

타이어 밸런싱용 글래스 비드의 제조

신경수 · 홍성욱[†] · 이규창*

한밭대학교 화학공학과, *애니밸런스
(2008년 6월 23일 접수, 2008년 10월 17일 채택)

Preparation of Glass Beads as Tire Balancing Materials

Kyung Soo Shin, Seong Uk Hong[†], and Kyu Chang Lee*

Department of Chemical Engineering, Hanbat National University, Daejeon 305-719, Korea

*Any Balance, Daejeon 305-719, Korea

(Received June 23, 2008; accepted October 17, 2008)

자동차의 주행에 있어서 타이어는 매우 중요한 구성 요소이다. 특히, 주행 중 차량에서 운전자가 핸들을 통해 느끼는 대부분의 진동은 바로 타이어-휠간 복합체의 밸런스가 맞지 않은 것에서 기인한다. 본 연구에서는 타이어 내에 글래스 비드를 투여함으로써 이러한 문제를 해결하고자 하였다. 또한, 글래스 비드를 다양한 물질로 코팅하여서 글래스 비드의 친수성으로 인하여 생기는 응집 문제를 해결하였다.

Tire is one of the key components in automobiles. Especially, most vibrations during driving are resulted from the im-balancing of tire-wheel composites. In this study, this problem has been solved by using glass beads as a balancing material. In addition, the glass beads are coated using several materials to reduce the tendency of aggregation of glass beads.

Keywords: tire balancing, glass beads, coating material

1. 서 론

자동차가 주행할 때 타이어의 밸런스의 불균일은 주행안정성 및 승차감에 매우 큰 영향을 준다[1]. 또한, 자동차 주행 중 이뤄지는 타이어의 굴신운동 등의 반복 변형에 의해 피로 파괴가 발생하므로 내구성 및 마모성능에도 큰 영향을 준다. 일반적으로 타이어의 밸런스는 스티어링 휠의 관점에서 상하 진동을 유발하는 정적 밸런스와 좌우 진동을 유발하는 동적 밸런스로 구분할 수 있는데, 이러한 밸런스의 불균일은 타이어의 구조와 제조과정 중의 편차에 의해 필연적으로 발생하는 문제이다[2]. 이러한 타이어 밸런스의 불균일은 휠의 불균일한 밸런스와 만나게 되면서 타이어-휠 복합체로서의 불균일로 나타나게 된다. 일반적으로 휠에 타이어를 장착한 상태에서 밸런스를 평가하게 되므로 앞에서 언급한 동적 및 정적 밸런스도 실상은 타이어-휠 복합체로서의 밸런스를 의미하는 것이다.

타이어의 밸런스를 균일하게 하기 위하여 일반적으로 ‘고정식 중량체 시스템’, 즉, 납으로 제조된 밸런스 추를 휠에 장착하는 방법을 사용하고 있다[3]. 그러나, 납이 근본적으로 갖는 환경오염 문제, 휠의 대형화 및 외관 문제로 인하여 북미 등 선진국에서는 이러한 방법에 대한 개선 노력이 가중되고 있다[4]. 또한, 트럭 및 버스용 타이어의 경우에는 밸런스 측정 장비가 고가이고 밸런스 측정을 위한 타이어의 탈·부착이 어렵기 때문에 이러한 고정식 중량체 시스템의 적용도 어렵다. 이러한 타이어 밸런스의 불균일은

일반적으로 연비를 3% 이상 증가시키며 타이어의 이상마모를 야기하게 된다. 특히, 고정식 중량체 시스템의 경우에는 최초 장착 후에 재조정이 어렵기 때문에 외부환경에 의해 쉽게 떨어지는 밸런스를 지속적으로 제어하는 것이 불가능하다.

고정식 중량체 시스템에 대한 대안으로 분말이나 작은 입자들을 타이어 내부에 주입하여 타이어의 밸런스를 잡아주는 방법이 있다. 이 방법에서는 타이어 내부에 주입한 물질이 자동차 주행 시 원심력에 의하여 자동적으로 타이어 내부의 밸런스가 불균일한 부분에 분포하여 타이어의 밸런스를 유지시켜 준다[5,6]. Figure 1에 밸런싱 물질을 사용해서 타이어의 밸런싱 불균일을 제거하는 대략적인 모식도를 나타내었다. 그러나, 이러한 기술의 경우에는 주입한 물질들이 자동차의 정차 시에 중력에 의해 타이어 내부 아래쪽으로 떨어지게 된다. 또한 이렇게 바닥에 모인 물질들은 자동차의 저속 주행 시나 정차 후 재출발 시에 서로 뭉치게 되고 이로 인해 오히려 타이어에 초기 불균형을 초래하게 되는 문제점이 있다. 이러한 기술을 보완하기 위하여 글래스 비드와 같이 타이어와 마찰 시 전하의 이동으로 양전하를 띠는 물질을 주입하여 주행을 멈춘 후에도 밸런싱 물질이 한동안 타이어 내부 고무의 표면에 부착되게 하는 방안이 개발되었으나[7,8], 글래스 비드가 매우 쉽게 수분을 흡수하므로 대전효과가 급격히 저하되는 문제점이 있다[7].

