

저항 점용접에 의한 실러 패치워크 적용 판재 프레스 성형 연구

이경민^{1*}, 정찬영², 송일종²
¹자동차부품연구원, ²(주)현대하이텍

A Study for Stamping of Patchwork with Resistance Spot Weld

Gyeong-Min Lee^{1*}, Chan-Yeong Jung², Il-Jong Song²

¹Korea Automotive Technology Institute

²Hyundai Hitec

요약 본 연구에서는 카울 모듈의 성형 시 최적 설계 공정을 유한요소해석을 통해 도출하는 방안을 제시하였다. 소재 인장 시험 및 성형성 평가와 같은 기계적 물성 평가를 통해 성형 해석의 주름 및 크랙 발생을 사전에 파악하고 이를 개선하기 위한 공정 설계 변경을 통해 최적 설계 방안을 도출하였다. 또한 제진성 향상이 필요한 카울 로워 패널에 패치워크를 적용을 통해 카울 모듈의 강성 증대 및 제진 특성 향상을 고유진동수 측정 시험과 해석을 통해 확인하였다. 해석 결과, 실러 패치워크 기술 적용에 따른 1차 고유진동수가 향상됨을 알 수 있었고, 이는 강성 및 제진특성 증대와 관련있다고 볼 수 있다. 실러 패치워크 적용 시 공정수 감소를 위해 성형 전 로워 패널 블랭크에 패치워크 블랭크를 점용접으로 접합시켜 성형하므로, 성형 후 패치워크 패널의 위치가 점용접 조건에 따라 달라진다. 이를 위해 점용접 위치에 따른 성형 해석을 실시하여 결과를 바탕으로 최적 공정 설계를 도출하였다. 스탬핑 공법을 이용한 타부품의 적용을 위해 성형 해석 기법을 구축하여 다양한 제품 설계에 도움이 될 것으로 판단된다.

Abstract Recently, research on the development of lightweight vehicle bodies is increasing continuously as a response to fuel economy regulations. To reduce the weight of a vehicle body, a conventional steel plate has been substituted by light weight material with high specific strength and the jointing of multi-materials is generally applied. On the other hand, the customer's demand for safety and emotional quality in NVH (Noise, Vibration and Harshness) is becoming increasingly important. Therefore, a light weight with proper strength and NVH quality is needed. In the view of light weighting and NVH quality, the application of a vibration proof steel plate can be an effective solution but the formability of a sandwich panel is different with a conventional steel sheet. Therefore, careful analysis of formability is required. This study aims to characterize the formability of a sandwich high-strength steel plate. The high-strength steel plates of different thicknesses with resistance spot welding and sealer bonding were analyzed using forming limits diagram through a cup drawing test.

Keywords : Cowl Module, FEM, Forming Limit Diagram, Sealer Patchwork, Stamping

1. 서론

최근 자동차 산업은 지구온난화 현상에 의해 배기가스 및 연비 규제가 강화되고 있다. 또한, 보행자와 운전자 보호를 위한 차체 안전 규제도 고려하여야 한다. 차

체 경량화를 위한 신소재 및 신기술의 개발이 활발해지면서 이에 따른 다양한 기술이 등장하고 있다[1-3]. 차체 부품 중 카울 모듈(Cowl Module)은 어퍼바디(Upper Body)에 위치하여 엔진룸과 실내를 구분해주는 대쉬 패널(Dash Panel) 상부에 체결되어 차량 외부로부터 실내

본 논문은 산업통상자원부와 한국산업기술진흥원이 지원하는 연구과제로 수행되었음.(R0004531)

*Corresponding Author : Gyeong-Min LEE(Korea Automotive Technology Institute)

Tel: +82-62-960-9260 email: gmlee@katech.re.kr

Received April 11, 2018

Revised (1st June 15, 2018, 2nd July 16, 2018)

