

# 폼드 아스팔트 공법을 이용한 재활용 아스팔트 혼합물의 성능 연구

## A study on performance of the recycle asphalt mixtures using the foamed asphalt method

박 태 순 Park, Tae Soon | 정회원 · 서울과학기술대학교 건설공학부 교수 (E-mail : tpark@seoultech.ac.kr)

### ABSTRACT

The base asphalt mixtures that used the waste recycle asphalt correcting from the four different overlay construction sites in Seoul city were made using the foamed asphalt method. The sample mixtures were made in different ratio of the recycle asphalt and new asphalt material and the performance of the mixtures of the different ratio was investigated in the laboratory. The laboratory tests includes the Marshall test, the indirect tensile test, the resilient modulus test, the creep test and the wheel tracking test. The test of the recycle foamed asphalt mixtures(RFA) were compared with the those of the recycle hot mix asphalt(RHA) mixtures. The performance of the RFA is comparable to that of the RHA. On the other hand, the indirect tensile strength of the RFA in dry condition is lower than that of RHA and the indirect tensile strength of the RFA in wet condition is much lower than that of the RHA.

### KEYWORDS

recycling, foamed asphalt method, performance

### 요지

서울시내 도로 유지보수 4개 현장에서 수집된 재령 및 물리적 특성이 서로 다른 폐아스팔트를 폼드 아스팔트 공법을 사용하여 기층용 혼합물을 제작하였다. 혼합물은 구재와 신재의 비율을 서로 달리하여 제작하였으며 구재 비율 변화에 따른 성능을 실내시험을 실시하여 분석하였다. 실내시험은 마찰안정도, 간접인장강도, 회복탄성계수, 크리프 시험 및 휠 트래킹 시험을 실시하였으며 시험 결과는 재생가열 아스팔트 혼합물 시험 결과와 상호 비교하였다. 비교 결과, 재생 폼드 아스팔트 혼합물은 소성변형 및 온도 변화에 대한 저항성은 재생 가열 아스팔트 혼합물에 비하여 동등하거나 우수한 것으로 나타났다. 한편 재생 폼드 아스팔트 혼합물의 건조시 간접인장강도는 재생 가열 아스팔트 혼합물에 비하여 낮게 측정되었으며 습윤시에는 구재의 비율과 관계없이 모두 간접인장강도가 낮게 나타나서 습윤 조건에서는 취약한 것으로 발견되었다.

### 핵심용어

재활용, 폼드아스팔트 공법, 아스팔트 성능

## 1. 서론

폼드 아스팔트 공법을 이용한 아스팔트포장은 국내에서는 아스팔트 혼합물 제조기술의 다양화 및 한계성으로 인하여 매우 생소한 공법으로 인식되어 있다. 그러나, 최근 저탄소 아스팔트 공법에 대한 관심이 고조되면서 국내에서도 주목을 받기 시작하고 있다.

폐아스팔트 발생량은 도로 포장의 보수와 복구로 인하여 매년 증가하고 있는 실정이다. 발생된 폐기물은 폐기물 처리업체

로 운반 가공되어 도로의 골재 기층에 주로 사용되고 있으며 극히 일부가 아스팔트 제조에 사용되고 있다.

가열 아스팔트의 경우 재활용을 효율적이며 안정적으로 실시하기 위해서는 폐아스팔트에 대한 침입도 및 입도와 같은 기본적인 물리적 특성 파악이 필수 요건이며 물리적 특성이 유사한 폐아스팔트의 분류가 선행되어야 한다. 그러나 현실은 여러 종류의 폐아스팔트가 물리적 특성과 재령에 관계없이 서로 섞여 있기 때문에 침입도와 입도의 구분이 어려운 상황이며 보관시에

도 서로 구분하여 보관하는 것도 거의 불가능한 실정이다. 이러한 이유 때문에 지금까지 재활용 가열 아스팔트 공법이 활성화 되지 못했던 사유 중에 하나이다. 그러나 폼드 아스팔트 공법을 사용하여 페아스팔트를 재활용할 경우 위에서 열거한 문제점들 모두 해결할 수 있다는 장점이 있어서 활용이 기대된다.

본 연구의 주요 목적은 재활용 폼드 아스팔트 혼합물에 대한 성능을 실내시험을 통하여 분석하는 것이다. 성능 시험은 구재 사용량을 1) 최대로 한 경우: 81%, 2) 70%, 3) 50%로 변경하여 폐재 사용량에 따른 성능을 아스팔트 기층용으로 사용 가능성을 실내 시험으로 부터 검토하였다. 검토 시험 항목은 마찰안정도, 간접인장강도, 회복탄성계수, 크리프 시험 및 휠 트래킹 시험을 실시하였으며 시험 결과를 가열 재생아스팔트 혼합물(폐재 사용량 70%) 시험 결과와 비교분석하였다.

