

# 칩형식 안료를 사용한 유색아스팔트의 성능 평가 연구

## A Study on the Performance Evaluation of Color Asphalt Mixture Using Chip-shaped Pigment

안용주\* · 정훈희\*\* · 문성호\*\*\* · 박태순\*\*\*\*

Ahn, Yong-ju · Jung, Hoon-hee · Mun, Sung-ho · Park, Tae-soon

### 1. 서론

국민의 생활수준이 향상됨에 따라 도로포장의 기능은 편의성뿐만 아니라 환경적 측면에 대한 인식 또한 높아지고 있다. 이러한 인식의 변화로 인하여 도로포장의 경우 주변 환경과 융화를 고려하여 설계 및 시공되어지고 있으며 그 중 한 예로 유색아스팔트 포장에 도입함으로써 미관향상과 친환경적인 기능을 강화하고 있는 실정이다. 특히 스쿨존, 아파트 단지 내 보도용도로, 자전거도로, 경기장, 버스전용차로 등에 많이 사용되어지고 있다. 기존 칼라아스팔트 혼합물은 골재, 안료 및 무색아스팔트 바인더를 혼합하여 제조하는 혼합물로 이때의 무색아스팔트 바인더는 화학적으로 생산된 아스팔트 바인더이다. 안료 혼입시 색상 효과를 크게 얻기 위하여 공장에서 인공으로 제조된 무색아스팔트 바인더의 구체적인 성능시험 방법과 점탄성 특성이 밝혀져 있지 않은 실정이다. 유색아스팔트 혼합물을 서울시 버스중앙전용차선에 적용 후 몇몇 구간에서 파손(소성변형, 포트홀, 박리현상 등)이 발생하였다. 이는 국내에서 처음으로 시도되는 포장으로 시공 경험의 부족으로 인한 시공문제도 있지만 재료 그리고 배합설계 문제로 나타났다. 본 연구에서는 이러한 기존 유색아스팔트의 문제점을 해결하고자 새로 개발된 방안으로써 칩형식 안료를 일반아스팔트 바인더에 혼입하는 형태의 유색아스팔트포장 성능평가에 대한 연구를 실시하였다. 또한, 기존 일반아스팔트 혼합물과 SBS아스팔트 혼합물도 같이 실험을 진행하여 유색아스팔트포장과 비교·분석하였다.

### 2. 최적 유색첨가제량 선정 및 배합설계

#### 2.1 최적 유색첨가제량 선정

본 연구에서 사용한 유색첨가제는 국내 N사에서 개발·연구 중인 적색 빛의 칩형식 고흡 첨가제를 사용하여 실험을 진행하였다. 그림. 1은 유색첨가제를 나타낸 것이다.



그림. 1 유색첨가제

\* 서울과학기술대학교 토목공학과 석사과정 · 02-970-6946(E-mail : conan84@empas.com)  
\*\* 서울과학기술대학교 토목공학과 석사과정 · 02-970-6946(E-mail : woangs@paran.com)  
\*\*\* 서울과학기술대학교 토목공학과 교수 · 공학박사 · 02-970-9014(E-mail : smun@seoultech.ac.kr)  
\*\*\*\* 서울과학기술대학교 토목공학과 교수 · 공학박사 · 02-970-6506(E-mail : tpark@seoultech.ac.kr)

유색첨가제를 상온에서 투입하여 160℃의 골재와 바인더에 혼합을 한 결과 유색첨가제가 완전히 풀어지지 못하고 덩어리로 남겨지는 현상을 발견하였다. 이는 유색첨가제가 혼합하는 과정에서 열을 단기간만 받아 완전히 용융되지 못한 것이다 판단된다. 혼합시간을 길게 할 경우 덩어리지는 현상이 줄어들었으나 실내실험에서는 혼합시간이 길 경우 골재온도의 하락 및 산화되는 현상이 크기 때문에 본 연구에서는 덩어리지는 현상을 방지하기 위하여 바인더와 유색첨가제를 미리 160~170℃에서 30분간 교반하여 유색첨가제가 바인더에 완전히 풀어지도록 하였다. 그림. 2는 유색첨가제를 상온에서 첨가하여 덩어리진 상태로 다짐을 한 사진과 혼합 전 미리 교반을 하여 유색첨가제가 바인더에 완전히 용융된 상태로 다짐을 한 사진을 비교한 것이다.



