

## 충돌에 대한 흡수 성능을 가진 크래쉬 박스의 형상설계

조재웅\*, 한문식<sup>+</sup>

(논문접수일 2010. 11. 2, 심사완료일 2010. 12. 27)

### Shape Design of Crash Box with Absorption Performance against Impact

Jae-Ung Cho\*, Moon-Sik Han<sup>+</sup>

#### Abstract

Crash box is introduced to vehicle design to improve the impact performance and reduce the damage of vehicle body at impact speed. The crash box behind bumper can absorb impact energy effectively to improve vehicle safety. Repair cost at collision accident can be cut down by use of this box. The configuration of car body must be designed by considering the characteristic of material due to the deformation of car body happened at impact. Many papers have been published about material of crash box all over the world. The study of crash box with tube expansion type has been going on Korea. This study is done by the simulation analysis about front collisions against 5 kinds of aluminum crash boxes with the basic structure of square section.

**Key Words :** Crash box(크래쉬 박스), Impact performance(충격 성능), Impact speed(충격 속도), Front collision(정면 충돌), Square section(사각형 단면)

## 1. 서론

최근 연비 절감과 주행안전 및 차량 유지비용을 위해 차체의 경량화와 안전화가 자동차 설계에 있어 매우 중요한 쟁점이 되었다. 차량의 연비 절감효과는 차량 경량화를 통해 획기적으로 얻어낼 수 있으며 다양한 새로운 소재의 적용이 노력되고 있다. 그러나 차량의 경량화는 충돌안전성을 확보한 상태에서 이루어져야 하므로 충돌 시 발생하는 차체의 변형에 의한 재료의 동적 특성을 고려하여 차체의 형상설계가 이루어져야 한다. 일반적으로 알루미늄 차체는 기존 철강재에 대비 동일한 차체 강성을 만족시킨다고 가정할 때 약 30%의 경량효과를 얻어낼 수 있다<sup>(1,2)</sup>. 세계 각국의 보험연구원에서 결성한 국제조직인

RCAR는 차량의 수리성, 손상성 및 안전성의 개선에 의하여 보험 비용을 줄이는 것을 목적으로 저속충돌 성능을 개선한 설계<sup>(3,4)</sup>를 제안함으로써 자동차 제작사들이 차량의 손상성 및 수리성을 최적화 하는데 기여하고 있다. 저속충돌에서의 차체손상과 충돌성능 강화를 위하여 크래쉬 영역에 대한 개념이 설계상에 도입되어 범퍼 이후의 구조물에서 충돌에너지를 효과적으로 흡수할 수 있도록 크래쉬 박스가 적용되었다<sup>(5,6)</sup>. 본 연구에서는 높은 충돌성능 및 경량성을 겸비한 알루미늄 폼 재료의 충격실험에 대한 연구를 진행을 준비 중에 있으며 본 논문은 앞에서 기술한 크래쉬 박스에 이 알루미늄 폼 재료의 적용에 대한 연구를 하기 앞서 보다 효율적인 크래쉬 박스의 조립 형상을 도출하기 위해 진행되었다. 5가지의 사각 크래쉬

\* 공주대학교 기계자동차공학과

+ 교신저자, 계명대학교 기계자동차공학부 (sheffhan@kmu.ac.kr)

주소: 704-701 대구광역시 달서구 달구벌대로 2800

박스의 조립형상을 모델링하여 8000J의 충격에너지가 크래쉬 박스에 전달될 때 어떠한 차이를 보이는지를 확인하였으며 이를 위하여 상용프로그램인 ANSYS AUTODYN이 사용되었다.

## 2. 모델 및 해석방법

### 2.1 유한요소모델

본 연구에서는 사각 크래쉬 박스의 조립형상을 5가지로 구분하여 각 형상의 충돌 성능을 비교 한다. 선택된 5가지 조립형상<sup>(7)</sup>과 치수는 Fig. 1과 같다.

