

# 폴리머 개질 페타이어 아스팔트 콘크리트의 특성 연구

## Evaluation of Waste Tire Rubber Asphalt Concrete using Polymer Modified Binders

김 광 우 (강원대학교 교수) · 이 지 용\* · 오 성 균 (강원대 대학원)  
Kim, Kwang Woo · Lee Jee Yong · Oh, Sung Kyun

### Abstract

The study was conducted to evaluate the fundamental properties of waste tire asphalt concretes using polymer modified binder that were made by dry process. The specimens of four types of polymer modified asphalt concretes were prepared, then Marshall test and indirect tensile strength tests were performed on these samples. The results showed that polymer modified waste tire rubber asphalt concrete was acceptable for the material of asphalt pavement surface layer.

### 1. 서 론

자동차의 증가로 인한 페타이어의 급격한 증가는 그것의 폐기 처분장소가 한정되어 있는 국내에서는 매우 심각한 문제로 대두되고 있는 실정이다. 이에 본 연구는 페타이어의 보다 효율적인 처리를 위하여 도로포장재료로 페타이어 고무를 첨가하여 아스팔트 콘크리트를 제조하는 연구를 수행하여 왔으며 국내의 마샬규정에 어느 정도 적합한 아스팔트 혼합물을 이미 개발하였다. 하지만 일반 아스팔트 콘크리트와 비교하여 흐름치가 증가하는 등, Stiffness가 낮아 변형이 너무 크게 발생하는 것으로 나타나 실용화하였을 경우 몇 가지 문제점이 우려되었다. 따라서 이를 실용화하기 위해서는 흐름치가 규정이내에 들어오게 하고 변형성을 줄이도록 해야 하므로 이를 위해서 고무 아스팔트 콘크리트의 결합제로 폴리머개질 아스팔트를 사용하여 stiffness를 높이기 위한 연구가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 국내에서 생산되는 몇가지 폴리머를 이용하여 실제 포장에 사용 가능한 페타이어 첨가 아스팔트 콘크리트를 개발 제조하는 연구를 수행하고자 한다.

### 2. 재료 및 방법

#### 2.1 재료

##### (1) 아스팔트 시멘트

시험에 사용된 결합재인 아스팔트 시멘트는 AP-3로 이것의 품질 시험 결과는 표 1과 같다.

Table 1. Properties of Asphalt Cement

		Penetration 25°C (mm)	Ductility 25°C (cm)	Flashpoint (°C)	Specific Gravity
AP-3	Spec.	85-100	100 ↑	230 ↑	
	Measured Value	94	150 ↑	317	1.029

1998년도 한국농공학회 학술발표회 논문집 (1998년 10월 24일)

(2) 골재

본 실험에 사용된 굵은 골재 및 잔골재는 강원도 홍천군에서 생산되고 있는 편마암 쇄석이다. 이들에 대한 품질 시험 성과는 표 2와 같으며 입도는 표 3과 같다.

Table 2. Properties of Aggregates

Test Item	Specification Requirement	Coarse Aggregates	Fine Aggregates	Filler
Apparent Specific Gravity	2.45 ↑	2.70	2.70	2.75
Abration	35% ↓	18%		
Absorption	25% ↓	0.7%	0.26%	

Table 3. Gradation of Aggregates (19mm)

Sieve Size		25mm	19mm	13mm	#4	#8	#30	#50	#100	#200
Percent	Specification	100	95-100	75-90	45-65	35-50	18-30	10-21	6-16	4-8
Passing(%)	Gradation	100	99.1	78.3	52.26	40.1	22.78	17.03	11.58	7.72

(3) 폐 타이어 입자 (CRM)

본 실험에 사용된 폐 타이어 조각 (CRM)은 국내 Green Tal사의 제품으로서 이들에 대한 품질 시험 성과는 표 4와 같으며 입도는 조정입도로서 표 5와 같으며 전체혼합물 중량의 3%로 결정하였다.

