

이종소재 접합을 이용한 차량 F-Apron 최적설계에 관한 연구

정윤수*, 이경일*, 김재열**.#

*조선대학교 일반대학원 기계시스템공학과, **조선대학교 기계시스템미래자동차공학부

Study on Optimal Design of F-Apron of Vehicles by Multi-material Bonding

Yoon-Soo Jung*, Gyung-Il Lee*, Jae-Yeol Kim**.#

*Dept. of Mechanical Engineering, Graduate school of Chosun Univ.,

**Dept. of Mechanical Systems and Automotive Engineering, Chosun Univ.,

(Received 2 January 2019; received in revised form 12 January 2019; ; accepted 15 January 2019)

ABSTRACT

The vehicle market has developed environment-friendly vehicles to comply with fuel economy regulations and exhaust regulations that have become stricter and stricter over time. Many studies have been conducted to improve the travel performance and fuel economy of environment-friendly vehicles, and vehicle manufacturers have been studying how to manufacture light-weight vehicles in order to improve the fuel economy of both existing vehicles and the newer environment-friendly vehicles. Exemplary light-weight vehicle technologies optimizes the design of the vehicle body structure, which is a vehicle weight-reducing method that modifies component shapes or layouts to optimize the structure of the vehicle. In addition, the new process technology uses new light-weight and very strong materials, and not typical materials, to manufacture light-weight vehicles. This study aims at the optimal design of vehicle body structures using multi-materials for the Fender-Apron, which is an important frame member for the external front side of a vehicle body, by conducting FEA (Finite Element Analysis) and multi-material bonding.

Key Words : Multi-material Bonding(이종재질접합), Light Weight(경량화), FEA(유한요소해석)

1. 서 론

세계 자동차 시장은 연비규제 및 배기가스 규제에 대응하기 위하여 친환경 차량개발을 연구하고 있다. 친환경차량의 주행성능과 연비 향상을 위하여 많은 연구가 진행 중이며 현실 대안은 차량경량화다^[1-3].

차체 경량화 기술에는 부품의 형상이나 레이아웃을 변경하여 차체 구조의 최적화를 통한 경량화 방법인 차체구조 최적설계, 기존 소재를 벗어난 경량, 고강도 소재를 사용하여 경량화를 시도하는 신공정 기술 등 다양한 경량화 기술이 있다. 본 연구에서는 유한요소해석과 이종소재 접합을 통하여 차체 프론트 사이드 외측을 구성하는 주요 골격부재인 Fender Apron을 이종소재를 적용한 차체구조 최적설계에 관한 연구를 하고자 한다^[4].

Corresponding Author : jkim@chosun.ac.kr

Tel: +82-62-230-7745, Fax: +82-62-230-7171

Table 1 Bonding materials

No	Metal material
1	SABC1470 (1.4t) + AI5083 (2t)
2	SGARC780 (1.4t) + AI5083 (2t)
3	SGACEN (1.2t) + AI5083 (2t) * Existing product

2. 이종접합

2.1 이종소재 접합 재질 및 접합방법

차체의 경량화는 스틸-알루미늄 접합과 같은 이종재료의 다양한 접합이 고려되고 있으며, 그 중 기계적 접합방법의 SPR(Self-Piercing Rivet) 및 Blind-Rivet 접합을 자동차 업체에서 이종재질 접합 방법으로 적용하고 있으며 접착제의 동시 적용으로 Rivet 접합의 부족한 박리하중이나 오랫동안 지속되는 정적하중을 보완하고 있다.