Accepted August 3, 2018

Published August 31, 2018

로 열, 소음, 진동 등을 차단하며, 충돌로 발생하는 외력으로부터 탑승자를 보호하는 역할을 한다. 디젤 차종의 경우, 엔진 및 노면으로부터 실내로 유입되는 소음, 진동 영향을 많이 받으므로 카울 모듈의 소음, 진동 성능향상을 위한 구조적인 개선이 필요하다. 실러 패치워크(Sealer Patchwork) 기술은 금속 패치를 구조용 접착제를 이용하여 모체에 결합함으로써 제진성과 국부 보강을 동시에 확보하는 기술이다[4]. 또한 구조용 접착제를 이용하여 보강재를 결합함으로써 고강도 강판 사이 접착제가 진동에너지를 열 에너지로 발산하는 제진 강판의 원리를 적용하여 고강도 패치워크 패널에 의한 구조 보강 및 접착 수지에 의한 진동 저감을 동시에 충족하는 기술이다. 그러나 성형 공정에서 공정수 감소를 위해 패치워크 패널과 카울 로워를 동시에 성형하는 경우, 구조용 접착제 도포 후 점용접을 통해 패치워크 패널을 카울 로워 블랭크에 고정 시킨 후 스탬핑 성형을 한다. 이 때 점용접 위치에 따라 스탬핑 성형 후 패치워크 패널의 위치가 틀어지는 문제를 야기할 수 있으므로 이에 대한 설계 방안이 필요하다.

본 연구에서는 실러 패치워크 패널의 위치 이탈을 제어하기 위해 FEM 성형 해석을 진행하였고, 해석을 통해 저항 점용접 조건 및 스탬핑 성형 조건을 결정하여 카울 로워 패널을 제작하였다. 또한 실러 패치워크 기술 적용에 따른 제진 특성 및 강성의 향상 여부를 확인하기 위해 카울 모듈의 고유진동수 측정하였다[5].

2. 본론

2.1 실험 방법

2.1.1 스탬핑 성형 공정 최적화

기존 제품의 공정은 카울 로워 패널과 보강재를 각각 성형하여 용접을 통해 접합하는 방식이다. Fig. 1과 같이 개발 기술을 적용하는 경우, 카울 로워 패널에 패치워크 블랭크를 접합한 상태로 성형함으로써 공정 수 삭제를 통한 생산 비용 절감효과를 기대할 수 있다. 로워 패널 블랭크와 패치워크 블랭크의 접합은 구조용 접착제와 저항 점용접을 동시에 적용하였다. 패치워크 블랭크의 위치가 접합 방법, 블랭크 홀딩력(Blank Holding Force), 성형 압력 등에 의해 달라지기 때문에 양호한 제품 품질을 얻기 위한 방안이 필요하다. 패치워크의 위치 이탈에

가장 큰 영향을 미칠 수 있는 저항 점용접의 위치와 블랭크 홀딩력을 변수로 선정하였다. 해당 변수에 대한 성형 해석을 통해 최적 점용접 위치와 블랭크 홀딩력 조건을 도출하였다.

2.1.2 소재 물성 평가

성형 해석에 적용할 물성 데이터를 도출하기 위해 각 소재의 기계적 물성 평가를 진행하였다. KS B 0801 규격에 따라 인장시편을 제작하여 10ton 만능재료시험기를 이용하여 카울 모듈의 각 구성부품에 적용되는 소재의 인장시험을 실시하였다. 인장 속도는 3mm/min이고, 각 소재의 인장강도와 항복강도, 연신율을 측정하여 True Stress-True Strain 곡선을 도출하였다.

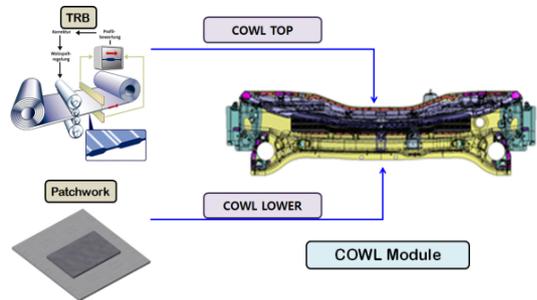


Fig. 1. Production process of cowl module.

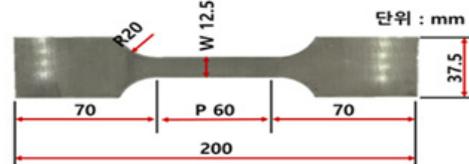


Fig. 2. Dimension of tensile test specimens.

