

## 재활용을 위한 페아스팔트 혼합재의 역학적 특성

### The Engineering Characteristic of Asphalt Waste for Recycling

정성윤<sup>1)</sup>, Sung-Yun Jung, 이규환<sup>2)</sup>, Kyu-Hwan Lee, 정대석<sup>3)</sup>, Dae-Suk Jung.

<sup>1)</sup> 중부대학교 토목공학과 석사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, Joongbu University

<sup>2)</sup> 건양대학교 건설시스템공학과 조교수, Assistant Professor, Dept. of Civil Engineering, Konyang University

<sup>3)</sup> 중부대학교 토목공학과 부교수, Associate Professor, Dept. of Civil Engineering, Joongbu University

**SYNOPSIS** : The asphalt waste has been collected more than ten thousands' ton from repairing works on the road and excavation repair works, most of them are disposed on land of reclamation. Only a few percentage of wasted asphalt recycled to new one. Therefore, In this study, usage of wasted asphalt and has been done engineered characteristic test for recycling materials of sub-grade and structure. To know the characteristic of asphalt waste, tamping test, bearing-ratio test, permeability test and direct shear test was done using asphalt-sand mixture. The test results shows that, mixed asphalt materials with sand can be used for materials of subgrade-soil and structure.

**Key words** : asphalt, repair, recycled materials, mixed asphalt

## 1. 서 론

국내에서도 국가 경제의 비약적인 발전과 더불어 산업폐기물질 등의 증대가 심각한 수준에 이르고 있다. 1970년대부터 급속한 경제성장과 더불어 짧은 기간에 많은 도로가 건설되고 1990년대 들어와서부터 단기간에 포장도로에 대한 보수작업이 급증함에 따라 매년 많은 양의 아스팔트콘크리트 포장폐재자가 증가추세에 있다.

현재 국내에서 발생하는 페아스팔트 대부분은 매립의 형태로 이루어져 심각한 환경문제로 대두되고 있으며, 페아스팔트의 재활용은 거의 이루어지지 않고 있다. 이러한 폐자재를 건설폐기물로 규정하여 매립보다는 적절한 활용방안을 모색하고 활성화 하는 것이 자원의 재활용과 환경문제해결에 큰 영향을 줄 것으로 사료되며, 재활용에 대한 연구 개발이 더욱 필요한 실정이다.

본 연구에서는 페아스팔트를 지반 공학적으로 활용할 수 있는 방안을 모색하기 위해 페아스팔트와 주 문진표준사를 이용하여 혼합 다짐시험, 노상토 지지력비(CBR)시험, 투수시험, 직접전단시험 등을 실시하였다. 이러한 실험 결과를 통해서 페아스팔트 혼합재를 도로 노상토나 구조물의 뒷채움재 등에 활용할 수 있는지를 검토하였다.

## 2. 시료 및 시험방법

### 2.1 시료의 공학적 특성 및 배합비

#### 2.1.1 페아스팔트

본 연구에서 사용될 페아스팔트는 대전지역 건설폐기물 현장에서 채취한 것으로 실험실로 운반하여 24시간 동안 노건 조시킨 후 상온에서 24 시간 동안 식힌 후에 실험에 사용하였다. 채취 시료의 물리적 성질을 파악하기 위해 비중실험을 한 결과, 평균 1.023정도의 값을 보였으며 No. 4번체를 통과한 골재를 사용하였다.

#### 2.1.2 주문진 표준사

페아스팔트를 혼합할 때 사용한 시료는 주문진 표준사로서 비중은 2.65이고, 균등계수가 1.93, 곡률계수는 1.09를 나타내었다. 주문진 표준사의 대표적 특징은 원사의 순도가 높으므로  $SiO_2$ 가 타 모래에 비해 4~8% 정도 높은 편이고, 석영질이므로 규암질에 비해 색도가 백색이며, 내화도가 높고 경질이며, 원사가 토분 등의 불순물이 거의 없고 투명도가 타 지역의 규사보다 월등히 높다.

