

알루미늄 폼을 사용한 자동차 범퍼 빔의 설계 및 충돌해석

방승옥¹, 김세환², 조재웅^{2*}

¹공주대학교 대학원 기계공학과, ²공주대학교 기계자동차공학부

Design and Impact Analysis of Automotive Bumper Beam Using Aluminum Foam

Seung-Ok Bang¹, Sei-Hwan Kim² and Jae-Ung Cho^{2*}

¹Division of Mechanical Engineering, Graduate School, Kongju University

²Division of Mechanical & Automotive Engineering, Kongju University

요약 본 논문에서는 알루미늄 폼을 사용한 자동차 범퍼 빔을 설계하고 충돌해석을 수행하였다. 해석모델은 B형 단면 구조를 갖는 실제 크기의 범퍼 빔이다. 저속 정면충돌 시 알루미늄 폼 범퍼 빔의 변형량 및 내부 에너지 거동을 예측할 수 있는 ANSYS AUTODYN을 이용하였다. 7075-T6 알루미늄 합금을 사용하여 철강 재질의 빔보다 55 %의 중량 감소를 얻을 수 있었으며 알루미늄 폼을 사용한 범퍼 빔의 변형량은 철강 빔과 비슷하지만 충돌에너지의 감소가 더 큰 것을 확인할 수 있었다. 또한, 알루미늄 폼의 완충보다는 50 % 충전 시 충돌에너지 흡수가 더 좋았다.

Abstract In this paper, the automotive beam using aluminium foam is designed and the impact analysis is carried out. The analysis model is the beam of actual size with B-type section structure. At the frontal crash of low speed, ANSYS AUTODYN is used by predicting the behavior of deformation and its internal energy. By the use of 7075-T6 aluminum alloy, the weight is reduced as much as 55% than steel. The deformation at the bumper foam of aluminum is similar with that of steel and the impact energy reduction at aluminum is more than steel. The foam filled with aluminum as much as 50 % has more impact energy absorption than the completely filled aluminum foam.

Key Words : Impact Analysis, Internal Energy, Bumper Beam, Aluminum Foam, Frontal Crash

1. 서론

오늘날 자동차 산업은 차체 경량화와 차량 충돌 안전 측면에 중점을 두고 기술개발이 이루어지고 있으며, 차체 경량화를 위하여 알루미늄, 플라스틱, 복합재료 등과 같은 재료들이 사용되고 있다. 그 중에서도 알루미늄은 합금의 형태로 주어진 경우 경량특성 외에도 비강도, 내식성, 열전도성 등이 향상된다고 알려져 있다[1].

유럽, 북미, 일본 등 대부분의 선진업체에서는 기존에 사용하던 강판을 대신하여 알루미늄 범퍼 빔을 양산에 적용하고 있지만 국내에서는 그 활용이 저조하기 때문에

경량 고강도 알루미늄 범퍼 빔의 개발과 실용화가 시급한 실정이다[2].

최근에는 알루미늄 폼을 차량에 적용하는 연구가 활발히 진행되고 있으며, 알루미늄 폼은 초경량·내열·내충격 복합합금으로 사용될 수 있는 소재로서 기존의 철제보다 무게는 작지만 강성은 높은 특성을 가지고 있다.

충돌 안전성과 밀접한 관련이 있는 자동차 범퍼는 차체의 전·후방에 각각 장착되어 대물충돌이나 저속 충돌 시 차량 및 탑승자를 보호하는 역할을 한다. 일반적으로 범퍼는 커버(Cover), 충격흡수재(Energy Absorber), 범퍼 빔(Bumper Beam), 차체연결부(Stay) 등으로 구성되며 차

공주대학교 산학협력단에서 지원하는 산학연구장학금을 통하여 연구에 정진할 수 있게 도움을 주신 산학협력단장 및 관계자 분들께 감사드립니다.

*교신저자 : 조재웅(jucho@kongju.ac.kr)

접수일 11년 02월 14일

수정일 11년 02월 18일

게재확정일 11년 04월 07일

체연결부를 통해 차체 사이드 멤버(Side Member)에 장착되어 충돌 시 대부분의 충돌에너지를 흡수하게 된다 [3-5].