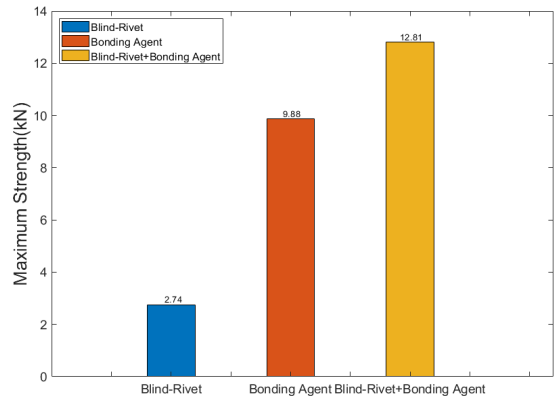
본 연구에서 이종재질 접합은 SPR, Blind-Rivet, 접착제 접합 및 접착제와 리벳을 혼용한 하이브리드 접합방법을 적용하고 그 재질은 Table 1과 같다. Table 1의 첫 번째 시편의 재질은 SABC1470 (1.4t) + AI5083 (2t), 두 번째는 SGARC780 (1.4t) + AI5083 (2t), 세 번째는 SGACEN (1.2t) + AI5083 (2t)을 나타낸다.

2.2 이종소재 접합 해석 및 실험

이종소재 접합해석에서 적용하는 재질은 핫스탬핑 소재로 기계적 접합이 어려움이 있으므로 접합 해석을 통한 조건 선정이 필요함으로 유한요소 해석을 이용하여 기계적 접합방법인 SPR과 Blind-Rivet 접합해석을 진행하였다.

SPR해석 결과 접합은 가능하나 접합강도에 영향을 미치는 Interlock의 형성이 좋지 못하며 초고강도 소재인 핫스탬핑의 소성변화에 따른 접합부 주위의 탄성회복으로 소재가 벌어지는 현상이 발생하여 접합강도가 낮아진다.

Blind-Rivet의 경우 홀 가공 후 접합이 진행되기 때문에 소재의 강도에 영향이 없으며 Fig. 1과 같이

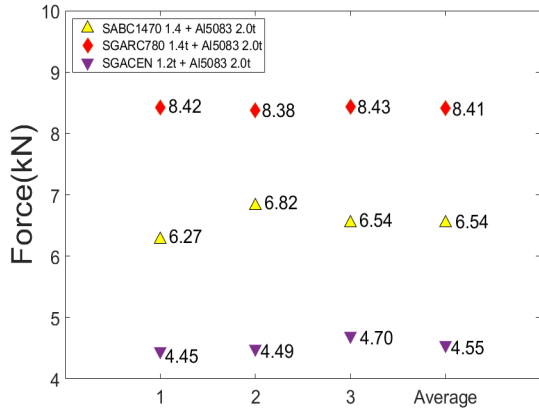
**Fig. 1 Bonding test analysis modeling and result**

사용 유한요소 프로그램인 ANSYS를 이용하여 해석적으로 모사하여 강도를 비교한 값을 데이터화 하였다.

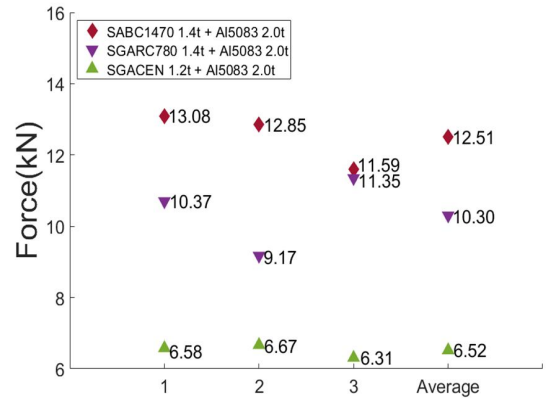
해석을 통한 기계적 접합 분석결과 Blind-Rivet과 Bonding Agent를 동시에 사용하는 접합 방법이 강도가 우수하였다.

해석결과를 토대로 Blind-Rivet 적용 시편은 100 x 30mm로 가공 후 Pre-hole을 적용하였고, 접착제는 Ashland Pliogrip 5760B를 사용하였으며, SPR장비 및 고강도 접합 Rivet을 사용하였다. 접합강도 측정을 위해 전단인장 실험을 진행하였으며 속도는 2mm/min으로 실험하였다. Fig. 2는 접합방법 별 접합강도 실험결과로 (a) SPR, (b) Hybrid SPR, (c) Blind-Rivet, (d) Hybrid Blind-Rivet, (e) Bonding Agent를 나타낸다.