2.1.3 소재 성형성 평가

성형성 평가를 통해 성형한계도(Forming Limit Diagram)를 도출하여 판재 성형 시 파단이 예상되는 부위를 파악하고 설계에 적용하고자 하였다. 성형한계도는 파단을 유발하는 판면상의 임계 주·부변형률의 값을 평면도상에 도시한 것으로 성형 공정 개발 시 성형 난이도의 평가도구로서 이용되고 있다. 설계 및 제작된 금형에서 시험 작업을 통해 측정된 각 부분의 주·부변형률을 성형 한계도 상에 표시하여 성형의 가부 및 성형 난이도를 평가하였다[6].

시편은 카울 로워 패널 성형에 사용할 SPFC 590 0.7t 판재를 180mm × 25, 50, 75, 100, 125, 130, 135, 150, 180mm 의 크기로 준비하였다. Fig. 3과 같이 FLD 전용 실험다이에 블랭크 홀딩력을 30ton으로 시편을 고정하고, 100mm 반구형 펀치를 이용하여 50mm/min 속도로 판재를 성형하였다. 윤활 조건은 180×180mm 1매를 제외한 모든 시편에서 무윤활로 진행하였다.



Fig. 3. Experimental setup of Erichsen test for SPFC 590 sheet.

2.1.4 성형해석 모델링 및 경계조건

카울 로워 성형 조건을 정립하기 위해 성형 해석을 통한 최적 조건을 정립하였다. 성형 해석은 Autoform 프로그램을 사용하였고, Stroke 값은 250mm, 블랭크 홀딩력 (Blank Holding Force)는 140ton으로 설정하였다. 성형 성 평가를 통해 도출한 FLD 선도를 해석 결과에 대입하여 성형 시 크랙, 두께감소의 발생을 통해 성형성 검증을 실시하였다. Fig. 4와 같이 급형과 블랭크 홀더, 펀치를 강체로 설정하였고, 블랭크는 Piecewise Linear Plasticity 모델을 적용했고 소재 물성 평가를 통해 도출한 True Stress-True Strain 곡선을 적용하여 해석의 정확도를 향

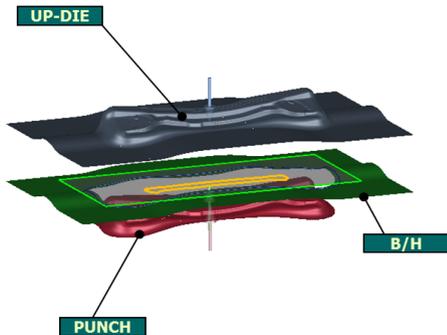


Fig. 4. Modeling of cowl lower panel for stamping process.

상시켰다. 카울 로워 패널과 패치워크 패널의 접합은 구조용 접착제의 경화가 성형 공정이 완료된 후 진행되므로 성형 해석 시 저항 점용접 모사만 적용하였다. 카울 로워의 최종 성형 조건에 적용하여 주름과 크랙 발생 여부를 확인하였다.

2.1.5 고유진동수 측정 시험

카울 모듈은 엔진룸으로부터 실내로 유입되는 열, 진동, 소음을 차단하고 차량 충돌 시 차량 전면부에 강성을 부여함으로써 충격 흡수를 통해 탑승객을 보호하는 역할을 한다. 그러므로 실러 패치워크 패널 적용에 따른 강성 향상 및 소음, 진동 성능 향상을 위한 구조적인 개선 여부를 확인하기 위해 고유진동수 측정 시험 및 해석을 실시하였다. 고유진동수 시험은 임팩트 해머를 이용한 가진시험을 통해 1차 고유진동수를 측정하고 해당 주파수에서 공진을 피하기 위한 설계를 가능하게 한다. 카울 모듈에 대해 비구속 조건에서 가진하여 측정한 1차 고유진동수와 동일한 조건을 ANSYS 해석 프로그램을 통해 모사하여 도출된 1차 고유진동수를 비교하고, 시험/해석 상관관계 분석을 통해 실러 패치워크 패널 적용에 의한 강성 증대 효과를 확인하였다.

