

# 줄 히팅을 이용한 아스팔트패드 간접가열에 있어서 통전시간별 융착성 평가

배기만<sup>\*,\*\*</sup>, 최한석<sup>\*</sup>, 오보라미<sup>\*</sup>, 백종진<sup>\*</sup>, 박성환<sup>\*\*</sup>, 강명창<sup>\*\*,#</sup>, 이재진<sup>\*\*\*</sup>

<sup>\*</sup>(주)일지테크, <sup>\*\*</sup>부산대학교 융합학부, <sup>\*\*\*</sup>(재)경북하이브리드부품연구원

## Evaluation of Adhesiveness with Current Flow Time in the Indirect Heating of an Asphalt Pad using Joule Heating

Ki-Man Bae<sup>\*,\*\*</sup>, Han-Suk Choi<sup>\*</sup>, Bo-Ra-Mi Oh<sup>\*</sup>, Jong-Jin Baek<sup>\*</sup>, Seong-Hwan Park<sup>\*\*</sup>,  
Myungchang Kang<sup>\*\*,#</sup>, Jae-Jin Lee<sup>\*\*\*</sup>

<sup>\*</sup>Iljitech Corporation, Ltd.

<sup>\*\*</sup>The Graduate school of Convergence Science, Pusan National University

<sup>\*\*\*</sup>GyeongBuk Hybrid Technology Institute

(Received 03 February; received in revised form 27 May 2020; accepted 01 June 2020)

### ABSTRACT

Recently, vibration and noise have become an important issue in the auto industry. Asphalt vibration damping pads are used to reduce the noise and vibration of automobile bodies, and asphalt is used for many mass-produced parts due to its simple attachment process and low processing costs. In this study, the self-adhesion of asphalt pads using Joule heating was evaluated. To create the asphalt pad for the experiment, the asphalt pad was molded into a specific thickness by using SGACC material and rubber used in the vehicle body as a main component and a modified resin and filler. The SGACC material was 200 mm in length, 200 mm in width, and 0.7 mm in thickness. The asphalt pad was 200 mm in length, 100 mm in width, and 3 mm in thickness. The equipment was composed of a TR (Transformer) DC254kVA and a TC (Time controller) for a current of up to 20,000 A. The current for the Joule heating was set to 7.0 kA and a 3/1 cycle, for which the adhesion of the asphalt pad over the current flow time was evaluated.

**Key Words** : Joule Heating(줄 히팅), Asphalt Pad(아스팔트 패드), Vibration(진동), Adhesiveness(융착성), Indirect Heating(간접 가열)

## 1. 서 론

최근 자동차 산업은 환경 및 안전 규제가 지속적으로 강화됨에 따라 완성차 업체는 경량화 및

고강도 차체기술 개발에 대한 관심이 증대되고 있다<sup>[1-4]</sup>. 또한 경량화와 동시에 성능 및 안정성이 크게 향상되면서 고객은 진동, 소음 같은 청각과 촉각을 자극하는 감성 품질에 관심을 옮겨 가고 있다. 차량의 성능과 안정성을 만족하면서 감성 품질이 높은 차량 개발이 필요하다<sup>[5-7]</sup>. 이러한 진동과 소음을 줄여나가기 위해 타이어와 완충기 및

# Corresponding Author : kangmc@pusan.ac.kr

Tel: +82-51-510-2361, Fax: +82-51-510-7396

차체구조 등의 다양한 분야에서의 연구가 활발히 진행되고 있다. 자동차 차체의 경우 얇은 판으로 조립되기 때문에 떨림에 의한 진동 및 방음에 취약할 수밖에 없다. 이러한 수동적인(passive) 구조체의 소음 처리 방법은 제진물질을 부착하는 공정이 간단하고 처리비용도 낮기 때문에 대량 생산되는 많은 분야의 제품에 적용되고 있다<sup>8)</sup>.