#### 2.1.3 시료의 배합비

각 시험 시료의 배합비는 주문진 표준사의 무게를 각각 3kg, 4kg, 5kg으로 나누어 페아스팔트 1kg을 표준사와 혼합한 후 시료의 배합비를 3:1, 4:1, 5:1로 하여 실시하였다.

## 2.2 시험방법

### 2.2.1 다짐시험

페아스팔트와 주문진 표준사 혼합재의 다짐특성과 노상토 지지력비(CBR)시험 및 투수시험의 제작조건을 얻기 위한 준비단계로 최적함수비와 그에 상응하는 최대 건조밀도를 알아보고자 페아스팔트의 중량비를 3:1, 4:1, 5:1로 혼합하여 다짐시험(KS F 2312)을 수행하였다. 본 시험의 다짐방법은 A다짐법을 사용하였으며 시료의 준비는 건조법을 이용하였다.

### 2.2.2 노상토 지지력비(CBR)시험

도로 포장층의 본 바닥이나 포장 재료의 지지력을 측정하여 표준 재료 지지력과의 비를 알아보고자 페아스팔트의 중량비를 3:1, 4:1, 5:1로 혼합하여 다짐시험과 같은 방법으로 D다짐을 수행하였으며, 시험방법은 반복법을 실시하였다. 다짐이 끝난 시료는 팽창량을 알아보기 위해 다짐몰드에 5kg중의 하중판을 올리고 다이얼게이지를 부착한 후 물이담긴 수조에 넣어 1h, 2h, 4h, 8h, 24h, 48h, 72h 및 96h의 각 시간마다 다이얼 게이지의 눈금 변화를 보고 팽창량을 기록하였다.

### 2.2.3 투수시험

페아스팔트 혼합재를 구조물의 뒤채움이나 지반개량재로 활용할 수 있는지 판단하기 위해 KS F 2322에 지시한 시험방법에 따라서 혼합비별 정수위 투수시험을 수행하였다. 시험에 사용된 투수몰드의 직경은 10cm, 높이는 15cm 이고, 페아스팔트와 표준사를 적정비율로 혼합한 혼합토를 투수용 몰드에

시험방법에 따라 다진 후 수 시간 물을 포화시킨 후 투수시험을 시행하였다

### 2.2.4 직접전단시험

기초의 지지력이나 구조물 뒤편의 측압 등에 있어서 중요한 내부마찰각이나 점착력은 상당히 중요하다. 페아스팔트 혼합재를 3:1, 4:1, 5:1이 되도록 주문진 표준사와 혼합한 후 전단시험기의 전단 상자에 시료를 넣어 1mm/mim의 전단속도로 전단시험을 수행하였다. 전단시험의 주목적은 예정된 전단면상의 수직응력( $\sigma$ )과 전단응력( $\tau$ )의 관계에서 안정계산에 필요한 내부마찰각( $\phi$ )과 점착력( $c$ )을 구하는 것이다. 연직응력은  $1kg/cm^2$ ,  $2kg/cm^2$ ,  $3kg/cm^2$ 로 단계별로 변화시켜 시험을 수행하였다.

## 3. 페아스팔트 혼합재의 일반적 특성

### 3.1 다짐 특성

다짐시험을 수행한 결과, 페아스팔트의 혼합율이 증가함에 따라 최적함수비는 감소하고 최대건조밀도 증가하는 경향을 나타내었다. 즉 페아스팔트의 혼합율이 5:1에서 3:1로 증가할 때 최적함수비는 7.5%에서 6.2%로 약 1.3%가 감소하였고, 최대건조밀도는  $1.692g/cm^3$ 에서  $1.867g/cm^3$ 으로 증가하였다. 이러한 경향으로 페아스팔트의 혼합율이 높을수록 다짐 효과가 증가함을 알 수 있었다

