

폐타이어 재활용에 있어서 가공조건의 영향

조 하 나 · 김 진 국

국립경상대학교 고분자공학과, 첨단소재연구소

Effect of the Curing Conditions on the Recycling of the Scrap Waste Tire

Ha-Na Cho, Jin-Kuk Kim

Dept. of Polymer Sci. & Eng., Advanced Materials Research Institute

Gyeongsang National University, Chinju 660-701, Korea

ABSTRACT

Nowadays, recycling of waste materials is one of great attention among all industries. Especially, the waste tires become a significant problem with increasing in a number of automobiles.

For recycling of the waste tires, a polyurethane binder was mixed with the scrapped rubber powders obtained from tread part of the waste tire.

This study covered the effect of processing conditions; curing temperature and curing time; on the mechanical properties of the blend. We also compared the experimental results from laboratory scale with those from scale-up.

I. 서 론

급증하고 있는 폐타이어의 처리 문제를 해결하기 위한 방안으로서 매립 또는 소각하여 폐기처분하는 방법이 있지만 근래에는 환경문제로 인해 폐타이어를 재활용하고자 하는 연구가 절실히 요구되는 실정이다.

폐타이어를 재활용하는 방법에는 원형 그대로 이용하는 방법, 소각에 의한 열을 이용하는 방법, 분말 이용법이 있다.^{1,2} 본 논문에서는 분말 이용법에 대하여 연구하였는데 분말 이용법에는 폐고무를 미세하게 분쇄한 후 화학처리하여 고무충진제로서 사용하거나 폐타이어 고무분말을 열과 약품으로 처리하여 얻어진 재생고무를 혼합하여 아스팔트 포장에 첨가하여 고무 아

스팔트로 사용하려는 연구가 이루어지고 있으며 고무를 용해하는 시스템을 밝혀 콘크리트와 혼합하여 건축 자재로 사용하는 방법이 보고되어 있다.²

본 연구에서는 분쇄 공정을 통해 얻은 폐타이어 고무분말을 이용하여 보도블럭을 제조하기 위한 기초 연구를 하였다. 폐타이어 고무분말은 이미 가황된 고무분말로 열에 의해 성형하기가 어려우므로 접착제를 혼합하여 성형하는 방법으로 경화조건에 대한 영향을 알아보았다.

본 실험에 사용한 접착제로는 접착성이 우수한 polyurethane(PU) binder를 사용하여 압축성형에 의해 시편을 제조하여 물성을 조사하였다.

이미 보고한 폐타이어 재활용에 있어서 polyure-

thane binder의 양에 의한 영향의 연구 결과로 10phr의 binder의 양이 적합하다는 결과를 얻었으므로³ 본 연구에서는 binder의 양을 10phr로 고정하여 경화온도와 경화시간에 따른 물성의 변화를 조사하였고 이와 같이 실험실에서 얻어진 결과를 시편의 두께를 10배 정도 scale-up하여 얻어진 결과와 비교하여 보았다.

II. 실험

1. 실험재료

페타이어 고무분말은 Table 1에서와 같이 타이어 트레드부분에서 분쇄하여 제조된 분말입자의 크기가 다른 두 가지 고무분말을 사용하였다. binder로는 polyurethane(PANDEX TP-2332)을 사용하였는데 조성은 diphenylmethane-4,4'-diisocyanate 25~28wt%, polybutadiene계 polyol 45~55wt%로 구성되어 있다.

2. 실험방법

고무분말 100을 기준으로 binder와 기계적으로 충분히 혼합한 뒤 혼합물을 금형에 채운 뒤 유압식 프레스를 사용하여 150℃로 가열, 압력하에서 10분간 경화시켜 두께 2mm정도의 판상으로 제조하였다. 그리고 시편은 KSM 6518의 가황고무 물리시험방법에 따라 절단하였다.(아령형 3호)⁴

그리고 scale-up하여 실험실에서 얻은 결과와 비교하기 위하여 고무분말(F)에 polyurethane binder를 혼합하여 20mm두께의 금형을 이용하여 150℃의 온도에서 압축성형하였다. 이 때 금형에 대한 fill factor는 0.95 정도로 하였다. 이러한 방법으로 제조된

20mm두께의 시편을 칼날을 이용하여 2~3mm의 두께로 자른 다음 시편 절단기로 아령형 3호의 시험편으로 절단하여 인장시험을 하였다.

