

35 μ m 점탄성수지가 적용된 1.035mm 제진강판의 이종소재간 저항점용접 특성분석

배기만^{*,**}, 백종진^{*}, 신창열^{**}, 김승경^{***}, 강명창^{***,#}

^{*}(주)일지테크 기술연구소, ^{**}(재)경북하이브리드부품연구원, ^{***}부산대학교 융합학부,

Characteristic Analysis of Resistance Spot Welding between Dissimilar Materials of 1.035mm Laminated Vibration Damping Steel with 35 μ m Viscoelastic Resin

Ki-Man Bae^{*,**}, Jong-Jin Baek^{*}, Chang-Yeul Shin^{**}, Seung-Kyung Kim^{***}, Myungchang Kang^{***,#}

^{*}R&D Center, Iljitech Co. LTD, 50 Gongdan 4-ro, Jillyang-eup, Gyeongsan-si,
Gyeongsangbuk-do, Republic of Korea

^{**}Gyeongbuk Hybrid Technology Institute, 36 goiyeon-dong 1-gil, yeongchen-si, Gyeongsangbuk-do,
Republic of Korea

^{***}Graduate school of convergence science, Pusan National University, Busan 46241,
Republic of Korea

(Received 28 July 2021; received in revised form 08 September 2021; accepted 02 November 2021)

ABSTRACT

Recently, owing to the high demand for eco-friendly cars in the automotive industry, noise and vibrations have become major challenges. The use of laminated damping steel is increasing in response to these demands. Laminated damping steel is primarily used in sound insulation plates. The vibration energy is converted into thermal energy due to the viscoelastic resin being located between two steel sheets and being able to damp the vibrations when an external force, such as, noise or vibration is applied to the steel plate. Laminated damping steel is chiefly applied to dash panels in automotive body parts, and because of its structure, junction technology for bonding with other components is necessary. However, there has not been sufficient research conducted on junctions. In this study, regardless of the electrode shape, in the range of 4.0 ~ 8.0 kA welding current, the same welding force and welding time were applied which were 2.8 kN and 200 ms (12 cycles) and the tensile shear load and nugget size were analyzed after the resistance spot welding between different materials of laminated damping steel with a thickness of 1.035 mm. The results show that in the range of 5 ~ 8 kA welding current, 1.035 mm laminated damping steel meets the MS181-15 standard, which is the technical standard of Hyundai-Kia Motors.

Keywords: Laminated Vibration Damping Steel(제진강판), Viscoelastic Resin(점탄성 수지), Vibration(진동), Loss Factor(손실계수), Resistance Spot Welding(저항점용접)

1. 서 론

자동차, 가전, 건축자재 등의 사용에 있어서 소음, 진동을 줄이기 위하여 많은 연구가 진행되고 있다.^[1] 미국과 일본 등에서는 소음, 진동을 줄이기 위해 제진강판 연구를 활발히 진행하고 있으나, 국내에서는 제진강판에 대한 연구가 초보적인

Corresponding Author : kangmc@pusan.ac.kr

Tel: +82-51-510-2361, Fax: +82-51-518-3360

단계이고 부품 생산을 위한 소재는 외국으로부터 수입하고 있다.^[2] 제진강판은 2매의 강판(0.15~1.6 mm) 사이에 두께 30~100 μ m의 제진성 점탄성수지를 삽입한 샌드위치형 강판이다. 제진강판은 구조상 효율적인 진동감쇠 성능을 가지고 있고, Fig. 1에 나타낸 것 같이 진동감쇠 성능을 나타내는 인자는 손실계수(Loss Factor, η)를 보더라도 현재까지 개발된 제진재료 중에서 가장 우수한 손실계수를 가지는 재료임을 알 수 있다. 구조에 있어서 제진효과 존재는 굽힘 진동에 대하여 고분자 점탄성층에 어긋남 변형이 작동하여 진동에너지가 열에너지로 변환됨에 있다.^[3] 즉, Fig. 2와 같이 표피강판 사이에 어긋남으로 인해 수지층 내에 큰 전단변형이 발생한다. 제진성 수지는 내부마찰이 큰 물질이므로 전단변형을 일으키고 있는 운동에너지를 열에너지로 변화하여 진동을 감쇠시키는 것이다.^[4]