Table 4. Properties of CRM

Test Item	Specification Requirement	Results
Specific Gravity	1.10-1.20	1.16
Mineral Contaminants (%)	0.25 ↓	-
Particle Length, (cm)	0.48 ↓	0.47
Fiber Content (%)	0.1 ↓	-
Metal Contaminants	No visible metal particles	None

Table 5. Gradation of CRM

Sieve Size	#8	#10	#16	#30	#50	#80	#200
Percent Passing(%)	75	-	2	0	0	0	0

#### (4) 폴리머(LDPE, SBS)

본 실험에 사용된 폴리머는 국내에서 생산되는 폴리머인 LDPE(Low-density-polyethylene)와 SBS (Styrene-butadiene-styrene)이다. 이중 LDPE는 50번 체에 거의 다 통과 (통과량 99.5%) 하는 비교적 고운 분말이고 SBS는 그 보다 입자가 훨씬 커 50번 체에 거의 다 남고 (통과량 약 1%) 8번 체에 거의 다 통과하는 (통과량 99.5%) 가루형태의 분말이다. 이 두가지 폴리머는 사전에 조사되고 연구되어진 결과를 바탕으로 국내에서 생산되는 여러 종류의 폴리머 가운데 가장 아스팔트 개질재로서 그 성능이 우수하다고 판단되어 선택하였다. 이들에 대한 물리적 성질은 Table 6, 7과 같다.

Table 6. Physical properties of low density polyethylene

Material	Volatility (%)	Color	Tensile strength (kg/cm <sup>2</sup> )	Extendability (%)
LDPE	0.62	White	233	1,020

Table 7. Physical properties of SBS

Material	Solubility (%)	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Color	Foreign substance	Volatility (%)	Lime(%)
SBS	0.31	0.957	White	NIL	0.018	0.024

## 2.2 실험방법

### (1) CRM 공시체의 배합설계

배합 설계는 마샬 방법을 사용하였다. 먼저 아스팔트 시멘트의 혼입량을 4.5~6.5%으로 정하였으며 페 타이어 고무 입자의 혼입량은 몇 번의 예비 실험을 통하여 혼합물 중량의 3%로 결정 하였다. 한국 공업 규격 KSF 2349와 도로공사 표준 시방서의 표층용 혼합물의 표준 배합비에 따라 ASTM D1559 마샬시험의 규격에 맞는 공시체 (다짐후 공시체 높이가 63.5mm ± 1.3mm 이고 중량은 약 1140g)를 목표로 하였다.

KSF 2337과 ASTM D1559의 마샬식 아스팔트 혼합물 공시체 제작 방법에 따라 먼저 준비된 골재와 페 타이어 고무 입자를 용기에 넣고 골고루 혼합한 후 145℃~155℃로 24시간 가열 하였다. 그리고 가열된 아스팔트를 넣은 다음 소정의 온도에서 손비법으로 혼합하여 몰드에 넣은 다음 다짐온도(135℃~145℃)를 유지하며 마샬 햄머를 이용하여 공시체 상하를 각각 75회씩 다짐 하였다.

### (2) 간접인장강도 시험

아스팔트에 폴리머를 첨가함으로 기대되는 가장 큰 효과는 아스팔트 혼합물의 인장강도 향상이다. 인장강도는 아스팔트 포장에 윤하중에 의한 하중 영향을 견디어 내는 가장 중요한 특성으로 이의 향상은 포장의 기대 수명을 증진시키는 효과를 가져온다.(Kim 1988).

간접인장강도는 25℃에서 측정되었으며 공시체 상하에 직경 101.6mm인 마샬공시체의 반경

과 같은 곡률의 오목한 표면을 가진 폭 13mm의 금속 하중 띠를 통해 50mm/min의 속도로 하중을 재하하여 측정하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 폴리머의 첨가량에 따른 CRM 마샬배합설계

아스팔트 콘크리트의 배합설계는 아스팔트 함량별로 제조된 공시체에 물성실험과 마샬 안정도 시험을 통하여 최적 아스팔트 함량을 구함으로서 수행된다. 결정된 범위 내에서 아스팔트 함량을 변화시켜 가면서 각 함량당 3개씩의 공시체를 제조하여 물성실험과 마샬안정도시험을 수행하였다. 이것을 아스팔트 함량에 따른 곡선으로 표시한 후에 그래프 상에서 공극률의 범위 3~6%, 안정도 750kg이상, 흐름치 20~40, 포화도 70~85%를 만족하는 각각의 아스팔트 함량을 구하고 이로부터 최적 아스팔트 함량을 구하였다.