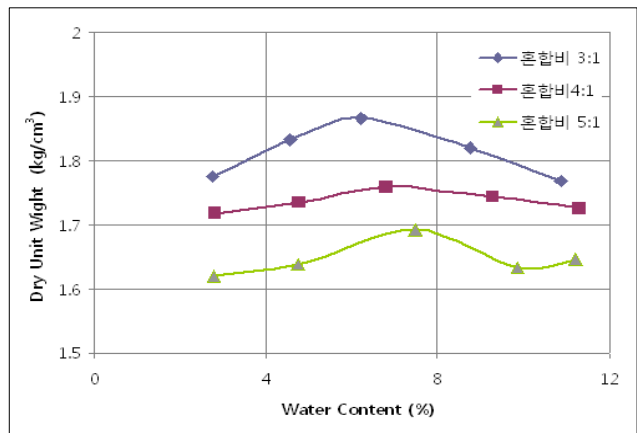


그림 1. 페아스팔트 배합비에 따른 다짐곡선

### 3.2 노상토 지지력(CBR)특성

포장층의 본바닥이나 포장재로서의 지지력을 측정하기 위해 시행한 CBR 시험의 각 배합비에 따른 혼합재의 시험 결과를 살펴보면 표 1과 같다. 전체적인 CBR특성은 페아스팔트의 함유량이 많은 3:1의 혼합토가 4:1이나 5:1의 혼합토 보다 높은 특성을 나타내고 있으며 다짐횟수가 높아짐에 따라 혼합토의 CBR특성도 같이 높아지는 것을 알 수 있었다

표 1. 배합비에 따른 각 혼합재의 CBR특성

배합비	다짐횟수	건조밀도( $g/cm^3$ )	CBR(%)
3:1	55	1.862	18.1
	25	1.853	16.4
	10	1.810	10
4:1	55	1.754	14.6
	25	1.753	14
	10	1.687	11.1
5:1	55	1.688	12.3
	25	1.622	11.6
	10	1.598	10.2

### 3.3 투수 특성

표 2는 페아스팔트와 주문진 표준사의 배합비율에 따른 정수위 투수시험 결과로서 페아스팔트의 함량이 가장 적은 5:1인 경우의 혼합재료의 투수계수가 가장 작게 나타났으며 페아스팔트의 함량이 많을수록 투수계수가 크게 나타났다. 이것은 페아스팔트의 입자가 투수 통과율이 낮아 투수계수에 영향을 미치는 것으로 판단된다.

표 2. 배합비에 따른 투수시험 결과표

시료	투수계수(cm/sec)
표준사	$5.0 \times 10^{-2}$
3:1	$6.38 \times 10^{-2}$
4:1	$5.94 \times 10^{-2}$
5:1	$5.77 \times 10^{-2}$

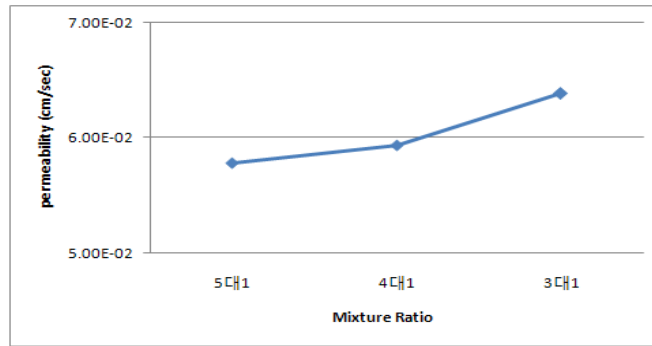


그림 2. 각 시료의 배합비와 투수계수와의 관계

### 3.4 전단 특성

연직하중이 증가할수록 전단강도가 증가하는 것을 볼 수 있는데 이것은 연직하중의 증가가 페아스팔트와 표준사의 간극을 줄여줌으로 인해 공극의 감소로 인한다고 볼 수 있다. 또한, 점착력과 마찰각의 배합비에 따른 변형관계는 페아스팔트의 함유량이 많은 배합비 3:1인 경우의 혼합재료의 점착력은  $0.43 \text{ kg/cm}^2$ 이고 사질토의 함유량이 많은 5:1 혼합재의 점착력은  $0.25 \text{ kg/cm}^2$ 으로 페아스팔트의 함유량이 많은 혼합재 일수록 증가하는 경향을 나타내고 있다. 마찰각은 혼합시료의 배합비가 3:1인 경우에는  $72^\circ$ 이고 5:1인 경우에는  $68^\circ$ 로써 마찰각 역시 페아스팔트의 혼합비율이 증가할수록 커지는 경향을 보이고 있다.