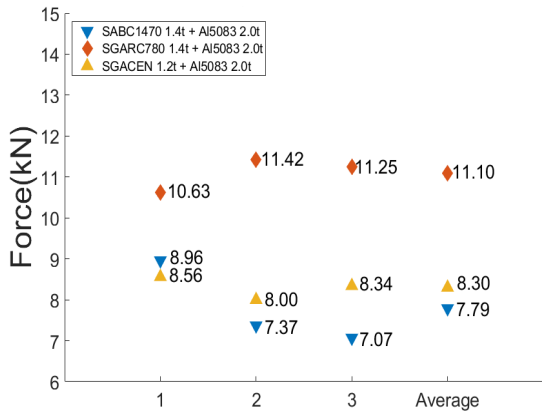
Fig. 3은 각 경우의 결합 강도를 비교한 것으로 접합강도 측정결과 SABC1470+AI5083 조합에서는 Hybrid Blind(Blind-Rivet+Bonding Agent) 접합방법이 12.51kN으로 가장 높은 강도를 보였으며, SABC1470+AI5083 조합에서는 하이브리드 SPR 접합이 다른 조합에서 접합보다 강도가 낮은 원인은 SPR 접합은 가능하나, 상판의 스프링백 현상과 내부에 Interlock 체결이 제대로 이어지지 않아 강도 확보가 어렵다. 따라서 SABC1470 소재의 접합은 Hybrid Blind 접합방법이 우수한 접합방법으로 사료된다.



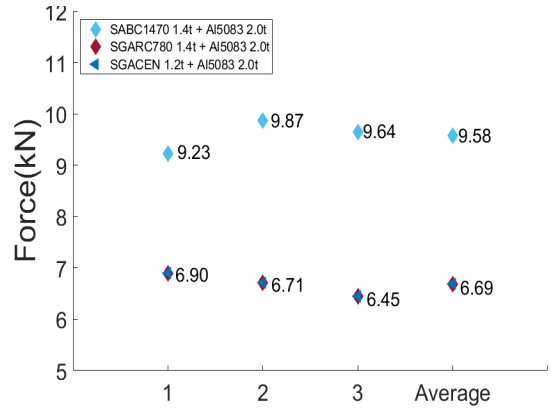
(a) SPR



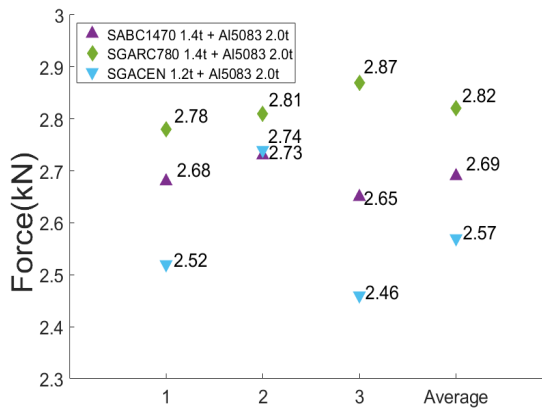
(d) Hybrid Blind-Rivet



(b) Hybrid SPR



(c) Bonding Agent



(c) Blind-Rivet

Fig. 2 Measurement result of bonding strength by SPR bonding method

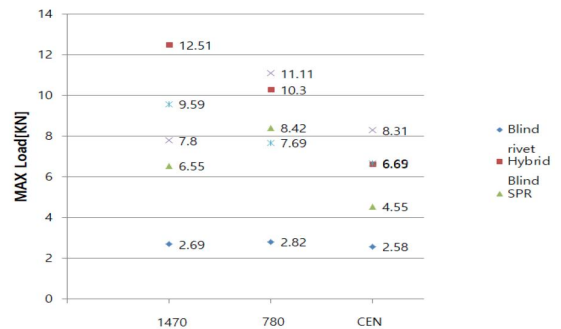


Fig. 3 Comparison of bonding strength for each case

3. F-Apron 최적설계

3.1 F-Apron 설계

F-Apron의 이중소재 접합 최적화 구조를 위한 경량화 구조로 설계/해석 중량 18% 감소를 목표로 연구하였으며, 차량 정면충돌시 변형을 고려하여 기존 스틸 스폿용접 제품의 강성보다 동등하거나 강성이 높도록 설계하였다. 설계는 기존의 제품에서 각 부분의 재질의 변경과 접합법의 변경을 하였다. Fig. 4는 F-Apron의 3D디자인을 나타내며, Fig. 5는 소재별 변경부품을 나타내고 있다.

