

폐타이어 분말을 이용한 탄성 투수성 도로포장재에 관한 연구

엄 준 길 · 정 경 호 · 홍 영 근[†] · 주 강*

수원대학교 공과대학 고분자공학과, *단국대학교 공과대학 섬유고분자공학과

(1998년 10월 17일 접수)

Study on an Elastic and Permeable Pavement using Scrap Tire

Jun Gil Um, Kyung Ho Chung, Young Keun Hong[†] and Kang Choo*

Dept. of Polymer Engineering, The U. of Suwon, Suwon 440-600, Korea

*Division of Textile & Polymer Eng., Dankook University, Seoul 140-714, Korea

(Received October 17, 1998)

요약: 폐타이어는 현재 재활용 범위가 제한되어 있고, 매우 단순한 용도로 사용되고 있다. 본 연구에서는 이러한 폐타이어를 탄성과 투수성을 갖는 포장재로서 활용할 수 있는 지를 알아 보았다. 도로 포장재가 갖는 주요 인자인 압축강도 시험 결과 압축강도에 영향을 미치는 인자는 고무분말 크기, 골재 크기 및 바인더의 성질이 주요 인자임을 알 수 있었고, 또한 투수성은 골재의 크기와 분말의 크기에 의존하였다. 본 연구에서 시도된 탄성 투수성 도로 포장재는 기존의 다공성 콘크리트의 값보다 압축강도는 1.4배, 투수성은 최대 116배 향상된 결과를 나타냈다.

ABSTRACT : Recycling of waste tire has been limited and very simple, few applications have been observed. This study introduces a new elastic and permeable pavement made of scrap tire. Experimental results showed that key factors affecting the compressive strength were the size of scrap tire, size of aggregate, amounts and property of binder. Also, the water permeability depended on the size of aggregate and scrap tire. The compressive strength and water permeability of the samples were 1.4 and 116 times higher than those of the conventional porous cement concrete, respectively.

Keywords : waste tire, elastic and permeable pavement, compressive strength, water permeability.

I. 서 론

국민 소득의 증대와 산업의 발전으로 인해 기하 급수적으로 증가된 자동차는 국내의 경우 1997년말 기

준 1,000만대를 넘어 섰고, 현재 폐타이어의 발생량은 '97년 2,112만개로 전년 대비 약 14% 정도 증가 하였으나 최근의 경기 침체, 차량보급율의 증가 등으로 인해 발생량 증가율이 둔화될 것으로 전망되고 있다.¹

현재 회수된 폐타이어는 대부분 토목 공사(군부대

[†]대표저자(e-mail : ykhong@mail.suwon.hc.kr)

진치 구축) 등 단순 재이용되거나 수출되고 있으며, 가공 이용, 열 이용 등 부가가치를 높일 수 있는 용도로는 상당히 미미한 수준에 머물고 있다.

미국에서는 우리 나라와는 대조적으로 연간 발생하는 페타이어를 에너지 이용 분야로 이용하고 있다.^{2~5} 또한, 고무분말에 의한 2차 가공 분야로 고무아스팔트와 매트에 많이 사용하고 있다. 현재 페타이어 분말을 이용할 수 있는 가능성이 가장 큰 용도는 아스팔트 포장용으로서 고무분말을 아스콘에 첨가하여 아스팔트의 저온 취성과 고온 점성의 약점 보완용으로 사용되는데, 최근에 연구되고 있는 고무아스팔트는 1964년 Phoenix사에서 유지 보수가 필요하며 교통량이 많은 지역에 최초로 사용하였다. 1965년에는 Sky Harbor 국제공항 활주도에 포장되어 고무아스팔트 특유의 우수한 탄력성이 확인되었고, 이후 본격적으로 비행기 활주도에 seal coat 되기 시작하였으며⁶ 그 수요가 세계적으로 증가 추세에 있다. 국내에서도 유닉스 러버(주)에서 지방도 610도로 대홍-광시간 1km에 맥도날드 공법으로 1997년 8월 25일에 시공한 바 있다. 현재 아스팔트 도로포장 재료는 우천시 수막 현상으로 인해 자동차 사고가 빈번하게 일어나고, 콘크리트 포장 도로는 도로의 주 성질인 주행 안락감이 아스팔트 보다 떨어지는 단점을 가지고 있다. 또한 이들 도로포장 재료는 거의 방수 처리되어 있으므로 도로변 가로수의 생태에 해로움을 주고 있다.