## 2. 문헌고찰

폼드 아스팔트 혼합물은 양질의 골재가 부족한 곳이나 사질토가 많은 세계 전 지역에서 적용하고 있다. 국내에서는 박 등(2002, 1999)이 신재와 페아스팔트를 사용하여 적용 가능성에 대하여 연구하였다. 또한 박과 최(2003)는 현장에서 발생하는 토사를 사용하여 흙의 안정처리 공법에 대하여 연구하였으며 폼드 아스팔트의 취약점인 골재의 완전 코팅 문제를 해결하기 위하여 반가열 폼드 아스팔트 공법을 사용하여 연구를 실시하였다. 국내 연구사례는 적용가능성에 대하여 검토한 기초 연구로 한 종류의 구재만을 사용하였다.

미국의 경우 재생 폼드 아스팔트 혼합물을 포장 재료로 적용한 것은 1985년 몬타나 교통국에 의해 최초로 수행되었다. 약 550,000톤의 폼드 아스팔트 배치를 가지고 Lodge Grass와 와이오밍주 사이에 주고속도로 I-90에서 23마일을 안정처리 기층으로 시공하여 경제적인 효과를 거둔 것으로 보고하고 있다.

Acott(1980)는 재생 폼드 아스팔트 혼합물의 적합성을 결정하기 위한 기준을 스테빌로메타(R)값을 제시하였으며 Little, Button, Epps(1981)은 폼드 아스팔트 혼합물이 수분에 취약한 점을 보완하기 위하여 수분이 혼합과 다짐에 미치는 영향에 대하여 연구하였다. 그들은 실험실에서 측정된 혼합물의 안정도는 낮지만 폼드 아스팔트의 공학성질은 No. 200체 통과 재료의 양을 추가시키면 향상시킬 수 있다고 기록하고 있으며 이러한 발견은 재생 폼드 아스팔트 혼합물을 제작하는데 매우 중요한 사항으로 여겨지고 있다. 미국 뉴햄프셔주 교통국(1985)에서는 재생 폼드 아스팔트 혼합물의 구조적 층 계수를 구하기 위한 연구를 동적압축시험과 FWD를 사용하여 온도 변화에 따른 층 계수의 변화에 대하여 실시하였다.

재생 폼드 아스팔트의 거동에 관한 연구는 Oklahoma State University의 Sakr와 Manke에 의해 수행되었다(Sakr,

Manke, 1985). 이 연구에서는 두 단계의 함수비가 중요하다는 것을 인식하였다. 혼합 최적함수비는 다짐을 위한 최저함수비보다 약 10~20% 더 높아야 한다고 보고했다.

Ruckel, Acott 그리고 Bowering(1983)의 보고는 폼드 아스팔트 혼합물의 거동에 대한 이해와 폼드 아스팔트 혼합물의 평가를 위하여 실험실에서 사용될 수 있는 시험절차의 발표가 포함된 몇 가지 중요한 개념들을 다루고 있다.

위에서 열거한 연구에 비하여 근년에 수행된 미국 루이지아나 교통국(2003)에서는 재생 폼드 아스팔트 혼합물에 대한 현장 평가를 실시하였다. 재생 폼드 아스팔트 혼합물을 기초 안정처리와 콘크리트 포장의 기층으로 사용할 수 있다는 분석 결과를 도출하였다. 미국의 연구는 재생보다는 폼드 아스팔트 혼합물의 적용 가능성에 목적을 두고 있다. 일부 구재 아스팔트가 혼합되어 있으나 현장에서 발생하는 구재를 함께 사용한 것으로 보고되고 있을 뿐 구체적인 입도나 최대 사용 함량에 대한 자료는 찾아볼 수 없는 것으로 조사되었다.

2003년 이후 폼드 아스팔트 혼합물에 대한 연구는 간이도로, 교통량이 적은 시골 길에 사용하는 것으로 제한되어 있는 것으로 조사되었다. 특히, 페아스팔트를 사용하여 재활용을 시도하는 연구는 활발하게 수행되지 않은 것으로 조사결과 나타났다.

