



안료의 혼입이 유색 아스팔트 혼합물 성능에 미치는 영향 연구

Effects on the Inclusion of the Pigment in Performance of Color Asphalt Mixture

박 태 순* 전 만 식**

Park, Tae Soon Jeon, Man Sik

Abstract

This paper presents the results of the effects on the inclusion of the pigment in the color asphalt mixture. The particle size of the pigment is extremely finer than that of the filler and should be reduced the amount of the filler used. It was found in the present practise that the total weight of 2% of the pigment in the weight of the total aggregate was used during the mix design. The extra inclusion of the pigment in the mixture increased the amount of the filler and affected on the volumetric properties such as void ratio and VMA. It has related with the performance and distress of the pavement and found that the mechanical properties have decreased.

Keywords : pigment, color asphalt mixture, filler, VMA, mechanical performance

요지

본 논문은 유색아스팔트 혼합물에 사용된 안료가 유색아스팔트 혼합물 성능에 미치는 영향에 대한 시험 및 분석결과이다. 안료 입자 크기는 필러의 입자에 비하여 매우 미세하기 때문에 배합설계시 필러 양의 조절이 필요하다. 현행의 배합설계를 조사한 결과 필러의 투입량에 관계없이 배합설계시 꿀재중량의 약 2%를 투입하고 있는 것으로 조사되었다. 안료의 투입은 필러의 양을 증가시키는 것으로 아스팔트 혼합물의 공극관련 인자(공극률 및 VMA)에 영향을 주어 매우 불안정한 혼합물을 구성하게 된다. 이러한 영향은 포장의 공용성과 파손에 밀접한 관련이 있으며 역학 성능(간접인장강도, 회복탄성계수, 수분 민감도 및 크리프) 저하를 초래하는 것으로 시험결과 발견되었다.

핵심용어: 안료, 유색아스팔트 혼합물, 필러, VMA, 역학성능

* 정회원 · 서울산업대학교 건설학부 부교수

** 정회원 · 서울산업대학교 건설학부 대학원



.....

1. 서 론

최근 서울시 중앙버스전용차로에 유색 아스팔트 혼합물이 대량으로 도입됨으로써 유색아스팔트 혼합물 시장 확대에 크게 영향을 미칠 것으로 기대되고 있다. 그런데, 유색 아스팔트 혼합물이 도로 포장용으로 본격적으로 사용되면서 여러 곳에서 파손이 발생하였다. 유색 아스팔트 포장에서 발생하고 있는 파손의 종류는 밀림, 조기소성변형, 패임, 벗겨짐 등 다양한 파손이 발생하고 있어서 이에 대한 원인분석이 요청되고 있는 실정이다. 특히, 밀림을 동반한 소성변형과 유사한 파손이 많이 발생하고 있는 실정이다. 유색 아스팔트 혼합물은 혼합물의 색상발현을 위하여 매우 미세한 입자의 안료($0.03\text{mm} \sim 0.002\text{mm}$)를 아스팔트 혼합물 제조중에 투입하고 있다. 이러한 현장에서 제조방법은 특별한 이유가 없이 통상적으로 실시되어온 것으로 조사되었다. 유색 아스팔트 혼합물 제조 시 필러 량에 관계없이 별도로 투입되고 있으며 투입되어 필러로써 일부 기능을 하는지 아니면 안료 자체로써 색상발현에 기능을 발휘하는지 현재 까지는 알려지지 않은 상태이다. 통상 실무에서는 안료의 투입량은 골재중량에 2~3%를 사용하고 있는데 안료의 투입은 일반 밀입도 아스팔트 혼합물에 비하여 2% 더 많은 양의 필러가 투입되는 경우라고 할 수 있다. 필러량이 과다할 경우 공극률과 VMA에 영향을 미치고 아스팔트 바인더 양의 증가와 이로 인한 다짐 불능이 발생하게 된다(고석범 등, 2002). 필러량이 증가할 경우 소성변형 저항성이 저하되고 온도 변화에 의해 감온성이 커지기 때문에 주의가 요청된다(박태순 외 1인, 2002, 박태순, 2004). 미소한 량을 사용하지만 필러 량을 고려하지 않고 추가로 혼입을 하기 때문에 아스팔트 혼합물의 공극과 VMA에 밀입도 아스팔트 혼합물과 다른 특성을 보이고 있으며 이러한 다른 특성은 혼합물의 역학적 특성에도 영향을 미칠 것으로 예상된다.

