

페타이어 재활용을 위한 미생물 처리

박진원, 노현석, 김진국*, 조영일
연세대학교 화학공학과, *경상대학교 고분자공학과

Studies on Microbial Treatment for Recycling of Waste Tire

Jin W. Park, Hyun S. Roh, Jin K. Kim and Y. Il Joe

Dept. of Chemical Engineering, Yonsei University, Seoul, 120-749, Korea

*Dept. of Polymer Science & Engineering, Gyeongsang National University, Chinju, 660-701, Korea

ABSTRACT

Microbial treatment of the powdered waste tire was studied to recycle the waste tires. Chemoautotrophic, acidophilic, iron-oxidizing bacterium was employed to unvulcanize the powdered tires. Biotreated rubber powder was compared to a untreated and a chemically treated powder. The results showed sulfur content of rubber powder(1.33%) were decreased to 1.22% by chemical treatment and 1.12% by microbial treatment for 20 days, 0.88%, for 30 days.

One of the problems of the powdered utilization of the waste tires is that rubber powder leads to decrease mechanical properties when it is compounded with other virgin polymers. When the biotreated powder was compounded with natural rubber, the mechanical properties were less decreased when untreated or chemically treated powder. Therefore, the microbial treatment can be one of useful methods to recycle the waste tire.

I. 서론

자동차가 증가함에 따라 많은 양의 페타이어가 발생하고 있으며, 페타이어의 처리가 필요한 실정이다. 최근에 과학자들은 페타이어를 재활용하는 여러 가지 기술을 연구하여 왔는데, 그중 탈가교 공정에 관한 연구가 대부분이었다. 미생물처리는 화학 시약을 사용하지 않으며 이차 공해문제를 야기하지 않으므로 환경 친화적인 기술이라 할 수 있다.

*Thiobacillus*종을 포함한 몇가지 박테리아는 sulfides, sulfur, thiosulfate, polythionate, 그리고 thio-

cyanate등을 포함한 환원된 황 복합물을 산화시킬 수 있다¹⁾. 박테리아는 자신의 에너지를 하나 또는 그 이상의 환원된 황 복합물을 산화시켜 얻는다. 특히 pyritic sulfur의 미생물에 의한 제거는 몇몇 연구자들에 의하여 발표되었다²⁻⁸⁾. 타이어에서 가교를 형성하는 황을 제거함으로써, 타이어의 기계적 물성의 완화가 가능해진다. 본 연구에서는 페타이어에서 황 복합물을 제거하기 위해서 장대모양의 *Thiobacillus perometabolis*를 사용했는데, 이 박테리아는 황 기질을 산화시켜 에너지를 얻어 독립영양을 하는 것이다. 따라서 본 연구는 환경문제를 완화시키기 위하여 페타이어를 박

테리아로 처리한 탈황 방법을 연구 검토하였다.

II. 실험

1. 미생물

본 연구에서 사용한 *Thiobacillus perometabolis*는 온천수에서 자라는 박테리아로 표준 배지에서 성장한다⁹⁾. 박테리아의 배양은 18ml의 배지와 2ml(10%)의 inoculum을 포함한 50ml 반응기에서 수행하였다. 실험은 30°C로 유지된 진탕기에서 수행하였다. 배양액은 (NH₄)₂SO₄ 2g, K₂HPO₄ 0.5g, MgSO₄·7H₂O 0.5g, KCl 0.1g, Ca(NO₃)₂ 0.01g, FeSO₄·7H₂O 40g과 1L 증류수로 하였다. pH는 6.0으로 고정하고 미생물은 12,000rpm에서 10분간 원심분리하여 회수하였다.

2. 페타이어 분말

미생물처리를 위한 페타이어 분말의 입자 크기는 0.1mm 이하로 하였고 사용한 페타이어의 조성은 Table 1과 같다.