## 3. 재료시험

### 3.1. 사용재료 및 특성

#### 3.1.1. 페아스팔트의 물리적 성질 및 입도분포

##### 1) 물리적 성질

서울시내 아스팔트 보수공사에서 4군데에서 채취한 페아스팔트를 혼합하여 배합설계에 사용하였다. 채취한 페아스팔트는 K.S의 관련 규격에 따라 점도, 침입도, 아스팔트 비 및 입도시험을 실시하여 회수아스팔트 혼합물의 특성을 시험 분석하였다. 표 1은 회수아스팔트의 물리적 특성을 요약한 것이다. 회수아스팔트의 침입도는 최소 27에서 최대 57을 나타내었으며 아스팔트 비는 최소 5.1%에서 최대 7.1%까지로 비교적 높게 나타났다. D시료는 알 수 없는 원인으로 인하여 점도가 매우 낮고 침입도시험이 불가능하였다. D 시료는 시험에서 제외하였다.

표 1. 회수아스팔트의 물리적 특성

채취장소	년령	점도(poise)	침입도(1/10mm)	회수 아스팔트비(%)
A 도로	미상	2211	57	7.1
B 도로	미상	4124	40	5.1
C 도로	10년	6860	27	5.3
D 도로	미상	147	시험불가 <sup>1)</sup>	6.5

주) <sup>1)</sup> 회수당시 장비의 오일 등의 혼입으로 측정되는 물질이 아스팔트와 혼합되어 침입도를 측정하기 곤란하였음.

## 2) 입도

입도 시험은 수거한 페아스팔트 시료를 혼합하여 4분법으로 채취한 후 실시하였다. 입도 시험은 각각 3~4회를 실시하였다. A시료는 굵은 입도 부분이 시방 범위에서 벗어나고 있으나 나머지 시료들은 모두 시방입도 범위를 만족하고 있는 것으로 시험 결과 나타났다(그림 1 참조). 각 시료들은 모두 혼합하여 구분 없이 사용하였다. 혼합 골재의 입도 분포가 상한선과 가까이 근접하고 있어서 합성입도는 중간입도가 되도록 조정하였다(그림 2 참조).

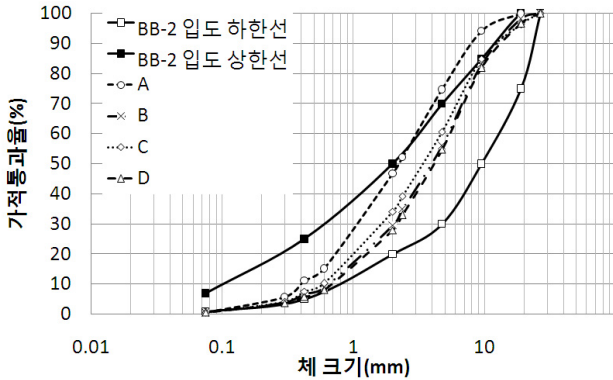


그림 1. 각 시료의 입도분포시험 결과

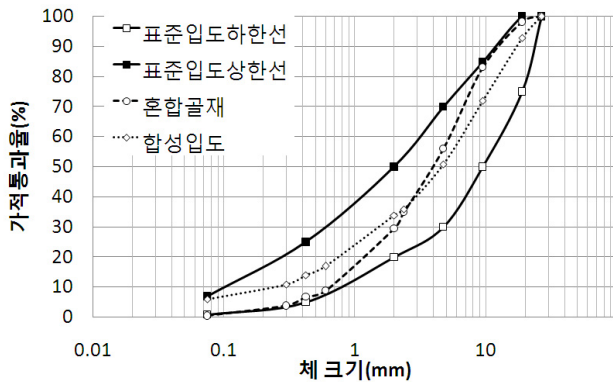


그림 2. 배합설계에 사용한 대표입도

## 3.2. 신골재 및 신아스팔트

회수골재의 입도분포를 시방규정에 맞추기 위하여 사용한 신골재의 잔골재비중은 2.71이고 굵은 골재의 비중은 2.64이었다. 폼드 아스팔트 생산에 사용한 아스팔트는 침입도 80-100을, 성능등급으로는 PG58-22를 사용하였다.

## 3.3. 페아스팔트 골재의 다짐시험

폼드 아스팔트 바인더와 골재간의 최적 결합은 골재 내에 적절한 수분이 포함되어 있을 때 얻어지게 된다(Lewis, 1997). 배합시험 전에 골재의 다짐시험을 실시하여 골재의 최적함수비의 결정이 필요하다. 다짐시험은 KS F 2312를 이용하여 최적

함수비를 구하고 다짐시험 결과를 밀도와 함수비로 나타내고 최대밀도를 나타내는 함수비를 최적함수비로 결정한다. 다짐시험은 합성입도에 맞도록 각각 5세트를 준비하였고 함수비를 변화시켜 가면서 수정 D다짐으로 시험을 실시하였다.