위와 같은 크래쉬 박스 형상에 충격량을 주기 위하여 200×200×100사이즈의 박스가 어셈블리 된다. 크래쉬 박스와 충격 박스의 어셈블리 모습은 Fig. 2에서 확인할 수 있다.

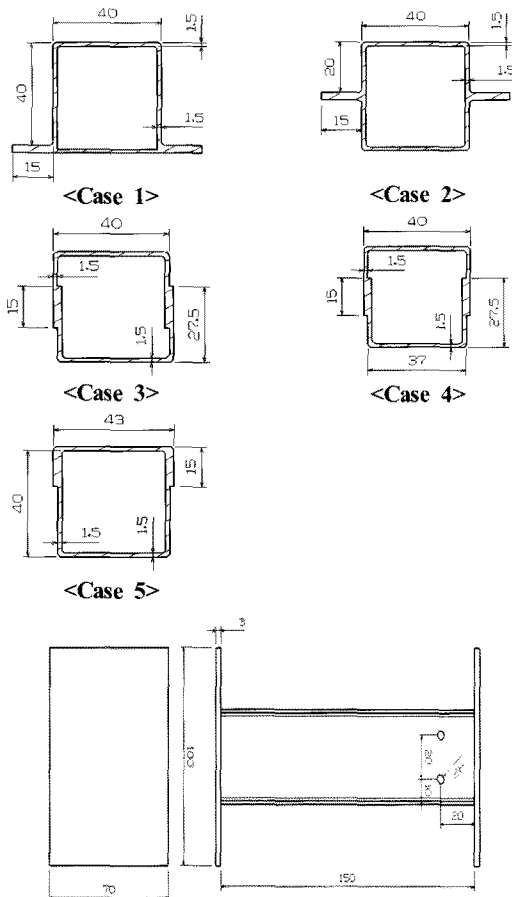


Fig. 1 Square sections and dimension of crash boxes

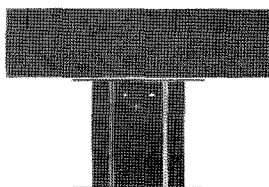


Fig. 2 Assembly of crash box and impact box

크래쉬 박스의 재질은 AL 7075-T6 이고 충격박스의 재질은 Steel 4340 이며 각각의 물성치는 ANSYS에서 제공되며 Table 1, 2에 나타내었다.

### 2.2 해석방법

유한요소 해석을 위하여 각 모델을 매우 작은 요소 및 절점으로 나누었으며 그 모습은 Fig. 3과 같다. 크래쉬 박스는 5mm, 충격박스는 10mm로 meshing 하였다.

각 어셈블리 별 요소 및 절점의 수는 Table 3에 나타내었다.

Fig. 4와 같이 크래쉬 박스 하단 A가 고정된 상태에서, 크래쉬 박스 위의 충격박스가 8000J의 충격량을 전달하기 위한 속도 B로 이동한다. 여기서 충격량 8000J은 범퍼가 충돌에 의해 16000J의 충격량을 받으면 범퍼후방에 장착된 2개의 크래쉬

Table 1 Property of AL 7075-T6

Young's modulus	71.7×103MPa
Poisson's ratio	0.33
Mass density	2.81×10 <sup>-6</sup> kg/mm <sup>3</sup>
Tensile yield strength	503. MPa
Tensile ultimate strength	572. MPa

Table 2 Property of STEEL 4340

Young's modulus	205×103MPa
Poisson's ratio	0.29
Mass density	7.83×10 <sup>-6</sup> kg/mm <sup>3</sup>
Tensile yield strength	470. MPa
Tensile ultimate strength	745. MPa

Table 3 Nodes and elements at cases of 1,2,3,4 and 5

	Nodes	Elements
Case 1	9237	17018
Case 2	9681	18656
Case 3	8897	16024
Case 4	8901	16056
Case 5	8934	16105

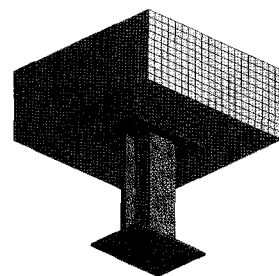


Fig. 3 Finite element division of model

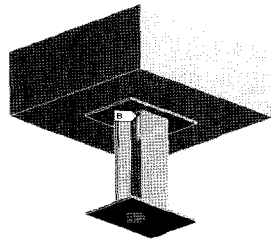


Fig. 4 Constraint condition of model

박스 중 한 개가 받는 충격량으로 이를 얻기 위하여 밀도 7.83g/cm<sup>3</sup>의 Steel 4340 재질 충돌박스가 22573mm/s의 속도로 충돌하도록 하였다<sup>(8)</sup>.