투수성 시멘트 콘크리트는 골재에 입힌 높은 점성의 시멘트 paste에 의해 공극 구조³형태를 가지고 있음에도 불구하고, 낮은 응력과 큰 공극용적 때문에 적용분야의 한계성을 갖게 되었다. 그러나 최근엔 이런 형태의 콘크리트가 갖는 높은 공극용적에 대해 언급되기 시작했다. 예를 들면 1989년부터 개발한 투수성 콘크리트를 스페인 살라만 카시에 1994년 11월 세계 최초로 25cm두께로 도로 포장용으로 타설하였으며, 이 도로는 하루 316대의 교통량으로 구분되는 B교통에 해당되어 현재 만족한 결과를 보이고 있다.⁷ 또한 이 투수성 콘크리트는 환경 친화적으로서 식물이 자랄 수

있는 가능성을 보였다. 식물이 자랄 수 있는 이 다공성 콘크리트 block을 토양 위에 설치하면 비와 토양으로부터 수분을 흡수하여 종자가 발아, 성장되고, 이 식물 뿌리의 성장으로 녹화가 완료되면 도로 사면 안정 처리뿐만 아니라 방음 시설로 활용될 수 있어 투수성 콘크리트는 환경 친화적인 입장에서 무척 흥미로운 건축, 토목용 재료이다.⁸

본 연구는 고무분말의 고유 탄성과 투수 콘크리트가 갖는 구조적 특성을 잘 연결시켜 탄성과 투수성을 갖는 새로운 포장 재료를 개발하는 것에 목적을 두고 있다.

II. 실험

1. 재 료

사용된 바인더는 동성화학(주) 제품을 사용하였으며, 고무분말은 분말 입도 10~20mesh의 페타이어 분말을 사용하였고, 사용한 골재는 0.5~2.5cm 크기의 일반쇄석을 사용하였다.

2. 공시체 제조

압축강도용 공시체는 고무분말에 바인더를 입히고 골재와 혼합 후, $\phi 5 \times 10$ cm의 원통형 금형에 부어 넣고 1 kgf/cm^2 의 압력으로 1분동안 가압, 일주일 뒤 탈형 하였다. 투수 계수 측정용 공시체는 같은 방법으로 $20 \times 20 \times 7$ cm의 금형을 이용하여 제작하였다.

3. 압축강도

압축강도는 만능시험기(Lloyd Instrument, LR 50K type)를 사용하여 KSF 2405⁹ 방법에 의거 실시하였고, 바인더 함량비, 고무분말 크기, 골재 크기에 따른 압축강도를 측정하였다.

4. 온도저항성

온도저항성 시험은 $-10^\circ\text{C} \sim 50^\circ\text{C}$ 까지 10°C 단위로 압축강도를 측정, 비교하였다. 사용된 바인더의 열적

성질은 열시차분석기(TA Instrument, DSC-2010)를 사용하여 -60℃~250℃ 범위에서 전이온도를 측정하였다.

5. 투수성

투수성은 정수위 투수계수법(falling head permeability test)을 이용하여 측정하였고, 식 (1)을 이용하여 투수계수를 결정하였다.

$$K_p = \frac{L \cdot a}{A \cdot t} \times \log \frac{H_1}{H_2} \quad (1)$$

- K_p : 투수 계수(cm/sec)
- L : 포장체의 두께(cm)
- A : 밑면의 면적(cm^2)
- a : 윗면의 면적(cm^2)
- t : 유수 시간(sec)
- H_1 : 윗 부분의 수두위
- H_2 : 아랫 부분의 수두위

6. 공극률

골재의 함량에 따라 제작한 공시체를 물이 가득 담긴 mass cylinder에 서서히 침수시킨 후, 공시체의 공극에 물이 충분히 침투하도록 2시간 동안 방치한다. 공극률은 식 (2)을 이용하여 계산하였다.

$$\text{void content} = \left(1 - \left(\frac{V_1}{V_2}\right)\right) \times 100 \quad (2)$$