골재의 다짐시험으로부터 최대건조 밀도는 2,102Kg/cm<sup>3</sup>로 최적 함수비는 5.9%로 나타났다. 그림 3은 최대건조 밀도-함수비 관계를 보인 것이다.

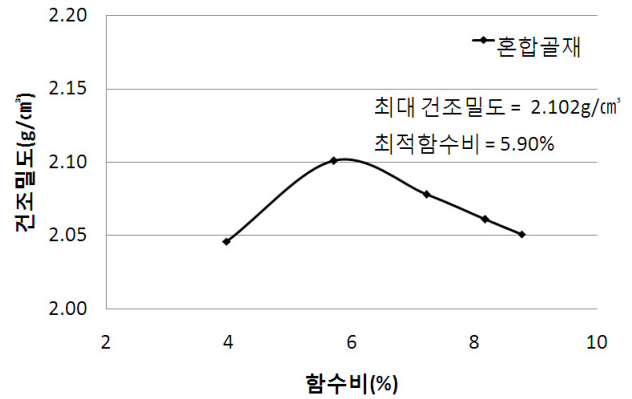


그림 3. 페아스팔트 혼합골재의 밀도 함수비 관계

## 3.4. 아스팔트 거품의 최적 함수량

폼드 아스팔트 바인더의 거품 생성이 최적 상태에서 생산되도록 함수비를 조절하면서 실시한 결과 최적 함수비는 1.4%로 결정되었다. 최적 함수량 절차와 사례는 기존 연구에 상세히 수록되어 있다(박, 2004).

## 4. 배합설계 및 성능시험

### 4.1. 시험개요

폼드 아스팔트혼합물은 회복탄성계수 또는 간접인장강도를 기준으로 최적 아스팔트비를 결정한다. 오스트레일리아의 Lancaster(1994)의 경험에 의하면 폼드 아스팔트의 최적 아스팔트비는 반드시 회복탄성계수가 가장 큰 수치로 선정되어야 한다고 추천하고 있으며, Lewis(1998)는 간접인장강도를 실시함으로써 최적 아스팔트비를 선정하도록 제안하였다.

본 연구에서는 재생 폼드 아스팔트 혼합물의 성능을 시험 분석하기 위해서 배합설계로부터 구해진 최적 아스팔트비를 사용하여 역학시험을 동시에 실시하여 3종류의 시료에 대하여 역학적 성능을 시험 분석하였다. 제작된 시료는 탄성 및 소성 변형 특성을 분석하기 위한 반복 크리프시험 및 휠 트래킹 시험, 온도 변화에 대한 민감도를 분석하기 위한 회복탄성계수 시험, 균열특성을 분석하기 위한 간접인장강도시험 및 국내아스팔트혼합물의 기준인 마찰안정도시험을 실시하여 상호 비교 하였다.

## 4.2. 배합설계

배합설계는 국내에서 사용하고 있는 다짐장치 및 배합설계 방법을 고려하여 마샬다짐 장치를 사용하고 있는 남아프리카 공화국의 배합설계 절차를 따랐다. 배합설계 절차는 아래에 요약하여 순서로 표기하였다. 표 2는 재생 폼드 아스팔트 혼합물의 설계 기준이다(Lewis, 1997).

- ① 아스팔트의 거품 - 최적함수비결정(반감기 - 팽창비 관계 결정)
- ② 골재 및 페아스팔트의 함수비 - 밀도관계 결정(다짐시험)
- ③ 마샬다짐(양면 75회) - 8개 제작
- ④ 다짐된 시료의 양생(60℃ 72시간)
- ⑤ 밀도시험
- ⑥ 시료의 수침
- ⑦ 건조 및 수침시료에 대한 간접인장강도시험
- ⑧ 간접인장강도로부터 최적 폼드 아스팔트량 결정
- ⑨ 최적 아스팔트량으로 제작된 시료의 마샬안정도 시험 실시

표 2. 재생 폼드아스팔트의 설계기준 (Lewis, 1997)

구 분	기 준	
	건조상태	습윤상태
간접인장시험	5~7kg/cm <sup>2</sup> (500~700 kPa)	3kg/cm <sup>2</sup> (300 kPa)
M <sub>R</sub> (회복탄성계수)시험	30,000kg/cm <sup>2</sup> 이상 (3000 MPa 이상)	-

