된 최적 배합비율로 생산한 아크릴 콘크리트에 대해 투수저항성, 염소이온 침투저항성, 경화수축량, 열팽창계수, 부착강도 시험 등의 물리적 특성 시험을 실시하였다.

표 1. 1차 시험에 적용된 재료별 배합비율

탄산칼슘 (140 Micron, 100Mesh) 사용			
시편 타입	아크릴 수지	탄산칼슘	규사5-6호
C100-1	18.8%	22.6%	58.3%
C100-2		26.3%	54.6%
C100-3		30.1%	50.8%
C100-4		33.9%	47.0%
탄산칼슘 (53 Micron, 270Mesh) 사용			
C270-1	18.8%	22.6%	58.3%
C270-2		26.3%	54.6%
C270-3		30.1%	50.8%
C270-4		33.9%	47.0%
탄산칼슘 (46 Micron, 300Mesh) 사용			
C300-1	18.8%	22.6%	58.3%
C300-2		26.3%	54.6%
C300-3		30.1%	50.8%
C300-4		33.9%	47.0%

표 2. 2차 시험에 적용된 재료별 배합비율

혼합규사 4-5호 (1.5~0.4mm) 사용			
시편 타입	아크릴 수지	탄산칼슘(53 $\mu$ m)	혼합규사
S45-1	18.81%(1)	22.6%	58.3%
S45-2		26.3%	54.6%
S45-3		30.1%	50.8%
S45-4		33.9%	47.0%
혼합규사 5-6호 (0.8~0.2mm) 사용			
S56-1	18.81%(1)	22.6%	58.3%
S56-2		26.3%	54.6%
S56-3		30.1%	50.8%
S56-4		33.9%	47.0%
혼합규사 6-7 (0.4~0.1mm) 사용			
S67-1	18.81%(1)	22.6%	58.3%
S67-2		26.3%	54.6%
S67-3		30.1%	50.8%
S67-4		33.9%	47.0%



그림 1. 실내시험 순서도



표 3. 3차 시험에 적용된 재료별 배합비율

S56-4번 시편의 아크릴 수지의 함량 변화			
시편 타입	아크릴 수지	탄산칼슘(53 $\mu$ m)	혼합규사
M56-1	16.0%	33.9%	5-6호 47.0%
M56-2	16.9%		
M56-3	17.9%		
M56-4	18.81%		
M56-5	19.8%		
M56-6	20.7%		
M56-7	21.6%		
S57-2번 시편의 아크릴 수지의 함량 변화			
M67-1	16.0%	26.3%	6-7호 54.6%
M67-2	16.9%		
M67-3	17.9%		
M67-4	18.81%		
M67-5	19.8%		
M67-6	20.7%		
M67-7	21.6%		

## 2.2 시험방법

### ■ 점도 시험

탄산칼슘의 입자크기 및 배합비율이 현장 시공시 아크릴 콘크리트의 워커빌리티(Workability)에 어떠한 영향을 미치는가를 평가하기 위하여 회전 점도계 LVDV-II pro를 사용하여 점도시험을 수행하였다. LVDV-II pro 점도계는 총 6개의 T자형태의 점도측정용 스피들(Spindle)로 구성 되어 있으며, 스피들이 상·하로 이동 회전하면서 점도를 측정 할 수 있는 시험장비이다.

스피들 종류에 따라 점도 측정 범위가 다르고, 회전수(RPM)에 따른 점도 측정범위가 다르기 때문에 선행시험을 통하여 적절한 스피들의 종류와 회전수를 결정하였다. 또한 아크릴 콘크리트의 경화가 빠른 시간에 발생되기 때문에 점도시험은 재료의 혼합이 완료되는 즉시 측정을 개시하여 200~500초 동안 측정된 점도 값 중 최대 및 최소값을 평균하여 결정하였다.

### ■ 강도 시험

본 연구에서는 강도 시험으로 압축 및 휨강도, 인장접착강도 시험을 실시하였다. 압축강도 시험에 사용된 공시체는 직경 100mm, 높이 200mm의 원통형 공시체 이며 일반적인 콘크리트 압축강도 시험에 준하여 시험을 실시하였다.

휨강도 측정을 위하여 4점 휨 시험을 실시하였고, 시험에 사용된 시편은 길이 300mm, 높이 50mm, 폭 50mm 크기의 공시체이다. 휨 시험은 -10℃, +20℃의 2개의 온도에서 실시하였고, 온도 조절을 위한 챔버를 사용 하였다.