본 연구에서는 유색아스팔트 혼합물 제조에 사용되는 안료의 혼입이 혼합물에 미치는 영향을 시험 분

석하기 위하여 필러의 양과 안료의 양을 서로 구분하여 시료를 제작하고 관련 시험을 수행하였다.

2. 안료

일반적으로 안료는 유기안료와 무기안료로 구분된다. 유기안료는 무기안료에 비해서 빛깔이 선명하고 착색력도 크며, 임의의 색조를 얻을 수 있으나 내광성 및 내열성이 떨어지는 것으로 알려져 있으며 대표적인 유기안료로는 인쇄에 사용되는 잉크가 대표적인 예이다. 무기안료는 천연광물로써 아연, 티탄, 철, 구리, 산화철 등의 물질로서 무기안료는 내광성, 내열성은 크나 착색력은 유기안료에 비하여 선명하지 않고 대부분 물이나 기름 그리고 알코올 등의 유기용제에 녹지 않는 특징을 가지고 있다. 무기안료의 한 종류인 산화제이철은 유색 아스팔트 포장 시 무색 바인더에 혼입하여 도로 착색을 위한 안료로 사용되어지고 있다. 산화제이철은 일반적으로 산화제이철, 사산화삼철과 비교하여 구성성분의 85%~98.5% 이상 Fe_2O_3 으로 이루어져 있으며, 가장 안정한 형태를 유지하고 있다. 철의 특징을 가지고 있는 산화제이철의 비중은 $4.8\text{g}/\text{cm}^3 \sim 5.2\text{g}/\text{cm}^3$ 의 무거운 입자로 구성되어져 있다. 국내 유색 아스팔트 포장에 일반적으로 사용되고 있는 안료의 크기는 0.045mm 이하의 입자로 이루어져 있으며 본 연구에서는 0.03mm 이하의 크기를 가진 안료를 사용하였다. 산화철은 KS M 5102(산화철 적색 및 갈색안료)에 5종으로 분류하고 있다.

3. 성능평가시험

3.1 시험계획

안료의 혼입으로 인한 유색 아스팔트 혼합물의 배합설계, 공극률, VMA 및 역학특성(간접인장강

도, 회복탄성계수, 수분민감도, 크리프 등)과 같은 성능변화를 비교분석하기 위하여 3가지 경우로 시료를 제작하여 시험을 실시하였다. 본 연구에서 사용한 3가지 경우는 다음과 같다. 표 1은 유색아스팔트 혼합물의 배합설계 시험조건에 대하여 정리한 것이다.

- ① 경우 1 : 필러 량에 관계없이 안료를 추가로 혼입 “기존제조방식”(COV)으로 명함
- ② 경우 2 : 안료를 투입하지 않고 혼합물 제작 “무첨가 제조방식”(NOA)으로 명함
- ③ 경우 3 : 안료를 필러로 고려하여 필러량과 안료량을 나누어 혼합 “분할제조방식”(SEP)으로 명함

표 1. 유색 아스팔트 혼합물의 배합설계 시험조건

구 분	입 도	배합설계 변경조건	혼합물의 명칭
경우 1	중앙입도	필러6%+안료2%	기존 (COV)
	하한입도	필러4%+안료2%	
경우 2	중앙입도	필러6%+안료0%	안료 무첨가 (NOA)
	하한입도	필러4%+안료0%	
경우 3	중앙입도	필러5%+안료1%	분할 조절 (SEP)
	하한입도	필러3%+안료1%	

주 : 필러와 안료량은 풀재중량에 대한 백분율이다.

3.2 시험재료

시험에 사용된 아스팔트 바인더는 무색 아스팔트 바인더를 사용하였다. PG76-22로 제조된 인조 아스팔트를 사용하였다. 골재의 입도는 19mm 밀입도 아스팔트의 입도규격을 사용하였으며 사용된 안료와 필러의 입도는 그림 1과 같다. 비교용으로 사용된 AP-5는 KS M 2201 포장용 아스팔트 규격에 합격하는 PG 64-22를 사용하였다.