## 4.3. 혼합물 및 시험용 시편 제작

배합 설계에 사용할 골재 10Kg를 1 배치로 하여 기계 믹서를 사용하여 바인더량을 0.5%씩 증가시켜 가면서 5개의 배치를 제작하였다. 폼드 아스팔트 플랜트에서 미리 가열시키고 가열이 완료되면 계량된 골재에 물을 가하고 1분 정도 혼합하고, 즉시 제조된 폼드 아스팔트 바인더를 30초 동안 혼합하였다. 혼합된 시료는 수분의 손실을 방지하기 위하여 5개의 배치가 모두 혼합될 때까지 봉인된 상자 안에 보관하였다. 다짐은 마샬다짐장치를 사용하였으며, 직경 100mm인 공시체에 양면 75회 다짐을 실시하여 시편을 제작하였다. 다짐이 완료된 시편은 몰드 내에서 60℃의 오븐에 넣고 72시간을 양생하였다. 재생 폼드 아스팔트의 구재:신재 비율은 81:19, 70:30 및 50:50으로 변경하여 신구재 비율 변화에 따른 성능 변화를 시험 분석하였으며, 70:30으로 제작된 재생가열아스팔트 혼합물의 시험 결과와 비교하였다. 재생폼드 아스팔트 혼합물에 사용된 구재는 이미 언급된 것처럼 3 현장의 서로 다른 재령 및 물리적 특성을 가진 구재를 포함하고 있다. 한편, 재생가열아스팔트 제작에 사용한 구재는 B현장의 구재만을 사용하였다. 재생가열혼합물의 경우 산화 정도와 재령이 서로 다를 경우에는 재생첨가제를 사용하거나 배합비율을 서로 달리해야 하는 배합

설계 절차가 필요하기 때문이다. 재생가열혼합물의 구재:신재 비율이 70:30으로 결정된 이유는 재생폼드 아스팔트 혼합물의 비율 중 70:30 혼합물의 성능과 직접 상호 비교를 실시하고 이를 바탕으로 재생폼드 혼합물 81:19 및 50:50에 대한 결과와 유추 비교하기 위하여 결정되었다.

## 4.4. 설계 바인더량의 결정

간접인장시험으로 최적의 아스팔트함량을 결정하였다. 이 때 간접인장시험은 건조상태와 습윤상태 두 가지 경우를 실시하여 습윤상태에서 최대인장강도값을 나타내는 아스팔트함량을 최적아스팔트함량으로 결정하였다. 각 시료에 대한 설계(최적)폼드 아스팔트 비에 대한 결과를 표 3에 정리하였다.

표 3. 각 시료에 대한 설계 아스팔트비

시료종류	배합비율(%)	설계아스팔트비(%)
혼 합 (구재:신재)	81:19	8.8
	70:30	8.5
	50:50	8.0

주) 설계 아스팔트비에는 회수아스팔트비 5.8%(A, B, C 평균치)가 포함되어 있음.

## 5. 성능시험

### 5.1. 개요

재생 폼드 아스팔트 혼합물의 성능을 평가하기 위해서 마샬안정도시험, 간접인장강도시험, 회복탄성계수시험, 크리프시험 및 휠트래킹시험을 실시하였다. 마샬안정도시험은 KS F 2214의 기준에 따라 실시하였으며, 25℃로 습윤 및 건조 상태에서 시험을 실시하였다. 간접인장 시험은 ASTM D 4123의 규정에 따라 실시하였는데 시험 조건은 50.5mm/분의 변형속도와 25℃의 온도에서 실시하여 파괴시 간접인장 응력과 변형률을 아래 식으로 산정하였다. 회복탄성계수시험은 ASTM D 4123의 규정에 따라 5℃, 25℃ 및 40℃에서 실시하였다.

$$\sigma_x = \frac{2P}{\pi dt}$$

$$\sigma_y = \frac{6P}{\pi dt}$$

$$\epsilon_f = 0.52X_t$$

여기서,  $\sigma_x$  : 공시체 중앙에서의 수평인장응력(kg/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_y$  : 공시체 중앙에서의 수직압축응력(kg/mm<sup>2</sup>)

$\epsilon_f$  : 파괴시 인장변형률(mm/mm)

$P$  : 작용하중(kg)

$d$  : 공시체직경(mm)

$t$  : 공시체의 두께(mm)

$X_t$  : 공시체의 수평변위(mm)

크리프시험은 60℃에서 비구속 반복정적시험으로 실시하였다. 시험 실시 전에 공시체를 3시간 동안 온도 양생실에서 양생을 실시하여 공시체의 온도평형상태가 되도록 하였다. 공시체에 150kPa의 수직하중을 3,600초 동안 가하고 이후 4,500초까지 하중을 제하하여 이때 발생한 영구 변형량을 측정하여 각 혼합물의 영구변형 특성을 비교 분석하였다. 운하중 시험은 KS F 2374에 따라 시편을 제작하고 시험을 실시하였다.