아크릴 콘크리트를 교면포장재로 사용할 경우 기존 콘크리트 바닥판과의 접착성은 매우 중요한 요소이다. 따라서 본 연구에서는 직경 5cm, 높이 3cm 콘크리트 시편을 제작하고, 시편의 상면에 MMA 폴리머를 도포한 후 그 윗면에 아크릴 콘크리트를 타설하여 시편을 제작하였다. 시험은 -20℃와 +20℃ 두 온도에서 시험을 실시하여 아크릴 콘크리트와 일반 시멘트 콘크리트와의 접착력을 평가하였다. 본 시험은 KS F 2762에 준하여 콘크리트와의 접착강도를 측정하였다.

### ■ 방수성능 시험

아크릴 콘크리트의 방수성능을 평가하기 위하여 투수저항 시험을 실시하였다. 본 시험법은 특수 투수계수 시험장치가 없어 간이시험으로 20℃의 물이 담긴 수조에 48시간 수침시킨 후 시멘트 콘크리트와 아크릴 콘크리트의 표면건조 무게를 측정하여 수분이 침투하는 양을 비교하여 상대적인 투수저항성을 검토하였다.

외부환경에서 콘크리트 중으로 침투하는 이온, 수분, 이산화탄소 등의 물질은 여러 화학반응으로 철근의 부식이나 콘크리트의 팽창 반응을 발생시키고 콘크리트의 내구성에 중대한 영향을 미친다. 따라서 아크릴 콘크리트는 이러한 물질의 침투에 대한 저항성을 정확히 평가하는 것이 매우 중요하며, KS F 2711에 준하여 염소이온 침투저항성 시험을 실시하였다.



### ■ 경화수축 및 열팽창계수 시험

아크릴 콘크리트는 아크릴 수지와 BPO(경화제)와의 화학반응으로 경화되며, 이 때 상당한 경화수축이 발생한다. 아크릴 수지의 함량이 많을수록 더욱 많은 경화수축이 발생하며, 경화시 발생하는 수축량을 저감하기 위하여 수축저감제를 사용하기도 한다. 그러나 지나친 양의 수축저감제 사용은 강도 저하의 원인이 될 수도 있다(연규석, 2006). 경화 시 발생하는 수축량을 측정하기 위하여 시멘트 콘크리트 건조수축 시험과 동일한 시험 방법(김연복 등, 2002)으로 경화수축을 측정하였다.

열팽창계수는 일정한 압력 아래에 있는 물체의 열팽창과 온도 사이의 비율을 말한다. 표준온도 20℃를 기준으로 모든 물체는 온도 변화에 따라서 늘어나거나 줄어든다. 표준온도에서 멀어질수록, 열팽창계수가 커질수록 변화량이 커진다. 아크릴 콘크리트를 교면포장재로 적용할 경우 바닥판 콘크리트와 가급적 비슷한 수준의 열팽창계수를 가지는 것이 바람직하며, 열팽창계수의 차이가 클 경우 균열이 발생될 수 있다. 본 시험에서는 아크릴 콘크리트에 대한 열팽창계수를 AASHTO TP-60 시험법으로 측정하였다.

## 3. 시험결과

### 3.1 1차 시험: 탄산칼슘의 효과 분석

탄산칼슘의 입자크기 및 배합비율을 달리한 아크릴 콘크리트에 물성 시험 결과를 종합하여 정리하면 다음 표 4와 같다. 표에서처럼 탄산칼슘의 양이 증가함(혼합규사의 양은 감소)에 따라 점도가 감소하는 것을 확인할 수 있다. 탄산칼슘은 아크릴 수지를 규사와 잘 혼합되도록 확산 활동을 도와준다. 또한 탄산칼슘의 입경이 작아질수록 점도가 증가하는 것을 알 수 있다. 이는 입경이 작을수록 탄산칼슘 분말의 표면적이 증가하기 때문에 동일한 점도를 유지하기

표 4. 1차 시험 결과

탄산칼슘 (140 Micron, 100mesh)							
시편 타입	점도 (cP)	압축 강도 (MPa)	파괴시 압축 변형률	휨 강도 (MPa)		휨 변형률	
				+20℃	-10℃	+20℃	-10℃
C100-1	265,765	7.87	0.018	9.16	21.35	0.0232	0.0097
C100-2	152,136	8.52	0.019	9.80	22.49	0.0209	0.0093
C100-3	115,954	9.10	0.022	10.49	24.01	0.0305	0.0095
C100-4	84,427	9.24	0.022	9.02	23.60	0.0245	0.0099
탄산칼슘 (53 Micron, 270mesh)							
C270-1	318,578	7.78	0.020	9.56	19.34	0.0239	0.0099
C270-2	114,634	8.06	0.023	10.83	23.10	0.0275	0.0112
C270-3	94,638	8.94	0.021	10.22	13.67	0.0280	0.0092
C270-4	113,384	9.36	0.021	11.75	19.92	0.0329	0.0132
탄산칼슘 (46 Micron, 300mesh)							
C300-1	367,624	7.98	0.018	7.46	18.03	0.0293	0.0105
C300-2	177,607	7.78	0.019	9.07	18.72	0.0296	0.0086
C300-3	142,053	8.50	0.022	10.56	22.45	0.0281	0.0078
C300-4	150,118	8.36	0.021	10.71	22.36	0.0324	0.0102