2.2 실험 결과

2.2.1 소재 물성 평가

카울 모듈 각 구성품에 적용되는 소재는 표 1과 같다. 인장시험을 통해 각 구성품의 소재에 대한 변위-하중 데이터를 얻을 수 있었고 Fig. 5에 나타난 것과 같이 해석에 적용할 True stress-True strain 곡선을 도출하였다.

Table 1. Material for each parts of cowl module.

No.	Parts	Thickness	Material
1	COWL TOP	0.7	SGACC 60/60
2	COWL INR	0.7	SGACEN 60/60
3	COWL INR	1.0	SGARC440
4	Etc Brk	Variable	Variable

카울 모듈의 성형 및 구조해석 시 정확한 모사를 위해 True Stress-True Strain 곡선을 적용하였고, 시험/해석 상관관계 분석을 통해 해석 정확도를 고정도화하여 성형 해석을 통한 설계 방안을 정립하고자 하였다.

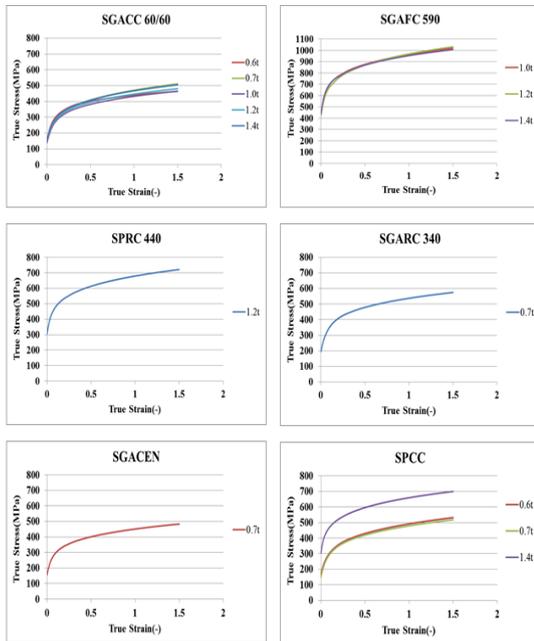


Fig. 5. True stress - true strain curves of materials for each parts.

2.2.2 소재 성형성 평가

카울 로워 패널에 적용되는 실러 패치워크 패널의 성형성 분석을 위해 FLD(Forming Limit Diagram) 선도를 도출하였다. 카울 로워 패널과 패치워크 패널을 각각 100mm 반구형 펀치를 이용하여 성형하였고, 시편에 표기된 Grid Marking의 변형률을 측정하여 각 소재의 성형성 분석을 진행하였다. 네킹 또는 과단 주변의 주변형률과 부변형률 값의 분포를 측정하여 주요 부품에 적용되는 소재의 성형한계도 측정결과를 Fig. 6에 나타내었다. 크랙 발생 부위에 변형이 집중되고 주변형률 방향의 수직 방향으로 과단이 발생하였으나, 크랙이 발생하지 않는 부위에서는 비교적 변형률 분포가 균일한 것을 확인할 수 있었다. 부변형률이 양인 Biaxial Stretching 경우, SGARC 440 1.0t가 SGACC 60/60 0.7t보다 높은 주변형률을 보였다. 그러나 부변형률이 음인 Simple tension의 경우, 두 소재가 비슷한 주변형률을 보이는 것으로 확인 되었다. 이러한 성형 특성을 바탕으로 제품 성형 시 발생하는 변형률을 고려하여 설계에 반영하였으며, 성형 한계선 이상의 변형률이 발생하는 부위의 R값을 조정하여 주름이나 크랙을 제어하였다.

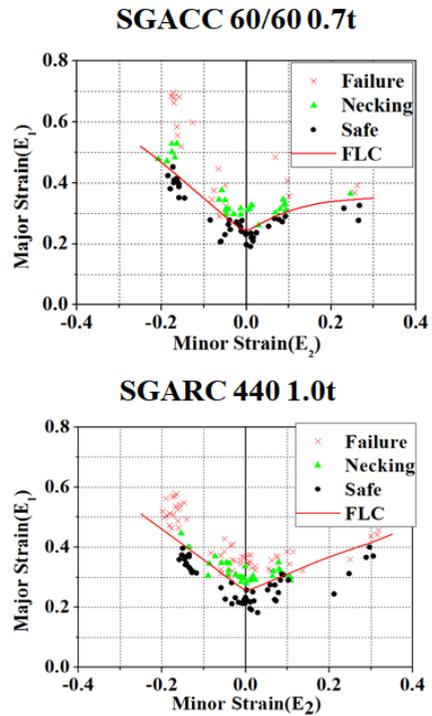


Fig. 6. Forming limit diagram of materials for cowl lower panel.

