

## CAE 프로그램을 이용한 브래킷 경량화에 관한 연구

강형석<sup>1</sup> · 한봉석<sup>2</sup> · 한유진<sup>2</sup> · 최두선<sup>2</sup> · 김태민<sup>2</sup> · 신봉철<sup>2</sup> · 송기혁<sup>†</sup>

신동아 전기<sup>1</sup> · 인하대학교 기계공학과<sup>2,†</sup>

### A study on weight reduction of bracket using CAE program

Hyung-Suk Kang<sup>1</sup> · Bong-Suk Han<sup>2</sup> · Yu-Jin Han<sup>2</sup> · Doo-Sun Choi<sup>2</sup> · Tae-Min Kim<sup>2</sup>

Bong-Cheol Shin<sup>2</sup> · Ki-Hyeok Song<sup>†</sup>

Shindonga Electrical Machines Co.<sup>1</sup>

Department of Mechanical Engineering, Inha University<sup>2,†</sup>

(Received September 19, 2018 / Revised November 22, 2018 / Accepted December 01, 2018)

**Abstract:** Recently The automotive industry is trying to increase the energy efficiency by reducing the weight of the car body and engine components as a way to achieve high energy efficiency. In particular, the reduction of the weight of the vehicle through the weight reduction of the vehicle body has the advantage that the fuel consumption and the output can be improved. But at the same time, there is the disadvantage that the strength becomes weak due to the reduction of the material thickness. Therefore, in order to overcome these disadvantages, materials with high strength according to the unit thickness have been actively developed, and researches for applying them have also been increasing. In this study, we will investigate the application of cold rolled steel sheet, which is a lightweight material, to a horn bracket that secures a installed in an automobile engine room. The horn bracket secures the horn on the car engine and is bolted to the outer wall of the engine. The momentum is acted on the bracket due to the distance between the bolt fastening part and the car horn installed on the bracket end side. Therefore, the body part of the bracket is more likely to be destroyed by the influence of the continuous stress. In this paper, design optimization for weight reduction and strength enhancement was performed to solve this problem, and possibility of applying the rolled steel sheet material as lightweight material by tensile test and fabrication was confirmed.

**Key Words:** Bracket, Lightweight, Optimization, Press process

## 1. 서 론

자원 고갈 및 이에 따른 에너지 효율에 대한 문제 인식은 기존의 제조 생산 산업에 대해 환경문제에 대한 인식을 높여 놓았으며 이러한 인식은 산업 전반으로 확대되고 있다<sup>1,3)</sup>.

한편 이동 수단에 대한 유틸리티의 증가는 에너지의 사용에 대한 고연비, 고효율 요구에 직면하고 있으며 항공 산업의 경우 기존의 두랄루민 기체에서 CFRP(Carbon Fiber Resin Plastic) 기체로의 변화를

통해 단위 거리에 따른 비용 절감의 효과를 시도하고 있으나 CFRP의 높은 소재 비용으로 인해 자동차 산업에 대한 적용은 제한적이다<sup>1)</sup>. 따라서 자동차 산업에서는 높은 에너지 효율을 얻기 위한 방법으로 차체 및 엔진 요소 부품에 대한 경량화를 통해 에너지 효율을 높이는 방법을 시도하고 있다.

특히 차체의 경량화를 통한 자동차 중량의 감소는 연비와 출력을 동시에 개선할 수 있는 장점이 있지만 이와 동시에 경량화에 따른 소재 두께의 감소로 강도가 약해지는 단점이 있다. 따라서 이러한 단점을 극복하기 위해 기존 소재에 비해 단위 두께에 따른 강도가 높은 소재에 대한 개발이 활발히 일어나고 있으며 이를 적용하기 위한 연구 또한 많아지

1. 신동아 전기

† 교신저자: 인하대학교 기계공학과

E-mail: khsong@inha.edu

고 있다<sup>1,2,5)</sup>.

프레스 공정은 자동차 차체 생산 공정에서 가장 주요한 역할을 하고 있으며 특히 자동차 외관 디자인 및 주요 부품들의 고 품질 구현을 위해 프레스 생산 기술은 필수적이다<sup>4)</sup>.

