

에어백 범퍼의 충격 에너지 흡수 거동

류한선, 정관수, 윤재륜
서울대학교 공과대학 재료공학부

Collision Energy Absorption of Airbag Bumpers

Hansun Ryou, Kwansoo Chung and Jae Ryoun Youn

School of Materials Science and Engineering, College of Engineering, Seoul National University, 56-1, The Korean Fiber Society, Seoul, Korea
Shinlim-dong, Kwanak-ku, Seoul 151-742, South Korea

1. 서론

자동차 차체 제작을 위해서는 차체의 견고성과 승객의 안전성을 동시에 고려하여 너무 강하거나 너무 무르지 않은 재료의 선택과 차체 설계의 최적화가 요구된다. 본 논문에서는 차량 충돌 시 자동차의 안전도를 향상시키면서 차량의 손상을 최소화함으로써 수리비를 절감하기 위한 목적으로 TPU(Thermoplastic Polyurethane Elastomer)에 공기를 채워서 만든 에어백 자동차 범퍼를 개발하였다. 이를 위해 중속 충돌 시(15km/h) 자동차의 충격 흡수 성능을 예측하고자 ABAQUS/Explicit[1]을 이용하여 유한 요소 해석을 수행하였으며, 이러한 해석 결과를 실제 차량을 이용한 충돌 실험 결과와 비교 검증함으로써 최적의 에어백 자동차 범퍼를 효과적으로 개발하였다.

2. 유한요소해석

에어백 범퍼의 충격 거동의 해석을 위하여 상용프로그램인 ABAQUS/Explicit을 사용하였다. 해석하고자 하는 에어백은 TPU(Thermoplastic Polyurethane elastomer) sheet에 공기를 주입하여 기둥형 주머니로 만들었으며 이를 FRP(Fiber Reinforced Plastics)로 만든 범퍼 레일에 부착하여 에어백 범퍼를 만들었다. 해석 조건은 중속 오프셋 충돌 기준(15km/h, 40% offset crash)에 맞추어 해석하였다[2,3].

2.1 범퍼 레일의 두께가 다른 에어백의 해석

범퍼 레일의 두께에 따른 완충 능력의 변화를 고려하기 위하여 각각의 내압에 따라 범퍼 레일의 두께를 다르게 하여 최대 가속도 값을 구하였다. Figure 1은 TPU 두께가 4mm인 에어백의 내압이 40psi일때 범퍼 레일의 두께가 균일한 경우, 9mm에서

17mm로 변할 때 최대 가속도 값의 경향을 그래프로 나타낸 것이다. 경향을 보면 두께가 증가할수록 가속도 값은 감소하다가 어느 지점에 이르러서는 다시 증가함을 알 수 있다. 이것은 범퍼 레일의 두께가 매우 두꺼우면 충격체와 충돌을 하더라도 많은 변형이 일어나지 않으며 범퍼 레일의 변형에 의한 완충 능력이 없기 때문에 가속도 값이 크게 나오는 것이다. 하지만 범퍼 레일의 두께가 얇아질수록 범퍼 레일의 변형은 점점 커지게 되며, 범퍼 레일과 에어백 자체의 변형이 커지면서 범퍼의 완충 능력은 향상되어 최대 가속도 값은 감소하게 되는 것이다. 그러나 범퍼 레일의 두께가 얇아질수록 무한히 최대 가속도 값이 감소하는 것은 아니며, 어느 한계점에 이르면 에어백 자체에 대한 범퍼 레일의 지지력 부족으로 에어백에 의한 완충 능력이 저하함으로써 다시 최대 가속도 값이 증가하게 되는 것이다.

2.2 범퍼 레일의 단면 모양에 따른 에어백 해석

다음으로 고려해 본 것은 범퍼 레일의 단면 모양에 따른 에어백의 완충 능력이다. 이번 해석에서는 두 가지 범퍼 레일의 단면을 사용하였다. Figure 2 (a) 와 (b)에서 보여진 2개의 단면 모양 중 A type은 더 큰 단면적을 가지고 있지만 2차 관성 모멘트 값이 거의 같으며 최대 가속도 값을 구해본 결과는 Table 1과 같이 거의 같은 값으로 측정되었다. 결과에서 볼 수 있듯이 단면의 모양이 다르더라도 2차 관성 모멘트 값이 같으면 같은 완충 능력을 가진다는 사실을 알 수 있다. 이러한 해석 결과로부터 완충 능력은 단면적에 관계하는 것이 아니라 2차 관성 모멘트 값에 관계하므로 단면 모양은 다르더라도 2차 관성 모멘트 값은 같도록 단면을 설계하면 같은 완충 효과를 가지더라도 좀 더 가벼운 범퍼 레일을 사용할 수 있다는 사실을 알 수 있다.

3. 실험

3.1 대차 충돌 실험을 통한 충격흡수성능

충돌 실험을 위하여 차량의 본넷 내부의 엔진을 비롯한 각종 부품들을 해체하고 충돌 실험 후 차량의 파손을 막기 위하여 앞부분에 지지대를 부착한 대차를 제작하여 사용하였다. 우선 충격 흡수를 최적으로 할 수 있는 범퍼 레일의 두께를 찾기 위하여 다른 조건을 동일하게 유지시키고 범퍼 레일의 두께를 4mm, 7mm, 10mm, 15mm로 변화시키면서 충돌 실험을 시행하였으며, 차체의 무게는 1,228kg인 대차를 사용하여 실험하였다. 실제 범퍼와 유사하게 하기 위하여 'ㄷ'자 모양으로 범퍼를 설계하였으며, 그 안에 에어백이 모두 들어갈 수 있게 만들었다.