그림. 2 유색첨가제의 덩어리진 현상 비교

최적 유색첨가제량의 산정을 위하여 혼합 전 혼합물의 1%, 3%, 5%의 유색첨가제량을 바인더와 미리 교반하여 교반된 혼합물의 색깔을 구분하였다. 그림. 3의 (a)와 (b)는 왼쪽부터 차례대로 혼합물의 1%, 3%, 5%의 유색첨가제 첨가한 바인더 혼합물과 아스팔트 혼합물의 색깔을 비교한 사진이다. 아래 그림에서 볼 수 있듯이 1%의 유색첨가제는 검정색이 강하여 적색이 희미하게 나타나며, 3%와 5%에서는 선명한 적색을 확인할 수 있었다. 본 연구에서는 제품의 경제성을 고려하여 3%를 최적 유색첨가제량으로 산정하였다.



(a) 바인더 혼합물



(b) 아스팔트 혼합물

그림. 3 유색첨가제량에 따른 혼합물의 색깔 비교

## 2.2. 배합설계

본 연구의 배합설계방법은 슈퍼페이브 배합설계에 따라 진행하였다. 사용한 골재는 최대입경 10mm의 골재를 사용하였는데 이는 유색아스팔트가 포설될 포장이 자건거도로인 3cm임을 고려하여 골재최대치수가 너무 크지 않은 범위에서 선정한 결과이다.

위에서 선정한 최적 유색첨가제량을 사용한 유색아스팔트와 일반 아스팔트 혼합물과 SBS 고분자 개질 아스팔트 혼합물에 대한 배합설계를 수행하였다. 슈퍼페이브의 다짐장비로 선회다짐기(SGC, Superpave gyratory compactor)를 사용하였으며 최적 아스팔트량을 결정하기 위해 체적측정법을 하여 혼합물의 품질을 평가하기 위해  $N_{초기}$ ,  $N_{절계}$ ,  $N_{최대}$ 에서의 공극률을 측정하였다. 최적 아스팔트량은  $N_{절계}$ 의 선회다짐으로 4%의

공극률이 얻어지는 값으로 산정하였다. 배합설계 시 골재, 바인더 및 유색첨가제의 투입량은 순서대로 100 : 바인더량 : 3의 비율로 실험을 진행하였다. 표. 1은 유색아스팔트, 일반 아스팔트 혼합물과 SBS 개질아스팔트 혼합물의 배합설계변수를 정리한 것이다, 그 결과 일반아스팔트 혼합물과 SBS아스팔트 혼합물의 최적 아스팔트량은 7%로 나타났으며, 유색아스팔트는 6%로 나타났다.

표. 1 각 아스팔트 혼합물의 배합설계변수

혼합물 종류	유색아스팔트	일반아스팔트	SBS 개질아스팔트
골재온도(℃)	170		
아스팔트 온도(℃)	160		
양생조건(℃)	2시간동안 다짐온도에서 양생		
다짐온도(℃)	150		
최적아스팔트 함량(%)	6.0	7.0	
유색 첨가제량(%)	3.0	사용안함	

### 3. 역학적 시험 및 결과

수퍼패브 배합설계를 수행하여 결정된 최적 아스팔트 함량을 함유한 아스팔트 혼합물에 대한 역학적 시험을 수행하기 위해 75회 마샬다짐된 100mm 지름을 가진 공시체를 표. 3에 배합설계변수를 사용하여 준비하였다. 모든 혼합물은 균열 저항성을 평가하기 위해 25℃의 온도에서 간접인장강도를 수행하였으며 수분으로 아스팔트 혼합물의 손상을 평가하기 위해 수분민감도 시험을 수행하였다. 또한, 온도에 대한 감온성을 평가하기 위하여 5℃, 25℃, 40℃에서 회복탄성계수 시험을 수행하였고 마지막으로 소성변형에 대한 저항성을 평가하기 위해 60℃에서 휠 트래킹시험을 수행하였다.