위해서는 보다 많은 수지가 필요하기 때문이다. 이전의 선행연구(서재운 등, 2007)에 의하면 현장에서의 적절한 워커빌리티를 확보할 수 있는 점도는 약 120,000cP 이하인 것으로 나타났다. 따라서 표 1과 4를 종합해 보면 현장에서의 적절한 워커빌리티를 확보하기 위해서는 탄산칼슘의 함량이 적어도 30% 이상을 유지하는 것이 바람직한 것으로 나타났다.

또한 표 4에서 보는바와 같이 탄산칼슘의 양이 증가(혼합규사의 양은 감소)함에 따라 압축강도는 대체로 증가하는 것을 알 수 있다. 본 시험을 통하여 탄산칼슘의 역할은 혼합규사의 간격 사이로 아크릴 수지의 확산을 증대시켜주며, 혼합규사들 사이의 공극을 채움으로써 보다 조밀한 구조를 만들어 작업성의 개선 및 골재와 결합재간의 밀도차이로 인한 재료 분리 현상을 최소화하여 압축강도의 증가에 영향을 준 것으로 판단된다. 또한 표에서 탄산칼슘의 입자 크기는 압축강도에 큰 영향을 미치지 않는다는 것을 알 수 있다. 파괴시 변형률의 경우에는 탄산칼슘의 양이나 입자의 크기에 큰 영향을 받지 않고 최소 0.018에서 최대 0.023의 범위 내에 있는 것으로 나타났다.



휨강도 측면에서 살펴보면 탄산칼슘이 증가함에 따라 휨강도가 증가되는 것을 확인할 수 있다. 또한 온도가 증가하면 휨강도는 감소하고 반면 파괴시 변형률은 증가하는 것으로 나타났다. 탄산칼슘 140 $\mu$ m 시편은 탄산칼슘의 입자크기가 크기 때문에 아크릴 수지의 흡수량이 작아 약간의 블리딩 현상이 발생하였고, 탄산칼슘 53 $\mu$ m 시편들에서는 C270-4번 시편이 -10 $^{\circ}$ C의 휨 강도를 제외한 휨 강도 및 휨 변형률 측면에서 가장 우수한 것으로 확인되었다. 탄산칼슘 46 $\mu$ m 시편은 다른 탄산칼슘보다 입자가 작아 아크릴 수지를 더 흡수하여 결합재 역할을 하는 수지양이 줄어들어 휨 강도 및 휨 변형률 등이 낮게 측정된 것으로 사료된다.

표 4의 결과를 종합해 보면 탄산칼슘 53 $\mu$ m (270Mesh)의 시편이 압축강도 및 휨강도가 크면서 파괴시의 변형률 또한 상대적으로 높은 것으로 나타나 파괴시의 Toughness가 가장 큰 것으로 나타났다. 따라서 균열에 대한 저항성이 가장 우수할 것으로 판단된다. 또한 워커빌리티 측면에서도 점도가 113,384cP로서 시공성이 양호한 것으로 판단된다. 따라서 혼합규사의 입자크기 및 배합비율 결정 시험에서는 53 $\mu$ m (270Mesh) 크기의 탄산칼슘을 사용하여 혼합규사의 입자크기 및 배합비율이 아크릴 콘크리트의 물성에 어떠한 영향을 미치는지 시험을 수행하였다.

### 3.2 2차 시험: 혼합규사의 효과 분석

아크릴 수지는 전체 혼합물의 중량 대비 18.8%의 배합비율을 유지하고, 앞서 수행한 1차 시험에서 결정된 탄산칼슘(입자크기 53 $\mu$ m)을 사용하여 시험을 실시하였다. 혼합규사 4-5호, 5-6호, 6-7호를 각각 일정한 비율로 첨가량을 달리하여 시험을 실시하였으며, 결과를 정리하면 표 5와 같다.