3. 시험방법

KSM 6518 가황고무 물리시험방법⁴에 의해 인장시험기를 사용하여 300mm/min의 인장속도로 인장강도, 100% 인장응력, 신장율을 측정하였다. 열노화시험은 100℃에서 24시간동안 열노화시킨 후 열노화 전과 동일한 방법으로 물성을 측정하였다.

형태학적 조사를 위하여 50배율의 광학현미경으로 고무와 binder의 블랜드의 절단면을 관찰하였다.

III. 결과 및 토의

1. 가교온도의 영향

Table 1에서 표기한 비교적 균일하고 입자크기가 크고 둥근 형태인 고무분말 A와 입도분포가 넓은 고무분말 F를 이용하여 경화온도가 물성에 미치는 영향을 알아보았다. 먼저 Fig. 1에서 온도에 따른 인장강

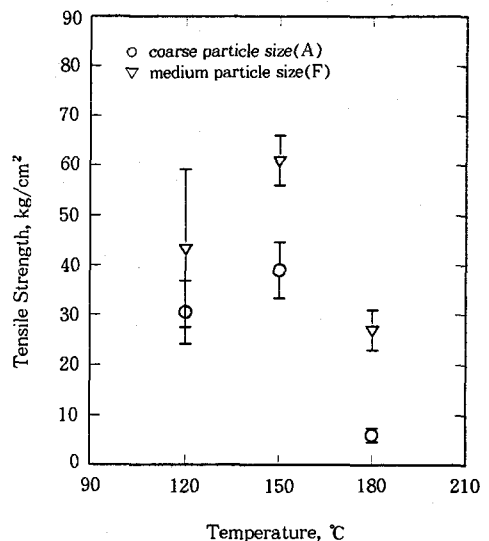


Fig 1. Effect of curing temperature on tensile strength

Table 1. Two kinds of rubber chip used in this study

Sample	Size(mm)	Heat loss(%)	Volatile(%)	Ash(%)
A	2.8-3.9	0.76	64.04	7.03
F	0.7-2.5	0.51	67.17	2.89

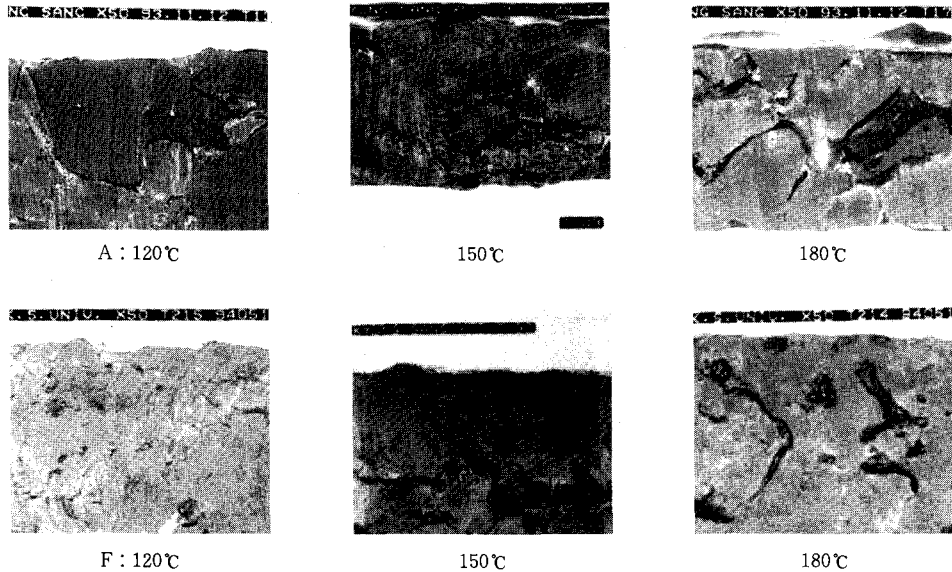


Fig 2. Effect of curing temperature for different size of scrap rubber (binder contents 10phr, ON, ×50)