2.2.3 카울 모듈 성형 해석 결과

카울 모듈 부품 중 실러 패치워크 적용에 의해 성형 시 주름 및 크랙 제어가 가장 어려운 카울 로워 패널의 성형 해석을 실시하고, 성형성 평가를 통해 도출한 FLD를 기준으로 성형 시 주름 및 결함 발생을 예측하여 설계 개선을 진행하고자 하였다. Fig. 7에 나타낸 것 과 같이, 초기 설계 상 R값이 매우 큰 부위에서 크랙이 발생했다. 또한 Draw type 스탬핑 공정으로 주름 및 크랙 발생의 제어가 난해함을 확인하였다. Draw type의 경우 제품 형상에 의해 성형 깊이가 일정하지 않고 급형의 R값이 커서 현재의 공법으로 결함을 제어하기 어렵기 때문에 블랭크의 양 측면을 개방시켜 성형하는 Form type으로 공정을 변경하여 성형 해석을 진행하였다. 기존 draw type에서 판재를 고정시키는 부위가 감소하면서 Fig. 8과 같이 기존의 크랙이 발생한 위치의 성형성은 개선되었음을 확인하였다.

실러 패치워크 적용 시 카울 로워 블랭크와 패치워크 패널 사이의 용접점 위치에 따라 성형 후 패치워크 패널의 형상 및 위치가 변화함을 파악하여 최적 용접점을 선정하기 위해 용접점 위치 별 성형 해석을 실시하였다.

Fig. 9는 용접점 위치에 따른 패치워크 패널의 위치 변화를 나타낸 것이다. 총 3개의 Case로 위치를 선정하였고, 설계 상 패치워크 패널 위치는 흰색 점선이고 실제 성형 해석 후 패치워크 패널의 위치가 벗어난 정도를 확인하였다. Case 1은 상단에 4개, 양 끝에 2개의 용접점으로 고정하여 성형하였고, 상단 방향으로 약 20mm 정도 이탈하였다. Case 2의 경우 상단에 4개, 하단에 4개의 용접점으로 고정하여 성형하였다. 성형 후 상단 방향으로 약 10mm, 양 끝단이 중앙 방향으로 이탈하였다. Case 3의 경우 양 끝단에서 발생하는 이탈을 저하하기 위해 상단에 2개, 하단에 4개의 용접점으로 고정하였다. 성형 해석 결과, 펀치에 의한 이탈 현상을 최소화 하면서 패치워크 패널을 고정시킴으로써 용접점 위치를 최적화 하였다.

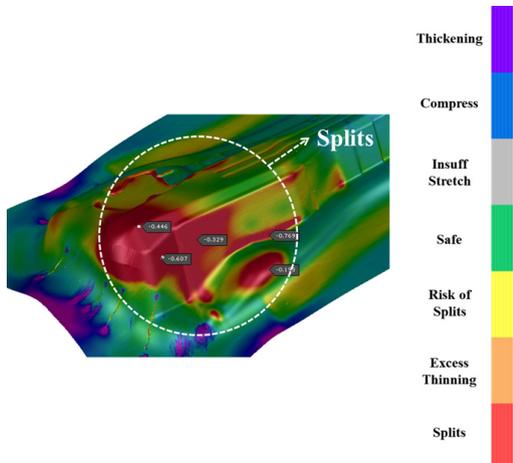


Fig. 7. Defections in forming process of cowl lower panel with draw type.