3.2 F-Apron 유한요소해석

경량화 소재 적용 부품 시험 및 설계사양 검증을 위해 현재 적용중인 Steel 제품에 대한 구조해석을 수행하였다. 일반제품의 재질은 SGACEN 1.2t로 제품 설계 중량은 43.76kg이다. 이중소재 적용 제품 재질은 SABC1470+Al5083이며 설계 중량은 35.88kg으로 기존대비 18%(7.88kg)를 경량화 하였다. 기존 Steel 제품의 구조해석 후 이중재질 적용 구조해석을 통하여 F-Apron의 이중재질 적용 정면 충돌시 충돌에 대한 변형량과 비교하고, 충돌시 변형량을 확인하여 이중소재 접합 적용 제품의 안전성을 해석을 통하여 검증하도록 하였다. 구조해석 상용 프로그램인 ANSYS 19.1 Software를 사용하였으며 해석에 관한 일반적인 사항을 아래 Table 2와 같이

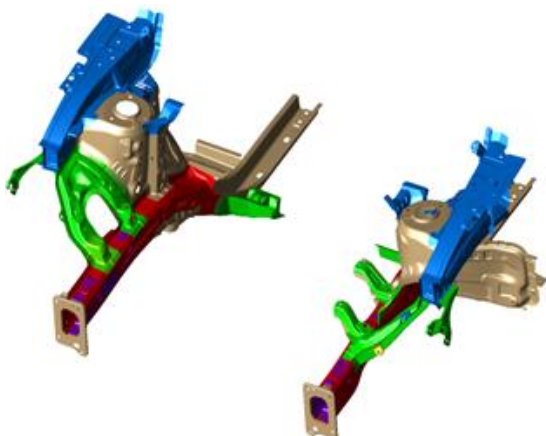


Fig. 4 F-Apron Module data



(a) Components of different materials for F-Apron AI



(b) High-strength steel component for F-Apron

Fig. 5 F-Apron material change

정리하였다. Young's Modulus는 고체역학에서 재료의 강성도를 나타내는 값이다. 탄성계수는 응력과 변형도의 비율로 정의된다. 재료의 시험편에 대한 인장 또는 전단시험으로 얻은 응력-변형도 선도의 탄성구간 기울기로부터 탄성계수를 결정할 수 있다. 탄성계수 E는 식(1)과 같이 인장 응력(σ)을 인장변형도(ϵ)로 나누어 구할 수 있다.

Table 2 Mesh collector information

Item	Content
Name	SGACEN
Type	Solid
Solid Property	
- Type	- Psolid
- Material	- SGACEN
- Element Type	- STRUCTURAL
Mesh Information	
- Type of Mesh	- 3D
- Total Number of Elements	- 242,394
- Total Number of Nodes	- 244,494

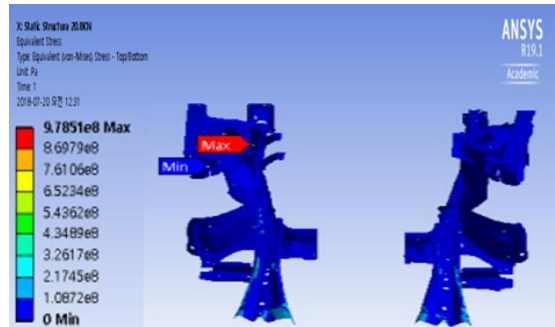
$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{F/A_o}{\Delta i/i_o} = \frac{F/0}{A_o \Delta i} \quad (1)$$

인장강도 E의 단위는 파스칼이며 F는 작용하는 하중, A_o 는 단면적, Δi 는 재료의 길이 변화량, i_o 는 재료의 길이이다¹⁵⁾.