도의 변화를 보면 인장강도가 150°C까지는 증가하다가 180°C에서는 급격히 감소하는데 이는 120°C에서는 미경화 되어 인장강도가 낮은 것이고 온도가 높아짐에 따라 점차 가교반응이 진행되어 150°C까지는 인장강도가 증가하나 180°C에서는 과경화로 인해 다시 강도가 감소하기 때문이다. 또한 고무분말 A보다 F를 사용하였을 때 더 높은 강도를 나타내는데 이것은 불균일한 입자분포를 가진 고무분말 F의 경우 미세한 고무입자가 큰 입자간의 공극을 메워 주기 때문이다. 이것은 형태학적으로 Fig. 2의 광학현미경사진에서도 알 수 있듯이 180°C가 되면 과가교로 인한 불안정한 계면상태를 보이고 있다. 온도에 따른 인장응력의 변화를 보면 온도가 높을 수록 인장응력은 낮아지고 고무분말 크기에는 영향이 없는 것으로 나타났다.(Fig. 3) 온도에 따른 신장율의 변화는 인장강도의 변화와 거의 유사한 경향을 나타내며 이러한 이유도 위에서 설명한 바와 같다.(Fig. 4)

2. 가교시간의 영향

고무분말 F에 PU binder 10phr을 블렌드하여

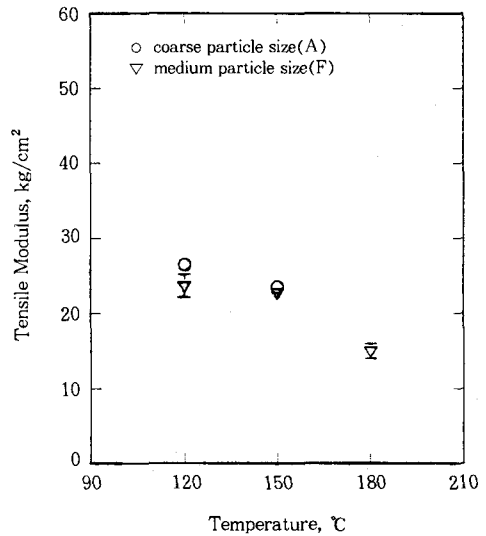


Fig. 3. Effect of curing temperature on tensile modulus

150°C의 온도에서 가교시간에 따른 물성의 변화를 알아보았다. 가교시간에 따른 인장강도의 변화를 보면 가교시간이 10분이 될 때까지는 가교가 점차 진행됨으로 인해 인장강도가 증가하여 20분이 될 때까지 일정하게 유지되나, 20분이 지나면 과경화

