

페타이어 재활용 고무보도블럭의 제조에 관한 연구

김진국

경상대학교 고분자공학과

Fabrication of Rubber Block by using Recycled Waste Tires.

Department of Polymer Science & Engineering
Gyeongsang National University

Jin-kuk Kim

요 약

페타이어를 처리하는데는 네일, 소각, 재활용법으로 구분되어 있다. 이중 재활용에 대한 관심이 고조됨에 따라 연구가 활발하게 진행되고 있다. 페타이어 재활용법에는 원형이용, 열이용, 분말가공 이용법이 있고 본 연구에서는 이중 분말가공 방법에 의하여 고무보도블럭 제조에 대한 연구를 수행하였다. 고무보도블럭 제조공정은 페타이어를 수집하여 분쇄공정에 의해 얻은 페타이어 고무 분말을 접착제(binder)와 혼합하여 성형하는 방법이다. 본문에서는 binder 종류에 따라 물성의 변화를 비교하여 보았고, 표면 코팅, 2층 구조 고무보도블럭을 다루어 경제적인 고무보도블럭 제조에 대하여 논하였다.

Abstract

Waste tires are used as landfill, combustion and recycling. Recently, the recycling of waste tires received a great attention from all industries. The recycling methods for waste tires are classified into three categories, a whole tire, crumb rubber and energy. This study investigated the production of the rubber block by using crumb rubber of waste tires. The process of manufacturing the rubber block was consisted of several steps: collecting tires, crushing and grinding tires, mixing crumb rubber with binder, and shaping under heat and pressure. The effect of binder on the mechanical properties of rubber block was also investigated. The economic feasibility of a surface treatment and multi-layers on the rubber block was determined.

1. 서론

1992년 리우 환경 회의를 계기로 환경문제는 본격적으로 세계적인 관심사로 등장하게 되었다. 앞으로의 생산 활동은 단순히 제품을 "만든다, 사용한다." 문제에서 "처리한다, 재활용한다."라는 점까지 확대하여 제품 개발을 하여야 한다. 이러한 맥락에서 GR(Green Round)의 테두리 안에서 폐기물 처리에 대한 대책은 시급히 마련되어야 하는 실정이다.

특히 최근 자동차 산업의 발달로 인하여 페타이어 발생량이 급격하게 늘어나 사회적인 문제로 대두되었다. 이에 따라 페타이어 처리 문제는 매우 시급한 실정이다. 페타이어 처리 방법은 메립지 부족, 환경오염 및 지역 주민의 기피 등으로 문제점이 있을 뿐만 아니라 트양의 균열과 침해의 원인이 된다.

이에 따라 소각 처리를 함으로서 에너지 활용법이 유망시 되고 있으나 시설비의 부담문제 등의 여러 가지 문제를 안고 있다.^{1,2)} 따라서 재활용하는 방법이 환경문제 해

결에 있어서 가장 최상의 방법이라 할 수 있으나 경제성 문제와 기술개발의 부진으로 곤란을 겪고 있다. 페타이어를 재활용하는 방법에는 원형 이용법과 열 이용법, 분말 가공 이용법이 있다. (Fig. 1) 원형 이용법에는 어초 및 진 지구축 등에 활용하는 방법으로 경제성은 있으나 소량의 소비와 단지 폐기물의 장소 이동이라는 일시적인 제한으로 한계가 있다.

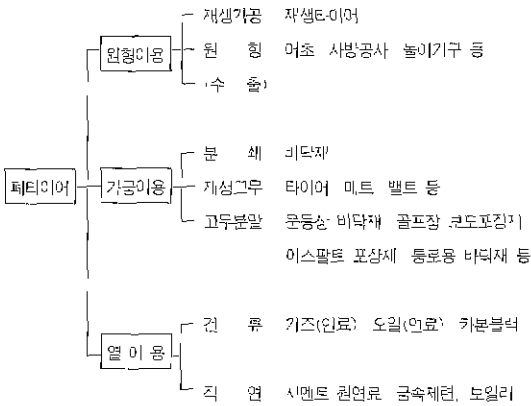


Fig. 1. Recycling methods of waste tires

열이용 방법은 타이어의 발열량이 크다는 점을 이용하여 대체 에너지원으로서 이용하거나 시멘트 소성공정의 연료로 사용된다는 점에서 매우 기대되는 방법이다. 국내에서도 시멘트 공장과의 협약을 통하여 이를 적극적으로 추진하고 있는 실정이다. 또한 타이어를 연소, 열분해하여 이를 이용하는데 그 구조에 따라 직접 연소방식과 건류방식이 있다.³⁾ 또한 타이어를 열분해하여 기름이나 카본블럭을 추출하는 방법으로 국내에서 추진 중에 있으나 2차 공해 문제 회수된 제품의 품질, 원가 등의 문제로 어려움을 겪고 있다.