폴리머중 LDPE의 경우는 5, 6%를 예비시험을 통해 확정하였고 SBS는 5%를 사용하였으며 LDPE3%+SBS3%도 사용하였다. 폴리머의 첨가는 습식방법으로 첨가하였다. 표 7은 폴리머의 첨가량에 따른 CRM 혼합물의 특성치를 나타내고 있다.

Table 7. Marshall Properties of CRM Asphalt Concrete in Different Polymer Types

Polymer Type	Optimum Asphalt Content (%)	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Air voids (%)	VMA (%)	Air filled (%)	Stability (kg)	Flow (1/100cm)
일반혼합물	4.8	2.430	3.24	14.56	77.7	1618	27
CRM CONTROL	5.6	2.266	4.38	16.7	73.78	721	38
CRM LDPE5%	5.4	2.269	4.72	16.61	71.58	1164	38
CRM LDPE6%	5.0	2.281	4.78	15.85	69.85	1248	40
CRM L3%+S3%	5.0	2.274	4.85	15.89	69.50	1031	37
CRM SBS5%	5.4	2.266	4.57	16.44	72.23	931	38

배합설계 결과 결정되어진 최적아스팔트 함량을 이용하여 제조한 CRM혼합물의 마샬특성치를 일반아스팔트 혼합물과 비교해 볼 때 OAC는 CRM혼합물이 다소 높게 나타났는데 이것은 페타이어조각의 아스팔트 흡수에 따라 소요아스팔트가 증가하기 때문인 것으로 보여진다.

공극률은 다소 높았는데 혼합물을 다짐할 때 페타이어 자체의 탄성 때문에 다짐상에 차이가 난다. 안정도는 개질한 CRM혼합물이 개질하지 않은 CRM혼합물과 비교할 때 다소 높았다. 흐름치는 전체적으로 CRM혼합물이 높은편이었는데 이것은 혼합물 속의 고무입자가 굵은 골재의 사이에서 완충작용을 하여 골재끼리의 마찰로 변형에 저항하는 것을 막아주기 때문이

라고 생각된다.

이상의 결과로 볼 때, 아스팔트 콘크리트에 CRM을 첨가하면, 아스팔트 소요량의 증가, 밀도와 안정도의 감소, 흐름치의 증가를 가져오는 것으로 나타났으며, CRM혼합물에 적정량의 폴리머를 첨가하였을 경우 강성이 증대된다는 사실을 알았다.

### 3.2 간접인장시험

윤하중은 포장층 하단에 인장응력을 유발하기 때문에 아스팔트 혼합물에 대한 인장강도 값은 아스팔트 콘크리트의 강도를 파악하는데 가장 중요한 요소 중의 하나라고 할 수 있다. 이러한 인장강도 값은 간접인장강도(Indirect tensile strength : ITS)시험으로 측정할 수 있으며, 이 실험을 통하여 구한 인장강도 데이터는 윤하중에 의한 수평 인장응력으로 발생하는 균열 저항의 척도로 이용된다.

일반혼합물과 CRM혼합물의 간접인장강도와 강성의 측정 결과를 Table 8에 제시하였다. 우선 CRM혼합물을 폴리머를 첨가하지 않은 것과 첨가한 것으로 나누어 비교해 보면 폴리머를 첨가한 CRM혼합물이 다소 높게 나타났으나 일반 혼합물과 비교해 볼 때 다소 낮은 간접인장강도 및 강성을 나타내었다.

Table 8. Comparison of indirect tensile characteristics of CRM mixtures

Types	ITS (kg/cm <sup>2</sup> )	Stiffness index (kg/mm)
일반 혼합물(홍천 편마암)	8.3	500
CRM-CONTROL	3.3	110
CRM-LDPE5%	4.4	150
CRM-LDPE6%	4.5	200
CRM-L3+S3%	4.7	180
CRM-SBS5%	5.6	260