승용차에 사용되는 제진재는 차체 밑면을 비롯하여 대쉬, 루프 등에 아스팔트 형 제진 패드로 부착되기도 하고 대쉬나 휠 하우징 및 패키지 트레이 등 이중 강판 사이에 제진재를 삽입한 샌드위치형의 구조가 사용되기도 한다<sup>9)</sup>. 통상의 아스팔트 패드는 각종 무기질 필러 및 유기질 필러가 혼합되어 패드 형태로 압출 가공을 거쳐 제품화되고 있으며 자동차 차체의 내면에 부착되어 철판의 방음, 방진 등으로 자동차 실내의 정숙성과 쾌적함을 향상시키는 중요한 역할을 한다. 아스팔트 패드의 차체 부착시 별도의 오븐 타입(Oven type) 장치를 제작하여 대류 열을 이용한 간접 융착 방식을 이용하고 있다. 하지만 오븐 타입 장치를 사용하기 위해서는 최초 목표 온도까지 도달하기 위한 장치의 승온 시간과 일정 온도를 유지하기 위해 지속적인 전력 공급이 되어야 한다. 또한 간접 가열은 아스팔트 패드가 차체 부품에 정상 융착이 되기까지의 많은 시간과 전력 소모가 요구되기 때문에 이런 방법은 전혀 친환경적이지 않다.

줄 히팅은 사용자 환경에 맞게 원하는 부위를 가열할 수 있는 국부가열이 가능하며, 자동차 차체 부품 제조 공법인 핫스탬핑 공정에서 급속 가열을 위한 목적으로 사용되기도 한다<sup>10)</sup>. 이같이 자동차 부품 제조 공정의 핫스탬핑 공정에서는 줄 히팅을 이용한 연구는 계속적으로 진행되고 있다. 하지만 본 연구와 같은 제진재의 형상에 따른 제진 효과 및 강성과 관련된 연구, 그리고 핫스탬핑 공정에서의 줄 히팅을 사용한 연구는 일부 존재하지만 본 연구와 같이 소음과 진동을 줄이기 위한 아스팔트 패드 부착 후 줄 히팅을 통한 간접(Indirect) 융착과 관련 응용 연구 사례는 거의 보고되고 있지 않다.

따라서 본 연구에서는 자동차 차체 부품에서의 줄히팅 적용을 통한 가열 방법과 가열 특성에 대한 사례를 조사하였으며, 자동차 차체 부품에 사용되

는 스틸 소재와 아스팔트 패드의 줄 히팅에 의한 융착성에 대하여 현재 타입 장치의 전력소모 및 작업 시간을 줄이기 위해 오픈타입(Open type) 장치 가열에 대한 융착성 평가를 수행하였다.

## 2. 이론적 배경

### 2.1 줄 히팅 정의

줄 히팅은 전류(A)를 이루는 전자와 도체를 구성하고 있는 원자 이온 사이의 상호작용에 의해 발생된다. 이온들이 충돌할 때마다 운동에너지를 잃게 되고 반대로 이온의 에너지는 증가한다. 결국 이온의 운동에너지 또는 진동에너지가 증가하게 되면서 열로 바뀌어 온도가 상승하게 된다.

Joule's Law에 의하면 도체에 전류가 흘렀을 때 발생하는 열량은 전류의 제곱과 도체의 저항을 곱한 것에 비례하며, 아래 식 1에서 알 수 있다.

$$Q = I^2 \times R \times t \dots \dots \dots (1)$$

여기서, Q: 열량, I: 전류, R: 저항, t: 통전 시간

### 2.2 줄 이론의 검증 방법

Fig. 1은 줄 히팅에 대한 콘셉트이며, 전극 (a)와 전극 (b)의 상하 사이에 SGACC 시트를 올리고 그 위에 아스팔트 패드를 위치 시켰다. + 전극에서 발생한 전류는 SGACC 시트에서 소모되면서 저항 열을 발생시켜 아스팔트 패드를 가열하고 남은 나머지 전류는 - 전극으로 흐른다.