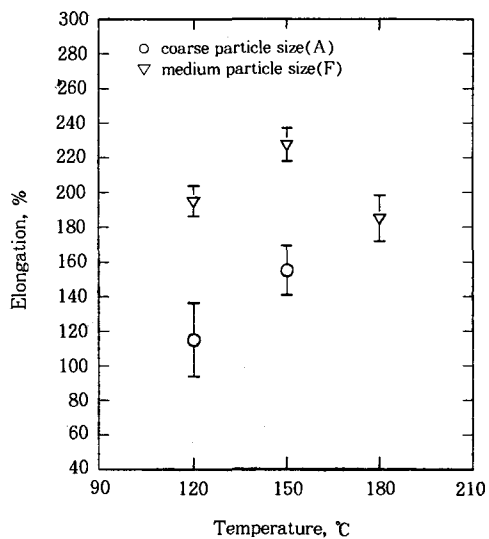


Fig. 4. Effect of curing temperature on elongation

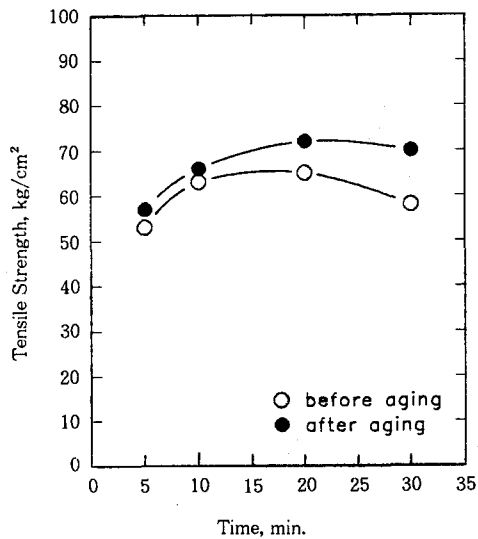
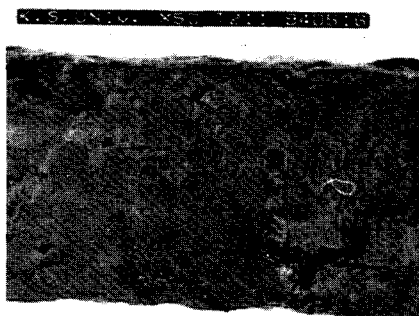
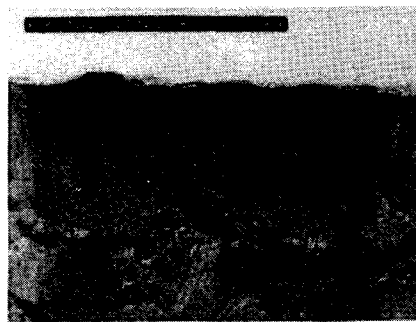


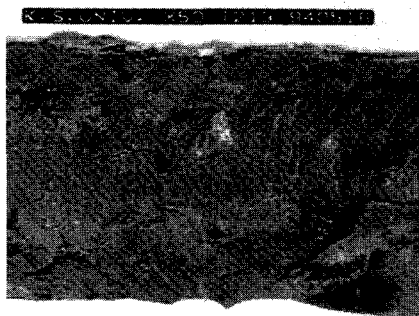
Fig. 5. Effect of curing time on tensile strength



(a) 5min.



(b) 10min.



(c) 20min.



(d) 30min.

Fig. 6. Effect of curing time (binder contents 10phr, 150°C, OM, ×50)

로 인해 인장강도가 다소 감소함을 보이고 있다.(Fig. 5) 이를 형태학적으로 알아보기 위해 Fig. 6에 가교 시간에 따른 시편의 절단면을 광학현미경 사진으로 비교하였다. 가황시간은 인장응력에 거의 영향을 미치지 않음을 나타내었으며(Fig. 7) 신장율의 경우에는

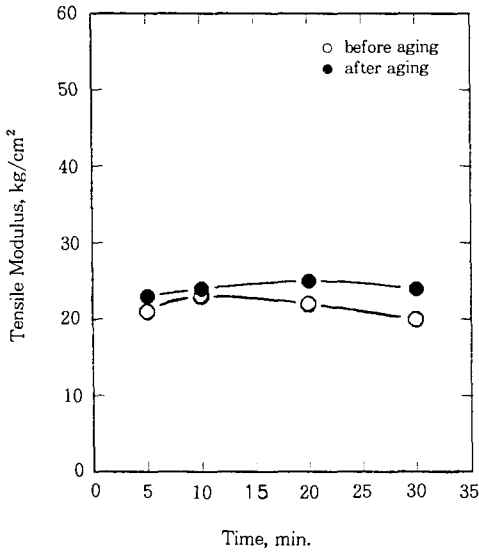


Fig. 7. Effect of curing time on tensile modulus

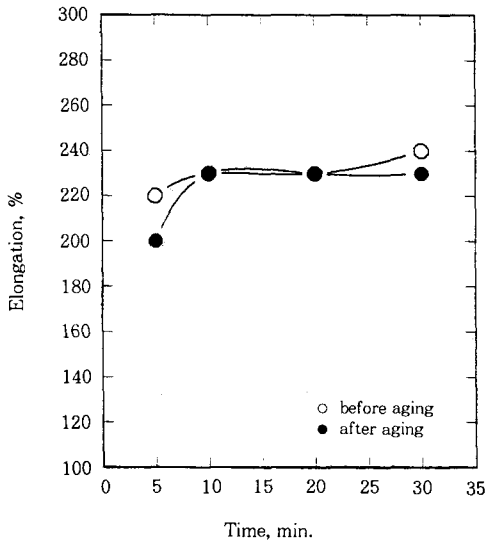


Fig. 8. Effect of curing time on elongation

가교시간이 10분이 될 때까지는 신장율이 증가하다가 10분이상에서는 일정한 값을 나타내나 20분이 지나면 약간 증가하나 큰 차이는 보이지 않으므로 신장율의 변화가 없이 일정하게 유지된다고 볼 수 있다.(Fig. 8) 그리고 노화 전보다 노화 후의 물성이 다소 높게 나타났다.