최근 에너지 효율을 높이기 위한 고강성의 경량화 소재가 개발되고 있지만 높은 물리적 특성으로 인해 프레스 가공 시 찢어짐 및 미성형에 대한 문제가 발생하고 있으며 이를 해결하기 위한 프레스 기술의 개발이 필요하다<sup>6,7)</sup>.

본 연구에서는 자동차 엔진룸 내에 설치되는 경음기를 고정해 주는 브래킷에 경량화 소재인 냉간 압연강판 소재의 적용에 대한 연구를 진행 할 것이다. Fig. 1은 경음기 및 브래킷으로 이 제품은 자동차 경음기를 고정해 주는 역할을 하며 엔진 룸 내 쇼바 마운트 부 외벽에 볼트를 통해 체결되어진다. 외부 고정용 브래킷의 볼트 체결부에서 브래킷 끝 쪽의 자동차 경음기에 대한 거리 때문에 브래킷 고정부 쪽으로 모멘트가 작용하며 이 때문에 브래킷의 바디 부분의 굽힘 부분에는 지속적인 Stress의 영향으로 파괴 될 확률이 높아진다.

따라서 이를 해결하기 위해 경량화 및 강도향상을 위한 디자인 최적화를 수행할 것이며 경량화 소재인 압연강판 소재의 적용 가능성을 확인할 것이다.



Fig. 1 Bracket and horn

## 2. 해석을 통한 소재 적용 가능성 검증

### 2.1. 역설계를 통한 브래킷 설계

최적 설계를 위한 해석에 앞서 실제 브래킷과 정확한 비교를 위해 실제 자동차에 적용되어 있는 제품에 대한 역설계를 진행하였다. 측정기는 비접촉식 간섭무늬를 적용한 Range Vision社의 RV Scanner를 이용하여 형상을 측정하였으며 이후 역설계 소프트

웨어인 Imageware를 통해 모델링을 진행하였다. Fig. 2는 혼 브래킷에 대한 측정 데이터 및 완성된 모델링을 보여주고 있다.

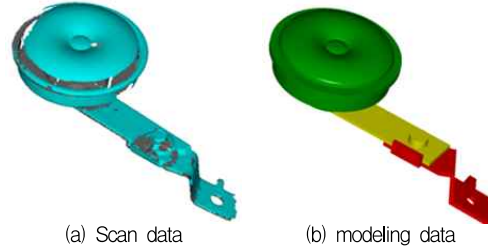


Fig. 2 Scan-data & modeling data

### 2.2. 재료의 물리적 특성

본 실험에는 기존 소재와 새로운 소재의 비교를 위해 브래킷 제작 시 기본 소재로 사용되고 있는 SPCC와 경량화를 위해 새로이 적용하고자 하는 고장력 강판인 SPFC45를 비교 소재로 선정하였다. 두 소재의 밀도가 같기 때문에 경량화를 위해 두께 2.6 mm의 SPCC와 동일한 두께가 아닌 두께 1.6 mm의 SPFC45를 적용하였다.

SPCC(2.6 t)와 SPFC45(1.6 t)의 Mechanical Properties 는 Table 1에 나타나있다. 밀도의 경우 동일한 값을 가지고 있으나 Yield Strength 및 Ultimate Tensile Strength는 SPFC45가 보다 좋은 물성치를 나타낸다.

Table 1 Mechanical properties

Mechanical Properties	SPCC (2.6 t)	SPFC45 (1.6 t)
Mass Density	7.872e-006 kg/mm <sup>3</sup>	7.872e-006 kg/mm <sup>3</sup>
Young's Modulus	200000 MPa	175000 MPa
Poisson's Ratio	0.25	0.34
Yield Strength	226 MPa	265 MPa
Ultimate Tensile Strength	321 MPa	440 MPa

### 2.3. 유한요소 모델 및 해석 조건

브래킷 소재에 대한 비교 분석을 위한 해석을 위해 기존 소재인 2.6 mm 두께의 SPCC와 경량화 소재인 1.6 mm 두께의 SPFC45에 대한 유한요소 모델을 생성하였다.