## 5.2. 시험결과 종합분석

### 5.2.1. 마찰안정도

각 시료의 마찰안정도는 모두 국내 지방 기준을 만족하고 있으며 습윤상태에서 측정된 마찰안정도는 모든 시료에서 최소 250Kg~최대 450Kg이 감소하는 것으로 나타나서 재생가열아스팔트혼합물과 유사한 수준을 보이고 있다. 그림 4는 각 혼합물에 대한 마찰안정도시험 결과를 비교한 것이다. 마찰안정도시험에서 나타난 특이한 결과는 구재를 가장 많이 사용한 시료가 모두 마찰안정도가 크게 나타났다. 이 경우 마찰안정도가 크게 나오는 현상은 재생가열아스팔트혼합물, 상온유화아스팔트혼합물에서도 발견되는 현상이다(Tia 등, 1983). 이러한 경우 마찰안정도가 크다고 양호하고 성능이 우수한 혼합물이라고 반드시 말할 수 없다. 마찰안정도 이외에 다른 역학적 성질도 시험을 실시하여 시험결과를 함께 분석고찰이 필요하다.

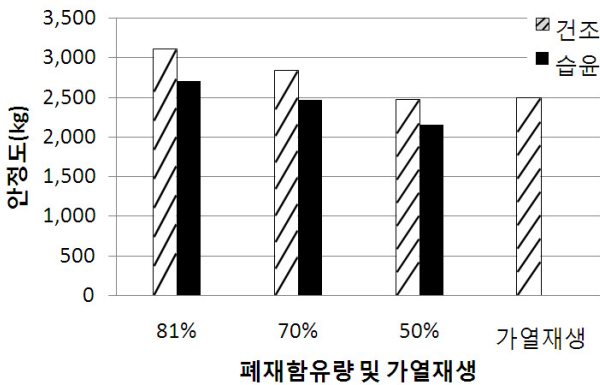


그림 4. 마찰안정도 시험결과 비교

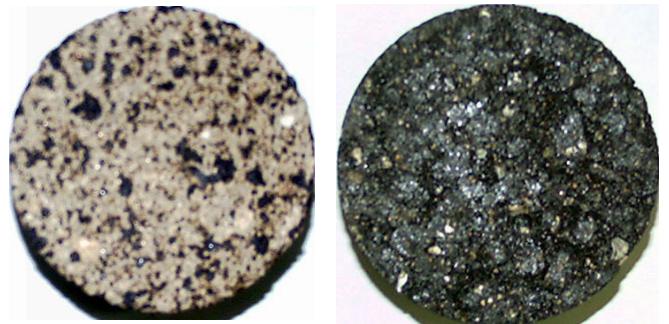
### 5.2.2. 간접인장강도

간접인장강도 역시 지방기준을 만족하고 있으며 구재사용량에 따라 간접인장강도와 변위가 크게 변화하지 않는 것으로 나타났다. 표 4는 간접인장강도 시험결과를 보인 것이다. 간접인장강도는 가열재생에 비하여 작게 측정되었으며 습윤 상태에서 측정된 간접인장강도는 더욱 작게 측정되었다. 이는 폼드 아스팔트 혼합물의 특성상 골재가 아스팔트로 완전히 코팅되지 않기 때문에 골재와 골재간의 결합력이 재생가열에 비하여 약하기 때문에 발생하고 있는 현상으로 판단된다. 사진 1은 재생 폼

드 아스팔트 공시체와 가열재생 혼합물을 보인 사진이다. 사진에서 볼 수 있는 것처럼 재생 폼드 아스팔트 혼합물은 골재의 코팅이 완전하게 이루어지지 않았으며 이러한 현상으로 인하여 습윤 조건에서의 간접인장강도는 건조시에 비하여 크게 저하하는 것으로 나타났다.