3. Scale-up의 영향

3.1 Binder의 양의 영향

고무분말 F에 대해 PU binder의 양을 변화시키면서 물성을 조사하여 실험실에서 얻은 결과와 비교하였다. 가교조건은 실험실에서의 조건과 동일한 조건에서 하였다. Fig. 9에서의 binder의 양에 다른 인장강도를 보면 실험실에서 얻은 결과는 10~15phr 정도에 최대치를 나타내고 20phr에서는 감소하는 경향을 보이나 scale-up하여 실험한 결과 10phr을 첨가하였을 때 최대치를 나타내며 감소하지 않고 20phr첨가시도 인장강도를 유지하고 있음을 나타내었다. 실험실 규모의 인장강도 시험결과가 20phr에서 줄어드는 이유는 이

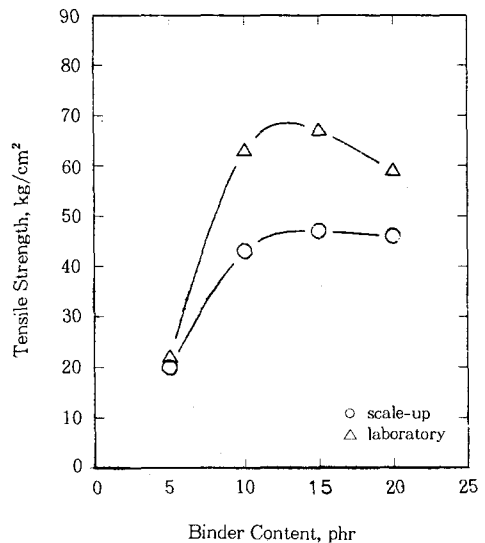


Fig. 9. Comparison of tensile strength on binder content between laboratory and scale-up

미 자세하게 보고한 바 있고³ scale-up 때는 시편의 두께가 두꺼워짐에 따라 그 경향이 좀더 많은 binder를 첨가하였을 시 나타날 것이라고 기대된다. 전반적으로 실험실에서 얻은 결과 보다는 낮은 인장강도를 보이는데 이것은 scale-up에 의해 시편의 두께가 증가함에 따라 내부까지의 완전한 경화가 진행되지 않아 인장강도가 낮게 나타난 것으로 생각된다. 인장응력은 binder의 양에 따라 증가하며 실험실에서 얻은 결과와 차이가 없었다.(Fig. 10) 신장율의 변화는 인장강도에서의 경향과 비슷한 결과를 얻었으며 이것도 시편 두께의 증가로 인한 가교상태의 변화에 의해 나타나는 것으로 본다.(Fig. 11)

3.2 가교시간의 영향

고무분말 F에 대해 PU binder 10phr을 혼합하여 가교시간에 따른 물성을 조사하여 실험실에서 얻은 결과와 비교하였다.

먼저 가교시간에 따른 인장강도의 변화를 보면 (Fig. 12) 실험실에서 얻은 결과는 10분일 때까지 증가하여 20분이상에서 인장강도가 감소함을 보이나 scale-up한 경우에는 가교시간이 20분일 때까지 인장

강도가 증가하여 최대값을 나타내고 20분 이상에서는 강도가 급격히 감소하였다. 가교시간은 시편의 두께에 따라 증가하므로⁵ 시편두께의 증가로 인해 실험실에

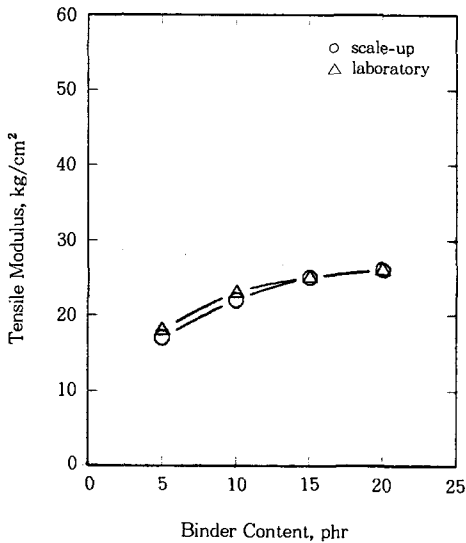


Fig. 10. Comparison of tensile modulus on binder content between laboratory and scale-up