Mesh 타입은 Tetra mesh를 적용하였으며 16311개의 요소와 4772개의 노드로 구성되었으며 Fig. 3은 생성된 브래킷의 유한요소모델을 나타낸다.

구속 조건은 Fig. 3의 Constraint 부에 적용 하였으며 해석을 통해 고유 진동수를 계산한 후 1차 모드 of 공진 상태에서 혼을 브래킷에 적용 후 이에 대한 Von-mises 응력을 분석하였다.

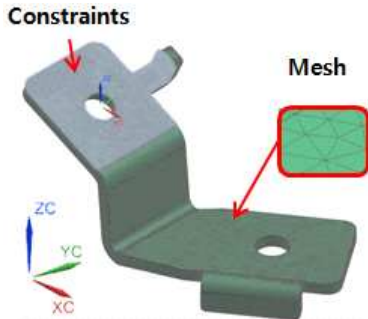


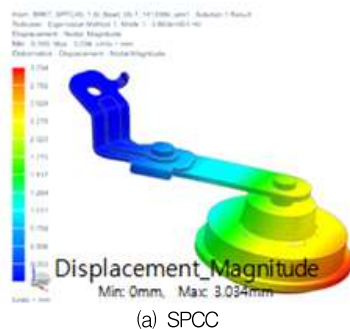
Fig. 3 FEM(Finite Element Method) model for bracket

#### 2.4. 소재에 따른 해석 결과

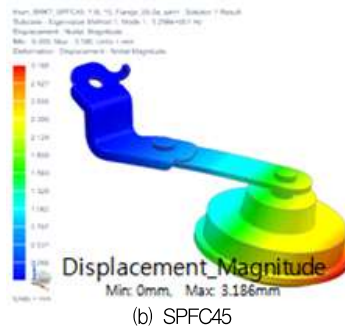
자동차용 혼 브래킷으로 사용되는 프레스 제품에 대한 소재에 따른 구조-진동해석을 진행하였으며 사용된 소프트웨어는 NX社의 구조 진동 해석 모듈인 Nastran을 사용하였다.

SPCC의 1차 고유진동수는 48.68 Hz의 진동수를 나타내었으며 SPFC45의 1차 고유진동수는 24.54 Hz의 진동수를 나타내었다. 두 소재의 고유 진동수가 다른 이유는 두께 및 다른 탄성계수 값에 의한 것으로 판단되었다.

Fig. 4는 두 소재에 대해 1차 고유 진동 상태에서 혼을 적용한 변위 해석 결과이다. SPCC 소재와 SPFC45 소재간의 진동에 따른 변위는 SPCC 3.034 mm, SPFC45 3.186 mm로 큰 차이를 보이지 않았다.



(a) SPCC



(b) SPFC45

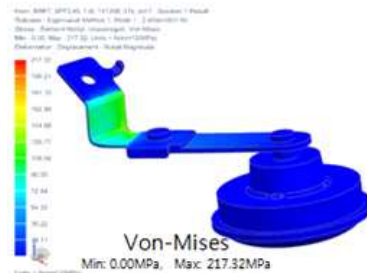
Fig. 4 Modal analysis results according to material

Fig. 5는 두 소재에 대해 1차 고유 진동 상태에서 혼을 적용한 Von-mises 응력 결과이다.

2.6 mm 두께의 SPCC소재를 적용한 브래킷은 약 339.45 MPa의 응력을 나타내었으며 1.6 mm 두께의 SPFC45 소재를 적용한 브래킷은 약 217.32 MPa의 응력 결과를 나타내었다. 이는 SPFC45 소재가 1 mm의 두께 차이에도 불구하고 동일 하중 조건에 대해 약 120 MPa의 낮은 응력 차이의 결과를 나타내었으며 이를 통해 경량화를 위한 브래킷의 소재로 적용 가능함을 확인하였다. 또한 두 소재의 중량은 SPCC소재의 브래킷이 39.51 g 이며 SPFC45 소재의 브래킷이 25.5 g 으로 약 35 %의 중량 감소하였음을 확인하였다.