Table 1. Composition of scrap tire

Composition		Content(phr)
Polymer base		100
Carbon black		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. 실험 방법

3.1 페타이어 분말 처리 방법

10g의 페타이어 분말을 500ml의 배양액을 함유한 1L 플라스크에 넣고 살균하였다. 그 후, 700mg/L의 셀 농도를 가진 20ml의 액상 배양액을 주입하였다. 셀 농도는 자외선 분광광도계를 사용하여 660nm에서

흡광도를 측정하고 분석하였다. 20-30후에 생물학적으로 처리된 페타이어 분말 시료를 추출하였다. 시료들은 증류수로 12시간 동안 세척하였고, 70°C에서 24시간 동안 건조하였다. 시료의 황 농도는 ASTM의 Eschka 방법으로 분석하였다. 화학적 처리로는 Neospangol T 20(Kahl & Co.의 상품명)을 100g의 페타이어에 첨가하였고, 24시간 동안 상온에서 교반하였다. Neospangol T 20의 특성을 Table 2와 같다.

3.2 시편 제조 방법 및 시험 방법

기계적 물성 측정을 위한 시편은 페타이어 분말과 천연고무배합물을 내부 혼합기(Haake)에서 80°C, 7분간 혼합한 것을 금형에 채운 뒤 유압식 프레스기(Carver laboratory press)를 사용하여 150°C에서 10분 동안 가황시켜 판상형태로 제조하고 시편 절단기를 사용하여 아령형 3호의 형태로 준비하였다.

천연고무 배합물은 Table 3과 같으며 페타이어 분말을 2.5, 5, 10phr로 하여 혼합하였다.

물성 시험은 KS M 6518 '가황 고무 물리 시험 방법'에 의해, 경도는 스프링식(Shore A) 경도시험기로 JIS A 경도기를 사용하여 측정하였고, 인장시험기를 사용하여 300mm/min의 인장속도로 인장강도와 신장률을 측정하였다. 시편의 최적가황시간은 Curo-meter를 사용하여 측정하였다.

Table 2. General characteristics of Neospanol T 20

Type	Charicteristics
Apperarence	Medium viscous oil
Viscosity	2000mPas at 40°C
Density	0.97g/cm ³
Water content(Xylol method)	0.5%
Ash content	2%

Table 3. Natural rubber compounds

Composition	phr
Natural rubber, SMR L	100
Stearic acid	3
Zinc oxide	5
Benzothiazyl disulfide	0.6
Sulphur	2.5

III. 결과 및 토의

1. 페타이어 분말 탈가교

*Thiobacillus perometabolis*의 성장곡선을 Fig. 1에 나타내었다. 배양후 12-15시간 사이에 *Thiobacillus perometabolis*는 지수증식기에 도달하였고, 그 후 정지기에 도달하였다. 따라서 높은 셀 농도를 얻기 위하여 *Thiobacillus perometabolis*를 24시간 동안 배양하였다.

Fig. 2에 화학적 처리, 미생물 처리와 미처리 페타이어 분말의 사진을 비교하여 나타내었다. 사진에서 보는 바와 같이 특별한 차이점을 찾아볼 수 없었다. 그러나 각각 처리된 방법에 따른 페타이어의 황 농도는 Table 4에 요약한 것 처럼 각각의 차이를 보이고 있다. 화학적 처리된 시료의 황 농도는 처리하지 않은 것보다 낮았다. 그리고 생물학적으로 처리된 것은 화학적으로 처리된 것보다 낮았다. 또한, 생물학적으로 처리한 시료에서 황 농도는 배양시간에 따라 감소하였다. 따라서 생물학적 처리가 다른 방법들보다 더 효과적인 것을 확인할 수 있었다.