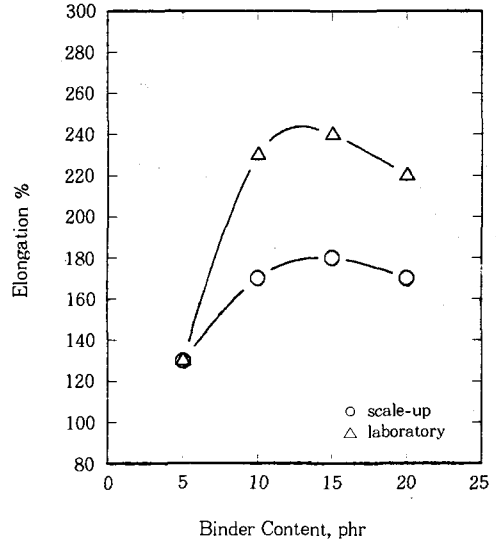


Fig. 11. Comparison of elongation on binder content between laboratory and scale-up

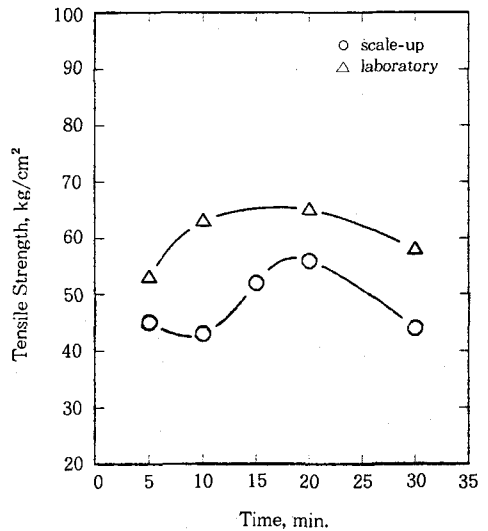


Fig. 12. Comparison of tensile strength on curing time between laboratory and scale-up (binder content 10phr)

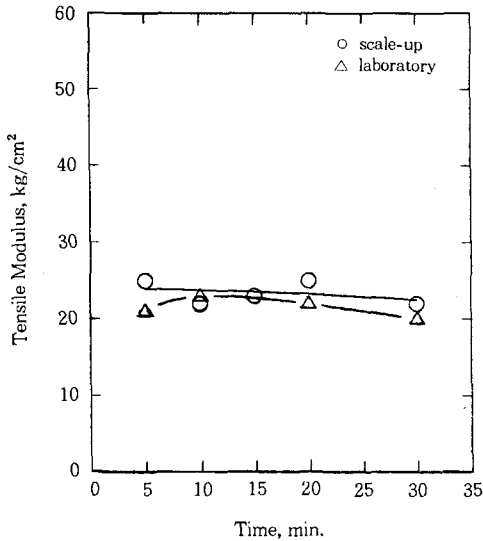


Fig. 13. Comparison of tensile modulus on curing time between laboratory and scale-up (binder content 10phr)

서 얻은 결과보다 적정 가교시간이 길어지는 것으로 설명된다. 가교시간에 따른 인장응력의 변화는 거의 없었으며 실험실에서 얻은 결과와도 차이가 없었다. (Fig. 13) 그러나 Fig. 14에서 신장율의 경우를 비교하면 실험실에서 얻은 결과는 신장율의 변화가 거의 없었으나 scale-up의 경우에는 15분이 될 때까지 증가하여 최대 신장율을 나타내고 15분 이상이 되면 감소함을 보였다. 가교시간이 길어지게 되면 고무분말내에 포함되어 있는 휘발성 물질이 휘발하게 되어 시편 내부에 void를 형성하게 되는 데 실험실에서 얻은 시편의 경우에는 두께가 비교적 얇기 때문에 이러한 휘발성 물질의 외부로의 휘발이 가능하나 scale-up하여 제조된 시편의 경우에는 시편의 두께가 증가함으로써 시편 내부에서 발생하는 휘발성 물질이 차단되어 이것으로 인해 void가 형성, 점차적으로 성장함으로써 시편내부에 균열이 발생하여 강도의 급격한 저하와 신장율의 감소를 일으키게 된다.