(a) Von-mises stress for SPCC (2.6t)



(b) Von-mises stress for SPFC45 (1.6t)

Fig. 5 Structure analysis results according to material

### 3. 최적 설계

#### 3.1. 보조 형상에 따른 브래킷 설계

기존 혼-브래킷에 대한 소재에 따른 해석결과를 통해 SPFC45 소재의 경량화 가능성 및 우수한 물리적 특성은 확인하였으나 보다 안정적인 브래킷 성능 구현을 위해 프레스 공정을 이용하는 제품 설계 시 일반적으로 구조적 성능을 높이기 위해 적용하는 비드 및 플랜지를 추가하여 브래킷 설계를 진행하였다.

Fig. 6은 비드 및 플랜지 형상을 추가한 브래킷 모델링 이미지이다.



Fig. 6 Bead & flange geometry added bracket

#### 3.2. 최적 설계

비드 형상이 추가된 브래킷에 대한 형상 최적화를 위해 최적 설계를 진행하였다.

Fig. 7은 비드 형상을 추가한 초기 브래킷 모델링 이미지이며 초기 설계 치수 조건에 대해 나타내었다.

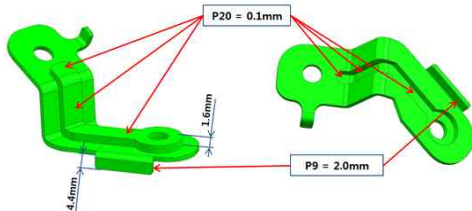


Fig. 7 Bead geometry added bracket for optimization

최적화를 위한 매개변수는 비드의 높이와 Stopper 역할을 하는 90° 벤딩 부의 높이로 선정 하였다. 실제 모델링 치수 중 비드 높이는 1.6 mm이고, Stopper 역할을 하는 90° 벤딩 부는 4.4 mm로 설계되어 있다.

Design Optimization의 Simulation Tool은 NX Nastran을 사용 하였고, 최적화의 목적은 강도를 유

지 하면서 중량을 최소화 시켜 브래킷을 경량화 시키는 것이다.

최적화의 한계 조건은 Natural Frequency 해석 결과에서 나온 1차 Mode의 Displacement Magnitude 값을 기준으로 하였다. SPCC 2.6 t Bracket의 Natural Frequency는 1차 Mode에서 3.10 mm이었기 때문에 최적화의 Constraints 값은 좀 더 변위가 작은 3.0 mm로 제한하였다. 또한 SPFC45 1.6 t 비드 브래킷의 Displacement Magnitude는 3.03mm로 기준이 되는 3.10 mm 보다 변형되는 양이 적었기 때문에 Von-Mises 결과 값에 대하여 개선되거나 유지 하는 것을 기준으로 하였다.

비드 인자에 대한 변위는 Fig. 7의 P20과 같으며 Upper Limit=1.6 mm, Lower Limit=1.5 mm로 0.1 mm 내에서 제한하였고, Stopper 역할을 하는 90° Bending의 플랜지 부는 Fig. 7의 P9와 같고 Upper Limit=4.4 mm, Lower Limit=2.4 mm로 2.0 mm 이내로 지정하여 최적화를 시행하였다.

형상 디자인 최적화의 결과는 Table 2에 나타나 있다.

Table 2 Optimization results

(a) Design Objective Function Results				
Minimum Weight [g]	0	1st	2nd	3th
	27.3845	27.3796	27.3880	27.3778
(b) Design Variable Results				
Name	0	1st	2nd	3th
p9=2.0 [mm]	1.6	1.8	1.6	1.609
p20=0.1 [mm]	0.1	0.1	0.11	0.081
(c) Design Constraint Results				
Result Measure	0	1st	2nd	3th
Lower-Limit =3.000000 [mm]	3.0203	3.0203	3.0211	3.0189

형상 최적화는 3th 조건에서 만족하였으며 P20=0.1 mm에 대한 결과 값은 0.081 mm, P9=2.0 mm는 1.609 mm로 최적화 되었다. 실행 결과 값을 적용하면 Bead의 높이1.6 mm에서 1.519 mm, Stopper Flange부는 4.4 mm에서 4.009 mm 정도의 높이로 최적화 되었다.