분말 가공 이용 방법은 타이어를 분쇄하여 분쇄된 타이어 분말을 이용하여 제품을 제조하는 방법이다.⁴⁾

본 연구에서 분말 가공에 의한 재활용을 연구하고자 한다. 분말 가공 방법은 페타이어를 수집하여 분쇄 공정을 거쳐야 한다. 분쇄 공정에는 상온 분쇄법과 저온 분쇄법이 알려져 있다.^{5,6)} 분쇄 공정에서 제조된 페타이어 분말을 이용한 고무 바닥재, 고무 아스팔트^{7,8,9)} 등이 있는데

현재 분말 가공에 대한 재활용에 있어서 가장 큰 문제점은 경제성 문제이다. 이 문제점을 해결하기 위해서 본 연구에서는 페타이어 이용 고무보도블럭 제조기술에 주안점을 두어 몇 가지 실험을 수행하였다. 우선 제조원가에서 비중이 큰 binder의 종류를 기존에 사용되고 있는 우레탄 접착제와 본 연구에서 개발된 고무계 접착제의 영향에 대하여 비교하여 연구하였다. 또한 부가가치성을 높이기 위하여 표면에 코팅 처리를 함으로서의 표면처리 영향을 알아 보았으며 색상의 변환 문제를 위하여 2층구조 고무보도블럭을 설계하여 제조하였다.

2. 고무보도블럭

고무보도블럭이란 산업표준화법 제4조 규정에 따라 페타이어, 일반 신발 걸창(구두, 운동화) 등 폐고무를 주원료로 하여 제조한 것으로 보도, 학교 운동장, 주택 정원, 선착장, 수영장 등에 사용되는 바닥재로 규정되어 있다.

고무보도블럭의 외관상 조건은 결모양이 균일하고 갈라진 금, 칩현상, 비틀림, 얼룩, 흠 또는 깨진 곳이 없어야 한다는 점이다.

물성요구조건은 인장강도, 신장율, 경도를 Table 1에 나타난 바와 같다.

Table 1. Required mechanical properties of rubber block (Korean Standard)

시 험 형 목		품 질	
		1종	2종
인장시험	인장강도(kg/cm ²)	50이상	25이상
	신장율(%)	150이상	120이상
경 도(HS)		55이상	

이러한 고무 보도블럭은 현재 학교나 골프장에 시공되고 있으며 앞으로 공장 바닥재, 스포츠 센터 주변, 아파트 주변에 보급되리라 생각된다. 이유는 고무 탄력성을 이용하여 공장의 공원들의 피로도 감소의 효과를 나타내며 이는 본 학교 실험실에 시공하여 확인하였다.(Fig. 2) 또한 고무탄력성으로 인한 인체 공학적으로 안정성 상승의 효과로 인한 스포츠 센터 주변과 아파트 주변에도 시공이 되리라 믿는다.

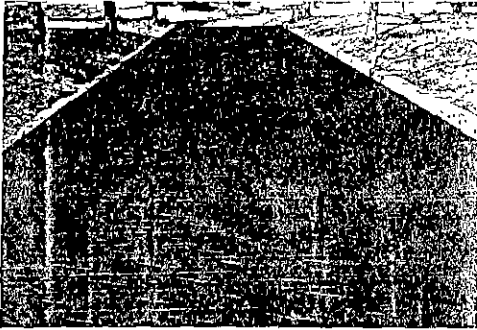


Fig. 2. Rubber block installed in Gyeongsang National University

3. 실험 방법

3.1 실험 재료

페타이어 고무분말은 페타이어를 분쇄하여 제조된 고무분말을 사용하였다. 본 실험에서 사용한 페타이어분말의 분말화공정은 상온 분쇄방법으로서 타이어를 1차 분쇄기로 분쇄하여 이를 다시 2차 분쇄기(crush mill)를 사용하여 2차 분쇄하여 선별기를 통하여 철심은 자력선별법으로 타이어 코드는 중력선별법으로 선별하고 분말을 얻는다. 이 고무분말의 특성은 Table 2에 나타난 바와 같으며, 분말 고무의 조성은 분석 결과 Table 3과 같았다.