- V_1 : 공시체의 진부피(cm^3)
- V_2 : 공시체의 겉보기 부피(cm^3)

공시체의 진부피는 공시체에 침투된 물 부피를 제외한 공시체 부피이며 각 공극률별 압축 강도와 압축변형률을 기준값과 비교 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 압축강도

1.1 바인더 함량

Fig. 1은 바인더 함량에 따른 압축강도와 모듈러스 결과로서 바인더의 양이 증가할수록 압축강도와 모듈러스가 증가하였다. 바인더 함량이 10~15wt.% 부근에서는 압축강도 증가율이 둔화되었으며 모듈러스는 계속 증가하는 경향을 나타냈다. 본 재료는 다공성 시멘트 콘크리트 기준값 $70kgf/cm^2$ 보다¹⁰ 약 1.4배 정도 큰 값을 보였다. Fig. 2는 압축강도와 압축변형률에 대한 결과이다. 압축변형률은 8wt.%에 최대값을 보였으나, 그 이상에서는 급격한 감소를 보이며 일정한 값을 나타냈다. 따라서 바인더 함량이 약 8wt.% 이하에서는 압축강도와 변형률이 상대적으로 낮았으며, 10wt.% 이상에서는 높은 압축강도와 높은 모듈러스값을 보이지만 변형률이 낮은 전형적인 brittle한 물성을 나타냈다. 따라서 압축강도와 변형률을 고려할

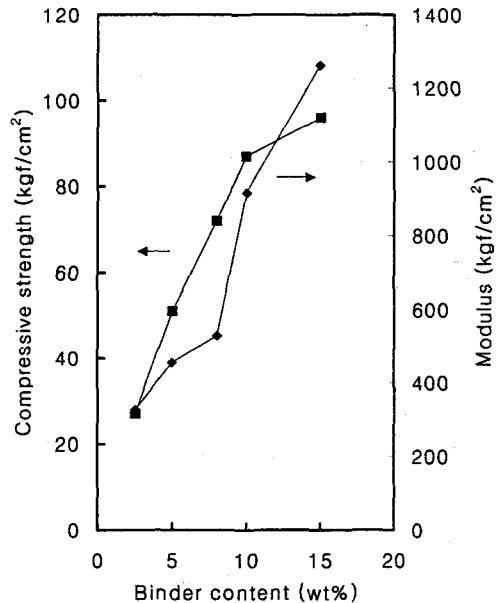


Fig. 1. The effect of binder content on compressive strength and modulus.

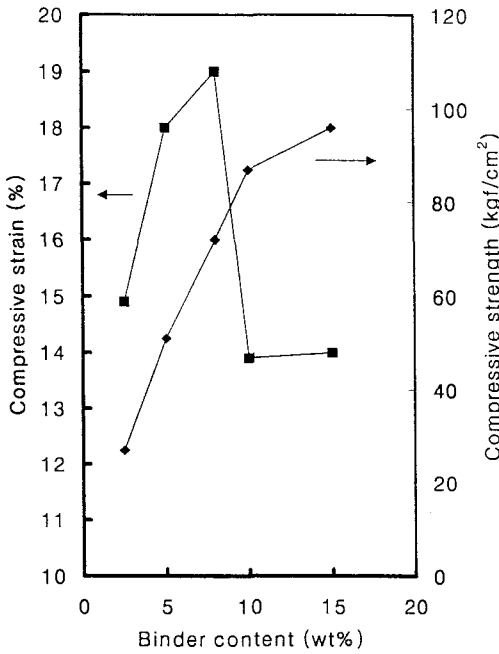


Fig. 2. The effect of binder content on compressive strain.

때 바인더 함량이 8wt.%에서 가장 강인한 물성을 나타내어 8wt.%가 최적의 바인더 함량이라고 사료되었다.

1.2 고무분말 및 골재크기

사용된 바인더 양은 8wt.%(총무게 170g)며, 고무 분말 및 골재크기에 따른 압축강도는 Tabel 1에 나타나 있다.

Table 1에 나타난 바와 같이 골재 크기가 클수록 압축강도는 증가하였다. 이같은 결과는 사용된 전체 골재의 표면적은 골재가 클수록 작기 때문에 더욱 효율적으로 골재가 바인더에 함침되었기 때문이라 사료된다.