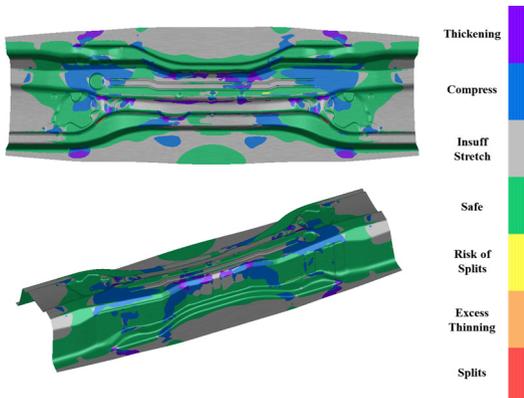


Fig. 8. Analysis for deformation of cowl lower panel with form type.

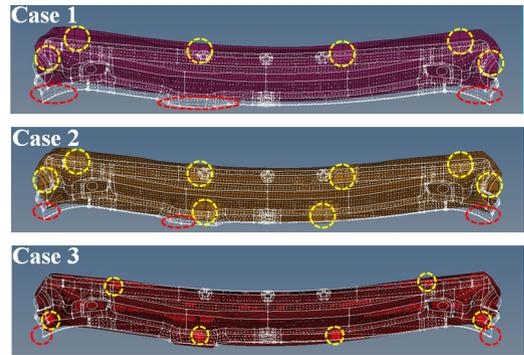


Fig. 9. Optimiztion of weld point with FEM analysis.

2.2.4 고유진동수 측정 시험 결과

카울 모듈의 고유진동수 측정 시험을 통해 실러 패치워크 적용 시 1차 고유진동수의 향상을 확인하여 강성 증대 및 제진 특성 향상을 분석하였다. 고유진동수는 단위시간당 진동하는 회수를 의미하며, 자동차 부품의 고유진동수는 강성에 비례하고 질량에 반비례하는 특성을 가지며, 구속위치에서 멀리 떨어진 위치에 있는 집중된 질량은 관성효과로 인해 고유진동수를 크게 감소시키므로 해당 논문에서는 비구속조건에서 고유진동수 측정 시험을 진행하였다[7]. 기존 공정으로 제작된 제품과 실러 패치워크를 적용한 개발 제품에 대해 구조 해석을 진행하여 비교한 결과, 기존품의 1차 고유진동수는 20 Hz이고 개발품은 27 Hz로 강성이 향상되었음을 확인하였다. 또한 개발품에 대한 고유진동수 측정 시험을 통해 3차 고유진동수까지 측정하여 시험/해석 간 정확도 검증을 실시하였다. 시험 결과 1차 22 Hz, 2차 49 Hz, 3차 61Hz로 나타났고, 해석 결과는 1차 27 Hz, 2차 44 Hz, 3차 63 Hz로 시험/해석 간 오차는 1차 5 Hz, 2차 5 Hz, 3차 2 Hz로 나타났다. 고유진동수 측정 시험을 통해 실러 패치워크에 의한 강성 증대를 확인할 수 있었으며, 제진 특성과 강성 증대 효과를 필요로 하는 타 제품 적용에 대한 검토를 해석을 통해 확인할 수 있다.

Table 2. Natural frequency of cowl module in test and FEM analysis.

	Mode	Test(Hz)	FEM(Hz)
Developed Product	1st	22	27
	2nd	49	44
	3rd	61	63

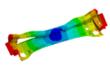
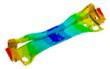
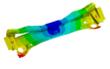
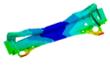
Existing Product	1st	2nd	3rd
	20 Hz	43 Hz	53 Hz
			
Developing Product	1st	2nd	3rd
	27 Hz	44 Hz	63 Hz
			

Fig. 10. Comparison of natural frequencies of existing and developing products.

3. 결론

본 연구에서는 자동차 차체 중 카울 모듈의 성형 공정과 제진 특성 향상을 위한 실러 패치워크 적용에 대한 사전 검토 방안에 대해 고찰하였다. 실러 패치워크 기술 적용 시 중량의 증가를 최소화하여 효율적으로 강성 및 제진 특성이 향상될 수 있다. 또한 기존 공정에 비해 공정수가 감소하여 양산 시 원가 절감과 생산성 향상 효과를 동시에 얻을 수 있다. 본 연구의 결론은 다음과 같다.