충격흡수재 안쪽에 위치하는 범퍼 빔은 범퍼 시스템의 주요 구성인자로서 차량의 저속 충돌 시 충돌에너지 흡수재가 충분히 에너지를 흡수할 수 있도록 지지함과 동시에 여분의 에너지를 흡수하여 저속 충돌 시 차체 및 부품 손상을 방지하기 위하여 충돌에너지를 감소시켜주는 역할을 한다.

현재 많은 자동차업체들에서는 각종 자동차용 부품의 충돌성능 평가를 위해 유한요소해석(CAE)을 적용하여 설계에 이용하고 있으며, 그 범위는 점차 넓어지고 있다 [6-8].

본 연구에서는 자동차 범퍼 빔에 알루미늄 폼을 적용하고, 알루미늄 폼의 충전 정도 및 범퍼 빔 두께에 따른 충돌해석을 수행한다. 이러한 해석을 통하여 충돌에너지 흡수 및 변형량을 예측하고 충돌성능이 높은 범퍼 빔을 설계하고자 한다.

2. 해석모델 및 충돌해석

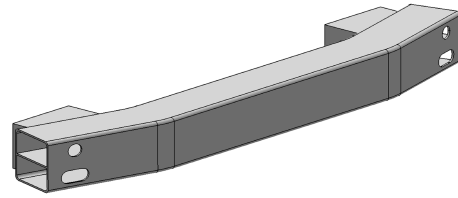
2.1 해석모델

본 해석에 사용된 모델은 그림 1과 같이 차량의 앞부분에 장착되는 범퍼 빔으로서 B형 단면 구조를 갖는다.



[그림 1] 범퍼 빔의 형상 및 장착위치

해석을 위하여 범퍼 빔은 그림 2와 같이 길이 720 mm, 폭 80 mm, 높이 73 mm, 두께 1.5 mm와 2.5 mm 및 3.0 mm의 치수로 모델링 하였다. 범퍼 빔은 ANSYS에서 제공되는 Al 7075-T6 재질이며, 물성치는 표 1에 나타내었다.

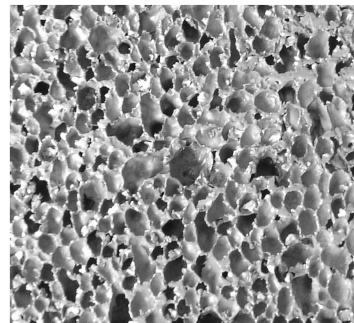


[그림 2] 범퍼 빔 모델

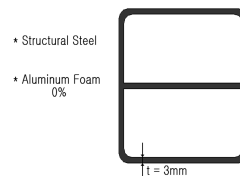
[표 1] Property of Al 7075-T6

Young's Modulus (MPa)	7.17×10 ⁴
Poisson's Ratio	0.33
Mass Density (g/cm ³)	2.81
Tensile Yield Strength (MPa)	503
Tensile Ultimate Strength (MPa)	572

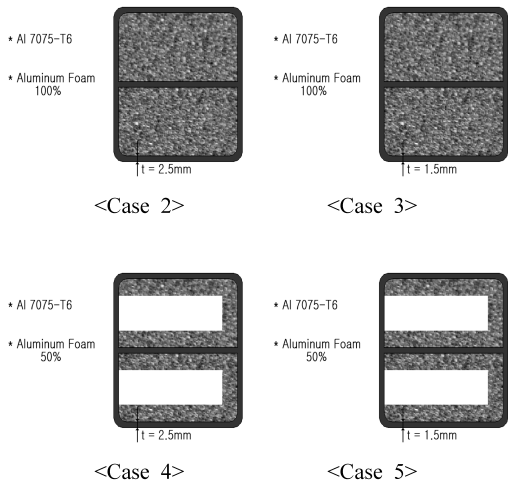
범퍼 빔의 내부에 채워지는 알루미늄 폼은 고체 알루미늄 금속에 비하여 비중이 작고, 충격에너지 흡수가 우수하다. 알루미늄 폼은 다공성 구조체로 그림 3과 같은 조직을 가지며, 본 연구에서는 Closed Cell을 사용하였다. 그림 4에서 Case 1은 구조용 강 재질의 기존 범퍼 빔으로서 3 mm의 두께를 갖으며, Case 2~5는 알루미늄 폼의 충전 정도 및 알루미늄 범퍼 빔의 두께에 따른 형상으로서 총 5 가지로 모델링하였다.



