

Crash Box의 Bead 최적화

신 동 민

한양대학교 미래자동차공학과

Bead Optimization of the Crash Box

Dongmin Shin

Department of Automotive Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

(Received / Revised / Accepted)

Abstract : In this study, Crash box is optimized by bead optimization to minimize the force that transfers to the front-side member during a low-speed crash accident. The objective function is set to minimize the buckling eigenvalue to lead compression. The first design variable is the number of bead pattern and the constraints are bead parameters. The second design variable is width which is the one of the bead parameters and the constraints are bead pattern number and other bead parameters. Finally, we perform a crash analysis and choose the best crash box model, also we confirm the correlation between the buckling eigenvalue and the force.

Key words : Crash box(크래쉬 박스), Bead optimization(비드 최적화), Buckling eigenvalue(좌굴 계수), Crash analysis(충돌 해석)

Nomenclature

λ_C : buckling eigenvalue

P_C : buckling load, N

P_R : static load, N

1. 서 론

우리나라 자동차 충돌사고의 75%이상이 30km/h 이하의 저속 충돌조건에서 발생하고 있다. 이에 따라 자동차의 저속 충돌 후에 차량의 손

상 정도가 자동차 보험료와 수리비 선정에 큰 영향을 미치고 있다. 저속 충돌에서 충격을 흡수하는 대표적인 자동차 부품이 crash box이다. crash box는 프론트 사이드 멤버 앞에 장착되어 이를 충격으로부터 보호하는 부품이다. 프론트 사이드 멤버는 서스펜션과 파워트레인이 장착되고 이를 지탱해 주는 곳으로 변형 시 차량에 큰 문제를 가져다주고 수리비 또한 높게 책정 될 수밖에 없다. crash box는 교체 가능한 부품이므로 충돌 발생시 crash box가 압축되어 프론트 사이드 멤버 변형의 원인이 되는 힘을 최소화 하는 것이 정비에 유리하다. 따라서 대부분의 crash box는 압축을 유도하기 위해 bead 형상을 갖고 있다. 그러나 crash box의 bead 형상과 관련된 기존 논문에서는 이미 만들어진 몇 가지 bead 형상이 있는

* Corresponding author, E-mail: ehdalsdl51@naver.com

*초록색 글씨 부분은 그대로 두시면 됩니다.

crash box를 실제 충돌 실험을 거쳐 어떤 모델이 가장 적합한지 선정해 내는 방식을 취하고 있었다.¹⁾ 이 논문에서는 그와 같은 케이스 스터디 방식 대신에 해석결과를 바탕으로 한 최적화를 통해 crash box에 여러 가지 bead를 생성한다. 그리고 충돌 해석 결과로 프론트 사이드 멤버로 전달되는 힘을 최소화 하는 crash box 모델을 도출한다.

2. Crash Box의 Bead최적화

2.1 초기 모델의 정의

bead 최적화를 위한 기준 모델은 Fig. 1에 나타난 바와 같이 2010 Toyota Yaris의 crash box를 기준으로 한다. 그것의 무게는 1.92kg이고 그 중 충격을 흡수하는 member 부분은 1.02kg이다. 크기는 길이 225mm, 높이 70.09mm, 폭 100.4mm이다. 재료는 STEEL 4340이다. 물성치는 Table. 1에 나타내었다. 동일한 크기와 무게, 재료를 가진 Fig. 2와 같은 둥근 직사각형 shell 모델로 초기 모델을 설정하고 해석을 진행한다. 해석 tool은 Hyper Mesh 14.0을 사용한다.

mesh 하나의 크기는 5mm이고 mesh의 총 개수는 2700개로 설정했다. crash box는 member와 앞뒤로 member를 고정시켜주는 front bracket, rear bracket으로 구성되어 있는데 member가 충격을 흡수하는 부분이므로 member 만을 기준으로 초기 모델을 설정했다. 그러나 front bracket과 rear bracket이 있을 때와 동일한 효과를 주기 위해 Fig. 3과 같이 member 앞뒤로 rigid points를 만들고 10mm 정도는 bead가 생성되지 않는 부분으로 만들었다. 최적화를 위한 경계 조건은 압축 방향 병진 운동을 제외한 나머지 자유도를 구속하고 431kN의 분포 하중을 가하였다. 이는 선행연구²⁾에서 crash box에 250kg의 충돌 대차를 8m/s의 초기 속력으로 충돌시켰을 때 crash box에서 받는 최대하중이다.