Fig. 3은 제진강판에 사용되는 수지의 제진성능과 온도의 상관성을 보여준다. 일반적으로 수지가 유리영역에서 고무 영역으로 천이하는 온도 영역(점탄성 영역)에서 가장 현저한 제진성능을 보이며, 사용온도에서 적합한 수지의 종류에 따라 고온용(80~100 $^{\circ}$ C), 중온용(50~60 $^{\circ}$ C), 상온용(20~40 $^{\circ}$ C)으로 나뉜다.^[4] 이러한 제진강판의 진동감쇠특성에 관해서는 Oberst^[5], Ross^[6], Kang^[7]등의 많은 연구가 있었다. 다만 소음, 진동 감소를 위해 사용하는 제진강판의 경우는 용접을 하지 않는 구조물 또는 용접성이 중요하지 않은 구조에만 적용되고 있으며, 용접이 중요한 역할을 하는 제품군에 대한 연구는 미비하다.^[8]

따라서, 본 연구에서는 소음, 진동 감소를 목적으로 한 제진강판 검토를 위해 모재인 두께 1.035 mm 제진강판과 일반적으로 자동차 차체 부품에 사용되어지는 부재로서 두께 0.7mm SGACUD(GI : 용융아연도금강판) 및 두께 1.2mm SG AFC590 DP(GI : 용융아연도금강판)을 사용한 이중소재 간 저항점용접에 있어서 용접전류 변화와 전극 종류에 따른 용접 가능성을 제시하였다.

2. 사용재료 및 실험방법

2.1 제진강판 및 타깃재료

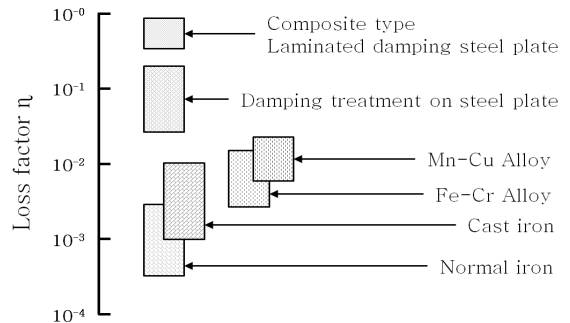


Fig. 1 Damping performance level of various metal materials^[4]

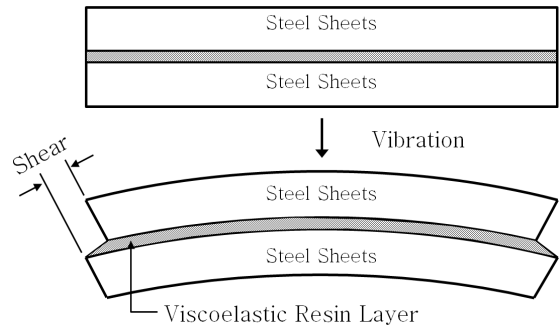


Fig. 2 Damping mechanism of the laminated damping steel sheet^[4]

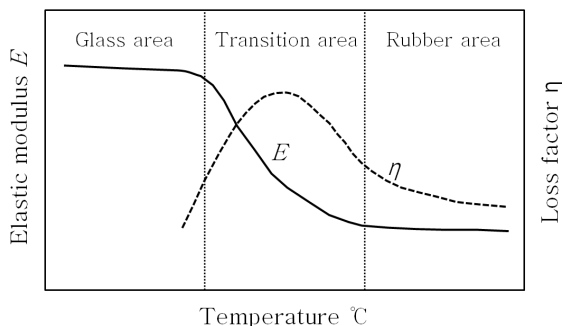


Fig. 3 Vibration characteristics of viscoelastic resin (elastic modulus and Loss factor)^[4]

Fig. 4는 본 연구에서 용접모재로 사용된 두께 1.035mm 제진강판의 단면을 보여주고 있으며 두께 0.5mm인 두 층의 SPCC 사이에 두께 35 μ m의 열가소성 점탄성수지를 포함한 3층 구조로 되어있다.

Table 1은 용접모재인 두께 1.035mm 제진강판의 화학조성 및 기계적 물성을 나타내었으며 소재에 대한 기본 정보는 해원MSC社에서 제공되는 MILL TEST CERTIFICATE를 참고하였다. 용접부재는 두께 0.7mm SGACUD(GI)와 두께 1.2mm SGAFCS90 DP(GI) 소재를 사용하였으며 Table 2와 3에 화학조성 및 기계적 물성은 현대제철社에서 제공되는 MILL TEST CERTIFICATE를 참고하였다.