[그림 3] 알루미늄 폼 조직 사진 (Closed Cell)

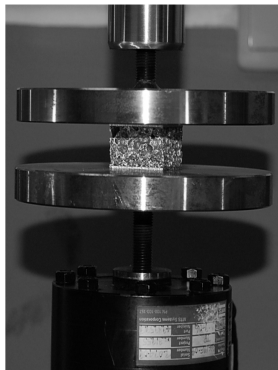


<Case 1>

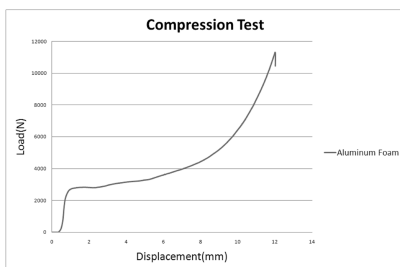


[그림 4] 알루미늄 폼과 범퍼 폼의 조립형상

알루미늄 폼을 적용한 범퍼 빔의 충돌해석을 수행하기 위하여 그림 5와 같이 알루미늄 폼의 기본 물성 테스트를 하였다. 그림 6은 압축실험을 통하여 변위에 따라 알루미늄 폼에 걸리는 하중을 나타낸 그래프이며, 표 2에는 측정된 알루미늄 폼의 기본 물성치의 값을 나타내었다.



[그림 5] 기본 물성 테스트 사진



[그림 6] 압축실험 데이터

[표 2] 알루미늄 폼의 기본 물성치

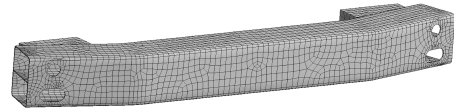
	Aluminum Foam (Closed Cell)
Mass Density (g/cm^3)	0.308
Young's Modulus (MPa)	460
Tensile Yield Strength (MPa)	1.65
Poisson's Ratio	0.33

2.2 충돌해석

2.2.1 경계 및 해석조건

범퍼의 충돌성능 시험은 2.5 MPH(4 km/h) 및 5 MPH(8 km/h)의 충돌법규를 기준으로 사용하고 있으며, 이러한 속도로 충돌 시 차체 및 타 부품에 충격력이 전이하지 않는 충격흡수력을 가지도록 규정하고 있다. 국내에서는 2.5 MPH 충돌법규를 채택하고 있지만 본 연구에서는 5 MPH의 속도로 정면 충돌해석을 수행하였다[9].

원활한 해석을 수행하기 위하여 모델을 그림 7과 같이 Mesh 작업을 하였다.

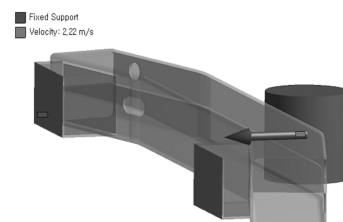


[그림 7] 유한요소 모델

각 Case별 해석모델의 절점 및 요소들의 수는 표 3에 나타내었다. 범퍼 빔의 충돌시간은 1 ms이며, 충돌 후 범퍼 빔의 변형량 및 내부에너지 변화를 분석하였다.

[표 3] 각 Case별 절점 및 요소 개수

구분	Nodes	Elements
Case 1	3,330	10,142
Case 2	5,240	12,220
Case 3	5,452	12,708
Case 4	5,344	12,095
Case 5	5,842	12,808



[그림 8] 구속 및 속도 조건

충돌체의 재료는 구조용 강이고 중량은 대차중량인 1800 kg으로 가정하였으며, 그림 8과 같이 차체에 연결되는 차체연결부를 고정시키고 충돌체는 범퍼 빔 방향으로 2.22 m/s(약 8 km/h)의 속도 조건을 주었다. 차체연결부를 포함하는 각 Case별 범퍼 빔의 중량은 표 4에 나타내었다.