2.2 Bead 최적설계 정식화

bead 최적설계를 위하여 목적함수, 설계변수, 제약조건을 설정하였다. 좌굴 계수와 임계 하중, 압축력은 다음과 같은 관계식으로 나타낼 수 있다.

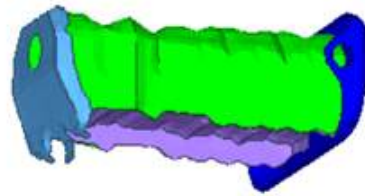


Fig. 1 2010 Toyota Yaris crash box

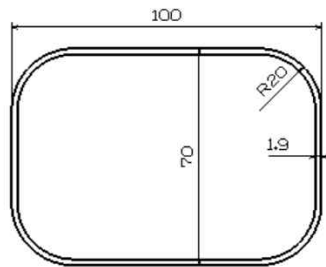


Fig. 2 Base model

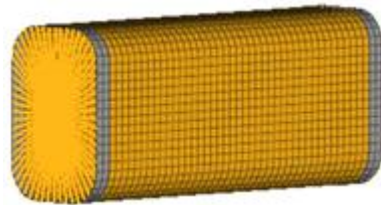


Fig. 3 Non - design area and the rigid points

Table 1 Material Properties of Crash Box

Properties	Values
Density (kg/mm ³)	7.85E-6
Young's modulus (GPa)	200
Poisson ratio	0.3
Yield stress (GPa)	0.206
Hardening parameter (GPa)	0.450
Hardening exponent	0.5

$$\lambda_C = \frac{P_C}{P_R} \quad (\lambda_C : \text{좌굴 계수}, P_C : \text{좌굴 임계 하중}, P_R : \text{압축력})$$

압축력이 일정할 때 좌굴 계수가 작을수록 압축이 잘 일어나고 프론트 사이드 멤버로 전달되는 힘을 최소화할 것이 예상되므로 좌굴 계수 최소화를 목적함수³⁾로 설정하였다.

*초록색 글씨 부분은 그대로 두시면 됩니다.

crash box에서는 압축방향으로 반복되는 bead패턴이 있으므로 첫 번째 설계 변수는 crash box의 bead 패턴 수로 정하게 되었다. 패턴 수는 1, 2, 3, 4 네 가지 경우로 구분하였다. 제약조건은 bead의 형상 조건으로 설정했는데 bead의 형상은 parameters의 크기의 많은 영향을 받기 때문이다. bead parameters는 Fig. 4에 나타내었다. width 20mm, height 20mm, angle 30° 로 정하였다. 패턴 수에 따른 bead 최적화 결과는 Fig. 5에 나타내었다.

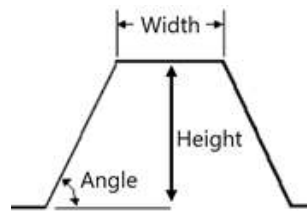


Fig. 4 Bead parameters

두 번째 설계 변수는 bead parameters 중 width에 따른 영향을 알아보기 위해 width가 10mm, 20mm, 30mm인 경우로 최적화를 진행하였다. 이때 제약조건은 패턴 수 2, height 20mm, angle 30° 이다. width에 따른 bead 최적화 결과는 Fig. 6에 나타내었다.

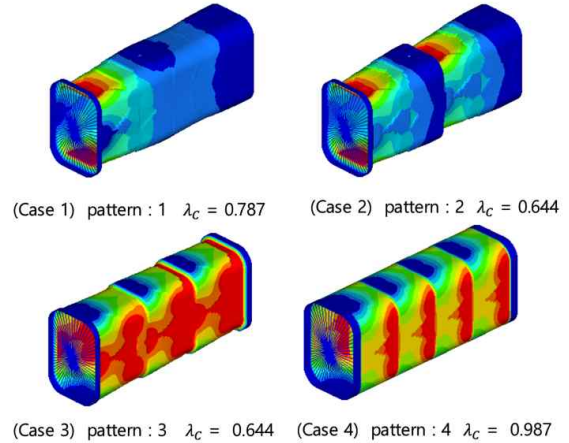


Fig. 5 Bead optimization according to the number of pattern

최적화 결과 패턴 수가 2, 3이고 width가 20mm인 crash box가 좌굴 계수가 0.644로 가장 작았다. 따라서 이 두 모델의 crash box가 충돌했을 때 프론트 사이드 멤버로 전달되는 힘이 최소로 예상해 볼 수 있다.