표 5에서처럼 탄산칼슘의 양이 증가(규사의 양이 감소) 될수록 점도가 낮아지는 것을 확인할 수 있었다. 혼합규사 4-5호(S45)시편의 압축강도는 다른

표 5. 2차 시험 결과

혼합규사 4-5호 (1.5~0.4mm)							
시편 타입	점도 (cP)	압축 강도 (MPa)	파괴시 압축 변형률	휨 강도 (MPa)		휨 변형률	
				+20 $^{\circ}$ C	-10 $^{\circ}$ C	+20 $^{\circ}$ C	-10 $^{\circ}$ C
S45-1	396,247	11.78	0.018	10.47	21.20	0.0298	0.0109
S45-2	137,529	12.93	0.020	12.60	21.64	0.0304	0.0151
S45-3	98,509	12.91	0.023	13.01	20.70	0.0313	0.0124
S45-4	83,755	12.78	0.023	13.61	23.01	0.0365	0.0138
혼합규사 5-6호 (0.8~0.2mm)							
S56-1	318,578	7.78	0.020	9.56	19.34	0.0239	0.0099
S56-2	114,634	8.06	0.023	10.83	23.10	0.0275	0.0112
S56-3	94,638	8.94	0.021	10.22	13.67	0.0280	0.0092
S56-4	113,384	9.36	0.021	11.75	19.92	0.0329	0.0132
혼합규사 6-7호 (0.4~0.1mm)							
S67-1	259,065	12.33	0.020	13.07	25.65	0.0369	0.0127
S67-2	246,267	11.39	0.023	13.92	27.97	0.0402	0.0154
S67-3	196,336	12.53	0.024	15.83	25.01	0.0389	0.0138
S67-4	175,449	12.87	0.023	15.20	24.32	0.0439	0.0130

혼합규사 5-6(S56) 및 6-7(S67)번 시편들에 비하여 가장 우수하였으며, 압축변형률은 다른 혼합규사와 비슷한 결과를 얻었다. 그러나 S45번 시편들은 혼합규사의 입자 크기가 다소 커 아크릴 수지와 혼합 후 경화과정에서 약간의 블리딩 현상과 규사의 침전이 일어나는 것을 확인할 수 있었다.

S56번 시편들은 혼합규사 5-6호로 압축강도에서는 다소 낮은 강도를 나타냈지만 압축변형률에서는 다른 시편의 압축변형률과 비슷한 결과를 나타내고, 블리딩 현상은 일어나지 않았다.

S67번 시편들은 혼합규사 6-7호로 압축강도 및 압축변형률이 S45번 시편들과 비슷한 결과를 얻었고 블리딩 현상도 나타나지 않았다. 그러나 혼합규사 6-7호의 규사의 크기가 0.4~0.1mm로 아크릴 수지와 혼합규사 6-7호를 혼합시 규사의 크기가 너무 작아 진흙과 비슷한 형태로 믹싱이 어려웠다. 하지만 압축강도 및 압축변형률이 S56번 시편들보다 우수하여 아크릴 수지 함량을 증가시켜 워커빌리티를 증대시키면 현장에서 사용가능할 것으로 판단된다.

휨강도 측면에서는 혼합규사의 양이 감소(탄산칼

습 양 증가)할수록 전반적으로 휨 강도 및 휨 변형률이 증가하는 것을 알 수 있었다. S56번의 시편들에서는 상온에서 S56-4번이 휨 강도 및 휨 변형률에서 우수하며, 저온에서는 강도는 약간 낮지만 휨 변형률에서 가장 우수한 값을 가지고 있다. 또한 워커빌리티 측면에서도 S45번 시편들과 S67번 시편들보다 양호했으며, 블리딩 현상도 일어나지 않았다. 따라서 S56-4번 시편의 배합비율이 가장 우수한 것으로 판단되었다.

S67번의 시편들은 휨 강도 및 휨 변형률이 가장 우수하였으나 혼합규사 6-7호는 입경이 0.1~0.4mm로 너무 작아 점도가 가장 높았다. 하지만 S67-2번의 시편은 저온 -10℃에서 휨 강도 및 휨 변형률 측면에서 가장 우수한 값을 가지고 있다. 또한 혼합규사 6-7호를 사용한 시편의 물성이 가장 좋았기 때문에 아크릴 수지의 함량을 증가시켜 현장시공 시 워커빌리티를 증대시킬 수 있을 것으로 판단된다.

이상의 시험결과를 종합해 보면 S56-4, S67-2번 시편의 물성이 가장 우수한 것으로 판단되며, 이들 두 개의 배합비율을 사용하여 아크릴 수지 함량에 따른 물성시험을 수행하였다.

### 3.3 3차 시험: 아크릴 수지 함량에 따른 물리적 특성 평가

앞서 수행한 1, 2차 시험에서 S56-4 및 S67-2번 시편의 탄산칼슘과 혼합규사의 배합비율은 각각 (33.9%; 47.0%), (26.3%; 54.6%)로 결정하였다. 결합재인 아크릴 수지의 기존 배합비율 18.8%를 100%로 보았을 때 5%씩 증가 및 감소시키면서 시험을 수행하였고, 결과를 정리하면 표 6과 같다.