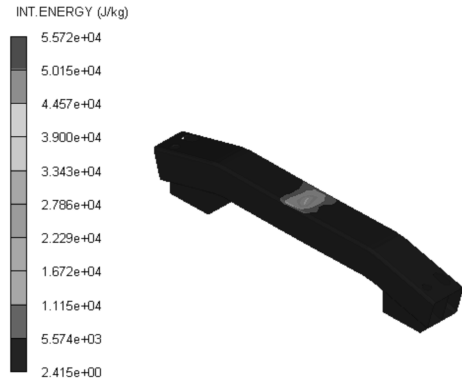
【표 4】 각 Case별 범퍼 빔의 중량

구분	Beam(kg)	Foam(kg)	Total(kg)
Case 1	7.1	-	7.1
Case 2	2.1	1.1	3.2
Case 3	1.4	1.1	2.5
Case 4	2.1	0.6	2.7
Case 5	1.4	0.6	2.0

2.2.2 해석결과

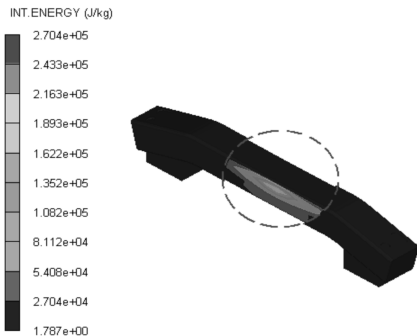
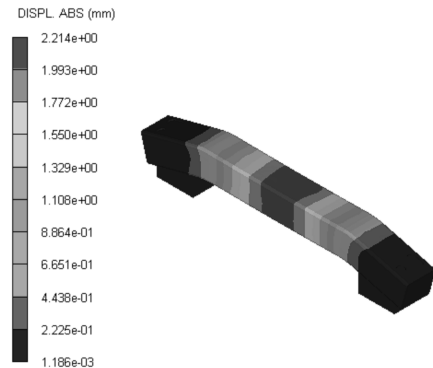
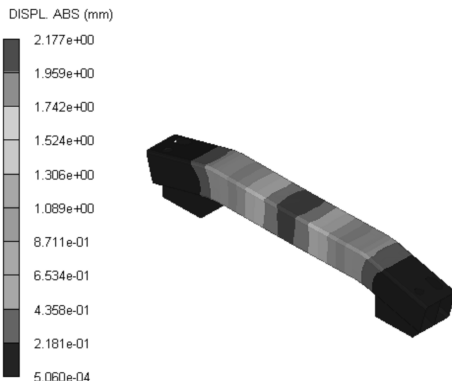
알루미늄 폼을 적용한 범퍼 빔의 형상에 따른 충격에너지 흡수의 정도를 범퍼 빔의 최대 내부에너지와 차체연결부에 전달되는 최대 내부에너지의 차를 통하여 확인하고 변형량을 분석하였다.

Case 1의 변형량 및 내부에너지는 그림 9와 같다. 변형량은 범퍼 빔의 중앙 부분에서 최대 2.177 mm이며 충돌 후 발생한 최대 내부에너지는 5.572e+04 J/kg이고 차체연결부에 발생하는 최대 내부에너지는 9.407e+03 J/kg이다. 중량은 7.1 kg으로 무겁고 충돌에너지의 흡수율은 83.1 %로 가장 나쁘지만 변형량이 가장 작았다.



【그림 9】 Case 1의 변형량 및 내부에너지

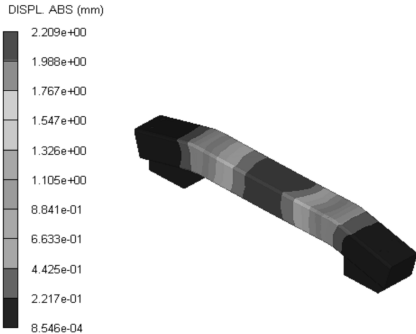
Case 2의 변형량 및 내부에너지는 그림 10과 같다. 변형량은 최고 2.214 mm이며 충돌 후 발생한 최대 내부에너지는 2.704e+05 J/kg, 차체연결부에는 8.444e+03 J/kg이 발생하였다.