Table 2. Characteristics of rubber chips used in this study

SIZE(mm)	0.7~2.5
HEAT LOSS(%)	0.51
VOLTAGE(%)	67.17
ASH	2.89

두 종류의 binder를 사용하였는데 먼저 polyurethane (PANDEX TP-2332)으로서 조성은 diphenylmethane-4wt%, 4-dididocaynata 25~28wt%, Polybutadiene poly 45~55wt%로 구성되어 있다. 고무접착제로서 이 방법으로 고무보도블럭 제조공정은 현재 특허 출원 중에 있다.

후처리를 위해 2액형 무광, 2액형 유광, 1액형 유광 polyurethane 코팅제로 코팅 처리하였다. 또한 2층 보도블

럭을 제조하기 위하여 표피층은 내후성이 강한 페 EPDM을 사용하여 압축 공정으로 제조하였다.

Table 3. Composition of rubber chips used in this study.

Composition		Content(phn)
Polymer base(NR)		100
Carbon		78.3
Additives	Total	26.6
	Oil	18.4
	Sulfur	3.0
	Accelerator	2.1
	Antidegradant	1.8
	Stearic acid	0.7
	Wax	0.6
Ash		6.1

3.2 시편 제조

고무분말 100 mesh를 기준으로 binder와 첨가물을 10phr혼합한 다음 기계적으로 교반시켜 충분히 혼합한 뒤 혼합물을 금형(mold)에 채운 뒤 유압식 프레스기를 사용하여 온도 150℃를 가하여 10분 동안 경화시켜 sheet형태로 제조하였다. 그리고 시편은 KSM 6518의 가황고무 물리 시험 방법에 따라 아령형 3호로 절단하여 시편을 제조하였다.

3.3 시험 방법

KSM 6518에 의하여 경도는 스프링식(Shore A) 경도 시험으로 JIS-A경도기를 사용하여 측정하였으며, 인장시험기를 사용하여 300 mm/min의 속도로 인장 강도와 신율을 측정하였다.

열노화시험은 100℃에서 24시간 열노화 시킨 후 열노화 전과 동일한 방법으로 물성을 측정하였다. 코팅 처리에 의한 영향을 알아보기 위하여 마모 시험(PICO식)으로 조사하여 마모율을 계산하였다.

4. 결과 및 토론

4.1 Binder종류에 의한 영향

현재 제품제조시 사용되고 있는 binder로는

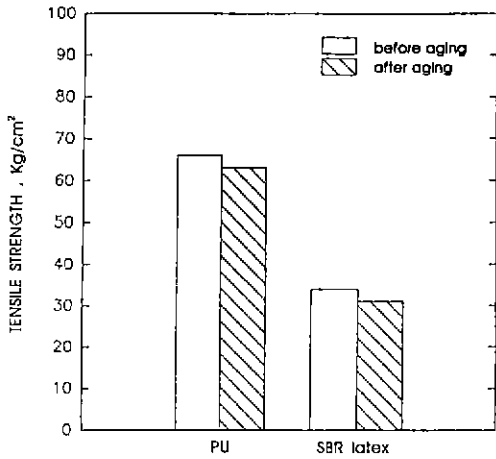


Fig. 3. Tensile strengthes of polyurethane and rubber binders

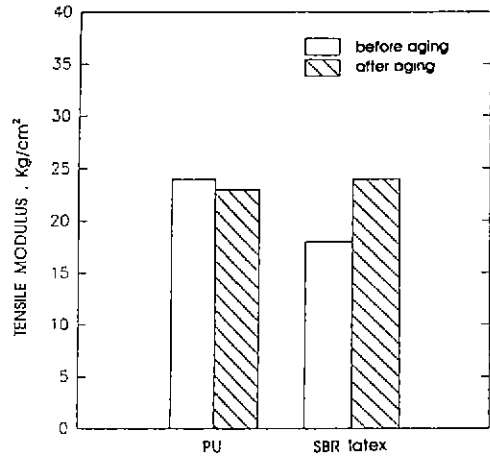


Fig. 4. Tensile modulus of polyurethane and rubber binders.