실험의 조건은 다음과 같이 가정할 수 있다. 첫째 전극이 SGACC 시트에 가해진 압력은 동일하다

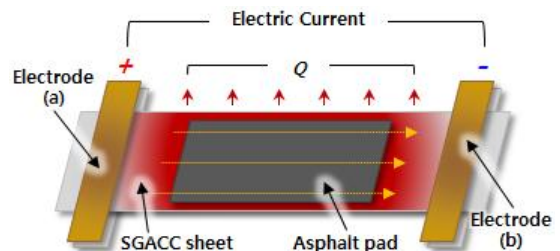


Fig. 1 Joule heating concept

고 본다. 둘째 아스팔트 패드는 저항체 SGACC 시트에 균등하게 안착이 이루어진 상태이다. 셋째 인가된 전류에 의해 SGACC 시트에 균등한 열량인 인가되었다. 이때 사용된 시편은 두께와 폭이 일정한 직사각형 시편이다.

위의 조건으로 가정하고 실험 진행시 전극 (a)에 인가된 전류가 저항체인 SGACC 시트에서 균일한 열량을 소모하고 나머지 전류가 전극 (b)로 흐르게 된다. 이때 인가된 전류(Electric Current)의 통전 과다로 인하여 부착된 아스팔트 패드가 저항 열에 의해 끊어오름이나 타면서 그윰음이 발행할 수 있기 때문에 통전은 시간은 서서히 늘려갈 필요가 있다. 따라서 SGACC 시트에 균일하게 전류가 흘러 부착된 아스팔트 패드는 균등한 융착성을 보이게 된다 고 가정할 수 있다.

### 3. 실험장치 및 방법

#### 3.1 오븐 및 오픈 타입별 히팅 거동

Fig. 2는 오븐 타입과 오픈 타입 장치에 있어서 예비 실험을 통해 얻은 조건별 거동 결과를 보여주고 있으며, 히팅 타입별 특성에 대하여 Table 1에 나타내었다. 오븐 타입 장치의 경우 분위기 내 대류 열을 통한 간접 가열이 되기 때문에 150℃까지

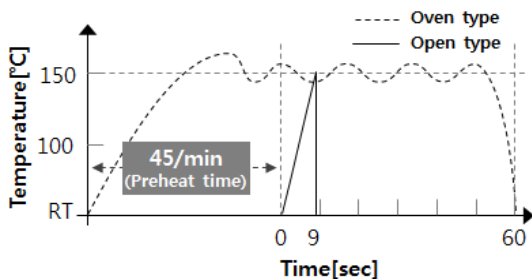


Fig. 2 Oven type and open type heating

Table 1 Characteristics by heating type

TYPE	Heating	Heat transfer	Temperature management	heating time (sec)
Oven	Indirect	Convection	○	60
Open	Indirect	Conduction	X	9

온도 승온 시간 45분이 필요하며, 오픈 타입 장치의 경우 전도열을 통한 간접 가열로 별도의 온도 승온을 위한 예열 시간이 필요하지 않다.

#### 3.2 오븐 및 오픈 타입별 장치구조

Fig. 3은 오븐 타입의 히팅 장치 구조를 보여주고 있다. 오븐 타입의 경우 대류 열로써 시편을 가열하여야하기 때문에 데워진 공기의 이탈을 막고 분위기 조성을 위한 별도의 폐쇄된 공간이 필요하며, 별도의 슬라이딩 도어를 설치하여 제품 가열과 취출시 열 손실을 최대한 줄이고 있지만 기본적으로 열량 소모가 많을 수밖에 없는 구조이다.