Table 1. Compressive Strength with Size of Scrap Tire and Aggregate

Aggregate size(cm)	0.5			1		
Scrap tire(Mesh No)	10	12	20	10	12	20
Compressive strength(kgf/cm²)	56	72	82	64	83	85

분말크기에 따른 압축강도는 골재의 크기와는 상관 없이 각각 크기가 작을수록 증가하는 결과를 나타냈다. 이는 분말크기가 작을수록 골재표면에 분말이 효율적으로 분산되어 접촉되었기 때문이라 사료된다.

2. 온도 저항성

Fig. 3과 4는 온도에 따른 압축강도와 모듈러스의 변화를 나타낸 결과이다. 0°C 이하에서 모듈러스의 큰 변화 없이 압축강도가 증가하는 것으로 보아 고무 분말의 사용으로 기존 아스팔트의 저온 취성 단점을 어느 정도 해결할 수 있을 것이라 판단되었다. 0°C에서 50°C까지의 온도 대역을 보면 30~40°C까지 강도와 탄성 모듈러스가 약간 감소 변화하다, 40°C 부근에서 큰 폭으로 감소하였다. 바인더에 대한 DSC 측정 결과를 살펴보면 48°C 정도에서 유리전이온도(T_g)를 관찰할 수 있었는데, 이 T_g점 부근에서 압축 강도와 탄성모듈러스 감소 변화 폭이 큰 것으로 보아 이들

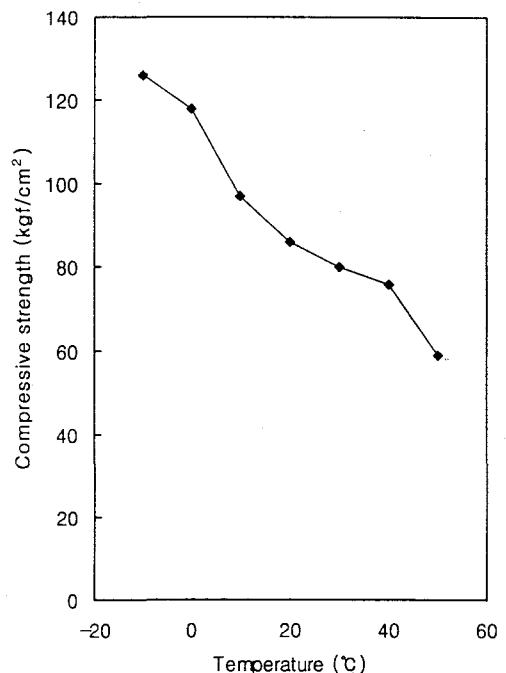


Fig. 3. The effect of temperature on compressive strength.

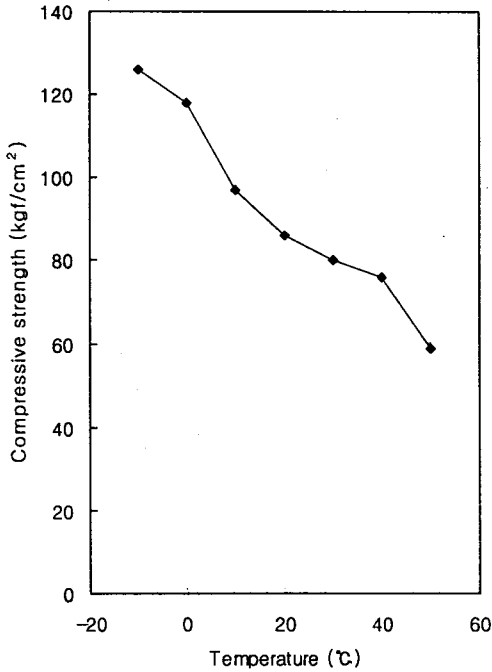


Fig. 4. The effect of temperature on compressive strength.

물성의 변화는 사용된 바인더의 열적 특성과 관계가 깊다고 할 수 있다.