본 연구에서는 앞에서 언급한 기술들이 가지는 문제점들을 극복하기 위하여 글래스 비드를 다양한 물질로 코팅함으로써 글래스 비드의 친수성을 감소시키면서도 글래스 비드가 가지는 초기 정전

[†] 교신저자 (e-mail: suhong@hanbat.ac.kr)

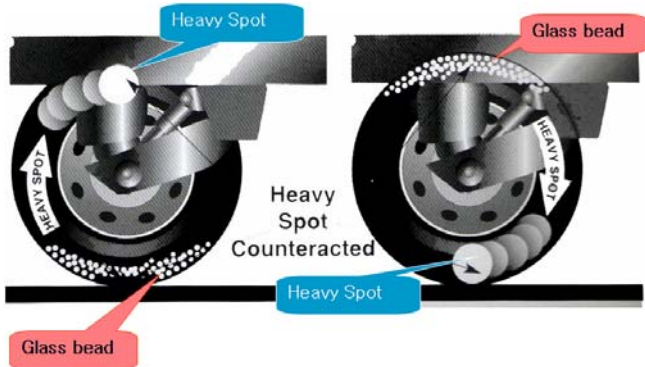


Figure 1. Schematic diagram for tire balancing using glass beads.

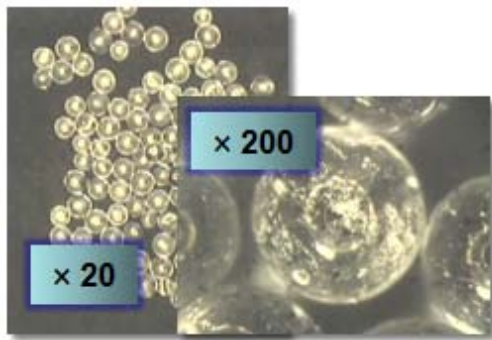


Figure 2. Photograph of glass beads.

기력은 유지하는 최적의 밸런싱 물질을 제조하고자 하였다.

2. 실험

2.1. 재료 및 시약

Liquid isoprene rubber (LIR-30)은 일본의 Kuraray사에서 구입하였다. Vinyl triethoxythosilane (+98%, VTEO), 1,2-bis-(triethoxysilyl) ethane (96%, TESPА), 그리고 tetraethyl orthosilicate (98%, TEOS)은 미국 Aldrich사에서 구입하였다. 실리콘 오일과 글래스 비드는 각각 Shinetsu사와 BnK(주)에서 구입하였다. Figure 2에 글래스 비드의 사진을 보였으며 크기가 균일함을 알 수 있다. 본 실험에 사용한 모든 시약은 정제하지 않고 사용하였다. 실험에 사용한 초순수는 Barnstead사의 Nanopure를 사용하여 제조한 것을 사용하였다.

2.2. 글래스 비드의 코팅

글래스 비드를 다양한 물질로 코팅하기 위하여 글래스 비드 50 g을 100 mL 비이커에 담고 코팅제 일정량(보통 0.01 g)을 비이커에 가한 후 magnetic bar를 사용해서 상온에서 약 30 min간 교반하였다. LIR 5%를 포함하는 핵산용액으로 코팅한 경우에는 코팅 후 실온에서 8 h 동안 건조하였다. TESPА와 TEOS의 혼합물의 경우에는 두 화합물을 다양한 비율로 섞어서 160 °C에서 배기가 가능한 온도에서 코팅하였으며 반응이 진행된 것을 DSC (Differential Scanning Calorimetry)를 사용하여 확인하였다(Figure 3).

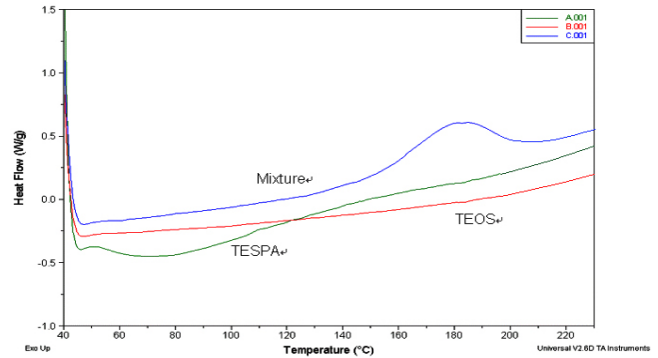


Figure 3. DSC experimental results.