표 4. 간접인장강도 시험결과(kg/cm<sup>2</sup>)

종 류	배합비율	건조상태	습윤상태
혼 합 (구재:신재)	81:19	4.0	2.1
	70:30	5.7	3.1
	50:50	5.3	4.5
가열재생	70:30	8.5	7.0



재생 폼드 혼합물

가열 재생 혼합물

사진 1. 재생폼드 아스팔트 혼합물

### 5.2.3. 회복탄성계수 시험

그림 5는 회복탄성계수 시험결과를 보인 것이다. 회복탄성계수 시험으로부터 나타난 결과는 재생 가열아스팔트 혼합물에 비하여 감온성이 적은 것으로 나타났다. 온도 변화에 의해서 회복탄성계수가 크게 변화할 경우 불안정한 혼합물이 되기 쉬우나 재생폼드 아스팔트 혼합물은 온도변화에 의한 회복탄성계수의 변화율이 크지 않기 때문에 안정된 혼합물로 평가된다. 5℃에서 측정된 회복탄성계수의 경우 재생폼드혼합물의 회복탄성계수는 가열재생에 비하여 약 3배 정도 낮게 측정되었으나 25℃ 및 40℃에서는 유사

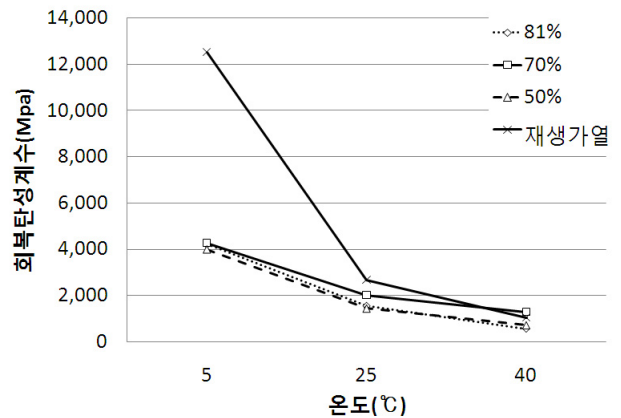


그림 5. 회복탄성계수 시험결과

하게 측정되었다. 이는 재생 가열혼합물이 재생 폼드혼합물에 비하여 아스팔트 바인더량이 많고 골재에 골고루 코팅되어 아스팔트 바인더가 온도 변화에 민감한 원인 중의 하나이다. 구재 변화량에 의한 회복 탄성계수 변화는 크게 나타나지 않았다.

#### 5.2.4. 크리프시험 및 휠 트래킹시험

그림 6은 영구변형량 비교결과를 보인 것이다. 소성변형 특성을 분석하기 위해서 실시된 크리프시험에서는 구재를 70% 사용한 혼합물이 소성변형에 가장 높은 저항성을 갖는 것으로 나타났다. 한편 가열재생 아스팔트 혼합물은 영구변형량이 0.06%가 발생하여 가장 큰 변형률을 보였다. 회복탄성계수 시험 결과에서 볼 수 있는 것처럼 가열재생 혼합물은 온도 변화에 재생 폼드 혼합물에 비하여 민감한 반응을 보이고 온도 상승에 의한 아스팔트 바인더의 연약화가 진행되기 때문이다.

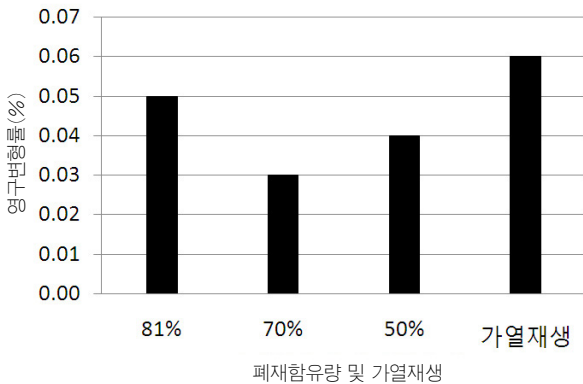


그림 6. 영구변형량 비교결과

휠트래킹 시험 결과에서도 구재:신재의 비율 70:30 재생 폼드 혼합물의 동적안정도가 4,500회/mm, 재생가열 혼합물이 1,100회/mm로 나타났다. 이러한 휠 트래킹 시험 결과는 크리프 시험 결과와도 일치하고 있다. 그림 7은 휠 트래킹 시험결과를 보인 것이다. 일반적으로 동적안정도 기준은 밀입도 아스팔트 혼합물의 경우 850회/mm 정도면 동적안정도가 우수한 것으로 평가하고 있다.