Table 4. Sulphur content of the rubber powders

Samples	Sulphur Content(%)
Untreatment	1.33
Chemical treatment	1.22
Biotreatment for 20 days	1.12
Biotreatment for 30 days	0.88

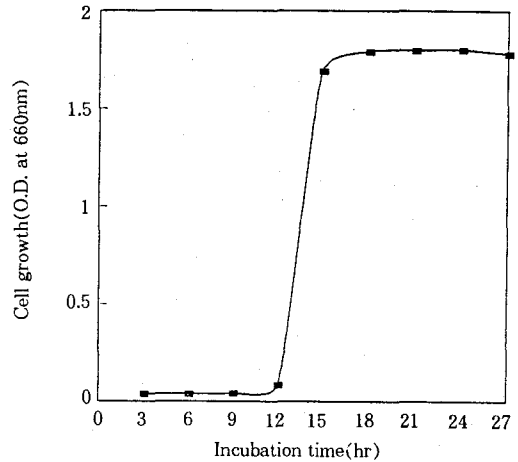


Fig. 1. Growth curve of *Thiobacillus perometabolis*.

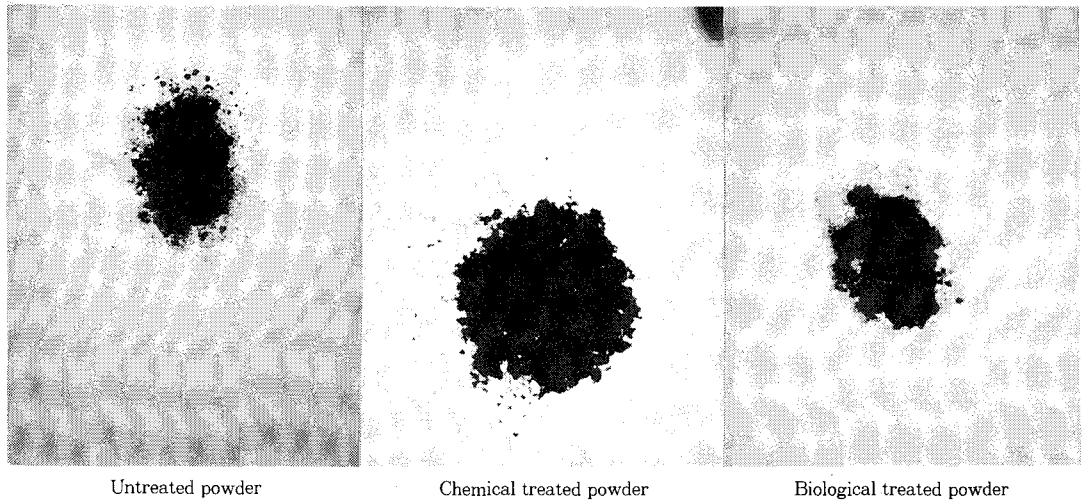


Fig. 2. Photographs of rubber powders from waste tire.

2. 블렌드 특성

페타이어 분말을 천연고무배합물에 배합된 블렌드

의 기계적 물성(신장율, 인장강도, 최적가황시간)을 조사하였다.

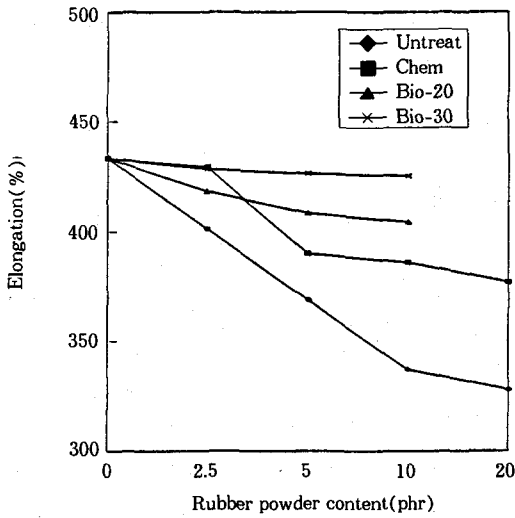


Fig. 3. The effect of rubber powder loading on elongation at break of filled NR compound with different treatments.