1차 Mode의 Displacement Magnitude의 Constraints는 Lower Limit=3.0 mm 기준이었지만 최

적화 결과는 3.018 mm로 기준에 미치지 못했다. Bead의 최적화 높이나 Stopper Flange부의 최적화 높이가 Von-Mises에 대응하지 못하는 것으로 보이고, SPFC45 1.6 t 소재의 Material Properties에서 Young's Modulus 값이 높거나 재료의 두께가 좀 더 두꺼워질 경우 개선 될 수 있을 것으로 판단되었다.

### 3.3. 실험

프레스 공정 적용에 앞서 원소재와 새로이 적용하고자 하는 고장력 강판의 물리적 특성을 분석하기 위해 인장 실험을 수행하였다. Fig. 8은 소재별로 제작된 인장 실험을 위한 시편 및 인장 테스트 시스템이다.



Fig. 8 Specimen & system for tensile test

Fig. 9는 인장 실험 결과이다. 그래프를 확인해 보면 최대 하중(Maximum Load)은 SPCC 가 1757.5 Kgf이고 SPFC45는 2678.5 Kgf으로 921 Kgf의 차이를 보였다. 재료의 두께 차이가 1.0 mm 이므로 SPFC45가 단위 면적당 하중에 대응하는 힘이 SPCC에 비해 높은 값을 보였다.

인장강도(Tensile Strength)의 경우엔 SPCC 2.6 t가 27 Kgf/mm<sup>2</sup> 그리고 SPFC45 1.6 t는 67 Kgf/mm<sup>2</sup> 으로 상당히 큰 차이를 보였다.

연신율은 재료에 하중을 가했을 때 늘어난 길이의 비율로 SPCC는 54.8 %와 SPFC45는 43.8 %로 측정되었으며 SPCC에 비해 SPFC45는 외부 하중에 대한 변형이 잘 발생하지 않을 것으로 예측되었다.

항복 강도는 SPCC의 경우 17.1 Kgf/mm<sup>2</sup> 으로 SPFC45의 42 Kgf/mm<sup>2</sup> 보다 24.9 Kgf/mm<sup>2</sup> 정도가 낮게 나왔다. 항복강도는 탄성한계 내에서 하중이 제거 되었을 경우 원래 상태로 돌아오는 소성변형 전까지에 대한 한계점으로 SPCC 2.6 t의 결과 보다 항복강도가 2배 이상 높아 소성가공 인 프레스 가공 시 탄성회복(Spring Back)에 대한 문제점이 발생할 것으로 예측되었다.

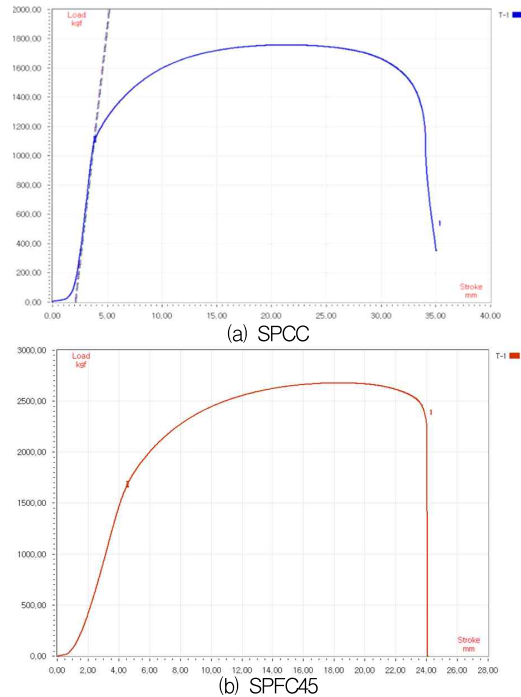


Fig. 9 Results for tensile test

Fig 10.은 간이 금형을 통해 제작된 브래킷이며 소재의 높은 물리적 특성으로 인해 크랙 및 주름이 발생하였음을 확인할 수 있다.