1. 각 부품에 적용되는 소재의 인장시험과 성형성 평가를 통해 도출한 기계적 물성을 유한요소해석에 적용하여 해석 정확도를 향상시키고, 성형 해석을 통해 초기 설계의 문제점을 파악하여 개선할 수 있다.
2. 스탬핑 공정에서 제품의 R값은 소재의 성형한계선에 따라 개선함으로써 주름 및 크랙 발생을 억제하고, 카울 모듈의 경우 Draw type보다 양 측면을 개방시키는 Form type 성형 공정을 적용함으로써 크랙 발생을 완화시켰다.
3. 실러 패치워크 적용 시 구조용 접착제는 성형 후 경화시키므로 성형 시 점용접을 통해 카울 로워 블랭크에 패치워크 패널을 접합시킨 상태에서 성형해야 한다. 그러므로 성형 해석 시 패치워크 패널의 형상과 위치가 설계 상과 동일한 조건을 도출하여 성형 조건에 적용해야 한다.
4. 실러 패치워크 적용 시 강성 증대 및 제진 특성 향상을 확인하기 위해 고유진동수 측정 시험과 해석

을 진행한 결과, 실러 패치워크 적용 시 기존보다 약 7Hz 정도 향상됨을 확인하였다.

References

- [1] N. C. Kim, J. Yoon, W. K. Na, "The 135kgf/mm² Back Beam application to bumper for good rating in the IIHS test and reducing its weight", *Spring Conference Proceedings of KSAE*, KSAE04-S0183, pp.1151-1157, 2004.
- [2] H. O. Kim, T. Altan, Q. G. Yan, "Evaluation of stamping lubricants in forming advanced high strength steels (AHSS) using deep drawing and ironing tests", *Journal of Materials Processing Technology*, Vol.209, No.8, pp.4122-4133, 2009.
DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2008.10.007>
- [3] T.B. Hilditch, J.G. Speer, D.K. Matlock, "Influence of low-strain deformation characteristics of high strength sheet steel on curl and springback in bend-under-tension tests", *Journal of Materials Processing Technology*, Vol.182, No.1-3, pp.84-94, 2007.
DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2006.06.020>
- [4] D. G. Kim, S. W. Park, C. Y. Lim, J. D. Seo, J. S. Lee, 2016, "Development of Hot Stamped Center Pillar with Patchwork", Proc. of KSPE Spring Conference, pp.561-561.
- [5] D. K. Hong, J. B. Jeong, S. W. Jung, G. B. Kim, C. W. Ahn, "Investigating Natural Frequency Analysis and Measurement of Railway Vehicle to Avoid Resonance", *Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering*, Vol.22, No.8, pp.713-719, 2012.
DOI: <https://dx.doi.org/10.5050/KSNVE.2012.22.8.713>
- [6] J. H. Song, H. Huh, S. H. Kim, 2005, "Study on Design Parameters in a Stamping Process of an Automotive Member with the imulation-based Approach", *Transactions of Materials Processing*, Vol.14, No.1, pp.21-28, 2005.
DOI: <https://dx.doi.org/10.5228/KSPP.2005.14.1.021>
- [7] B. Choi, S. Kang, "Stiffness and Fatigue Strength Analysis of Fuel Cell Vehicle Body Frame", *Trans. of KSAE*, Vol.19, No.4, pp.47-53, 2011.

이 경 민(Gyeong-Min Lee)

[정회원]



- 2014년 8월 : 전남대학교 신소재공학과 (신소재공학석사)
- 2014년 11월 ~ 현재 : 자동차부품 연구원 소재융합연구센터 연구원

<관심분야>
자동차, 금속재료

정 찬 영(Chan-Yeong Jung)

[정회원]



- 2014년 2월 : 조선대학교 제어계측
로봇공학과 (공학사)
- 2015년 9월 ~ 현재 : (주)현대하이
텍 기술연구소 주임연구원

<관심분야>
자동차 차체 부품

송 일 종(Il-Jong Song)

[정회원]



- 2004년 2월 : 조선이공대학교 기계
공학 (전문학사)
- 2000년 12월 ~ 현재 : (주)현대하
이텍 기술연구소 연구소장

<관심분야>
자동차 차체 부품