식(1)은 Steel 4340 재질의 200×200×100 사이즈 충돌 박스가 갖는 질량산출식이며

$$20\text{cm} \times 20\text{cm} \times 10\text{cm} \times 7.83\text{g/cm}^3 = 31.32\text{kg} \quad (1)$$

얻어진 질량 31.32kg을 31.4kg으로 올림 한 후 8000J의 충격에너지를 전달할 수 있는 박스의 속도 B를 식(2)와 같이 구하였다.

$$\text{속도} B = 22.573\text{m/s} = 22573\text{mm/s} \quad (2)$$

### 3. 해석 결과

#### 3.1 해석 결과

크래쉬 박스는 범퍼에 가해진 충돌에 의한 충격에너지를 후방의 차체에 최소로 전달하는 데에 그 목적이 있다. 5가지 조립 형상 크래쉬 박스에 8000J의 에너지를 전달하는 충격박스가 충돌한 후 약 3ms후의 모습을 확인한다. 내부에너지는 물체에 축적되는 에너지로 내부에너지의 증가는 물체가 받은 일이 증가함을 의미한다. 크래쉬 박스의 조립 형상에 따른 충격에너지 흡수의 정도를 변형률 및 크래쉬 박스 전반부 최대내부에너지와 후반부 최저내부에너지의 차를 통해 확인한다.

##### 3.1.1 Case 1

Case 1의 크래쉬 박스는 Fig. 5의 방식으로 조립이 되며 크래쉬 박스 한쪽으로 날개와 같은 형상이 존재한다.

Case 1의 변형률 및 내부에너지는 Fig. 6과 같다. 변형률은 최고 1.487이며 이때 발생한 최대 내부에너지는 720.8kJ/kg 이고 크래쉬박스 후방에 발생하는 최저내부에너지는 26kJ/kg으로 전후방 내부에너지의 차는 694.8 kJ/kg이다. 크래쉬 박스의 상단이 충격박스에 충돌되어 짓눌리다가 점차 미끄러져 미끄러지는 방향으로 최대 55.22mm가 슬립되었다.

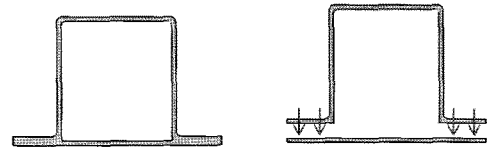


Fig. 5 Section figure and assembly method of case 1

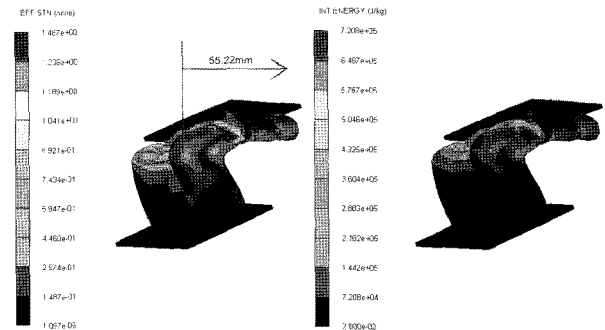


Fig. 6 Strain and internal energy of case 1

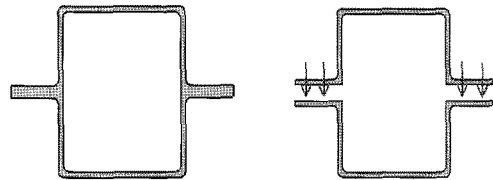


Fig. 7 Section figure and assembly method of case 2

##### 3.1.2 Case 2

Case 2의 크래쉬 박스는 Case 1과 달리, 같은 형상의 판이 대칭적으로 조립되어 날개 형상이 크래쉬 박스 중앙에 생기며 Fig. 7에서 그 모양을 확인할 수 있다.