【그림 10】 Case 2의 변형량 및 내부에너지

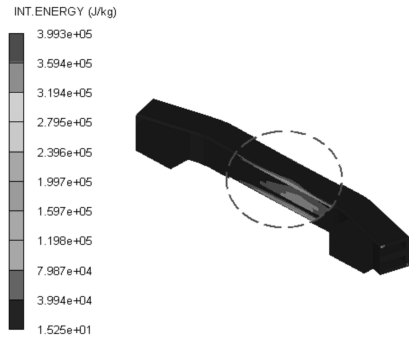
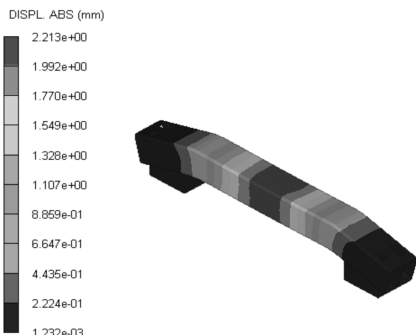
Case 3의 변형량 및 내부에너지는 그림 11과 같다. 변형량은 최고 2.209 mm이며 충돌 후 발생한 최대 내부에너지는 8.446e+05 J/kg이고 차체연결부에 발생하는 최대

내부에너지는 5.290e+ 04 J/kg이다. 중량이 2.5 kg이고 변형량도 2.2 mm 정도로 작지만 충돌에너지의 흡수율이 93.7 %로 알루미늄 폼을 적용한 다른 범퍼 빔에 비하여 흡수 능력이 저조한 것을 볼 수 있었다.



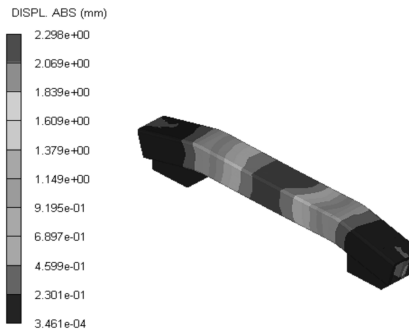
[그림 11] Case 3의 변형량 및 내부에너지

Case 4의 변형량 및 내부에너지는 그림 12와 같다. 변형량은 최고 2.213 mm이며 충돌 후 발생한 최대 내부에너지는 3.993e+05 J/kg이고 차체연결부에 발생하는 최대 내부에너지는 1.989e+03 J/kg이다. 중량은 2.7 kg이고 변형량은 2.2 mm로 다른 알루미늄 폼 범퍼 빔들과 비슷하지만 충돌에너지의 흡수율이 99.5 %로 가장 높았다.



[그림 12] Case 4의 변형량 및 내부에너지

Case 5의 변형량 및 내부에너지는 그림 13과 같다. 변형량은 최고 2.298 mm이며 충돌 후 발생한 최대 내부에너지는 2.892e+06 J/kg이고 차체연결부에 발생하는 최대 내부에너지는 1.023e+05 J/kg이다. 중량은 2.0 kg으로 가장 작았다.



[그림 13] Case 5의 변형량 및 내부에너지

각 Case별 해석결과를 정리하면 표 5와 같다. 변형량은 철강을 사용한 Case 1과 알루미늄 폼을 사용한 Case 2~5가 거의 비슷한 것을 볼 수 있었으며, 내부 에너지의 감소율은 Case 1부터 Case 5까지 각각 83.1 %, 96.9 %, 93.7 %, 99.5 %, 96.5 %로 나왔다.

[표 5] 각 Case별 변형량 및 내부에너지 값

	DISPL. ABS (mm)	INT. Energy (J/kg)	
		Bumper Beam	Stay
Case 1	2.177	55,720	9,407
Case 2	2.214	270,400	8,444
Case 3	2.209	844,600	52,900
Case 4	2.213	399,300	1,989
Case 5	2.298	2,892,000	102,300

3. 결론

본 논문에서는 범퍼 빔 내부에 채워지는 알루미늄 폼의 충전 정도와 알루미늄 범퍼 빔 두께에 변화를 준 후 저속 충돌해석을 수행한 결과, 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 알루미늄 폼의 물성치 측정 실험을 통하여 인장 및 항복강도 등의 기본 물성데이터를 확보하였다.
2. 기존 철강 재질의 범퍼 빔을 대신하여 알루미늄 재질을 사용함으로써 55 % 이상의 경량화가 가능하다.
3. 충돌에 의한 변형량은 비슷하지만 알루미늄 폼을 사용한 범퍼 빔이 충돌에너지 흡수가 좋으며, 알루미늄 폼의 완충보다는 50 % 충전 되었을 때 충격 흡수율이 높다.
4. 경량화와 변형량 및 내부 에너지 감소율 등을 전체적으로 비교했을 때, Case 4의 경우가 가장 우수한 성능을 갖는 것으로 판단된다.