Scale-up한 시편의 절단면을 광학현미경으로 살펴 보면(Fig. 15) 가교시간이 진행됨에 따라 고무분말간

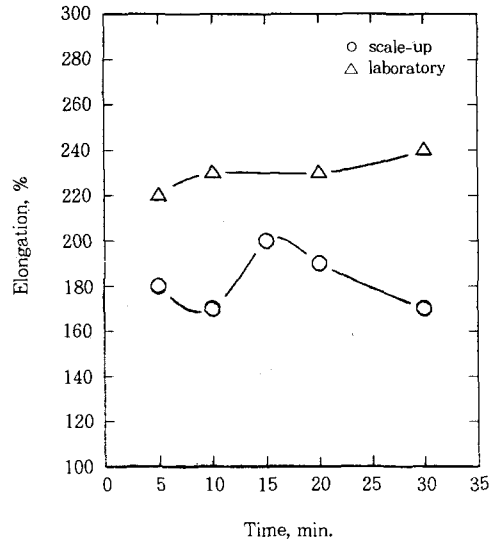


Fig. 14. Comparison of elongation on curing time between laboratory and scale-up (binder content 10phr)

의 접착이 잘 이루어짐을 알 수 있으며 가교시간이 30분인 경우에는 고무분말간의 접착은 양호하지만 휘발성 물질의 휘발에 의한 void가 발생하여 단면에서의 균열이 존재함을 볼 수 있었다. 이로 인해 물성의 급격한 저하가 나타나게 되는 것이다.

IV. 결 론

페타이어를 재활용하기 위한 방법으로 페타이어를 분쇄하여 분말의 형태로 가공하여 이용하는 방법으로 상온분쇄법으로 얻어진 페타이어 고무분말에 polyurethane binder를 사용하여 압축성형방법으로 시편을 제조하는 데 있어 가교온도, 가교시간을 조사하여 적정 가교조건을 선정하였다. 그리고 실험실에서 얻어진 결과를 바탕으로 하여 시편의 두께를 10배정도로 scale-up하여 실험실에서 얻어진 결과와 비교하여 보았다.