3. 충돌 해석

3.1 충돌 모델링

좌굴 계수가 작은 crash box모델이 실제로 프론트 사이드 멤버에 전달되는 힘을 최소로 만드는지 확인하기 위한 충돌 해석을 진행 했다. 충돌 해석 tool은 RADIOSS 14.0을 이용하였다. 충돌 물체는 250kg의 정사각형 solid block으로 만들었고 재질은 crash box와 동일하게 STEEL 4340을 부여하였다. 충돌 구속조건으로는 crash box의 끝부분의 모든 자유도를 구속하고 block은 압축 방향 병진 운동을 제외한 모든 자유도를 구속하였다. crash box와 block 사이에는 동적 마찰 계수 0.2를 부여하였다. 그 후 block의 초기 속력을 8m/s로 설정하고 압축 방향으로 충돌시켰다.

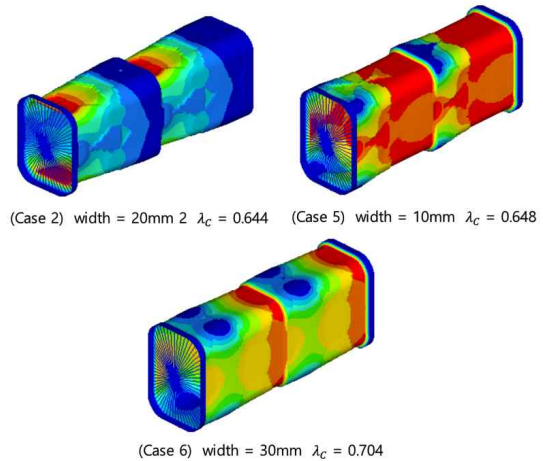


Fig. 6 Bead optimization according to width

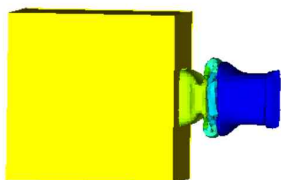


Fig. 7 Crash simulation

Fig. 7은 충돌 모델 및 시뮬레이션을 나타낸 것이다.

3.2 충돌 해석 결과

충돌 해석 결과로 Fig. 8은 bead 패턴 수에 따른 crash box의 변형 길이, crash box 뒤에서 받

생한 하중을 나타낸 그래프이고 Fig. 9은 width에 따른 crash box의 변형 거리, 하중을 나타낸 그래프이다. Table 2는 각 case 모델 별로 좌굴 계수와 발생한 최대 하중을 비교한 표이다.

비교 결과 좌굴 계수가 0.987으로 최대인 패턴 수 4 crash box의 뒤에서 발생한 힘 즉, 프론트 사이드 멤버로 전달되는 힘은 125.06kN으로 최대이고 좌굴 계수가 0.644로 최소였던 패턴 수 3인 crash box가 프론트 사이드 멤버로 전달되는 힘은 73.77kN으로 최소를 기록했다. 따라서 bead 패턴 수 3인 crash box가 충돌흡수 성능이 가장 뛰어난 모델이라고 할 수 있다. Fig. 10은 기준으로 했던 Toyota Yaris의 crash box와 패턴 수 3인 crash box를 충돌 해석 결과를 비교한 그래프이다. 비교 결과 최대 하중이 26.2%만큼 감소해 프론트 사이드 멤버의 변형을 기존 모델보다 효과적으로 억제 한다는 것을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 bead최적화로 crash box를 최적 설계하는 방법을 제시하였다. 목적함수를 좌굴 계수의 최소화 그리고 설계 변수와 제약 조건을 bead 패턴 수, bead parameters로 설정하고 선형 해석 결과로 bead 최적화를 진행하였다. 그 결과 기준 모델보다 성능이 좋은 crash box 모델을 도출 할 수 있었다. 또한 좌굴 계수가 작은 crash box모델이 충돌 해석에서도 프론트 사이드 멤버에 전달되는 최대 하중을 최소화 하는 경향을 알 수 있었다.