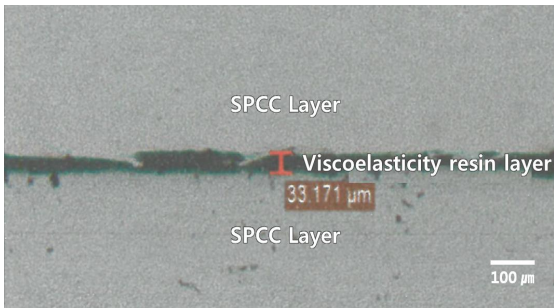


Fig. 4 The laminated damping steel section structure

Table 1 Chemical composition and mechanical properties of the investigated laminated damping steel 1.035mm

Wt (%)					Tensile strength (N/mm ²)	Yield strength (N/mm ²)	Elongation (%)
C	Si	Mn	P	S			
0.0013	0.003	0.081	0.011	0.005	298	147	49

Table 2 Chemical composition and mechanical properties of the investigated 0.7mm SGACUD(GI)

Wt (%)					Tensile strength (N/mm ²)	Yield strength (N/mm ²)	Elongation (%)
C	Si	Mn	P	S			
0.0012	0.003	0.069	0.008	0.005	292	143	49

Table 3 Chemical composition and mechanical properties of the investigated 1.2mm SGAFCS90 DP(GI)

Wt (%)					Tensile strength (N/mm ²)	Yield strength (N/mm ²)	Elongation (%)
C	Si	Mn	P	S			
0.0731	0.182	1.948	0.0128	0.004	635	363	27

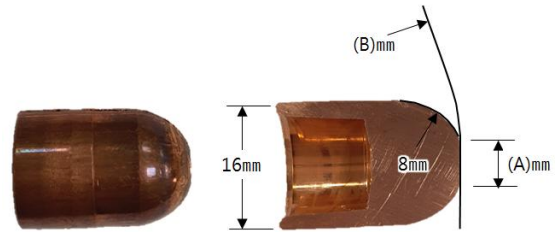


Fig. 5 The electrode tip morphology

Table 4 Material and electrode tip configuration according to four type welding conditions

No.	Base material	Target material	Type	Electrode face diameter(A)	Electrode face radius(B)
1	SPCC	SGACUD 0.7mm	16D	6mm	40mm
2	LVDS	(Galvanized)	16D	8mm	100mm
3	1.035mm (Cold Rolled)	SGAFCS90 DP 1.2mm	16D	6mm	40mm
4		(Galvanized)	16D	8mm	100mm

2.2 사용재료 및 전극 팁 구성

본 연구에 사용된 용접 전극의 형상을 Fig. 5에서 보여주고 있으며, Table 4에는 소재 구성에 따른 선단직경 및 선단반경이 다른 두 전극을 표기하였다. 인장전단 시험편은 KS B ISO 14273(저항점용접 및 프로젝션 용접 이음의 전단시험에 대한 시험편 치수 및 시험방법) 규격에 맞추어 길이 100mm, 폭 30mm로 제작하였으며 Fig. 6에 형상을 나타내었다.

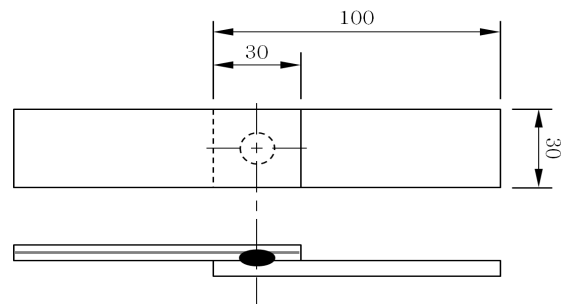


Fig. 6 Schematic and drawing of the tensile-shear specimen (unit: mm)