입도 시험결과 필러의 입자크기는 0.35mm에서 0.023mm까지 분포하였으며, 안료의 입자크기는 0.03mm에서 0.002mm까지 분포하는 것으로 나타났

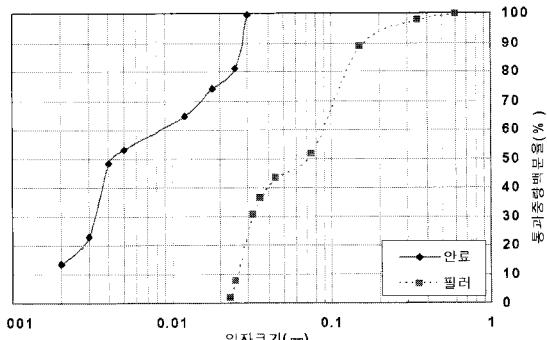


그림 1. 안료 및 필러의 입도분포 곡선

다. 안료입경이 필러입경에 비하여 약 10배 정도 미세한 것으로 나타났다. 안료 자체로서는 너무 미세하여 단독으로 사용하기에는 부적합하고 분할 조절(SEP)의 경우 필러와 함께 사용됨으로써 필러의 기준을 만족하고 있다.

3.3 시험방법

배합설계는 양면 75회 마찰 시험법을 사용하였으며 마찰 시험결과를 이용하여 각 아스팔트 함량에서 변화하는 공극률과 VMA 변화와 역학시험으로는 간접인장강도, 수분민감도, 회복탄성계수 및 크리프시험을 실시하여 안료의 혼입과 투입방법의 변화로 인한 유색 아스팔트 혼합물의 성능변화를 시험 분석하였다.

4. 배합시험 및 공극관련 인자 분석 결과

4.1 최적 아스팔트 양

사용입도는 19mm 밀입도 곡선의 중앙입도 및 하한입도를 사용하였다. 중앙입도를 사용한 배합설계 결과 COV 혼합물의 최적아스팔트 함량은 측정이 불가하였다. NOA 시료는 4.6%, SEP 시료는 4.5%로 측정되었다. 안료의 혼입을 고려하지 않은 COV 혼합물의 경우 미세입자인 안료가 추가로 혼입되어

혼합물내의 공극을 채움으로서 공극률이 매우 낮게 측정되어 설계기준을 만족하지 못하였으며 그 결과 최적아스팔트 함량의 측정이 불가하였다. 한편, NOV 및 SEP 혼합물은 공극률의 변화와 체적관련 인자가 COV 혼합물에 비하여 민감하게 발생하지 않았으며 그 결과 설계기준을 만족하여 최적 아스팔트 함량을 결정할 수 있었다. 이러한 결과부터 배합설계 시 안료의 혼입이 공극률에 크게 영향을 미치기 때문에 필러량을 안료의 혼입량만큼 대치하는 것이 필요 한 것으로 나타났다.

4.2 공극관련 인자

4.2.1 공극률

그림 2는 바인더 양의 변화에 따른 공극률의 변화를 도시한 결과이다. COV 혼합물은 전 바인더 함량에서 공극률 3% 이하로 나타나고 있어서 안료의 혼입으로 인한 영향이 크게 나타나고 있으며 NOV, SEP 혼합물도 4.5% 바인더 양을 제외하고 모두 3% 미만으로 나타나서 불안정한 혼합물을 구성하고 있다. 안료의 혼입으로 인한 영향을 최소화하기 위하여 입도분포를 하한으로 조정하여 시험한 결과 중간 입도에 비하여 공극률이 증가하는 것으로 시험 결과 나타났다. 공극률의 증기는 중간입도 혼합물에 비하여 안정된 결과를 보이고 있으며 그 결과, 모든 혼합물에서 최적 아스팔트 함량을 구할 수 있었다. 그러나 하한입도의 경우도 최적아스팔트 함량을 결정할 수 있는 범위가 매우 좁아 안료의 혼입으로 인한 필러의 투입량을 재조정할 필요가 있는 것으로 분석되었다.