## 4. 결론

본 실험은 폐기물로 버려지는 타이어를 국내의 아스팔트 포장재료로 사용하기 위한 기초자료를 제시하기 위하여 수행되었다. 그러므로 이를 실용화하였을 경우 나타날 수 있는 포장체의 특성을 파악하기 위하여 폐 타이어 조각(CRM)을 사용하여 건식 혼합법으로 아스팔트 혼합물을 제조하였고 폴리머를 Binder에 습식으로 개질하여 각종시험을 수행하였다. 예비실험을 통해 CRM의 혼입량과 적절한 골재의 입도를 결정하였고 배합설계와 간접인장시험을 수행하여 혼합물의 특성을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 배합설계결과 CRM 개질아스팔트 콘크리트는 보다 많은 아스팔트 함량이 필요한 것으로 나타났고, 마찰안정도와 밀도의 저하, 흐름치의 증가를 가져왔지만 국내에서 규정하는 표층용 아스팔트 콘크리트의 설계기준에 대부분 적합한 것으로 나타났다.

- 2) 간접인장시험에서는 CRM 개질아스팔트 콘크리트가 전반적으로 낮은 강도를 보여 아스팔트 콘크리트 내부에 있는 고무입자가 강도를 저하시키는 요인이라는 것을 보여주고 있다.
- 3) 결국 건식혼합법에 의한 CRM 개질아스팔트 콘크리트는 일반 아스팔트 콘크리트와 비교하여 다소의 장·단점이 있으나 국내의 시방규정을 거의 그대로 적용할 수 있어 사용 가능성이 충분한 것으로 나타났다. 하지만 이는 아직 품질확보를 위한 연구노력이 따라야 할 것이고 시험포장 등 실용화는 이면도로 등 교통량이 적은 곳부터 시작하는 것이 좋을 것으로 보인다.
- 4) 보다 일반적인 적용을 위해서는 CRM의 입도 개선과 골재의 입도 조정 등에 대한 향후 연구가 있어야 할 것이다. 이렇게 하여 폐 타이어를 재활용하게 되면 심각한 문제가 되고 있는 폐기물을 유용하게 재활용하여 환경오염원인 제거, 자원 절약 등 2중의 효과를 가져오는 결과가 될 것이다.

## 참 고 문 헌

1. Kim, K. W. and Svec, O. J. (1994), "Characteristics of Stone Mastic Asphalt Rubber Mixture," Paper Submitted to the 1994 Annual Conference of Transportation Association of Canada.
2. 김영수, (1995), "수퍼페이브 아스팔트 혼합물의 설계 및 분석," 아스콘 최신기술 개발동향 및 품질관리 기술세미나, 강원지방공업기술원, pp. 35~61.
3. 建設部 (1991), "道路鋪裝設計·施工指針(改定版)," p. 88.
4. 경향신문 (1996), "폐 타이어," 경향신문사, 11월 4일.
5. Maupin, G. W. Jr. (1995), "Field Trials of Asphalt Rubber Hot Mix in Virginia," Report No. VTRC95-R16, Virginia Transportation Research Council, Virginia.
6. 김광우, 최영규, 박용철, (1995), "폐 타이어 고무 아스팔트 콘크리트의 배합설계," 대한토목학회 학술발표회 논문집, 제 1권, 대한토목학회, 10월 21일, pp. 503~506.
7. 김광우, 최영규, 정규동, (1996), "CRM 아스팔트 콘크리트의 특성 연구," 대한토목학회 학술발표회 논문집, 제 2권, 대한토목학회, 11월 2일, pp. 25~28.
8. McGennis, R. B. (1995), "Evaluation of Physical Properties of Fine Crumb Rubber Modified Asphalt Binders," Paper No. 950368, 74th Annual Meeting of the Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., January.
9. McQuillen, J. L., Takallou, H. B., Hicks, R. G., and Esch, D. (1988), "Economic Analysis of Rubber-Modified Asphalt Mixes," Journal of Transportation Engineering, Proceedings of the ASCE, Vol. 114, No. 3, May 3, pp. 259~277.
10. 문장수 등, (1995), "폐 타이어의 건설재료로의 활용화 방안에 관한 연구 - 제 5장, 폐 타이어 분말을 이용한 Rubber Mortar 개발에 관한 연구," '94. 연구개발사업 최종 보고서, Report No. R&D/94-0017, 건설교통부, p. 4.
11. Oliver, J. W. H. (1981), "Modification of Paving Asphalt by Digestion with Scrap Rubber," Transportation Research Record 821, TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp. 37~44.