2.3 저항점용접 조건 및 용접성 평가

용접기는 독일 HARMS-WENDE社 Genius MFI 408L을 사용하였으며 가압은 서보모터 구동방식의 J형 서보 건을 사용하여 가압하였다. 전극 형상에 상관없이 각각 2.8kN과 200ms(12cycles)로 양산 공정과 동일한 가압력과 용접 시간을 적용하였으며 용접전류는 4.0~8.0kA로 실험을 수행하였다. 저항점용접 수행 후 용접부의 용접성 평가를 위해 인장전단하중 분석과 너깃사이즈 측정을 진행하였으며 결과를 바탕으로 파단면 형상을 분석하였다. 인장전단하중 분석을 위해 국내 KYOUNGSUNG社의 KSU 10M 만능재료시험기를 사용하였으며 너깃사이즈 측정을 위해 캐나다 TESSONICS社의 RSWA Array Explorer 비파괴 초음파 측정기를 사용하였다. 실험은 각 3번의 반복 실험을 진행하였으며 그 평균값을 얻었다. 용접부 품질을 나타내는 기준으로는 여러 가지가 사용되고 있지만, 본 연구에서는 현대기아자동차 기술표준 MS181-15(저항점용접)에 명시되어 있는 품질기준에 따라 390MPa 미만 0.7mm 소재 인장전단하중의 경우 1.67kN, 너깃사이즈는 3.4mm이며 390MPa 미만 1.0mm 소재 인장전단하중의 경우 2.94kN, 너깃사이즈는 4.0mm 기준으로 결정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 인장전단하중 특성

Table 4에서 1번은 모재인 두께 1.035mm 제진강관과 부재인 두께 0.7mm SGACUD(GI) 소재에 선단 직경 6mm, 선단 반경 40mm 전극 팁을 사용하여 시험편을 제작하였으며 2번은 모재인 두께 1.035mm 제진강관과 부재인 두께 0.7mm SGACUD(GI) 소재에 선단 직경 8mm, 선단 반경 100mm 전극 팁을 사용하여 시험편을 제작하였다. 3번은 모재인 두께 1.035mm 제진강관과 부재인 두께 1.2mm SGAF590 DP(GI) 소재에 선단 직경 6mm, 선단 반경 40mm 전극 팁을 사용하여 시험편을 제작하였으며 4번은 모재인 두께 1.035mm 제진강관과 부재인 두께 1.2mm SGAF590 DP(GI) 소재에 선단 직경 8mm, 선단 반경 100mm 전극 팁을 사용하여 시험편을 제작하였고 총 네 종류의 시험편으로 실험을 수행하여 비교분석 하였다.

No. 1	Result									
Current (kA)	4		5		6		7		8	
Fracture Shape										
	Interfacial crack		Button Failure		Button Failure		Button Failure		Spatter + Button Failure	
Measurement Photo										
Nugget size(mm)	2.33		3.99		4.33		7.72		4.17	
Load(kN)	1.15		1.68		2.90		2.81		3.06	

(a) No. 1 Condition

No. 2	Result							
Current (kA)	4		5		6		7	
Fracture Shape								
	Interfacial crack		Button Failure		Button Failure		Spatter + Button Failure	
Measurement Photo								
Nugget size(mm)	3.83		4.26		4.83		4.83	
Load(kN)	0.83		2.46		2.55		2.69	

(b) No. 2 Condition

No. 3	Result							
Current (kA)	4		5		6		7	
Fracture Shape								
	Button Failure		Button Failure		Button Failure		Spatter + Button Failure	
Measurement Photo								
Nugget size(mm)	3.45		4.14		4.80		5.49	
Load(kN)	3.21		3.81		4.30		4.58	

(c) No. 3 Condition

No. 4	Result							
Current (kA)	4		5		6		7	
Fracture Shape								
	Button Failure		Button Failure		Button Failure		Spatter + Button Failure	
Measurement Photo								
Nugget size(mm)	3.71		4.76		4.70		4.98	
Load(kN)	3.41		3.97		4.09		4.53	

(d) No. 4 Condition

Fig. 7 Tensile shear strength according to material type and electrode tip configuration

Fig. 7은 용접 전류 대비 인장시험 결과 및 파단 형상을 나타내었다. Fig. 7(a)의 인장전단하중시험 결과 용접전류 5~8kA 범위에서 정상적인 용접이 이루어지며 용접전류 4kA에서 계면분리로 인한 최소 요구강도 미달과 8kA에서 스파터가 발생하였고 모두 두께 0.7mm SGACUD(GI) 측에서 버튼파단이 발생하였다. Fig. 7(b)의 인장전단하중시험 결과 용접전류 5~7kA에서 정상적인 용접이 이루어졌으며 4kA에서 계면분리로 인한 최소 요구강도 미달과 7kA에서 스파터가 발생하였고 1번 시험편과 동일하게 모두 두께 0.7mm SGACUD(GI) 측에서 버튼파단이 발생하였다. Fig. 7(c)와 (d)의 인장전단하중시험 결과 용접전류 4~7kA 범위 모두 정상적인 용접이 이루어졌으며 8kA에서 스파터가 발생하였고 모두 모재인 두께 1.035mm 제진강판 측에서 버튼파단이 발생하였다. 이 결과를 통해 1번은 용접전류 5~8kA에서 2~4번은 용접전류 5~7kA에서 인장전단하중을 만족함을 확인할 수 있었다.