#### 3.1 간접인장강도 시험

아스팔트 혼합물의 균열 발생 가능성을 평가하기 위하여 KS F 2382에 따라 간접인장강도 시험을 실시하였다. 표. 2는 각 아스팔트 혼합물의 간접인장강도 시험결과를 비교한 것이다. 표. 2에서 알 수 있듯이 유색 아스팔트의 간접인장강도는 SBS아스팔트에 비해 상대적으로 적은 값인 1.07 N/mm<sup>2</sup>를 보여준다. 그러나 유색아스팔트에서 요구되는 기준 이상으로 만족하고 일반 아스팔트와 큰 차이를 보여주고 있지 않고 있다.

표. 2 아스팔트 혼합물의 간접인장강도 결과 비교

종 류	간접인장강도(N/mm <sup>2</sup> )		
유색아스팔트	1차	1.07	1.07
	2차	1.08	
일반아스팔트	1차	1.12	1.14
	2차	1.15	
SBS아스팔트	1차	1.22	1.23
	2차	1.24	

#### 3.2 수분민감도 시험

아스팔트 혼합물은 수분침투로 인하여 아스팔트가 골재부터 벗겨져 나가는 현상이 발생하게 되고 아스팔트 포장에 내구성을 감소시켜 수분침투로 인한 파손을 발생시키고 있다. 이러한 아스팔트 혼합물의 수분에 대한 저항성을 평가하는 방법으로 건조상태에서 간접 인장강도 값과 수분 포화상태에서 간접 인장강도 값을 측정하여 두 인장강도 사이의 비를 수분민감도의 평가기준으로 사용하고 있다. 수분민감도 시험방법은 KS F 2398에 규정되어 있으며 6개의 마샬 다짐 공시체를 준비하여 각각 3개의 공시체를 두 그룹으로 나눈다. 그룹

-1은 동결 용해의 처리 없이 기준공시체로 하고, 그룹-2 공시체는 55~80%의 포화도를 갖도록 물로 진공 포화된 공시체를 24시간 동안 60℃에서 수분 처리를 한다. 표. 3은 아스팔트 혼합물의 수분민감도 시험결과를 비교한 것이다. 표. 3에서 알 수 있듯이 유색아스팔트의 수분민감도 시험 결과는 0.7 N/mm<sup>2</sup>, 0.96 N/mm<sup>2</sup>의 값이 도출되었다. 평균값은 0.83 N/mm<sup>2</sup>이고, 간접인장강도비는 77.4%로 일반 아스팔트에 비해 높은 값을 보인다. 두 차례의 시험 결과가 차이를 보이는 것은 아스팔트 바인더와 유색 첨가제의 교반 정도에 따라 좀 달라짐을 알 수 있었다. 따라서 아스팔트 바인더와 유색 첨가제를 충분히 교반해야 좋은 결과를 도출할 수 있다고 볼 수 있다.