시험결과 전체적으로 아크릴 수지의 함량이 증가할수록 점도가 감소하는 것을 알 수 있다. 압축강도의 경우 수지의 함량이 증가할수록 압축강도는 선형적으로 감소함을 알 수 있다. 반면 파괴시 변형률은 수지함량이 증가할수록 선형적으로 증가한다. M56-

4와 M67-4 시편의 압축강도가 다른 시편의 압축강도보다 작게 측정된 이유는 시편의 재령기간과 계절 변화에 따른 온도를 제어하지 못하여 상대적으로 온도가 높을 때 시험한 M56-4와 M67-4 시편의 압축강도의 측정치가 작게 나온 것으로 판단되었다. 그러나 같은 조건에서 시험한 테이터들이 폴리머 콘크리트의 기준강도에 만족하며 (ACI 548.5R-94, 1998), 일정한 간격으로 거동하고 있어 시편들간의 상대비교는 가능함을 알 수 있었다.

휨 강도 측면에서 살펴보면 상온(20℃)에서는 M56 시편들의 경우 아크릴 수지 함량이 증가함에 따라 휨 강도는 감소하고, 휨 변형률은 증가하는 것으로 확인 되었다. M67 시편들의 경우 아크릴 수지 함량이 증가함에 따라 휨 강도는 약간 감소하거나 거의 변화가 없고, 반면 휨 변형률은 급격히 증가하는 것으로 확인 되었다. 반면 저온(-10℃)에서는 M56 및 M67 시편들 모두 수지의 함량이 증가함에 따라 휨강도는 감소하나 감소정도가 미미하고 휨 변형률의 경우 거의 변화가 없음을 알 수 있다.

표 6. 3차 시험 결과

S56-4번 시편의 아크릴 수지의 함량 변화							
시편 타입	점도 (cP)	압축 강도 (MPa)	파괴시 압축 변형률	휨 강도 (MPa)		휨 변형률	
				+20℃	-10℃	+20℃	-10℃
M56-1	212,183	21.02	0.016	11.45	19.94	0.0131	0.0044
M56-2	154,197	19.44	0.018	11.57	19.04	0.0163	0.0044
M56-3	91,144	18.36	0.020	10.76	18.78	0.0183	0.0040
M56-4	113,384	9.36	0.021	11.75	19.92	0.0329	0.0132
M56-5	49,978	17.21	0.024	7.46	17.54	0.0183	0.0040
M56-6	45,042	15.47	0.025	6.94	17.48	0.0213	0.0040
M56-7	41,172	14.11	0.025	6.02	17.18	0.0225	0.0041
S67-2번 시편의 아크릴 수지의 함량 변화							
M67-1	561,397	17.56	0.015	15.09	21.94	0.0226	0.0052
M67-2	367,271	16.28	0.016	14.74	18.15	0.0222	0.0047
M67-3	269,896	15.93	0.017	13.93	20.83	0.0253	0.0060
M67-4	246,267	11.39	0.023	13.92	27.97	0.0402	0.0154
M67-5	152,132	14.67	0.020	14.37	21.75	0.0317	0.0056
M67-6	68,886	13.04	0.022	13.64	20.01	0.0390	0.0053
M67-7	48,821	12.48	0.024	13.92	20.36	0.0427	0.0054



이상의 시험결과를 종합해 보면 상온에서는 수지의 함량이 증가할수록 아크릴 콘크리트의 연성이 증가하여 균열에 대한 저항성이 증가하는 것으로 나타났다. 반면 저온에서는 수지의 함량이 변화하여도 아크릴 콘크리트의 강도나 파괴시의 변형률에 큰 변화가 없어 균열에 대한 저항성은 크게 달라지지 않는다. 이는 본 연구에서 사용한 아크릴 수지의 물리적 특성에 기인하는 것으로 사료된다. 즉 본 시험에 사용한 아크릴 수지의 유리전이 온도는 19.31℃로 이 온도 이하로 내려가면 유리처럼 단단해지는 성질을 가지고 있다. 따라서 -10℃에서 실시한 휨 시험은 재료의 유리전이 온도 이하로서 동 온도에서는 수지의 함량에 관계없이 재료 자체가 단단해지는 정도가 유사하다는 것을 알 수 있다. 다만 M56-4와 M67-4 시편의 휨 변형률이 다른 시편들의 휨 변형률과 다른 이유는 재령기간을 제어하지 못하여 재령기간이 상대적으로 긴 M56-4와 M67-4 시편의 휨 변형률이 크게 측정되었으나 다른 시편들의 측정치가 비슷하여 상대비교는 가능하였다.