페타이어의 함량과 파단 신장율의 관계를 Fig. 3에 나타내었다. 여기서 0phr은 페타이어 분말이 배합되지 않은 천연고무배합물만을 의미하는 것이다. 페타이어 분말의 증가에 따라 신장율은 감소하였다. 신장율 감소는 처리되지 않은 것에서 뚜렷하였다. 반면, 화학적 또는 미생물학적으로 처리된 것의 신장율 감소는 비처리된 것의 경우처럼 분명하지는 않았다. 화학적으로 처리한 시료의 경우, 신장율의 감소는 처리하지 않은 것 보다 작게 나타났으나 미생물처리한 것 보다 높게 나타났다. 미생물로 처리한 경우, 30일간 처리한 것의 신장율 감소가 20일간 처리한 것보다 작았으며, 30일간 처리한 것은 천연고무배합물과 비슷한 수치를 나타내었다. 이것은 혼합물에서 페타이어 분말의 함량 증가에 따른 신장율의 변화정도가, 많은 양의 황이 페타이어로부터 제거될 수록 더 작게 나타남을 의미한다. 30일간 생물학적으로 처리한 경우, 페타이어 분말의 함량 증가에 따른 신장율의 변화는 매우 작아서 생물학적으로 처리된 페타이어 분말의 재활용 가능성을 나타내었다.

페타이어 함량과 인장강도의 관계는 Fig. 4와 같다.

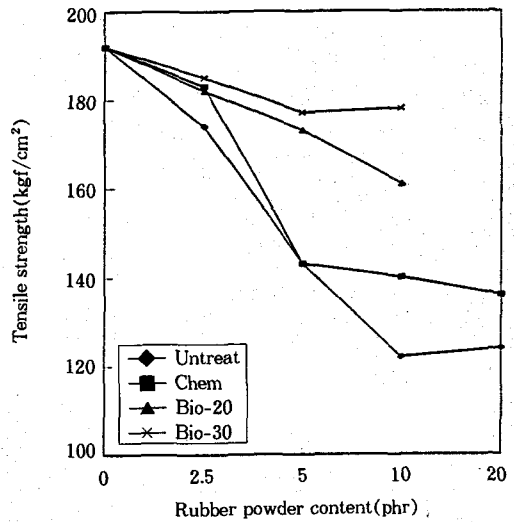


Fig. 4. The effect of rubber powder loading on tensile strength of filled NR compound with different treatments.

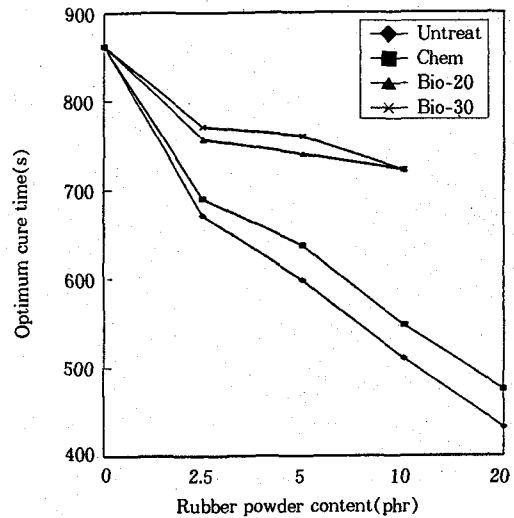


Fig. 5. The effect of rubber powder loading on optimum cure time of filled NR compound with different treatments.

페타이어 분말이 많이 배합될 수록 인장강도의 값은 더 작아졌다. 처리하지 않은 것의 경우 인장강도의 감소는 분명하였고, 화학적으로 처리한 경우 인장강도의 감소는 처리하지 않은 것 보다는 작았고, 미생물처리

의 경우 감소정도가 화학적 처리한 것 보다 작았으며 30일간 처리한 것이 20일간 처리한 것 보다 작았다.