4.2.2 VMA

그림 3은 아스팔트 함량 변화에 따른 VMA를 도시한 그림이다. 일반적인 VMA의 곡선과 아스팔트 바인더 량의 관계는 U자 형태를 보이게 된다. 즉, 아스팔트 함량이 증가하면서 U자 형의 곡선을 그리면서 어떤 점에 도달하게 되면 VMA가 증가하기 시작

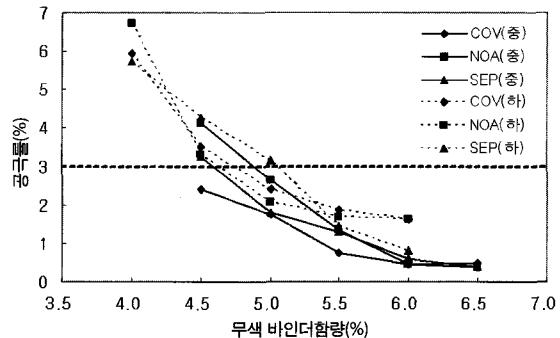


그림 2. 공극률과 바인더 함량 관계 곡선

한다. 그림 3에서 볼 수 있는 것처럼 중간입도로 배합된 혼합물에서는 이러한 형태가 나타나지 않고 있으며 VMA의 값도 크게 나타나고 있다. VMA가 크고 가까스로 최소 공극률을 만족할 경우 소성흐름과 밀림현상이 발생하게 된다. 이렇게 배합된 혼합물을 사용한 현장에서 동일한 파손 사례가 발견되었다 (박, 1997). 한편, 하한입도로 배합설계된 혼합물에서는 일반적인 VMA 곡선형태를 나타내고 있다. COV 혼합물은 안료와 필러의 동시 혼입으로 인하여 중간입도 혼합물의 VMA 곡선형태를 나타내고 있는 반면, NOV 및 SEP 혼합물은 일반적인 형태의 곡선을 보이고 있어서 안료의 혼입은 혼합물내의 공극에 큰 영향을 미치고 있으며 안료의 투입량과 필러의 투입량을 배합설계 결과에 따라 재조절하는 것이 필요 한 것으로 분석되었다.

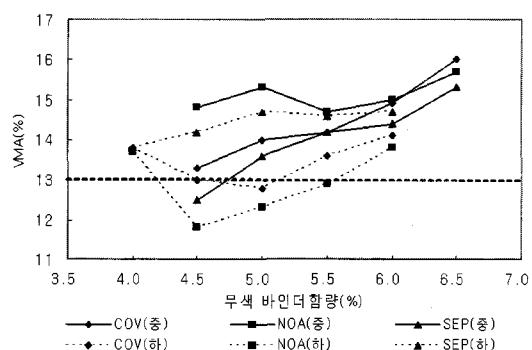


그림 3. VMA와 바인더 함량관계 곡선

5. 역학적 시험 및 결과

유색 아스팔트 혼합물의 역학적 시험은 19mm 밀입도의 하한입도를 사용하여 시편을 제작하였으며 각각의 시험을 실시하여 성능을 평가하였다. 평가결과는 AP-5 밀입도 아스팔트 혼합물과 비교하였다. 사용된 AP-5는 PG 64-22로 나타났는데 본 연구에서는 무색 아스팔트 바인더가 인조로 제조되었으며 PG 76-22의 등급을 보이고 물리적 시험에서 양호한 결과를 보였으나 실제 포장에 사용 시 동급의 개질아스팔트에 비하여 성능이 저하하는 현상이 발생하고 있어서 비교 혼합물은 AP-5로 제조하여 시험을 수행하고 그 결과를 비교하였다. 그림에서 사용된 기호는 다음과 같다.

A1: COV 혼합물, A2: NOA 혼합물,
A3: SEP 혼합물, AP-5: 일반 밀입도 혼합물

5.1 간접인장강도 및 수분민감도

그림 4는 간접인장강도 시험결과를, 그림 5는 수분민감도 시험결과를 보인 것이다. 두 시험결과에서 볼 수 있는 것처럼 COV 혼합물이 가장 낮은 강도와 수분민감도를 나타내고 있다. SEP 혼합물의 경우 가장 높은 값을 나타내고 있는데 유색 아스팔트 혼합물의 제조 시 필러 량과 안료 량을 적절하게 조정함으로써 간접인장강도와 수분민감도의 향상을 얻을 수 있다는 것을 알 수 있는 시험 결과이다.