3. 공극률

Fig. 5와 6은 골재의 함량에 따른 압축강도, 압축변형률 및 공극률을 나타낸 것으로, 5mm 크기 골재와 Mesh No.12 고무분말을 사용하였다. Fig. 6에 나타난 바와 같이 골재의 함량이 증가할수록 공극률이 감소하였고, 압축강도는 증가하였다. 초기 100g~110g까지는 작은 폭의 공극률 변화가 있었지만, 압축강도는 변하지 않았다. 다만 Fig. 5에 나타난 바와 같이 변형률은 증가하였다. 그후 압축강도는 공극률이 감소할수록 증가하고 변형률은 120g에서 최고값을 나타내다가 점차로 감소하는 경향을 나타내었다. 이 같은 결과는 공시체를 구성하고 있는 골재와 고무의 양이 적을수록 골재-고무간의 결합력이 떨어져 압축강도는 감소했으며, 변형률이 130g부터 감소하기 시작한 것

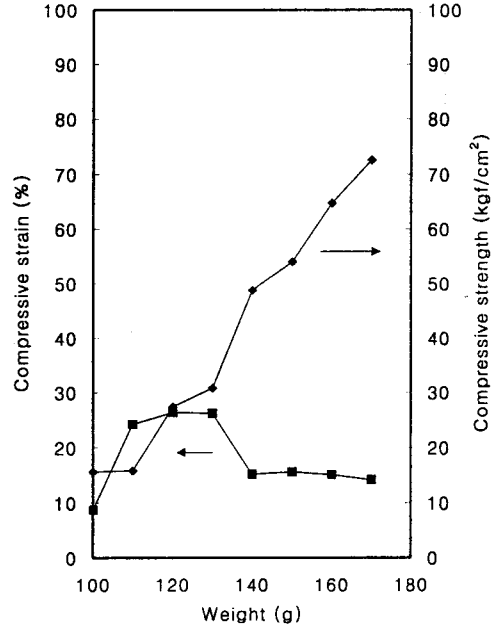


Fig. 5. The effect of aggregate weight on compressive strength and strain.

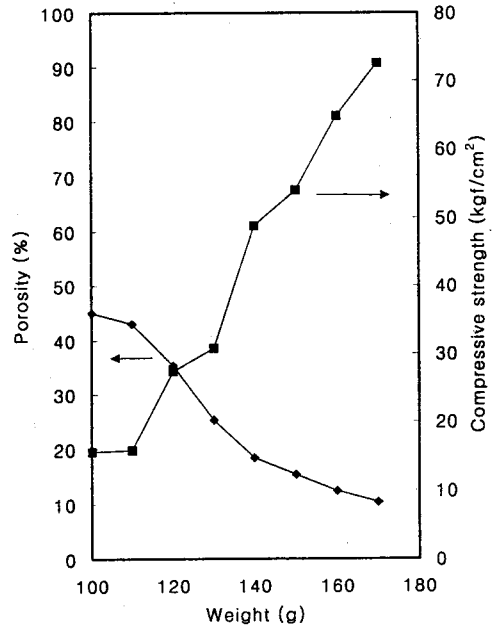


Fig. 6. The effect of aggregate weight on porosity and compressive strength.

은 공시체의 공극 감소가 급격히 일어난 부분과 일치

하는 것으로 보아, 공시체 내부에 생긴 연속공극이 줄어들어 변형지역이 협소해졌기 때문이라 생각된다. 따라서 압축변형률이 감소하기 시작한 골재 함량에서 공시체 내부에 채움과 다짐현상이 시작되었다고 할 수 있으며, 이같은 이유로 압축강도가 급격히 상승되었다고 할 수 있다. 채움과 다짐이 증가할수록 강도는 계속 증가하는 추세를 보이고 압축변형률은 거의 변하지 않았다.