표 3. 페아스팔트 배합비에 따른 점착력 및 내부마찰각

혼합비	$c(\text{kg/cm}^2)$	$\phi(^{\circ})$
5:1	0.25	68
4:1	0.31	69
3:1	0.43	72

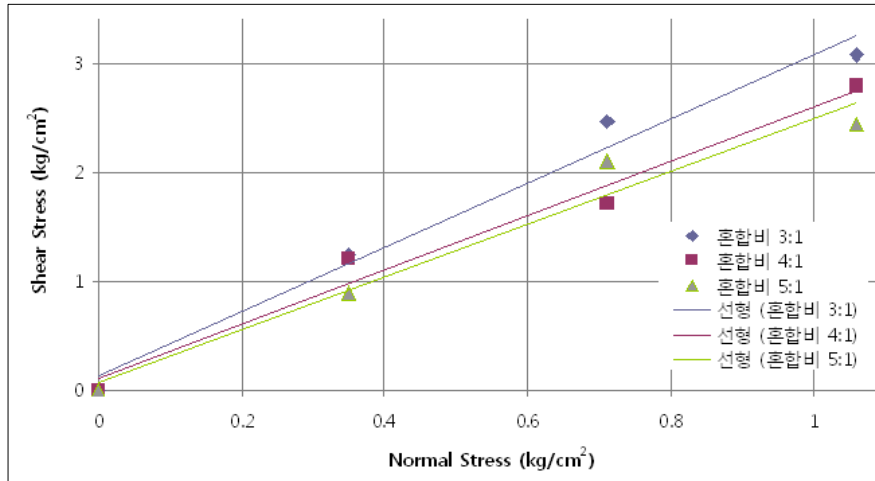


그림 3. 페아스팔트 혼합재의 단계별 하중에 대한 전단응력

## 4. 페아스팔트 혼합재의 재활용으로서의 특성

### 4.1 도로노상으로서의 특성

각 배합비에 따라 혼합한 혼합재의 시험결과 값을 이용하여 도로노상토로서의 적합성을 검토하여 보았다. 노상재료로서의 특징은 최대치수 100mm이하로 페아스팔트와 표준사 모두 최대치수를 만족하였다. 이때, No.4번체를 100%통과한 골재를 사용하였다. 이 시료의 No. 200번체 통과량은 약 13%로 나타났나 미립분의 함유량이 대체로 적었으며, 소성지수(PI)값은 비소성(NP)의 성질을 지니고 있었다. 수정 CBR값도 10보다 크게 나타나 노상으로서 충분한 지지력비를 확보하고 있는 것으로 나타났다. 그러나 포장층 두께의 결정에서는 각 배합비의 혼합재가 모두 설계기준 범위를 초과하였으며 초과된 등급에 따라 적절한 두께의 값을 찾아내지는 못하였다. 이는 노상토지지력(CBR)시험을 하면서 발생하는 함수비의 오차범위에 대해 적절하게 대응하지 못하고 시료 배합시에 정확하지 못한 비율로 인해 발생했다고 판단되므로 후에는 좀 더 정확한 지식습득과 오차범위를 줄이기 위한 반복적인 시험에 대한 학습이 필요할 것이라고 판단된다.

### 4.2 구조물 뒷채움재로서의 특성

배합비를 달리하여 수행한 아스팔트-표준사 혼합재의 시험결과 값을 가지고 구조물의 뒷채움재로서 적합 유무를 알아보았다. 먼저 재료품질기준을 살펴보면 최대치수는 100mm 이하로 N0.4번체 통과량이 25~100%, 소성지수는 10이하이고, 수정CBR값은 10이상을 만족해야한다. 본 연구에서 골재로 사용된 페아스팔트는 No.4번체를 100%통과한 시료를 사용하였으며, 이때 수정CBR값이 10이상이 되는 것을 확인할 수 있었다.