표. 3 아스팔트 혼합물의 수분민감도 및 간접인장강도비 결과 비교

종 류		수분민감도(N/mm <sup>2</sup> )		간접인장강도비(%)
유색아스팔트	1차	0.70	0.83	77.4
	2차	0.96		
일반아스팔트	1차	0.64	0.84	73.7
	2차	1.03		
SBS아스팔트	1차	1.04	1.13	91.9
	2차	1.21		

### 3.3 회복탄성계수 시험

반복적으로 작용하는 차량하중에 의한 아스팔트 포장의 거동특성인 응력-변형률 관계를 모사하기 위해 저온, 상온, 고온에서 아스팔트 혼합물의 스티프니스를 측정할 수 있는 회복 탄성계수시험을 KS F 2376에 따라 수행하였다. 노팅햄 아스팔트 시험기(Nottingham Asphalt Tester, NAT)를 사용하여 0.1초 동안 하중을 가하고 0.9초 동안 휴지시간을 갖는 사이클을 반복적으로 가하여 5℃, 25℃, 40℃에서 회복탄성계수를 측정하였다. 각 온도에서 푸아송 비는 0.25 (5℃), 0.35 (25℃), 0.40 (40℃)을 각각 사용하였다. 그림. 4는 아스팔트 혼합물의 회복탄성계수 값을 비교한 것이다. 그림. 4에서 볼 수 있는 것처럼 40℃에서 유색아스팔트의 회복탄성계수 시험에서는 일반 아스팔트 및 SBS 아스팔트 보다 월등한 회복탄성계수 값을 보여줌에 따라 소성변형에 대한 저항성이 크다는 점을 알 수 있다. 유색아스팔트는 5℃에서의 회복탄성계수 값에 있어서도 다른 아스팔트 보다 큰 값을 보여주고 있다.

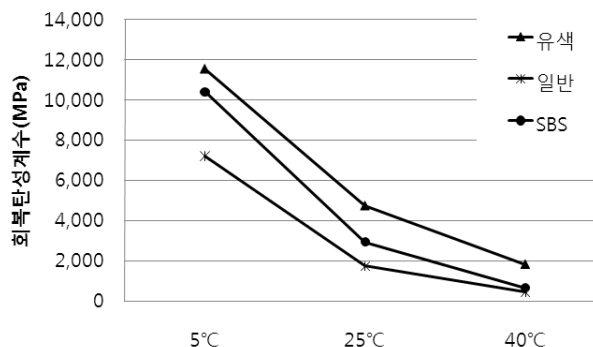


그림. 4 아스팔트 혼합물의 회복탄성계수 결과 비교

### 3.4 휠트래킹 시험

휠트래킹 시험은 영국의 도로교통운수연구소(TRRL)에서 개발된 것으로 실제도로에서 고온 시 중차량에 의

해 생기는 소성변형이나 니딩(Kneading)작용의 영향을 실내에서 모사 및 재현하여 아스팔트 혼합물의 유동성을 평가하는 시험이다. 휠트래킹 시험 결과는 변형률과 동적안정도로 나타내는데 변형률은 변형량의 증가율이 거의 일정하게 되는 45분에서 60분까지의 15분간 주행의 변형률을 말한다. 동적안정도는 1mm 변형하는데 소요되는 차륜의 통과회수를 나타낸 것이다. 실험은 KS F 2374에 따라 수행하였으며, 표. 4는 아스팔트 혼합물의 동적안정도 결과를 비교한 것이다. 유색아스팔트의 휠트래킹 시험 결과, 일반 아스팔트의 동적안정도인 759회/mm에 비해 약 8배 우수한 6,006 회/mm의 동적안정도를 보였다. 이는 SBS아스팔트의 동적안정도 값인 6,325 회/mm과 비교할 때도 손색이 없고, 소성변형에 대하여 높은 저항성을 나타냄을 알 수 있다. 그림. 5는 휠 트래킹 실험 후 공시체를 비교한 사진이다.