4. 투수계수

Fig. 7은 골재 크기에 따른 투수계수의 변화를 나타낸 그림이다. 각 조건에 따른 투수계수는 골재 크기가 증가할수록 증가하였으며 기존의 다공성 콘크리트의 요구값인 $6.6 \times 10^{-2} \text{cm/sec}^{11}$ 값에 비해 최고 116배에서 최소 30배의 이상의 값을 보였다. 10mm와 25mm 크기의 골재는 분말의 크기와는 상관없이 서로 비슷한 값을 보이지만 5mm 크기에서는 No.12 분말이 약 2.2배 정도의 우수한 투수계수 값을 보였다. 이러한 결과는 10mm 이상의 골재를 사용한 시편의 연

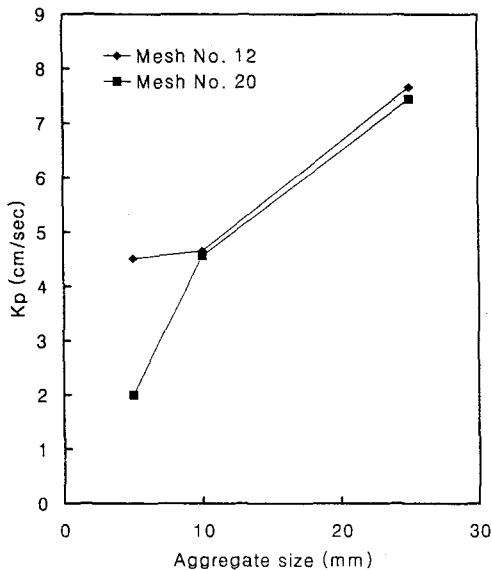


Fig. 7. The effect of aggregate size on permeation coefficient.

속공극은 분말의 크기보다는 단지 골재의 크기에 영향을 받고, 그 이하의 크기에서는 분말의 크기가 시편의 연속공극에 영향을 주는 것으로 생각된다.

IV. 결 론

본 연구에서는 고무분말을 이용하여 제조된 도로 포장재의 기본 물성을 조사하기 위하여 골재 크기, 고무 분말 크기, 바인더 함량, 온도 변화, 공극률 변화에 따른 압축강도와 투수성을 측정하였고 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 도로 포장재를 구성하는 바인더 함량은 약 8wt.%가 최적이었다.
2. 8wt.%의 바인더 함량에서 골재 크기가 클수록, 분말크기가 작을수록 압축강도가 증가하였다.
3. 압축강도는 기존의 다공성 콘크리트 압축강도 기준값에 비해 약 1.4배 향상되었다.
4. 온도에 따른 압축강도와 바인더의 전이온도 대역을 비교한 결과 바인더의 열적 성질이 온도 저항성에 크게 영향을 미침을 알 수 있었다.
5. 투수계수는 골재크기와 분말크기에 의해 지배를 받으며, 특히 골재의 크기가 10mm 이상일 때 골재의 크기가 클수록 투수계수는 크게 증가하는 것으로 나타났다. 또한 기존의 다공성 콘크리트에 비해 투수성은 최대 116배 향상된 결과를 보였다.

감사의 글

본 연구는 한국고무학회의 지원을 받아 이룩된 것임을 밝히며, 이에 감사의 뜻을 표합니다.

참 고 문 헌

1. 박중환, "페타이어 고무분말의 수요확대를 위한 workshop", 한국자원재생공사, 1998.

2. 김진국, “폐타이어 개질 고무 아스팔트”, 고분자 과학과 기술, Vol. 8, No. 6. pp. 754-760, 1997.
3. 이석홍, “Laboratory Study of Rubber Modified Asphalt Paving Materials”, 박사학위논문, U. of Akron, 1995.
4. 조하나, 김진국, “폐타이어 재활용에 있어서 가공 조건의 영향” 한국고무학회지, Vol. 31, No. 3, pp. 95-103, 1996.
5. 김진국, “폐타이어의 재활용 보드블럭” 한국특허, 45374, 1998.
6. P. E. Joe Cano, “고무 아스팔트 기술 세미나”, 한국도로공사, 1997.
7. 하재담, “A Study on the Field Application of Porous Concrete Pavement”, 한국콘크리트학회 춘계 학술발표회, 613, 1997.
8. 米澤敏男, 柳橋邦生, 中西康傳, “綠化コソクリートに生育の冠水低抗性に關する研究”, コソクリート工學研究論文報告集, Vol. 19, 1033, 1997.
9. KSF 2405, 콘크리트의 압축강도 시험 방법, pp. 378-379, 1979.
10. 문한영, 김성영, “최신 토목 재료 과학”, 구미서관, 1996.
11. 이경하, “고무 아스팔트 기술 세미나”, 한국도로공사, 1997.