Case 2의 변형률과 내부에너지는 Fig. 8에서 확인할 수 있다. 이 경우의 최대변형률은 1.497 이었고 발생 최대 내부에너지는 734.3kJ/kg, 최저내부에너지는 35.27kJ/kg이었다. 전후방 내부에너지 차는 699.03kJ/kg이며 Case 1과 마찬가지로 슬립이 크게 발생되어 미끄러지는 방향으로 최대 58.92mm가 이동되었다.

##### 3.1.3 Case 3

Case 3의 경우, 같은 사이즈의 ‘ㄷ’형태의 판이 엇갈리게 조립되는 모양으로 Fig. 9와 같다.

Case 3의 해석결과는 Fig. 10에 나타내었다. 발생 최대변형률 및 최대, 최저내부에너지는 각각 1.490, 736.5kJ/kg, 21.53 kJ/kg 이고 Case 1,2와는 다르게 슬립이 크게 발생하지 않고 약간의 비틀림이 발생하였다. 전후방 내부에너지 차는 714.97 kJ/kg으로 전체 해석 결과에서 가장 큰 값을 보였다.

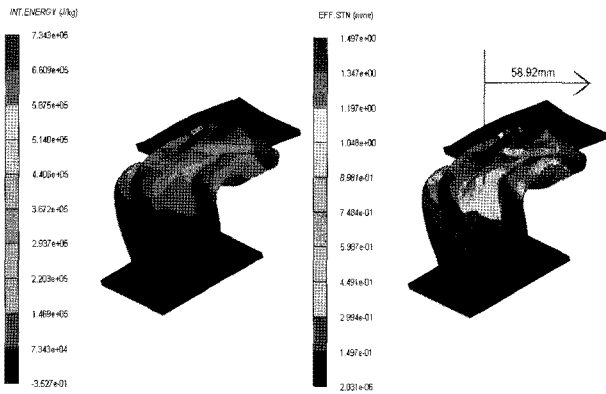


Fig. 8 Strain and internal energy of Case 2

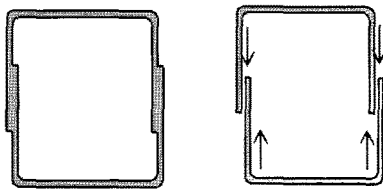


Fig. 9 Section figure and assembly method of case 3

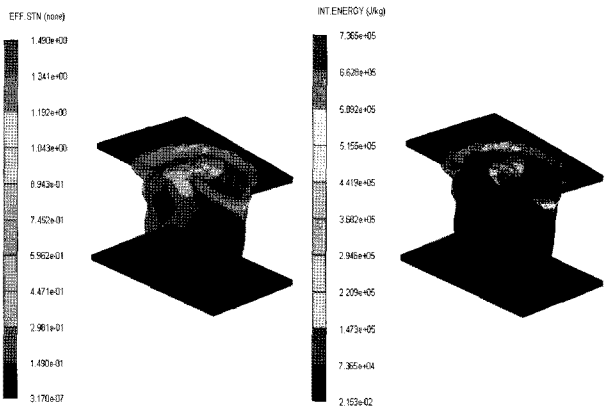


Fig. 10 Strain and internal energy of case 3

### 3.1.4 Case 4

Case 4의 경우의 크래쉬 박스는 아래의 판이 위의 판 안으로 꼭 맞게 맞물리게 하여 위, 아래의 판의 깊이는 같이 하여 조립한 모양으로서 Fig. 11과 같다.