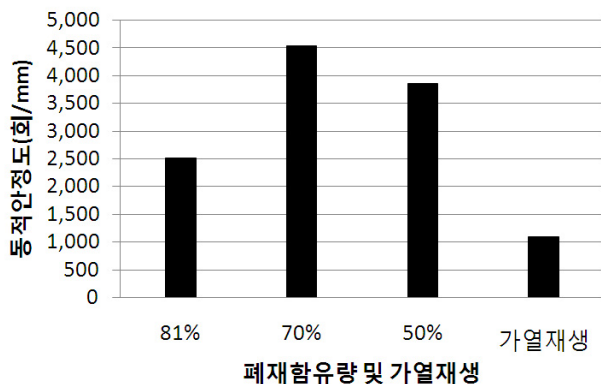


그림 7. 휠 트래킹 비교결과

이상으로 실내시험 결과에서 나타난 결과를 종합하여 볼 때 구재 70%혼합물이 간접인장강도를 제외하고는 구재 50%혼합물과 재생가열 혼합물에 비하여 비슷하거나 우수한 결과를 나타내고 있다. 따라서, 재생 폼드 아스팔트 공법은 가열 재생공법에 비하여 폐아스팔트의 재활용률을 크게 증가시킬 수 있을 것으로 기대되며 안정된 기층재료로서의 역할을 할 수 있는 것으로 판단된다.

## 6. 결론

본 연구를 통하여 나타난 결론은 다음과 같다.

1. 재생 폼드 아스팔트 혼합물은 폐아스팔트의 재령이나 물리적 특성 구분없이 많은 량의 폐아스팔트를 혼합하여 사용할 수가 있어서 재활용 측면에서 뛰어난 효과를 나타내는 것으로 실내 시험 결과로부터 발견되었다.
2. 재생 폼드 아스팔트의 마찰안정도는 국내 설계기준을 만족하고 소성변형 저항성이 크고, 온도 변화에 따른 회복탄성계수의 변화가 크지 않아 온도 감온성이 작은 것으로 나타났다.
3. 구재량은 70%를 사용한 재생 폼드 혼합물이 전반적으로 우수한 성능을 보였다. 소성변형에 대한 저항성 및 회복탄성계수는 동일한 조건으로 제조된 재생 가열 아스팔트 혼합물과 유사한 결과를 나타냄으로써 혼합된 많은 량의 폐아스팔트를 재활용 가능성이 기대된다.
4. 습윤시 간접인장강도의 저하가 발생하기 때문에 이에 대한 별도의 연구가 요청된다.

## 참고 문헌

박태순, 김용주, 김기연, “반 가열 폼드 아스팔트 혼합물의 개발 및 성능시험 연구”, *한국도로포장공학회*, 제 4권 1호, pp. 135~147, 2002. 3.

박태순, 김용주, “폼드 아스팔트의 원리 및 아스팔트 바인더의 거품 특성에 관한 연구”, *대한토목학회 학술발표회*, 1999. 10.

박태순, 김용주, 백성현, 김광우, “환경친화적 폐아스팔트 활용공법의 평가 -폼드아스팔트공법-” *한국도로포장공학회 학술발표회*, 1999. 11.

박태순, 최필호, “아스팔트 안정처리토의 역학적 특성 연구” *한국지반공학회*, 제19권 제5호, pp.189-197, 2003.10

Acott, S. M., “*The Stabilization Of Sand By A Foamed Bitumen A Laboratory And Field Performance Study*”, MSc. Dissertation, University of Natal, Durban, South Africa, 1980, 192pg

Bowering, R. H., “Properties And Behavior of Foamed Bitumen Mixtures For Road Building”, *AARB 5th Conference*, 1970, 18 pg.

Louisiana Department of Transportation, “Construction of Recycle Foamed Asphalt in I-65” *LDOT*, report A12-60, 2003

Ruckel, P. J., Kole, L. L., Abel, F., Zator, R. E., Button, J. W. and Epps, J. A., “OAMIX Asphalt Advances”, *Symposium On Asphalt Pavements*

- Construction: New Materials And Techniques*, ASTM Special Technical Publication 724, December 1979, pp. 93-109
- Ruckel, P. J., Acott, S. M. and Bowering, R. H., "Foamed Asphalt Paving Mixtures: Preparation Of Design Mixes And Treatment Of Test Specimens", *TRR No. 911*, 1983, pp. 88-95
- Sakr, H. and Manke, P., "*Innovation in Oklahoma Foamed Design Procedures*". A paper presented at the Washington, D.C.
- Tia, M. and Wood, L. E., "Use Of Asphalt Emulsions And Foamed Asphalt In Cold Recycled Asphalt Mixtures". *TRR Report No. 898*, 1983, pp. 315-321
- Tony. Lewis, 1997, "Foamed Bitumen : Expanding Use Worldwide" *AIN LEWIS Partner A.A. Loudon & Partners Consulting Engineers South Africa*

접 수 일 : 2010. 11. 18

심 사 일 : 2010. 11. 20

심사완료일 : 2010. 11. 29