Fig. 10 Problems in process(crack)

### 4. 결론

본 연구에서는 자동차용 혼 브래킷의 경량화를 위해 해석을 통한 소재에 따른 경량화 가능성을 확인하였으며 형상 설계 최적화를 통해 기준에 비해



구조적 안전성을 갖춘 브래킷을 설계하였다.

1) 혼 브래킷의 경량화를 위해 일반적인 소재로 사용되고 있는 두께 2.6 mm SPCC 강판을 대신해 두께 1.6 mm의 SPFC45 고장력 강판으로 대체 사용 가능한지에 대한 해석을 수행하였으며 해석 결과 SPCC소재를 적용한 브래킷은 약 339.45 MPa의 응력을 나타내었으며 1.6 mm 두께의 SPFC45 소재를 적용한 브래킷은 약 217.32 MPa의 응력 결과를 나타내었다. 또한 두 소재의 중량은 SPCC소재의 브래킷이 39.51 g 이며 SPFC45 소재의 브래킷이 25.5 g 으로 약 35 %의 중량 감소하였음을 확인하였다.

2) 보다 개선된 브래킷을 설계하기 위해 플랜지 및 비드를 적용한 모델링에 대해 형상 최적화를 수행하였으며 매개변수는 비드의 높이와 Stopper 플랜지의 Bending 높이로 하였고, 그 결과 비드 Height=1.519 mm, Stopper Flange Height=4.009 mm 값을 확보 할 수 있었다. 중량은 39.5 g에서 최적화 후 27.37 g으로 약 30.7 %의 감소효과가 있었다.

3) SPCC 강판 및 SPFC45 강판에 대한 인장실험을 수행하였으며 SPCC 강판에 비해 SPFC45 강판의 인장장도, 항복강도 등의 물리적 특성이 매우 높게 측정되었으며 간이 프레스 금형을 통한 가공 수행 결과 높은 물리적 특성으로 인해 SPFC45 강판의 소성가공 특성이 좋지 않은 것을 확인하였다.

본 연구에서는 혼 브래킷의 경량화를 위해 소재에 따른 해석적 분석 및 실험을 통한 물리적 특성을 분석하였으며, 이 연구를 기초로 하여 고장력 강판인 SPFC45을 적용하기 위한 프레스 공정에 관한 추후 연구가 이루어져야 할 것이다.

## 5. 후 기

이 성과는 2018년도 산업통상자원부의 재원으로 건설기계R&D 전문인력양성사업(N0001292)의 지원을 받아 수행된 연구임.

## 참고문헌

- 1) Y.S. Kong, Ph. D. "Study on the Weight Reduction of Automotive Bumper Beam and Seat Back Frame using GMT-CFRTPC Hybrid Composites", Graduate School of Chungbuk National University, 2018.
- 2) M.W. Kim, M. S. "A Study on the Light-Weight Design of Hybrid B-pillar Considering Crashworthiness", Graduate School of Seoul National University of Science and Technology, 2016.
- 3) J.Y. Lee, S.B Kwak, "Development of lightweight 30% all-in-one door module for automobile equipped with smart convenience device", Transactions of KSAE, No. 6, pp. 1149-1149, 2018.
- 4) M.G. Lee, S.J. Kim, E.J. Kwak, G.P. Kang, "Parametric Study to Manufacture Automotive Drive Plate by Using Press Quenching Finite Element Analysis", Trans. Mater. Process., No. 5, pp. 253-256, 2010.
- 5) H.K. Yoon, K.B. Lee, "Bending Strength Characteristics of Al/CFRP Hybrid Composite by Using Automobile", Transactions of KSAE, No. 3, pp. 45-53, 2002.
- 6) J.S. Kang, M.H. Song, J.Y. Lim, "A Preliminary Study on the Structural Performance of the Bumper-Beams for High-Strength Steel Applications", JKAS, Vol. 18, No. 6, pp. 78-84, 2017.
- 7) B.M. Kang, J.O. Kim, J.H. Lee, J.U. Cho, M.S. Han, "Simulation Analysis on the Property of Crack Propagation and Growth at High Tension Steel Plate", Transactions of KSAE, Vol. 23, No. 5, 2015.