이상의 결과를 통해 상온에서는 수지의 함량변화가 아크릴 콘크리트의 휨강도 및 변형률에 큰 영향을 미치지나 저온에서는 휨강도에 미치는 영향은 상대적으로 미미하며 특히 파괴시의 변형률은 거의 영향을 미치지 않음을 알 수 있다. 오히려 규사의 입경 및 규사와 탄산칼슘의 배합비율 등이 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이러한 결과를 통해 볼 때 저온에서의 균열에 대한 저항성은 수지의 함량을 증가시키기 보다는 수지 자체의 연성을 증가시키거나 충전재 및 규사의 입경 등을 조정하는 것이 보다 효과적임을 알 수 있다.

### 3.4 최적 배합비율 결정

아크릴 수지, 탄산칼슘, 혼합규사의 크기 및 배합비율에 따른 물성시험을 통하여 폴리머 콘크리트가 가져야할 적절한 강도, 변형률 및 워커빌리티가 가장 우수한 최적의 배합비율을 결정하였고(ACI 548.5R-94, 1998), 표 7과 같다.

표 7. 아크릴 콘크리트의 최종 배합비율

시편 번호	아크릴 수지	탄산칼슘(53 $\mu$ m)	혼합규사	합계
56	18.8%	34.0%	47.2%	100%
67	19.6%	26.2%	54.2%	100%

## 4. 아크릴 콘크리트의 물리적 특성평가 시험 결과

### 4.1 접착인장 시험

아크릴 콘크리트는 콘크리트 보수 및 교면 방수 등 다양한 용도로 사용되므로 기존 콘크리트 바닥판과의 접착성은 매우 중요한 요소이다. 따라서 MMA 폴리머를 시편에 도포한 후 그 윗면에 아크릴 콘크리트를 타설하여 접착인장 시험을 실시하였다. 그 결과 접착인장강도 값이 +20℃ 및 -20℃에서 각각 13.9, 14.1MPa로서 모두 10MPa 이상인 것으로 측정되었고, 시멘트 및 아크릴 콘크리트의 경계면이 아닌 시멘트 콘크리트 부분에서 파괴가 일어나 접착인장 강도가 매우 우수한 것으로 나타났다.

### 4.2 투수 및 염소이온 침투저항 시험

아크릴 콘크리트의 방수 성능을 알아보기 위하여 투수저항 시험을 실시하였다. 본 시험법은 특수 투수계수 시험장치가 없어 간이시험으로 20℃의 물이 담긴 수조에 48시간 수침시킨 후 시멘트 콘크리트와 아크릴 콘크리트의 표면건조 무게를 측정하여 투수저항성을 비교 검토하였다.

비록 시험규정에 없는 간이시험으로 측정되었지만 시멘트 콘크리트가 아크릴 콘크리트에 비해 수분 침투율이 약 60~70배 이상 높게 측정되어 아크릴 콘크리트가 방수에 상당히 효과적일 것으로 예상된다. 또한 각종 폴리머계열의 콘크리트에 대한 방수성능

은 일반 콘크리트 흡수율의 1/100 정도로 우수한 방수능을 가지고 있는 것으로 알려져 있다(연규석, 2000).

표 8. 수침 48시간 후 수분침투량

시편번호 구분	56-1	56-2	67-1	67-2	콘크리트 1	콘크리트 2
건조 무게 (g)	2723.0	2694.3	2641.7	2634.3	3524.9	3547.4
표면건조무게 (g)	2724.2	2696.0	2643.4	2636.0	3667.3	3681.6
수분 침투율 (%)	0.044	0.063	0.064	0.065	4.040	3.780
평균 침투율 (%)	0.054		0.064		3.91	

염화이온 침투저항성은 KS F 2711의 전기전도도에 의한 콘크리트의 염소이온 침투저항성 시험방법에 준하여 시행하였으며, 시험결과 19(Coulombs)의 통과 전하량이 측정되었다. 통과 전하량 측정값이 교면 방수재의 기준(100C 이하)보다 아주 작으므로 아크릴 콘크리트가 경화된 후에는 염화이온 물질의 침투에 대한 완벽한 저항 성능을 가지고 있음을 확인할 수 있었다.

### 4.3 경화수축 및 열팽창계수 시험

경화 시 발생하는 수축량을 측정하기 위하여 콘크리트 건조수축 시험과 동일한 시험 방법으로 경화수축을 측정하였고, 결과는 그림 2와 같다. 그림에서 CH 1과 2는 56번 시편을 CH 3과 4는 67번 시편을