3.2 용접 너깃사이즈 특성

Fig. 8의 너깃사이즈에 따른 인장전단하중 결과를 보여주고 있으며 2~4번은 너깃사이즈 증가에 따라 인장전단하중도 증가하였지만 1번의 경우 너깃사이즈가 4.33mm보다 클 경우 인장전단하중이 다소 감소하였다. 그리고 모재 두께 1.035mm 제진강판 대비 낮은 두께의 부재를 사용한 1번, 2번의 경우 3번, 4번보다 낮은 인장전단하중을 확인할 수 있었다.

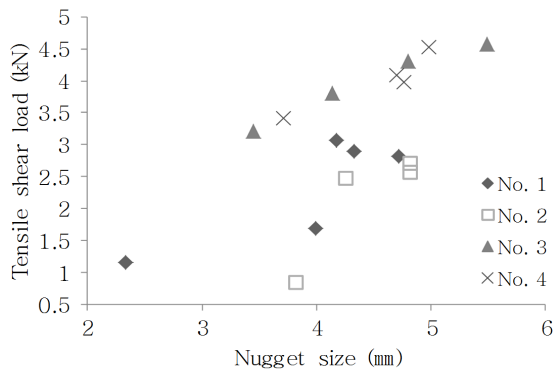


Fig. 8 Comparison of nugget size and tensile shear strength according to electrode type

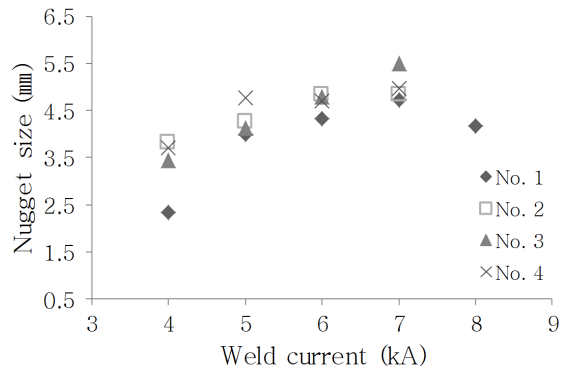


Fig. 9 The nugget size distribution with weld currents

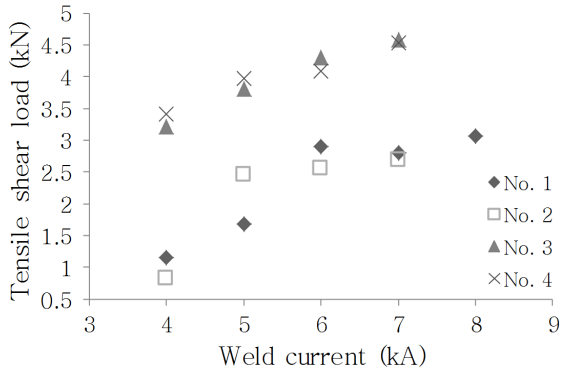


Fig. 10 The tensile shear load distribution with weld currents

Fig. 9는 용접 전류 증가에 따른 시험편의 너깃사이즈 측정 결과를 보여주고 있으며 전극의 선단 직경 및 선단 반경이 큰 전극을 사용함에 따라 너깃사이즈가 증가할 것이라 예상하였지만 선단 직경 6mm, 선단 반경 40mm 전극을 사용한 1번, 3번 대비 선단 직경 8mm, 선단 반경 100mm 전극을 사용한 2번, 4번의 경우 전극사이즈 차이에 의한 뚜렷한 너깃사이즈 증가는 나타나지 않았다.^[9] 이는 전극 형상에 상관없이 단순 용접 전류의 증가에 따른 너깃사이즈가 증가함을 확인할 수 있었다.