Table 1. Static Electricity and Hydrophilicity of Coated Glass Beads

	Hydrophilicity ^(a) (mm)	Static electricity ^(b) (%)
Glass bead	10.6 ± 0.9	13 ± 4
TESPA/TEOS (3/7)	5.5 ± 0.4	7 ± 2
VTEO	7.1 ± 0.9	12 ± 2
LIR	8.9 ± 0.7	26 ± 7
Silicone Oil	9.0 ± 0.7	5 ± 2

^(a) Water level measured using a 50 mL graduated cylinder.

^(b) Weight % of glass beads attached in a PE bag.

2.3. 정전기 측정

코팅된 글래스 비드 50 g을 25 × 30 cm 크기의 폴리에틸렌(PE) bag에 넣고 약 1 min간 흔들어주어서 정전기를 발생시켰다. PE bag에 달라붙지 않은 비드를 조심스럽게 제거한 후 PE bag의 질량을 측정하여서 PE bag에 달라붙은 글래스 비드의 질량 분율을 계산하였다. 동일한 조건에서 최소 5회 이상 실험을 실시한 후 평균값을 구하였다.

2.4. 친수성 측정

먼저, 50 mL 크기의 메스실린더에 초순수 0.3 mL를 안쪽 벽면이 젖지 않도록 주의하면서 가한다. 코팅된 글래스 비드 50 g을 메스실린더에 넣고 30 min 후에 수면의 높이를 측정하였다. 동일한 조건에서 최소 5회 이상 실험을 실시한 후 평균값을 구하였다.

2.5. 밸런스 측정

타이어에 글래스 비드를 삽입한 후 트럭/버스용 타이어의 고속 밸런스를 확인하는 방법을 사용하여 130 km/h에서 타이어의 밸런스를 측정하였다. 이때 타이어는 12 R 22.5 규격의 제품을 사용하였으며 삽입한 글래스 비드의 양은 340 g이었다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 정전기 측정

다양한 물질로 코팅된 글래스 비드를 사용하여 정전기 측정을 하기 전에 먼저 코팅하지 않은 글래스 비드를 사용하여 정전기 측정을 실시한 결과 PE bag에 붙은 글래스 비드의 질량 분율은 13 wt%임을 알 수 있었다. 또한, LIR 5% 용액, 실리콘 오일, vinyl triethoxyorthosilane (VTEO), 1,2-bis-(triethoxysilyl) ethane (TESPA)와 tetraethyl orthosilicate (TEOS)의 3 : 7 혼합액 등을 사용하여 코팅한

Table 2. Effect of VTEO Amount on Static Electricity and Hydrophilicity

VTEO amount ^(c)	Hydrophilicity ^(a) (mm)	Static electricity ^(b) (%)
0.01 g	7.1 ± 0.9	12 ± 2
0.02 g	8.2 ± 1.1	13 ± 3
0.03 g	10.1 ± 1.0	16 ± 6

^(a) Water level measured using a 50 mL graduated cylinder.

^(b) Weight % of glass beads attached in a PE bag.

^(c) The weight of glass beads coated was 50 g.

Table 3. Balance Test Results

TESPA/TEOS	w/o coating	1/9	3/7	4/6
Imbalance (g)	60	30	0	0
Charged time (min)	4	60	300	240

글래스 비드를 사용하여 정전기 측정을 실시하였으며 그 결과를 Table 1에 나타내었다. 실리콘 오일과 TESPA/TEOS (3/7)로 코팅한 글래스 비드의 경우 코팅하지 않은 글래스 비드의 경우보다 작은 정전기 경향을 나타낸 반면, LIR 5% 용액으로 코팅한 경우에는 코팅하지 않은 글래스 비드보다 높은 정전기 경향을 보였다. 한편, VTEO로 코팅한 글래스 비드의 경우에는 순수한 글래스 비드와 비슷한 정전기 경향을 나타내었다. 다양한 종류의 글래스 비드의 정전기 경향을 정리하여 나타내면 Silicone Oil, TESPA/TEOS (3/7) < VTEO, 순수한 글래스 비드 << LIR의 순서임을 알 수 있다.