Table 2 Buckling eigenvalue and maximum load

	λ_C	Maximum load (kN)
Case 1	0.787	98.75
Case 2	0.644	85.66
Case 3	0.644	72.77
Case 4	0.987	126.06
Case 5	0.648	90.85
Case 6	0.704	99.78

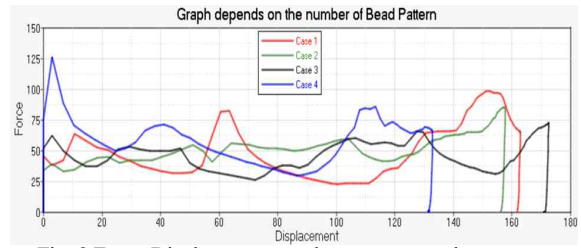


Fig. 8 Force-Displacement result : pattern number

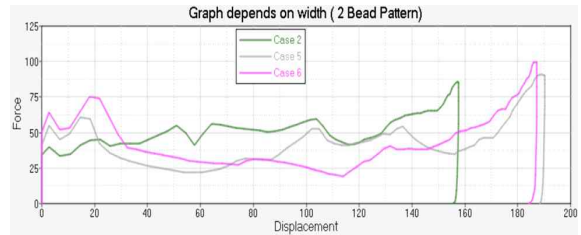


Fig. 9 Force-Displacement result : width

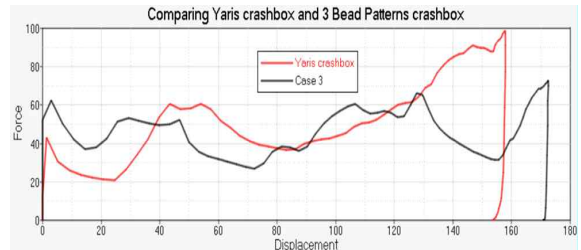


Fig. 10 Force-Displacement result : Toyota Yaris crash box and 3 pattern crash box

즉, 시간이 많이 걸리고 복잡한 충돌 비선형 해석을 거치지 않고도 비교적 간단한 선형해석으로 충격을 잘 흡수하는 crash box에 관한 최적 설계를 할 수 있다는 결론을 내릴 수 있다.

후 기

crash box의 좌굴 계수가 작을수록 충돌 했을 때 프론트 사이드 멤버로 전달되는 최대 하중이 작아진다는 경향은 쉽게 확인이 가능했다. 그러나 width가 20mm이고 bead 패턴 수가 2, 3인 모델의 경우에서도 볼 수 있듯이 같은 좌굴 계수를 가질 때 어떤 모델이 충돌에서 더 작은 최대 하중을 갖는지는 선형 해석에서는 알 수 없는 한계가 있었다. 그리고 crash box가 어느 정도 강성 없이 잘 찌그러지기만 하면 충격을 충분히 흡수하지 못한 채 그대로 충격이 프론트 사이드 멤버로 전달되는 위험성도 존재한다.

본 연구를 통해 해석적인 방법으로 crash box를 최적 설계하여 실생활에서 빈번하게 발생하는

저속 충돌에서 차량의 수리비를 절감할 수 있는 설계방법을 제안할 수 있었다. 매우 의미 있는 경험이었다. 부족한 학부생의 입장에서 본 연구를 차질 없이 수행할 수 있게 도와주신 민승재 교수님과 정영석 조교님께 깊은 감사의 마음을 드린다.

References

(1) C. J. Lee, S. B. Lee, D. C. Ko and B. M. Kim, "Effect of Bead Shape in Aluminum Crash Box for Effective Impact Energy Absorption Under Low-Velocity Impact condition," Transactions of the KSME A, Vol. 36, No. 10, pp.1155-1162, 2012.

(2) J. S. Yoo, S. B. Kim, M. Y. Lee, H. Huh, "Development of Al Crash Box for High Crashworthiness Enhancement," Transactions of the KSTP, Vol. 17, No. 3, pp.182-188, 2008.

(3) J. Y. Lee, J. S. Lee, Y. H. Lee, B. S. Bae, K. H. Kim and H. J. Yim, "A Study on Crashworthiness Optimization of Front Side Members using Bead Shape Optimization," Transactions of the KSME A, Vol. 36, No. 3, pp.331-337, 2012.