충돌 실험 결과 범퍼 레일의 두께가 4mm일 때는 G 값($1G=9.8m/s^2$)이 15.35, 7mm일 때는 13.36, 10mm일 때는 11.46, 15mm일 때는 21.41로 나타나고 있다. 이 결과는 유한요소해석으로 구해본 결과와 같은 경향을 나타내고 있다. 즉 범퍼 레일의 두께가 너무 얇을 때는 에어백이 거의 충격 에너지를 흡수하지 못하고 범퍼 레일 부분이 파손되었기 때문에 G 값이 크게 나왔으며 범퍼 레일의 두께가 두꺼울 때는 충돌

후에 범퍼 레일의 변형이 거의 일어나지 않으며 범퍼 레일의 변형에 의한 완충 효과가 없기 때문에 G값이 크게 측정된 것이다. 이 실험의 결과, 가장 완충 능력이 좋은 범퍼 레일의 두께는 10mm로 측정되었다. 하지만 충돌 실험 후 대차의 파손을 막기 위하여 부착한 지지대가 범퍼 레일의 두께를 늘리는 역할을 하였기 때문에, 이러한 지지대가 없는 실차 실험에서는 10mm보다 두꺼운 두께의 범퍼 레일이 최적의 완충 능력을 보여줄 것이다.

3.2 실차 충돌 실험을 통한 에어백의 성능 향상 평가

실차 실험에 실제 사용된 차량은 중량이 1,535kg이며 대차 실험을 통해 얻어진 경험을 바탕으로 두께가 8mm인 범퍼 레일 뒤에 얇은 철판을 추가 부착하여 두께를 늘이는 효과를 준 후 실험했으며 이 때 내압을 57psi로 하였다. 실험 결과 G값은 10.79 이었으며 본래 범퍼에 비하여 실제 파손정도는 많이 감소하였다.

기존 범퍼를 사용한 차량과 에어백 범퍼를 사용한 차량의 손상 수리비는 각각 1,081,410원과 718,289원으로써 에어백을 사용한 경우 차량의 파손이 약 30%정도 감소했으며, 손상 부품 수는 39개와 20개으로써 50%정도가 감소한 것으로 보아 범퍼에 에어백을 장착한 차량의 향상된 완충 능력을 확인할 수 있었다.

4. 요약

본 논문에서는 차량 충돌 시 자동차의 안전도를 향상시키며 차량의 손상을 최소화함으로써 수리비를 절감하기 위한 목적으로 TPU에 공기를 채워서 만든 에어백 자동차 범퍼를 개발하였다. 에어백의 완충 능력에 영향을 미치는 인자로는 범퍼 레일의 두께, 범퍼 레일의 모양 등이 있다. 범퍼 레일의 두께는 너무 얇거나 두꺼우면 완충 효과가 없기 때문에 유한요소해석과 실험을 통하여 최적의 완충 효과가 부여될 수 있는 조건을 찾을 수 있었으며, 범퍼 레일의 모양 변경에 의하여 같은 완충 효과를 가지면서도 좀 더 가벼운 범퍼 레일을 설계할 수 있도록 하였다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부의 산업기술개발사업을 통하여 지원되었으며 이에 감사드립니다.

5. 참고문헌

1. ABAQUS, Hibbit, Karlsson & Sorenson Inc. 1080 main street, Providence, Rhode Island, USA
2. D. Friedman, K. Friedman, "Frontal Offset and Angled Impact Passive Protection", *SAE paper No. 930637*, 1993.

3. K. H. Baumann, L. Grosesch etc, "Frontal Offset Crash Testing for Approx. 15 Years: Results, Experiences and Consequences", *SAE paper No. 900413*, 1990.

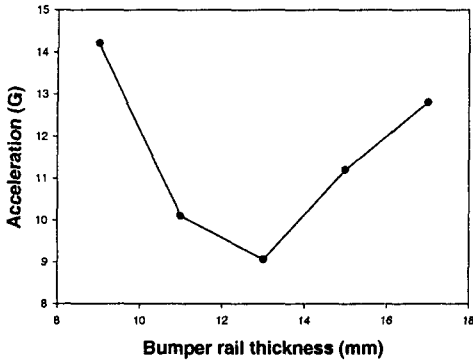


Figure 1. Effect of bumper rail thicknesses on acceleration
(internal pressure : 40psi, TPU thickness : 4mm)

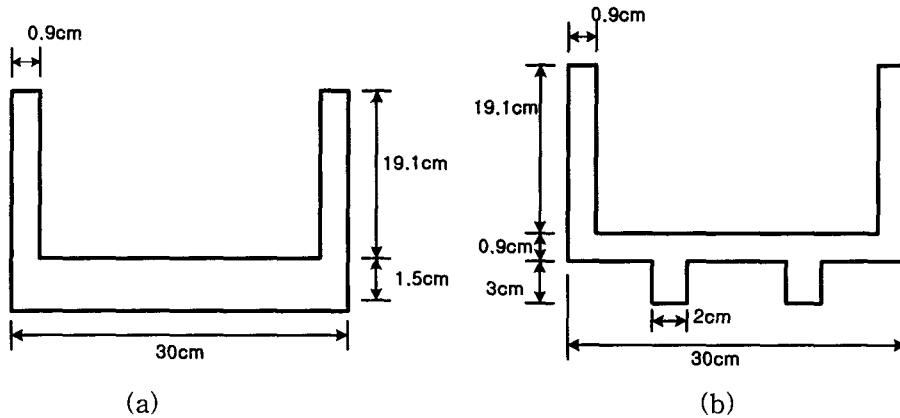


Figure 2. Two different cross sections of the bumper rail
(a) A type (b) B type

Table 1. Effect of cross sections on acceleration

	Cross section area (cm^2)	I_{zz} (cm^4)	Acceleration(G)
A type	79.38	3121	7.6
B type	73.38	3141	7.7