Case 4의 경우에는 최대변형률이 1.496, 최대내부에너지가 721.6kJ/kg, 최저내부에너지가 24.14kJ/kg으로 나타났다. 전후방 내부에너지의 차이는 697.46 kJ/kg이고 슬립도 약간 발생하였으나 Case 1,2에 비해 매우 적은 수치로 나타났다. 해석 결과는 Fig. 12에 나타내었다.

### 3.1.5 Case 5

Case 5의 크래쉬 박스는 깊이가 깊은 아래 판에 뚜껑과 같은 위 판이 덮어씌워지는 조립형태를 갖고, 그 모양은 Fig. 13

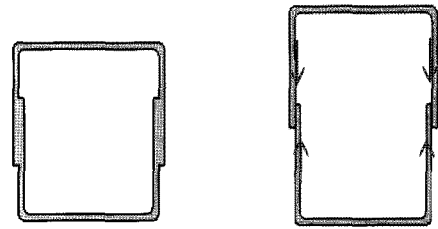


Fig. 11 Section figure and assembly method of case 4

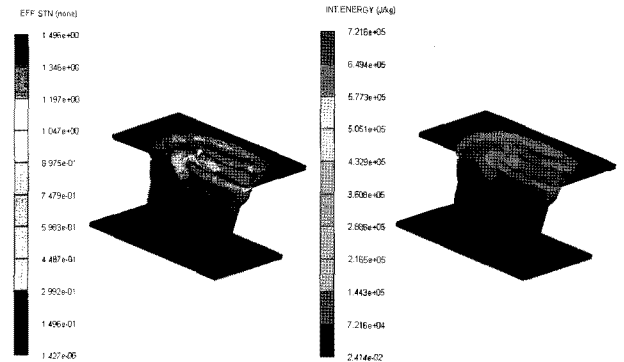


Fig. 12 Strain and internal energy of case 4

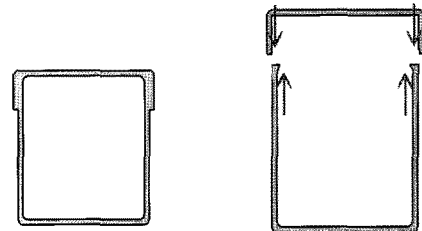


Fig. 13 Section figure and assembly method of case 5

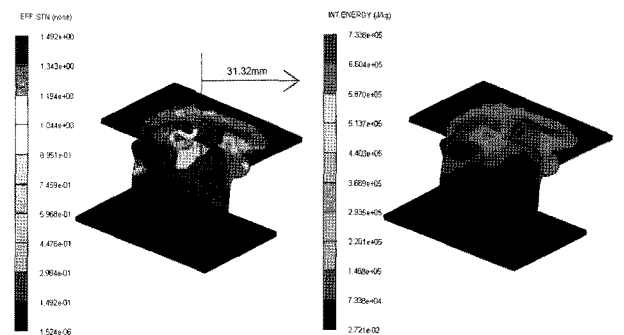


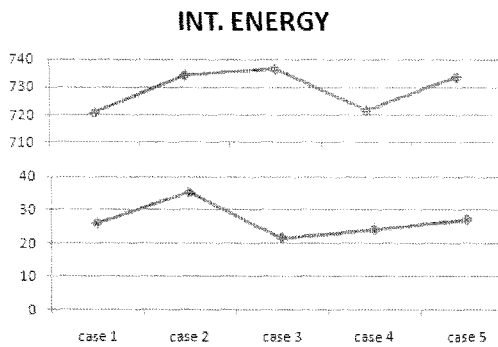
Fig. 14 Strain and internal energy of case 5

과 같다.

Case 5의 해석결과는 Fig. 14로 확인할 수 있으며 보이는 바와 같이 최대변형률은 1.492, 최대 내부에너지는 733.8kJ/kg이었다. 크래쉬 박스 후방 최저내부에너지는 27.21kJ/kg이 나타났다. 이 경우의 전후방 내부에너지차이는 706.59kJ/kg이고 슬립이 case 4,5에 비하여 크게 발생하였으나 Case 1,2보다는 작은 31.32mm였다.