3.3 소재별 용접성 비교

Fig. 10은 용접전류 증가에 따른 시험편의 인장전단하중 측정 결과를 보여주고 있으며 시험편 모두 용접전류 증가에 따른 인장전단하중이 증가함을 알

수 있었다. 하지만 부재인 두께 0.7mm SGACUD(GI)를 사용한 1번, 2번 시험편은 부재인 두께 1.2mm SGAF590 DP(GI)를 사용한 3번, 4번의 시험편보다 전반적으로 낮은 인장전단하중을 보였다. 이는 모재인 두께 1.035mm 제진강판 대비 사용한 부재의 물성 차이에 의한 결과로 확인할 수 있었다.

이 결과를 통해 본 연구에서 사용한 제진강판에 대하여 이종소재 간 저항점용접에 있어서 가압력 2.8kN, 용접시간 200ms, 용접전류 5~8kA를 적용할 때, 35 μ m의 열가소성 점탄성수지를 적용한 두께 1.035mm 제진강판은 MS181-15에 만족함을 알 수 있었다.

4. 결 론

35 μ m 열가소성 점탄성수지를 적용한 두께 1.035mm 제진강판의 이종소재 간 저항점용접성을 비교한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 너깃사이즈 크기는 시험편 부재료의 강도특성 및 전극형상과 상관없이 단순 용접전류 증가에 의해 증가하며 인장전단하중의 경우 전극의 형상보다는 부재료의 특성에 많은 영향을 받았다.
- 2) 용접전류 4kA에서는 계면분리로 인장전단하중 및 너깃사이즈가 미달되었으며, 1번은 용접전류 8kA, 2~4번은 용접전류 7kA에서 스패터가 발생하였지만 모두 정상 용접이 되었다.
- 3) 가압력 2.8kN, 용접시간 200ms(12cycles), 용접전류 5~8kA 적용시 35 μ m 점탄성 수지가 적용된 두께 1.035mm 제진강판은 MS181-15 품질기준을 만족하였다.

후 기

본 연구는 2021년도 산업통상자원부 소재부품기술개발사업(20017415) 연구비 지원에 의한 연구임.

REFERENCES

1. Bae, K. M., Choi, H. S., Oh, B. R. M., Baek, J. J.,

Park, S. H., Kang, M. C., Lee, J. J., "Evaluation of Adhesiveness with Current Flow Time in the Indirect Heating of an Asphalt Pad using Joule Heating," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 19, No. 8, pp. 104-109, 2020.

2. Lee, K. B., Lee, Y. G., Kim, J. H., "A Study on the Blanking Characteristic of Anti-Vibration Sheet metal," Journal of the Korean Society for Technology of Plasticity, Vol. 12, Issue. 8, pp. 724-729, 2003.

3. Lee, S. R., Bae, K. M., Baek, J. J., Kang, M. C., Lee, T. I., "Adhesion enhancement between aluminum andbutyl rubber by (3-mercaptopropyl) trimethoxysilane for vibration damping plate," Journal of Adhesion Science and Technology, Vol. 35, No. 10, pp. 1114 - 1124, 2021.

4. Chung, J. H., Min, B. D., Ha, Y. C., "Evaluation of mechanical properties of vibration damping steel sheets and their application to automobile engine oil pan," Journal of the Korean Society for Technology of Plasticity, pp. 99-118, 1994.

5. Oberst, H., Frankenfelt, K., "Über die Dämpfung der Biegeschwingungen dünner Bleche durch fest haftende Beläge," Acustica, Vol. 2, pp. AB181~AB194, 1952.

6. Ross, D., Ungar, D. E. E., Kerwin, E. M., "Damping of Plate Flexural Vibrations by means of Viscoelastic Laminate," Journal of Mechanical Design and Vibration, Vol. 5, No. 1, pp. 21-26, 2017.

7. Kang, I. S., Yang, S. M., "Influence of Back Pressure of an Exhaust System on Quietness at Low-Speed Rotation," The Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol 18, No. 6, pp. 69-75, 2019.

8. Yun, S. J., Nam, Y. K., Jang, S. G., Cho, C. H., "A Study on Weldability of Quiet Steel for NVH Improvement," Journal of the Korean Welding & Joining Society., pp. 62-62, 2011.

9. Hwang, I. S., Yoon, H. S., Kim, D. C., Kang, M. J., Kim, J. D., Kim, Y. M., "Resistance Spot Weldability of Low Density Lightweight Steel according to Electrode Shape," Journal of the Korean Welding & Joining Society, Vol, 35, No. 2, pp. 52-57, 2017.