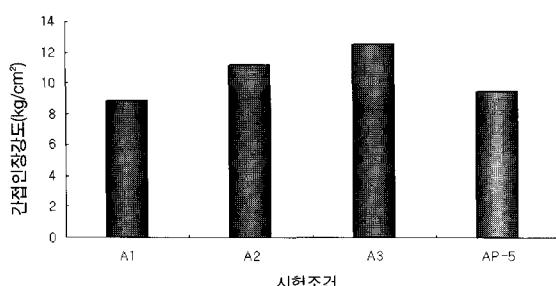


그림 4. 간접인장시험 결과 비교

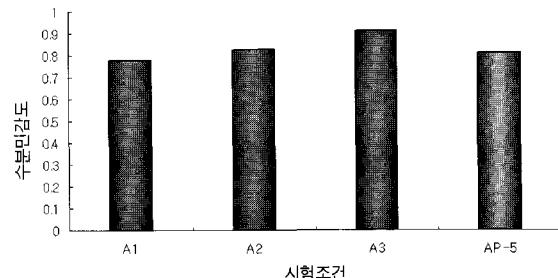


그림 5. 수분민감도시험 결과 비교

5.2 회복탄성계수 및 크리프 시험

표 2는 회복탄성계수시험 결과를 정리한 표이다. 시험온도는 5°C, 25°C, 40°C에서 실시하였다. 시험결과에서 나타난 것처럼 COV 혼합물 공시체가 다른 조건으로 제작된 공시체(NOV 및 SEP)에 비하여 각 시험온도에서 회복탄성계수가 작게 나타나고 있다. 그림 6은 영구 변형률 특성 분석을 위한 크리프시험결과이다. 크리프시험은 영국 Cooper사에서 제작한 NAT(Nottingham Asphalt Tester)를 사용하여 시험온도는 60°C에서 비구속 반복시험으로 실시하였다. 시험실시 전 공시체를 3시간 온도 평형을 이

표 2. 회복탄성계수 시험결과

시험 조건	단위	시험 결과			기호
		5°C	25°C	40°C	
무색 바인더	필러4%+안료1%(COV)	10,263	2,142	777	A1
	필러4%+안료0%(NOA)	11,892	2,788	922	A2
	필러3%+안료1%(SEP)	13,077	3,402	1,349	A3
AP-5	MPa	9,210	1,688	677	AP-5

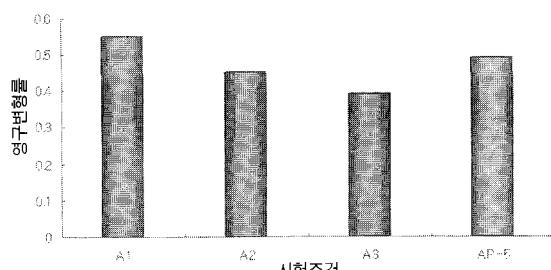


그림 6. 영구변형률 시험결과 비교

루도록 하였고 수직하중 150Kpa, 시험은 60분 재하를 실시하고 15분간 재하를 실시하여 얻은 결과이다. 시험결과 COV 혼합물이 가장 큰 영구 변형률을 보이는 것으로 나타났다.