**Table 4 Conclusion about cases of 1,2,3,4 and 5**

	EFF. Strain	INT. Energy (kJ/kg)	
Case 1	1.487	720.8	26.00
Case 2	1.497	734.3	35.27
Case 3	1.490	736.5	21.53
Case 4	1.496	721.6	24.14
Case 5	1.492	733.8	27.21



**Fig. 15 Maximum and minimum internal energies about cases of 1,2,3,4 and 5**

**3.1.6 해석결과**

각 Case별 해석 결과를 정리하면 Table 4 및 Fig. 15와 같다.

**4. 결론**

본 연구를 통하여 5가지 크래쉬 박스의 조립형상에 같은 충격량을 전달, 동일 충돌시간 동안의 충격흡수능력에 대한 충돌 해석을 수행한 결과들을 도출하여 얻은 결론은 다음과 같다.

- (1) 크래쉬 박스에 충격박스가 충돌하면 크래쉬 박스 전반부의 홀(Hole)에서부터 찌그러짐이 1차적으로 발생하며 크래쉬 박스 전반적으로 찌그러짐이 전달되어 충격이 흡수된다.
- (2) Case 1,2,5의 크래쉬 박스는 충격박스와 충돌하면서 슬립이 크게 발생하므로 크래쉬 박스 및 범퍼에 의해 차체 외부가 영향을 받게 된다.
- (3) 크래쉬 박스는 전반부에서 받은 충격에너지를 최대한 흡수하여 후반부와 연결된 차체에 최저의 에너지를 전달하는데 목적이 있으므로 각 케이스별 결과를 통해 Case 3의 크래쉬 박스 조립형상이 전반부에서 가장 큰 내부에너지를 받으며 후반부에서는 가장 작은 내부에너지를 갖게 되

어(전후방 내부에너지 차 714.97kJ/kg) 가장 좋은 충돌성능을 갖는 조립형상이라고 결론지을 수 있다.

**후기**

본 연구는 한국연구재단 국제협력연구사업 (D00004) 지원으로 수행되었음.

**참고 문헌**

- (1) Lee, G. H., Kim, S. B., Huh, H., Yoo, J. S. and Lee, M. Y., 2006, "Study on the Shape of an Aluminum Crash Box with the Finite Element Analysis," *Proc. of KSAE*, pp. 1125~1130.
- (2) Toksoy, A. K., Guden, M., 2010, "Partial Al form Filling of Commercial 1050H14 Al Crash Boxes: The Effect of Box Column Thickness and Foam Relative Density on Energy Bbsorption," *Thin-Walled Structures*, No. 48, pp. 482~492.
- (3) Cho, J. U., Han, M. S., and Min, B. S., 2009, "Simulation Analysis on Impact of Automotive Body," *Journal of KSMTE*, Vol. 18, No. 5, pp. 477~482.
- (4) Kang, S. S., and Cho, S. K., 2010, "Structural Design and Analysis for the Reinforced Frame of Vehicle," *Journal of KSMTE*, Vol. 19, No. 4, pp. 504~510.
- (5) Kim, H. Y., Kim, S. B., Kim, S. H., and Bae, H. I., 2003, "A Study on the Energy Absorbing System Design for Reducing Repair Cost under Low Speed Collision," *Proc. of KSAE*, pp. 1295~1301.
- (6) Kang, W. J., and Bae, H. I., 2002, "Optimization of an Auto-body Front Sturcture for Reducing the Repair Cost in Low Speed Crash," *Proc. of KSAE*, pp. 592~597.
- (7) Peroni, L., Avalle, M., and Belingardi, G., 2009, "Comparison of the Energy Absorption Capability of Crash Box Assembled by Spot-Weld and Continuous Joining Techniques," *International Journal of Impact Engineering*, No. 36, 498~511.
- (8) Rusinek, A., Zaera, R., Forquin, P., and Klepaczko, J.R., 2008, "Effect of Plastic Deformation and Boundary Conditions Combined with Elastic Wave Propagation on the Collapse Site of a Crash Box," *Thin-Walled Structures*, No. 46, pp. 1143~1163.