1. 가교온도를 120℃로 하였을 경우 미경화로 물성이 낮아지고 150℃에서 물성이 증가하였다가 180℃

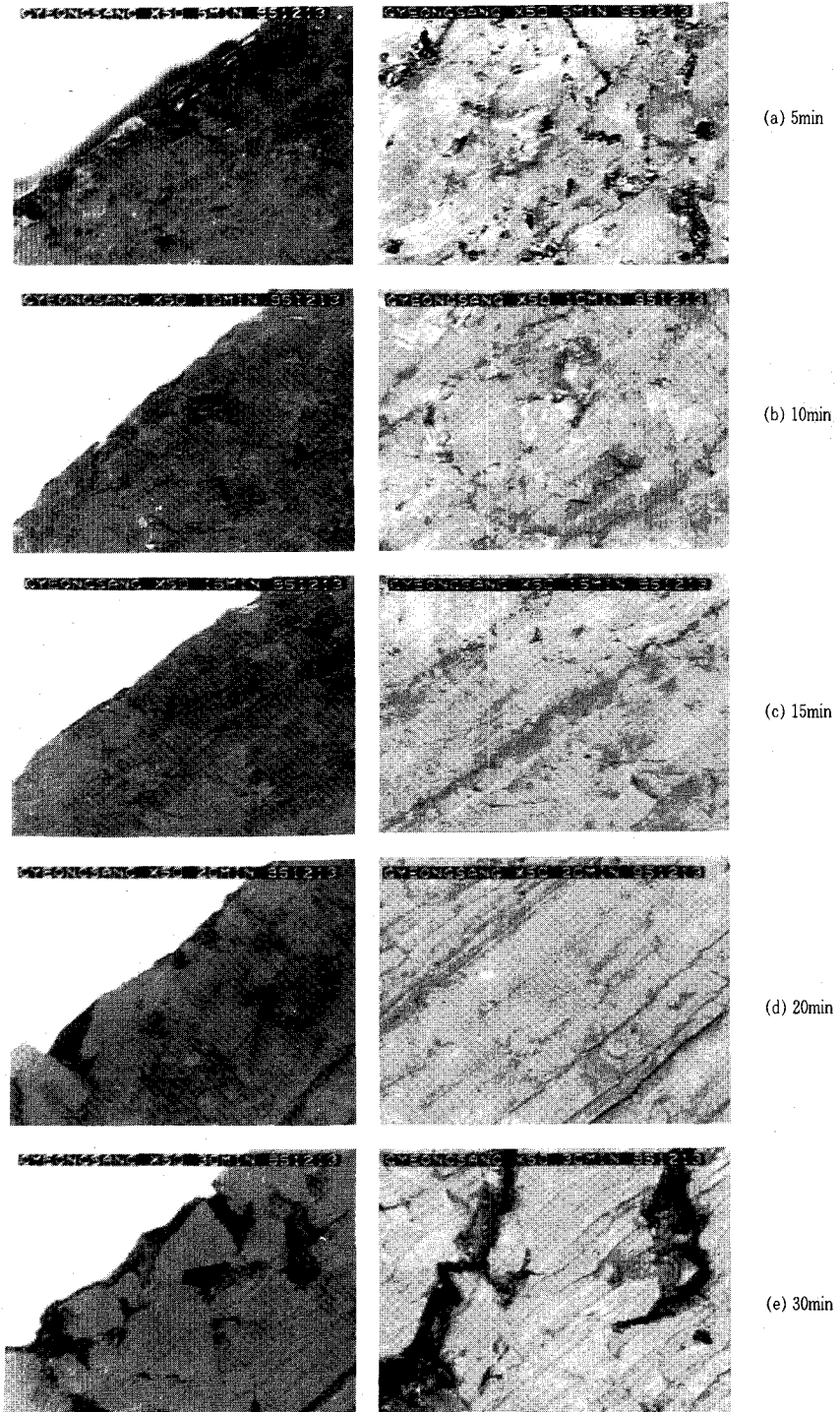


Fig. 15. Effect of curing time (binder content 10phr, OM, $\times 50$)

일 경우에는 과경화로 인한 물성저하가 나타났다. 그러므로 polyurethane binder를 사용하여 페타이어 고무분말을 이용하는 경우, 가황온도는 150°C가 가장 적합하였다.

2. 가교시간이 길어질수록 완전한 가교가 이루어져 20분동안 가교시켰을 때 가장 좋은 물성을 나타내었으나 가교시간이 20분 이상이 되면 과경화로 인한 물성의 저하가 서서히 나타남을 알 수 있었다.

3. Scale-up하여 제조한 시편과 실험실상의 시편을 비교한 결과, 10분간의 가교시간을 같이 하면 실험실에서 제조한 시편의 물성보다 낮게 나타나는데 이것은 실험실에서 제조한 시편의 두께가 약 2mm인데 비해 scale-up하게 되면 시편의 두께가 20mm로 증가하여 시편두께가 증가하여 시편의 내부까지 가교하는 데 필요한 가교시간이 길어지기 때문이다. 가교시간을 변화하면서 실험한 결과, scale-up한 경우에 적정 가교시간이 길어졌음을 알 수 있었다.

(본 연구의 일부분은 한국고무학회 신양장학금과 한국과학재단(93-0800-11)의 지원하에 이루어졌으므로 이에 감사드립니다.)

참 고 문 헌

1. 김진국, “페타이어 재활용 기술”, 고무학회지, Vol. 28, No. 3, p.205 (1993).
2. 홍영근, 정경호, “페타이어 재활용의 극대화”, 공업화학, Vol. 6, No. 1, p.1 (1995).
3. 김진국, 조하나, 이수구, “페타이어 재활용에 있어서 Binder양이 미치는 영향” 고무학회지, Vol. 29, No. 5, p.431 (1994).
4. KSM 6518 가황고무의 물리시험방법.
5. 金子秀男, “응용 고무가공기술, 제9장 가황작업”, 고무학회지, Vol. 20, No. 1, p.61 (1985).