참고문헌

[1] 이상제, 박진수, 구도희, “차량경량화를 위한 재료기술의 개발과 적용사례”, 한국자동차공학회 춘계학술대회 논문집, 제3호, pp. 1145-1151, 5월, 2002.

[2] 강동포, 이우식, 이규현, 김대업, “경량 고강도 알루미늄 범퍼 빔 개발”, 한국자동차공학회 춘계학술대회 논문집, 제2권, pp. 929-935, 6월, 2004.

[3] 강성중, “충돌성능을 고려한 승용차 범퍼빔 단면의 최적화”, 한국자동차공학회 논문집, 제6권, 제6호, pp. 276-284, 11월, 1998.

[4] 김명훈, 김상하, 하성규, “빔이론을 이용한 차량용 프런트범퍼의 구조해석 및 최적설계”, 대한기계학회 논문집 A권, 제23권, 제12호, pp. 2309-2319, 12월, 1999.

[5] 이권희, 주원식, “직교배열표를 이용한 승용차 앞 범퍼의 최적설계”, 한국자동차공학회 논문집, 제10권, 제6호, pp. 125-132, 11월, 2002.

[6] 장익근, 전오환, 김호중, 허용정, “트리즈를 활용한 자동차 측면충돌의 도어트림 충격흡수부재의 충돌에너지 조절문제 해결에 관한 연구”, 한국산학기술학회 춘계학술발표논문집, pp. 28-31, 5월, 2007.

[7] 김명훈, 조성수, 하성규, “차량용 알루미늄 범퍼의 구조해석 및 설계”, 한국자동차공학회 논문집, 제7권, 제4호, pp. 217-227, 4월, 1999.

[8] 이재완, 윤경한, 강연수, 박경택, 박경진, “보행자 법규와 자동차 후드 및 범퍼 구조물 설계방안”, 한국자동차공학회 논문집, 제13권, 제3호, pp. 162-170, 5월, 2005.

[9] 강형선, “충격성능 및 보행자 보호규제를 만족하는 범퍼 단면결정 설계기술 개발 (CAD/CAM 활용을 위한)”, 한국산학기술학회논문지, 제8권, 제5호, pp. 968-972, 10월, 2007.

방 승 옥(Seung-Ok Bang)

[준회원]



- 2010년 2월 : 공주대학교 자동차공학과 (공학사)
- 2010년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 기계공학과 (공학석사)

<관심분야>

기계 및 자동차 부품 설계 및 내구성 평가, 피로 또는 충돌 시 동적 해석

김 세 환(Sei-Hwan Kim)

[종신회원]



- 1971년 2월 : 수도공과대학 기계공학과 (공학사)
- 1986년 2월 : 국민대학교 대학원 기계설계학과 (공학석사)
- 1997년 2월 : 국민대학교 대학원 기계설계학과 (공학박사)
- 1979년 2월 : (주) 삼아 공장장
- 1982년 3월 : 천안공업대학 금형설계과 교수
- 2010년 2월 : 공주대학교 기계자동차공학부 교수

<관심분야>

프레스 금형, 단조가공, 금형열처리

조 재 응(Jae-Ung Cho)

[정회원]



- 1980년 2월 : 인하대학교 기계공학과 (공학사)
- 1982년 2월 : 인하대학교 기계공학과 (공학석사)
- 1986년 8월 : 인하대학교 기계공학과 (공학박사)
- 1988년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 기계·자동차공학부 교수

<관심분야>

기계 및 자동차 부품 설계 및 내구성 평가,
피로 또는 충돌 시 동적 해석