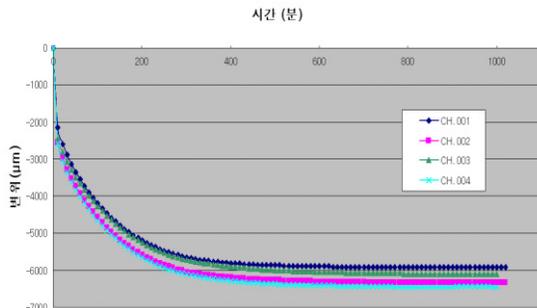
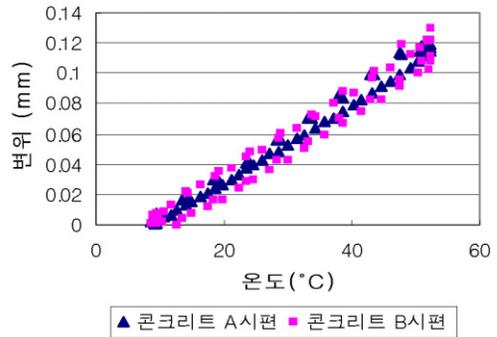


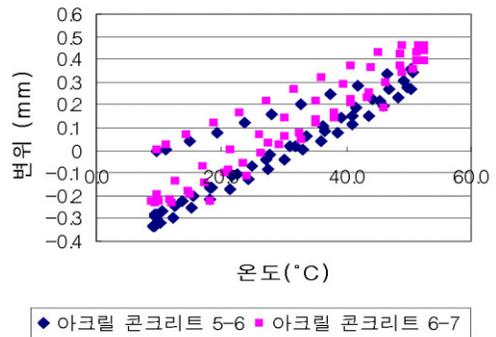
그림 2. 아크릴 콘크리트의 시간에 따른 경화 수축 변형량

나타낸다. 56번 시편의 경우 최대 경화수축량은 5900~6400 $\mu\text{m}$ 의 범위인 것으로 나타났고, 67번 시편은 6100~6500 $\mu\text{m}$ 의 범위에서 수축이 일어났다. 경화 수축량을 비교하면 67번 시편이 56번 시편보다 다소 많은 것으로 나타났으며, 이는 67번 시편이 56번 시편보다 아크릴 수지의 함량이 높은데서 기인하는 것으로 판단된다.

아크릴 콘크리트와 일반 시멘트 콘크리트에 대한 열팽창계수를 AASHTO TP-60 시험법으로 측정하였으며, 결과는 그림 3과 같다. 일반 시멘트 콘크리트의 평균 열팽창 계수는  $1.16 \times 10^{-5} \text{ } \epsilon/\text{ } ^\circ\text{C}$  인 것으로 나타났다. 아크릴 콘크리트의 경우 56번 시편의 열팽창계수는 평균  $6.78 \times 10^{-5} \text{ } \epsilon/\text{ } ^\circ\text{C}$  로 측정되었으며, 67번 시편의 열팽창계수는 평균  $7.28 \times 10^{-5} \text{ } \epsilon/\text{ } ^\circ\text{C}$  로 측정되어 콘크리트에 비해 각각 약 6배와 7배 정도 큰 것으로 나타났다.



(a) 시멘트 콘크리트의 온도에 따른 변위



(b) 아크릴 콘크리트의 온도에 따른 변위

그림 3. 재료별 온도에 따른 변위

아크릴 콘크리트의 경화 수축량이 일반 시멘트 콘크리트의 건조 수축량에 비해 약 15배 정도 크고, 열팽창계수 또한 약 6~7배 큰 것으로 나타났다. 경화시 수축량이 크고 열팽창계수가 바다 콘크리트와 차이가 크면 아크릴 콘크리트의 인장응력이 발생하여 균열이 발생할 우려가 있다. 그러나 본 연구에서 사용한 아크릴 수지는 PMMA를 사용하여 상온 및 저온에서의 연성을 기존의 일반 아크릴 수지에 비해 대폭 증가시킨 재료이며, 바다 콘크리트와의 부착력이 상당히 우수하다. 일반적인 콘크리트의 파괴시 최대 변형률이 0.003~0.008로 아크릴 콘크리트의 파괴시 변형률은 상온에서 0.0329~0.0402, 저온의 경우 0.0132~0.0154로 콘크리트의 변형률에 4~5배정도 연성이 우수하기 때문에 경화 수축 및 열팽창계수에 의한 균열 등은 발생하지 않을 것으로 예상된다.

일례로 2007년 12월에 대전~통영간 고속도로(대전방향) 오두재 터널입구에 아크릴 콘크리트를 사용하여 길이 72m, 깊이 0.025m, 폭 1m의 콘크리트 포장 보수를 실시하여 시공성 및 공용성을 평가 하였다. 그림 4에서처럼 약 1년이 경과한 현재 아크릴 콘크리트와 기존 콘크리트 포장의 경계면에 어떤 균열이나 벌어짐 등의 하자도 발생하지 않고, 아크릴 콘크리트 보수부에 균열 등의 문제도 발생하지 않았다.