6. 시험결과 분석 및 토론

본 연구에서 실시된 결과에 의하면 유색 아스팔트 혼합물에 사용하는 안료의 혼입은 배합설계 결과에 크게 영향을 미치게 된다. 특히, 안료의 투입을 고려하지 않고 필러량을 기준대로 유지하여 혼합물을 제조할 경우 공극률의 저하, VMA의 증가가 시작이 되기 때문이다. 최소공극률과 VMA 기준을 가까스로 만족하더라도 아스팔트 바인더 양이 증가함에 따라 VMA 곡선의 우측 편으로 증가하는 상승경향을 가지게 된다. 이러한 경향을 가진 혼합물을 사용하여 현장에서 포장을 실시하면 교통하중에 의한 추가 다짐은 아스팔트 팽창 시 혼합물 내부에 부적절한 공간과 골재간의 접촉 상실을 발생시킴으로써 교통량이 많은 지역에서는 소성변형과 밀림현상이 발생하게 된다(Brown 등, 1989). 이러한 현상이 유색아스팔트를 사용한 도로포장 현장에서 발생하고 있는 대표적인 현상이다. 이러한 이유는 안료의 투입을 고려하지 않은 배합설계의 결과라고 할 수 있다. 이러한 불안정한 혼합물은 간접인장강도, 수분민감도의 저하를 초래하고 있으며 영구변형률의 저하를 동반하는 것으로 시험결과 나타났다. 따라서, 안정한 유색 아스팔트 혼합물을 제조하고 확보하기 위해서는 안료량을 고려하고 사용된 양만큼 필러량을 감소시켜서 배합설계를 실시하여야 한다. 이러한 문제점을 다소나마 해결할 수 있는 방법은 중앙입도 대신 하한입도를 적용하는 방법이다. 일반 밀입도 아스팔트 혼합물의 배합설계 공극률과 VMA의 허용범위가 매우 작을 경우 하한입도를 채용하여 이러한 문제를 해결하고 있는 원리에 해당한다(Foster, 1986). 그 이유는 하한 입도는 골재의 구성상 골재내에 공극이 중앙입도

에 비하여 크게 존재하기 때문이다. 하한입도를 사용하여 배합설계한 경우 공극과 VMA가 증가하고 최적 아스팔트 함량을 구할 수 있었다. 하한입도로 제작된 시료에서 중앙입도로 제작한 시료에 비하여 역학적 성능이 우수하게 나타나는 것을 시험결과 확인할 수 있었다. 또한, 본 연구에서 발견된 것처럼 안료의 입자와 필러의 입자가 서로 다르기 때문에 이에 대한 영향을 배합설계시마다 고려하여 공극률 및 VMA의 변화를 분석하여 투입하는 안료 및 필러의 양을 조정하여야 한다.

7. 결 론

안료의 혼입이 유색 아스팔트 혼합물에 미치는 영향을 시험 분석하기 위하여 혼입안료의 양과 필러의 양을 조절하여 공시체를 제작하고 공극률, VMA 및 역학적 특성을 시험 분석한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 안료의 혼입은 유색 아스팔트 혼합물의 공극률과 VMA에 큰 영향을 미치고 역학적 성능에도 영향을 주는 것으로 나타났다.
2. 안료의 양을 고려하지 않고 필러량을 유지하는 기준 배합설계 방법은 필러량을 지나치게 사용하는 경우가 됨으로써 혼합물 내부의 공극률 확보가 어렵고 이로 인한 VMA의 기능 저하로 인하여 불안정한 혼합물을 구성하게 된다.
3. 유색 아스팔트 혼합물 제조 시에는 반드시 안료의 양을 고려하여 필러량을 조절투입하여야 한다.
4. 안료량을 고려하지 않을 경우 간접인장강도, 수분민감도의 저하 및 영구변형률 상승에도 영향을 미치게 된다.
5. 유색 아스팔트 혼합물 배합설계는 하한입도를 추천한다.

참고문헌

- 고석범, 박태순, 김수삼(2002), “아스팔트 혼합물의 골재특성과 소성변형의 상관분석”, 대한토목학회 논문집, 제 22권, 제 3-D호, pp. 71-80
- 박태순, 조혁기(2002), “채움재량 변화에 따른 SBS 고분자 개질아스팔트 혼합물의 역학적 특성 평가”, 토목학회논문집 제22권, 제6-D호 pp. 1173-1182
- 박태순(2004), “국내 개질 및 특수아스팔트 혼합물의 특성 및 성능 비교에 관한 연구”, 대한토목학회 논문집 Vol. 24, No.6D, pp901~909
- 박태순(1997), “개질 아스팔트의 마찰특성” 대한토목학회논문집, Vol., No.III-4, pp.323-336

Brown, E.R., and Stephen C.(1989), A study of In-Palce rutting of asphalt pavements, Proceedings, Association of asphalt paving technology, Vol. 58, 1989

Foster, C.R.(1986), “The effect of voids in mineral aggregates on pavement performance”, National Asphalt Pavement Association, NAPA IS96, 1986

접 수 일: 2008. 7. 17

심 사 일: 2008. 7. 24

심사완료일: 2008. 10. 30