Poisson's Ratio(Default:0.298)는 재료가 인장력의 작용에 따라 그 방향으로 늘어날 때 가로방향 변형도와 세로방향 변형도 사이의 비율을 나타낸다. 이 값은 재료가 Homogeneous하고 Isotropic 또는 Orthotropic이며, 작용하는 축 방향력이 재료 길이의 전 구간에서 일정할 때만 일정하다 Uniaxial Stress를 받는 재료에 대해서 대부분의 구조용 강등의 재료는 0.25에서 0.35의 포아송비를 가지며, 재료가 소성 항복을 하게 되면 포아송비는 증가하게 된다. 본 해석에서는 기본값으로 0.298을 사용하였다. F-Apron의 해석은 차량속도 60km/h로 정면충돌을 전제로 해석하였고, 기존 Steel 제품의 접합부는 Spot welding으로 접합조건을 하였으며 그 해석은 Fig. 6과 같다. 이종소재 접합적용 제품의 접합은 이종소재부의 Hybrid Blind(Blind-Rivet+Bonding Agrmt)접합으로 접합조건을 하였으며 그 해석은 Fig. 7과 같다.

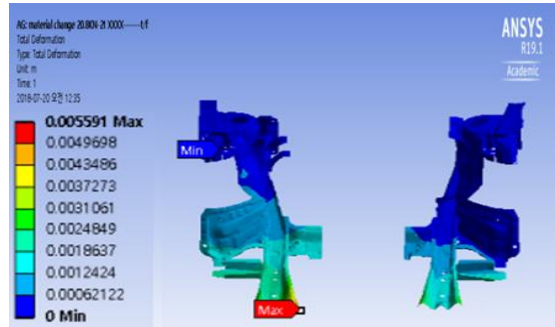
구조해석 결과 기존 Steel 제품과 이종소재 접합 제품의 변형량은 동등하게 나타났다. Table 3은 기존제품과 이종소재 접합 제품의 변형량을 정리하였으며, Fig. 8은 60km/h로 정면충돌 시 응력과 변형율을 나타내었다.

이종소재 접합 제품의 동적 충돌응력과 변형률을

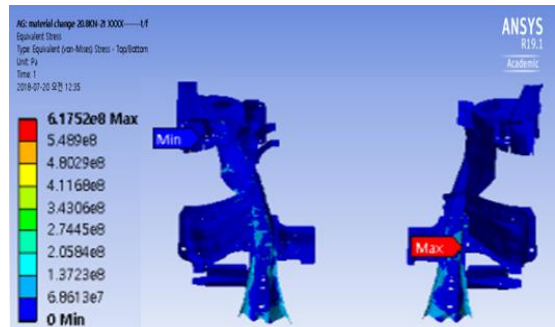


(b) Von -Mises Stress

Fig. 6 Structure analysis of conventional F-Apron



(a) Strain

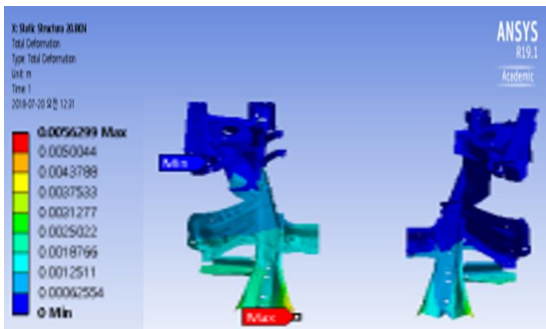


(b) Von-Mises Stress

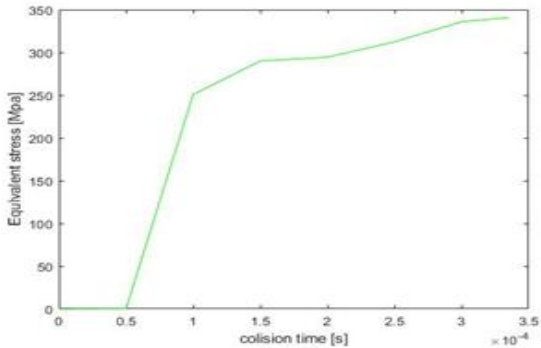
Fig. 7 F Structure analysis of bonding multi-material F-Apron