그림 4. 콘크리트 도로에 아크릴 콘크리트로 보수한 구간 전경

## 5. 결론

일반적으로 사용되고 있는 시멘트 콘크리트는 경제성 및 구조특성상의 장점을 가지고 있으나 경화시간 및 작은 인장강도, 내약품성 취약 등의 단점을 가지고 있다. 본 연구는 결합재를 고분자 화학구조를 가지는 폴리머로 대체하여 고강도 및 경량화, 내구성 향상을 증대시켜 박층 교면포장에 사용될 고성능 아크릴 콘크리트 개발에 대한 연구를 진행 하였으며, 중요한 연구 결과를 정리하면 다음과 같다.

- 탄산칼슘의 첨가량이 증가할수록 점도는 낮아지고 압축 및 휨 강도는 증가하였다. 현장에서의 워커빌리티를 확보하고 적절한 강도를 확보하기 위한 최소 함량은 전체 혼합물의 중량 대비 최소 30% 이상인 것으로 나타났다. 입경의 크기는 점도에는 영향을 미치나 강도에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 입경이 너무 작을 경우 적절한 점도를 유지하기 위해서는 수지량을 증가시켜야 하므로 경제성 측면에서 불리한 것으로 판단된다.
- 규사의 입경이 커질수록 압축강도는 증가하고 수지의 첨가량은 줄어들 것으로 판단된다. 그러나 입경이 너무 클 경우 재료분리 현상이 발생할 수 있어 주의가 요구된다.
- 상온에서 아크릴 수지의 함량을 증가시킬 경우 압축 및 휨 강도는 선형적으로 감소하는 반면 파괴시의 변형률은 증가한다. 그러나 아크릴 수지의 유리전이 온도 이하에서는 수지의 함량을 증가하여도 강도 및 변형률은 큰 변화가 없는 것으로 나타났다. 이는 유리전이 온도 이하에서는 아크릴 수지 자체의 물리적 특성이 거의 일정하게 됨을 의미한다. 따라서 저온에서의 균열 저항성을 증진시키기 위해서는 수지의 함량을 증가시키는 것 보다는 탄산칼슘의 함량을 증가시키거나 수지 자체의 연성을 증가시켜 유리전이 온도를 낮추어 주는 것이 필요할 것으로 판단된다.
- 최적 배합비율로 제작한 아크릴 콘크리트에 대한

바닥 콘크리트와의 부착강도 시험결과 부착강도가 10MPa이상으로 부착성이 우수하였다. 또한 방수 성능을 평가하기 위한 투수저항 및 염소이온 침투 저항 시험결과에서도 기존의 방수재 규격에 비해 상당히 우수한 것으로 나타났다.

- 아크릴 콘크리트에 대한 경화 수축량을 측정한 결과 일반 콘크리트의 건조수축에 비하여 높은 경화 수축을 나타냈다. 또한 열팽창계수를 측정한 결과 아크릴 콘크리트가 일반 시멘트 콘크리트에 비해 대략 6~7배 정도의 큰 열팽창계수값을 나타냈었다. 따라서 아크릴 콘크리트로 박층 교면포장을 시공할 경우 경화수축 및 열팽창계수 차이에 의한 균열을 방지하기 위해서는 경화수축 및 열팽창에 의한 변형을 충분히 수용할 수 있는 연성이 큰 아크릴 수지를 사용하여야 할 것으로 판단된다.

#### 감사의 글

본 연구는 장수명·친환경 도로포장 재료 및 설계 시공기술 개발사업 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

#### 참고 문헌

김연복 등 (2002), “한국형 포장설계법 개발과 포장성능 개선방안 연구”, KPRP-H-02, 한국건설기술연구원.

서재운, 이현중 (2007), “교면포장에 사용될 방수 및 보수용 MMA에 관한 기초연구”, 한국도로학회 학술발표회 논문집, 한국도로학회, P423-429.

연규석 (2000), “폴리머 콘크리트 제품 개발동향과 당면 과제”, 한국콘크리트학회 연구소위원회 발표집, 한국콘크리트학회.

연규석, 백종만, 김성기, 이지원 (2006), “충전재와 수축저감제가 MMA개질 폴리머 페이스트의 경화수축 및 강도특성에 미치는 영향”, 한국콘크리트학회 논문집, 한국콘크리트학회, 제18권, 제2호, P227-232.

이광호 등 (2007), “장수명·친환경 도로포장 재료 및 설계시공 개발 연구보고서”, 건설핵심기술연구개발사업 보고서, R&D/05건설핵심D08-01, 한국도로공사.

ACI 548.5R-94 (1998) “*Guide for Polymer Concrete Overlays*” American Concrete Institute.

접 수 일: 2009. 1. 30  
 심사 일: 2009. 2. 6  
 심사완료일: 2009. 4. 27