3.2. 친수성 측정

코팅된 글래스 비드를 사용하여 친수성 정도를 측정하기 전에 먼저 코팅하지 않은 글래스 비드를 사용하여 실험을 실시한 결과 50 mL 메스실린더를 사용하여 측정한 수면의 높이는 10.6 mL 이었다. 코팅된 글래스 비드의 경우 모든 경우에 순수한 글래스 비드보다 친수성 정도가 감소되었다. 다양한 종류의 글래스 비드의 친수성 경향을 정리하여 나타내면 TESPA/TEOS (3/7) < VTEO < LIR, silicone oil < 순수한 글래스 비드 순서이었다. 그러나, LIR과 silicone oil의 경우 순수한 글래스 비드에 비해서 친수성의 감소 정도가 미미하므로 TESPA/TEOS (3/7)와 VTEO로 코팅한 글래스 비드가 유력한 밸런싱 물질임을 알 수 있다.

3.3. 코팅제 양의 영향

VTEO의 양을 변화시키면서 글래스 비드를 코팅한 후 정전기 실험과 친수성 실험을 실시하고 코팅양이 정전기와 친수성 정도에 미치는 영향을 살펴보았다(Table 2). 코팅제 양이 증가함에 따라 정전기 경향이 증가하였으나 친수성 정도도 함께 증가하므로 0.01 g 이상 코팅하는 것은 큰 의미가 없음을 알 수 있다.

3.4. 타이어 밸런스 측정

다양한 비율의 TESPA/TEOS 혼합물을 사용하여 코팅한 글래스 비드를 타이어에 삽입한 후 트럭/버스용 타이어의 고속밸런스를 확인하는 방법을 사용하여 타이어의 밸런스를 측정하였다(Table 3). 이때 타이어는 12R22.5 규격의 것을 사용하였으며 130 km/h의 속도에서 평가하였다. Table 3에서 imbalance (불균일 중량)은 글래

**Figure 4. Photograph of the inside of tire after driving.**

스 비드 340 g을 투입한 후에도 여전히 필요한 고정식 중량체(납)의 필요량이다. 코팅하지 않은 글래스 비드의 경우 340 g을 타이어에 투여하였음에도 불구하고 타이어의 밸런스를 맞추기 위해서는 여전히 60 g의 중량체(납)이 필요하였다. 또한, TESPA/TEOS 혼합물로 코팅한 글래스 비드의 경우에도 1/9의 비로 혼합한 용액으로 코팅한 경우에는 불균일 중량이 여전히 30 g 남아 있었다. 그러나, 3/7 이상의 비로 혼합한 용액으로 코팅한 글래스 비드의 경우에는 불균일 중량이 0으로 만족한 결과를 얻었다. Table 3에서 charged time (대전시간)은 자동차가 정차한 후 글래스 비드가 타이어 위쪽에 붙어 있는 시간을 나타낸 것으로 코팅하지 않은 글래스 비드의 경우에는 4 min으로 매우 짧은 것을 알 수 있다. 반면에 TESPA/TEOS (3/7) 혼합물로 코팅한 글래스 비드의 경우에는 대전시간이 300 min으로 매우 길므로 자동차가 주행 중 정차하였을 때에도 상당 시간 동안 타이어 내부와의 정전기를 유지함을 알 수 있다. Figure 4는 TESPA/TEOS (3/7) 혼합물로 코팅한 글래스 비드를 타이어에 삽입하고 20 km 주행 후 타이어를 탈착해서 타이어 내부에서 글래스 비드가 어떠한 상태로 존재하는지 확인한 사진으로 타이어의 최적 밸런스를 유지하기 위해 글래스 비드가 타이어의 인너라이너 부분에 접촉하여 장시간 분포하고 있음을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 다양한 물질로 글래스 비드를 코팅하고 타이어 밸런싱 물질로서의 응용 가능성을 정전기 특성, 친수성 정도, 그리고 타이어 밸런스를 측정하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) VTEO와 TESPA/TEOS (3/7)로 코팅한 글래스 비드의 경우 정전기 특성과 친수성 정도에서 비교적 만족스런 결과를 얻었다.
- 2) VTEO로 코팅한 경우에는 코팅하는 양을 기준치보다 증가시킴에 따라 친수성과 정전기가 동시에 증가하여서 개선 효과가 없었다.
- 3) TESPA/TEOS 혼합물로 코팅한 글래스 비드의 경우에는 타이어

밸런스 측정 결과 3/7 이상의 비율로 혼합한 경우에 바람직한 결과를 얻었다.

감 사

이 논문은 한밭대학교 화학소재상용화지역혁신센터(IACM RIC)의 지원을 받았으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. H. W. Kim, Tire Engineering, Golden Bell, Seoul (2000).
2. http://en.wikipedia.org/wiki/Tire_balance
3. <http://www.epa.gov/minimize/leadtire.htm>
4. <http://www.leadfreewheels.org/>
5. U. S. Patent 5,766,501 (1998).
6. U. S. Patent 6,249,971 (2001).
7. U. S. Patent 6,128,952 (2000).
8. U. S. Patent 7,360,846 (2008).