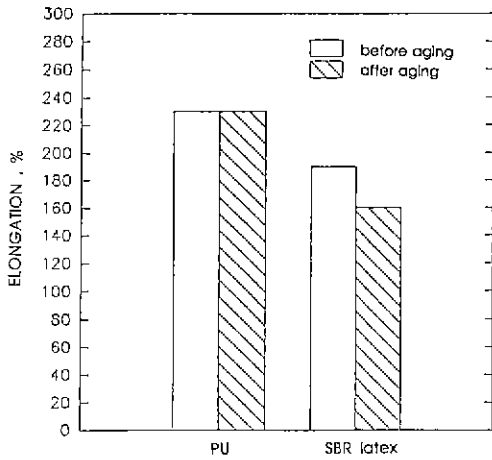


Fig. 5. Elongation of polyurethane and rubber binder

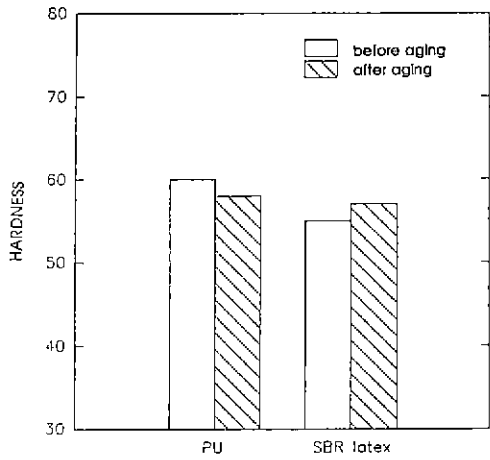


Fig. 6. Hardness of polyurethane and rubber binder.

polyurethane을 사용하고 있으나 binder가 제조원가에 차지하는 비율이 약 50% 정도로 경제성을 고려하여 페타이어 chip의 조성이 SBR이나 NR로 구성되어 있는 점을 감안, 고무계 접착제를 사용하여 비교 시험하였다.

Fig. 3, Fig 4, Fig 5, Fig 6에 각각 우레탄 접착제와 고무계 접착제를 사용하여 시편을 제조한 후 인장 강도, 신장률, 경도를 나타내었다

시험 결과, 그림에서 나타난 바와 같이 전반적으로 고무계접착제를 사용한 경우의 물성이 polyurethane binder를 사용한 경우보다 낮게 나타났지만, 노화에 의한 영향은 polyurethane의 경우에는 노화에 의해 전반적인 물성이

감소하나 고무계 접착제를 사용하였을 경우에는 노화에 의해 물성이 약간 증가함을 볼 수 있었다.

이상과 같이 물성에서는 polyurethane보다는 뒤지지만 Table 1에 정리한 표준화법에 규정 이상으로 되어 경제성을 감안하여 충분히 대체되어 사용할 수 있으리라 본다.

4.2 코팅 처리에 의한 영향

본 연구에서는 고무보도블럭의 부가가치성 향상을 위하여 제품의 표면을 분사 코팅(spray coating)의 방법으로 코팅 처리하여 반발탄성, 마모율, 경도를 조사하여 코팅에 의한 영향과 코팅제에 의한 영향을 알아보았다. 코팅제로

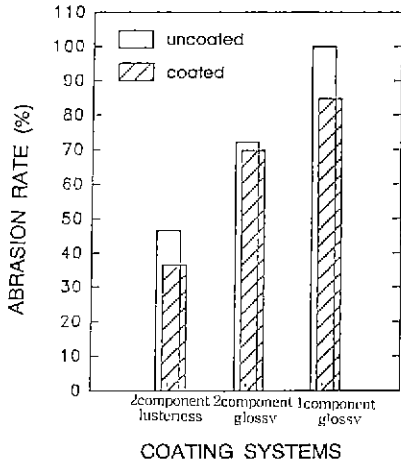


Fig. 7. Effect of coating on abrasion rate.

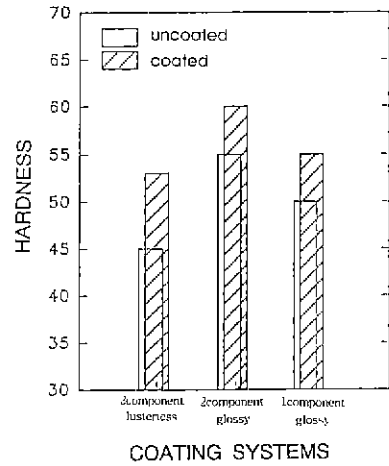


Fig. 8. Effect of coating on hardness.

는 2액형 무광, 2액형 유광, 1액형 우레탄 코팅제를 사용하였다.

코팅제의 종류에 따른 마모율을 비교하기 위해서 코팅제에 따른 코팅 유무에 대한 마모 체적을 구하고 1액형 유광 코팅제를 사용한 경우의 코팅되지 않은 면의 마모 체적을 기준으로 하여 상대적인 마모율을 구하여 비교하였다.