표. 4 아스팔트 혼합물의 동적안정도 결과 비교

혼합물종류		동적안정도(회/mm)	
일반아스팔트 혼합물	1차	887	759
	2차	630	
유색아스팔트	1차	5,380	6,006
	2차	6,632	
SBS아스팔트 혼합물	1차	6,923	6,325
	2차	5,727	

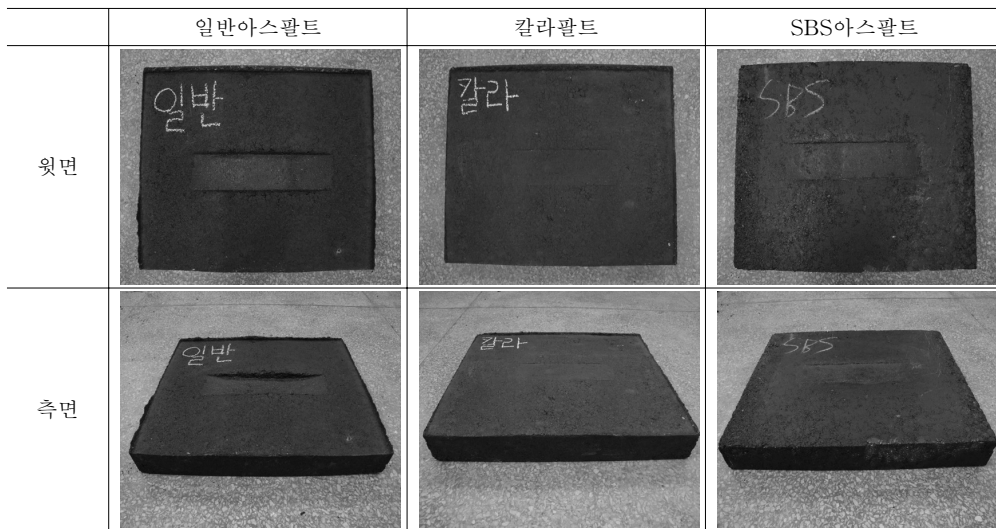


그림. 5 휠 트래킹 실험 후 공시체 비교

#### 4. 결 론

본 연구에서는 기존 유색아스팔트의 문제점을 해결하고자 칩형식 안료를 일반아스팔트 바인더에 혼합하는 새로운 형태인 유색아스팔트포장의 성능평가에 대한 연구를 간접인장시험, 수분민감성 시험, 휠 트래킹 시험, 회복탄성계수 시험을 통하여 실시하였다. 시험결과를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 실내시험결과 칩형식의 유색첨가제가 제대로 용융되지 못하는 현상이 발생하였다. 이를 해결하기 위하여 실험 전 유색첨가제와 아스팔트 바인더를 미리 교반하였지만 실험결과 교반의 정도에 따라 실험결과가

차이가 남을 확인할 수 있었다. 이를 해결하기 위해서는 유색첨가제를 미리 혼입한 프리믹스타입의 기술이 요구됨

- 2) 공용성을 유추할 수 있는 시험으로 3개의 종류(유색아스팔트, 일반아스팔트, SBS아스팔트)의 아스팔트의 회복탄성계수 시험을 실시하여 5℃, 25℃, 그리고 40℃에서의 Stiffness 정도를 측정하였음. 그 결과 유색아스팔트의 Stiffness는 모든 온도범위에서 타 아스팔트에 비해 높은 것으로 나타남
- 3) 칩형식 안료를 사용한 유색아스팔트는 타 아스팔트 제품과 비교하여 역학적 성능에서 큰 차이를 보이지 않았으며, 회복탄성계수 및 소성변형 저항성 측면에서는 보다 뛰어난 성능을 발휘함

#### 참고 문헌

- [1] 서울산업대학교(2006), “개질 유색 아스팔트 품질 및 성능분석”, 서울산업대학교 건설기술연구소.
- [2] 서울산업대학교(2006), 강원대학교, “서울시 유색아스팔트 포장 성능향상 방안연구”, 한국도로학회.
- [3] 고석범, 박태순, 김수삼(2001), “소성변형 저항성 확보를 위한 아스팔트포장의 성능등급(PG)결정”, 대한토목학회 학술발표회.