블렌드를 제조할때의 가공시간을 예측하기 위하여 페타이어분말의 함량과 최적가황시간의 관계를 Fig. 5에 나타내었다. 페타이어 분말이 많이 배합될수록 최적가황시간이 더 짧아졌다. 천연고무배합물의 경우, 황 함량이 최적가황시간을 결정한다. 황 함량이 낮을수록 더 긴 최적가황시간이 요구된다. 페타이어 증가에 따라 황의 농도는 증가하였으며 따라서 최적가황시간은 짧아졌다. 최적가황시간의 감소는 화학적 처리와 미생물 처리한 경우보다 처리하지 않은 것에서 선명하였다. 미생물로 처리한 경우 최적가황시간의 감소는 화학적 처리보다 완화된 것으로 30일간 처리한 것이 20일간 처리한 것 보다 더 완화된 경향을 나타냈다.

IV. 결 론

초기 페타이어 분말의 황 농도(1.33%)가 Neospanol T 20을 이용한 화학적 처리에 의하여 1.22%로 감소하였고, *Thiobacillus perometabolis*을 이용한 미생물학적 방법으로 20일간 처리하여 1.12%, 그리고 30일간 처리하여 0.88%로 감소하였다.

페타이어 분말을 함유한 천연고무배합의 신장율, 인장강도, 최적가황시간을 조사한 결과 거의 같은 경향을 나타냈는데 미생물로 처리한 시료는 세가지 모든 시험에서 가장 높은 수치를 나타냈으며 화학적으로 처리한 시료는 처리하지 않은 것 보다 높은 수치를 보였으나 미생물로 처리한 시료 보다는 낮은 수치를 보였다. 페타이어 분말의 함량 증가에 따라 블렌드의 물성은 감소하는 것으로 나타났다. 본 연구에서는 물성감소를 어떻게 방지할 수 있을까 하는면에 중점을 두어 실험한 결과 화학적으로 탈 가교시킨 분말을 혼합한 천연고무 배합체는 미생물로 탈 가교시킨 분말을 사용한 배합체 보다 물성감소 경향이 증가하였으나, 처리하지 않은 분말을 사용한 배합체에서의 물성감소 보다는 완화된 경향을 보였다.

전반적으로 페타이어 분말의 *Thiobacillus peromet-*

*abolis*에 의한 미생물처리가 Neospanol T 20을 이용한 화학적 처리보다 효과적이었으며 따라서 페타이어의 미생물처리에 의한 재활용 가능성을 보였다.

감사의 글

본 연구의 일부는 경상대학교 생산기술 연구소의 지역컨소시움 과제 결과로서 후원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. J. T. Staley, "Bergey's Manual of Systematic Bacteriology", 3, 1842 (1989).
2. G. Andrews and J. Maczuga, *Biochnol. Bioeng. Symp. Ser.*, 12, 337 (1982).
3. C. Detz and G. Barvinchak, *Min. Congr. J.*, 65, 75 (1979).
4. M. R. Hoffman, B. C. Faust, F. A. Panda, H. H. Koo, and H. M. T suchiya, *Appl. Environ Microbiol.*, 42, 259 (1981).
5. F. Kargi and J. Robinson, *Biotechnol. Bioeng.*, 4, 211 (1982).
6. P. Dugan and W. Apel, in *Metallurgical Applications of Bacterial Leaching and Related Microbiological Phenomena*, L. E. Murr, A. E. Torma, and J. A. Brierley, Eds., New York, p. 223 (1978).
7. G. Andrews, M. Darroch, and T. Hansson, *Biotechnol. Bioeng.*, 32, 813 (1988).
8. A. Juszczak, F. Domka, M. Koalowski, and H. Wachowska, *Fuel*, 74, 725 (1995).
9. M. P. Silverman, and D. G. Lundgren, *Bacteriol.*, 77, 642 (1952).
10. American Society for Testing and Materials, *ASTM Annual Book*, D2492, 05, p.350 Philadelphia (1985).