Fig. 7에서 보는 바와 같이 코팅에 의해 마모율이 감소함을 보이며 1액형 유광코팅제의 마모율이 가장 높고 2액형 유광, 2액형 무광의 순서로 마모율이 감소하고 있었다 특히 2액형 무광코팅제의 경우, 1액형 유광코팅제에 비해 절반 이하의 마모율을 나타내고 있다 또한 2액형 유광코팅의 경우에는 코팅에 의한 마모율의 감소 정도가 2~4% 정도로 다른 코팅제에 의한 마모율의 감소가 10% 정도인데 비해 낮게 나타나 코팅에 의한 마모 저항의 효과가 가장 적게 나타났다. 코팅에 의해 표면의 마모 정도가 감소하므로 코팅제가 표면에 대한 보호막으로서 작용함을 볼 수 있었다. 그리고 2액형 무광코팅제의 경우에 마모에 대한 저항이 가장 큼을 알 수 있었다.

경도는 2액형 무광 코팅을 하였을 때 코팅을 하지 않았을 때보다 8 point 정도 증가하였고 2액형 유광코팅제와 1액형 유광코팅제는 각각 5 point씩 증가하였다.(Fig 8)

4.3 이중 구조 고무보도블럭

종래의 보도블럭을 현장 시험하였을 시 발생하는 문제

점 중의 하나는 색상이 햇빛 등에 의하여 변화하는 것이다. 이는 타이어 분말(검은 색)에 안료를 혼합하여 제조하였기 때문에 안료의 색상이 충분히 반영되지 않고 있다는 증거이다 따라서 본 연구에서는 고무재질 2종류를 사용하여 그림과 같이 바닥 부분과 윗 부분으로 나누었다. 제조 과정은 페EPDM을 binder와 혼합하고, 타이어 스크랩을 binder와 혼합하여 금형에 2층으로 채운 다음 열성형가공한다. Fig. 9 에 제조된 2층 고무보도블럭의 사진을 나타내었다.

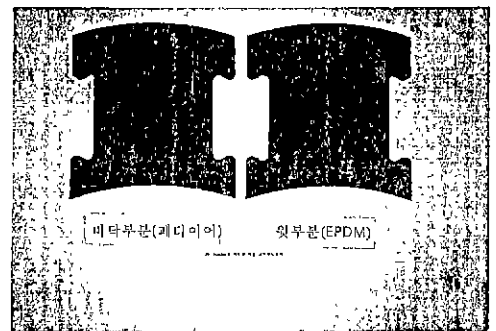


Fig. 9. Double layered rubber block

5. 결론

페타이어 chip을 이용하여 고무보도블럭을 제조하므로서 페타이어를 재활용하고자 하는 목적 하에 연구를 하였으며 본 연구에서는 페타이어 재활용에 있어서의 문제점인 경제성 문제를 해결하기 위한 방안으로 고무계 접착제를 사용하여 기존의 폴리우레탄 접착제와 비교하였다

비교 결과 우레탄 접착제 보다 전반적인 물성이 감소되나 국내 산업표준화법 이상의 수치가 되어 사용이 기대된다. 또한 코팅 처리를 하므로서 부가가치성을 높이고자 코팅의 영향을 살펴본 결과 코팅에 의하여 색상개선등 미화가 이루어지고 있었다. 제조된 고무보도블럭의 환경에 의한 색상의 변환을 막기 위하여 2층 구조 보도블럭을 제조연구하므로서 환경에 의한 색상 변환이 훨씬 감소됨을 관찰할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 환경부 주관의 선도 과제(G-7 Project 9-3-1) 후원 하에 이루어진 연구중 일부로서 후원에 감사를 드립니다

참고문헌

1. 김진국, 조하나, 이수구, "페타이어 재활용에 있어서

- binder양이 미치는 영향" 고무학회지, vol. 29(5), p431, (1994).
2. 김진국 "페타이어 재활용 기술" 고무학회지, vol. 28(3), P205, (1993).
3. 이종열, 일본의 페타이어 소각열 이용 현황:. 타이어, p 7, (1993).
4. J.K Kim, "Development of Recycling Technology for Waste Tires", Proceedings of Polymer Processing Society Meeting. (1995).
5. K. Nishimura, "Recycling of Used Tires in Japan". 1st Korean-Japanese Rubber Technology Symposium, p24, (1992).
6. 김 민, "일본, 미국의 페타이어의 처리실태(II)". 타이어 고무, p9, (1990).
7. 김진광, "페타이어를 이용한 고무아스팔트 포장", 타이어 고무, p9, (1990).
8. R. J. Salter and J. Mat, "Some Effect of Rubber Additives on Asphalt mixtures", Trans Res. Record, vol. 1296, p81-86. (1990).
9. L. H Lewandowski, "Polymer Modification of Paving Asphalt binders", Rubber Chem & Tech., vol. 67, p447 (1994).
- 10 김진국 "페타이어 이용 고무보도블럭" 특허출원증, (1995).