Table 3 Mesh collector information

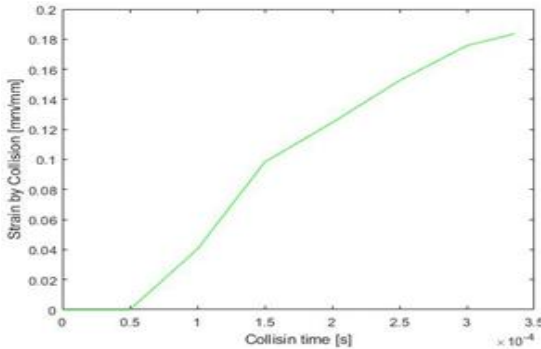
No	Deformation(mm)
Existing product	5.6299
Multi-Material product	5.591



(a) Strain



(a) Equivalent Stress in collision



(b) Strain by collision

Fig. 8 Stress and strain by collision

확인한 결과 응력은 340MPa, 변형률은 0.183mm로 나타났다.

4. 결론

본 연구에서는 이종소재 접합방법의 연구와 차체 경량화를 위한 이종소재 접합을 이용한 최적설계 및 유한요소해석을 이용한 기존제품과 이종소재 접합제품의 변형에 대한 강성도를 비교함으로써 이종소재 접합제품의 적용성과 안정성을 해석을 통하여 검증하였으며, 기존 재질인 SGACEN 1.2t에서 SABC1470 1.4t + Al5083 2t 를 적용함으로써 18%의 경량화를 달성하였다.

차체 이종소재 접합 적용은 SPR+ Bonding Agrnt 접합보다 Hybrid Blind(Blind-Rivet+Bonding Agrnt) 접합이 강도의 오차가 신뢰도가 있었으며 Fig. 7과 Table 3과 같이 정면충돌 강성에 대하여 기존제품

과 동등하여 Blind-Rivet+Bonding Agrnt 방법으로 접합제품의 적용가능성을 해석을 통하여 확인하였다.

후 기

This research was funded and conducted under 「the Competency Development Program for Industry Specialists」 of the Korean Ministry of Trade, Industry and Energy (MOTIE), operated by Korea Institute for Advancement of Technology (KIAT).

(No. N0002092, HRD program for 2018 Development of Advanced Designers for Highly-reliable Mechanical Components)

“NRF-2016R1D1A1B01014576”

REFERENCES

1. Park, D. K., Lee, G. I., Gao, J. C., Kim, J. Y., “Research on the Design of the Ultra-high-precision Positioning Control Error Compensation,” *IJPEM*, pp. 1351 ~ 1358, 2016.
2. Lee, G. L., and Kim, J. Y., Yoon, S. U., Jung, Y. S., “Assessment of soundness by applying of Optimal design hybrid CURVIC gear and IRT technique,” *Journal of Advanced Engineering and Technology*, Vol. 9, No. 4, pp. 309-314, 2016.
3. Lee, G. L., and Kim, J. Y., Gao, J. C., Jung, Y. S., “Study of Heat Generation and Cutting Accuracy depending on Spindle Rotation Speed Change in Ultra-precision Cutting Using ECTS,” *IJPEM*, pp. 265-269, 2018.
4. Geyl, R., "Design and Fabrication of Three Mirror Flat Field Anastigmat for High Resolution Earth Observation," *SPIE*, Vol. 2210, pp.739-745., 1994.
5. Shiraiishi, M., Uehara, K., "In-Process Control of Workpiece Dimension in Turning," *Annal of The CIRP*, Vol. 28, pp. 333~337, 1979.
6. Patterson, S. R., Matgab E. B., "Design and Testing of a Fast Tool Servo for Diamond Turing," *JSPE*, Vol. 7, No. 3, pp. 123-128, 1985.