뒷채움재의 일반적인 재료조건은 배수성이 좋아야하고 침하가 일어나지 않아야 한다. 뒷채움재는 흙과 보강재 사이의 마찰효과가 큰 재료여야 하고 직접전단 시험결과 내부마찰각이 30°이상을 충족시켜야 하는데, 주문진 표준사-페아스팔트의 배합비가 3:1, 4:1, 5:1인 경우의 전단시험 결과를 살펴보면 3:1의 혼합재는 72°, 4:1은 69°, 5:1은 68°로써 각 배합비 모두 30°이상을 만족하는 것으로 나타났다. 또한 모래의 첨가량이 많아 사질토로서 배수성이 우수하며, 팽창성이 없고, 함수비의 변화에 따른 강도특성 또한 변화가 심하지 않아 구조물 뒷채움재로 사용하여도 적합한 시료임을 알 수 있었다. 그러나 페아스팔트 보다는 주문진 표준사의 비율이 월등히 높은 점을 감안하였을 때 경제적으로는 비용이 많이 들어간다는 단점을 가지고 있어 보완이 필요한 부분이라고 판단되었다.

또한, 표준사 뿐만이 아니라도 페아스팔트의 마찰각과 강도특성을 고려하는 경우에도 현장토와 혼합해도 뒤채움재의 재료 기준을 만족시킬 수 있는 것으로 검토되었다.

## 5. 결론

도로 노상재료나 용벽구조물 등의 뒤채움재로서의 페아스팔트의 재활용 가능성을 판단하기 위하여 주문진 표준사와의 배합비율을 달리하여 실내시험을 수행하였으며 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 표준 다짐시험 결과 페아스팔트의 함량이 증가할수록 최적함수비는 감소했으며 최대건조밀도는 증가하였다. 최대건조밀도의 경우 페아스팔트 3:1의 배합비에서 약  $1.867g/cm^3$ 의 건조밀도를 확보할 수 있었고, 함수비는 약 6.21%를 얻을 수 있었다.
- 2) 노상토지지력(CBR)시험에서는 4일간 수침시 사질토의 배수특성상 팽창비는 전혀 일어나지 않았으며, 강도특성 또한 페아스팔트가 다량 포함되어 있는 배합비 3:1인 경우의 혼합재의 지지력비가 가장 높게 나타났다.
- 3) 투수계수를 비교하면 페아스팔트 함량이 많은 배합비 3:1혼합재가 가장 크게 나타났다. 이는 페아스팔트의 입자의 투수 통과율이 작아 투수계수에 영향을 미치는 것으로 판단된다.
- 4) 페아스팔트-주문진 표준사 혼합토의 전단강도는 페아스팔트 함량이 가장 많은 배합비 3:1경우의 혼합토의 전단강도가 가장 높았다. 파괴특성은 변형율이 1~2%범위에서부터 진행성파괴가 시작되어 2~3%부근에서 최대전단강도가 나타났다. 점착력은 혼합토의 많은 비율이 사질토이므로 크게 나타나지 않았고 전단저항각은 페아스팔트의 함량이 많아질수록 약간씩 증가하였다.

## 6. 참고문헌

- 1) 김광우 등(1996), “폐콘크리트 및 아스팔트를 재활용한 농어촌 도로포장 공법의 개발”, 농림부, pp.1~12
- 2) 박태순 등(1999), “환경친화적 페아스팔트 활용공법의 평가”, 도록포장공학회지, Vol.1, pp. 1~5
- 3) 고석범 등(2000), “페아스팔트 혼합물의 역학적 특성 평가에 관한 연구”, 생산공학연구소 논문집, Vol. 26, No.2
- 4) Dunning, R. L., Mendenhall, R. L. and Tischer, K. K. (1975), "Recycling of Asphalt Concrete Description of Process and Test Sections," Proc. AAPT, Vol. 44
- 5) Carmichael, T. (1977), "Modeling Heater Techniques for In-Place Recycling of Asphalt Pavements", Proc. AAPT, Vol 46, pp. 526~540.
- 6) Noureldin, S. A. and Wood, L. E. (1990), "Laboratory Evaluation of Recycled Asphalt Pavement Using Nondestructive Tests", Transportation Research Record 1269, pp.92~100
- 7) Prithvi S. kandhal (1997), "Recycling of Asphalt Pavements Anoverview", Proc. AAPT, Vol.66.