본 실험을 위해 제작하고자하는 오픈 타입 장치의 콘셉트 디자인을 Fig. 4에서 보여주고 있다. 구

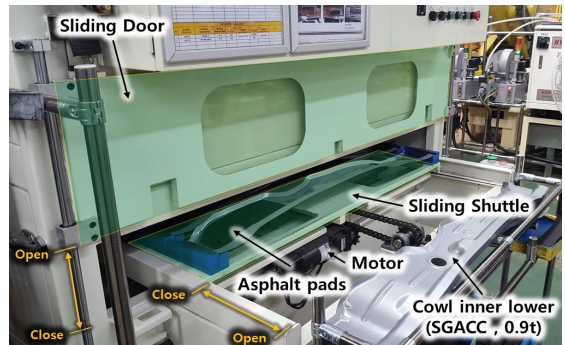


Fig. 3 Oven type heating device

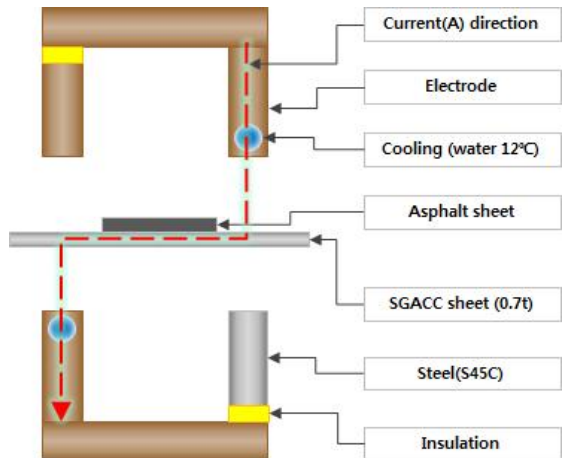


Fig. 4 Open type heating system concept design

성은 통전을 위한 상하 전극과 전류(Current)를 한 방향으로 흐르기 위해 상하 각각 한쪽은 절연을 하였다.

또한 전극의 가열 방지를 위해서 전극 내부에 냉각 채널을 구성하여 원활한 냉각이 되도록 하였다. Fig. 4의 디자인을 바탕으로 Fig. 5의 오픈 타입 히팅 장치를 제작하였고 가압을 위해 장치의 스토르크를 조절하여 상하 전극 간 접촉면을 확인하였다.

### 3.3 실험방법

Fig. 5의 오픈 타입 히팅 장치의 실험 순서와 방법은 다음과 같다.

- 1) 고정된 하형 전극에 SGACC 시트를 올려놓고 그 위에 아스팔트 패드를 안착시킨다.
- 2) 장치 작동시 상형 프레스가 아래로 내려와 전극이 SGACC 시트를 가압 후 전류를 인가한다.
- 3) 전류(Current)는 7.0kA 3/1 Cycle로 설정한다.
- 4) 5초, 7초, 9초 3가지 히팅 시간 제어를 통해 실험을 진행하고 설정된 시간이 종료되면 다시 프레스가 상승하여 실험이 종료된다.

기존 오픈 타입의 경우 분위기 온도를 150±5℃로 관리하고 있으며, 오픈 타입의 경우 별도의 실험 방법이 없어 본 실험에서는 인가된 전류의 시간 제어를 통하여 온도를 제어하였다. 실험에 사용된 SGACC 시트의 화학성분은 Table 2에서 보여주고 있으며, 물성 데이터는 Table 3에서 보여주고 있다. 아스팔트 패드는 아스팔트 및 고무를 주성분으로 하고 변성용 수지, 충전제를 배합하여 일정한 두께로 성형 가공한 패드이다. 작업성에 있어서 10~30℃의

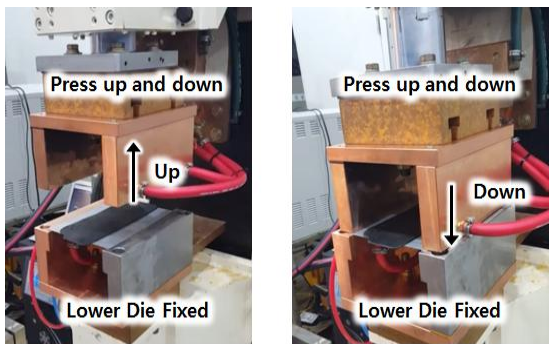


Fig. 5 Open type heating system

Table 2 Chemical composition of SGACC

Chemical composition (%)					
3: x 1,000, 4: x 10,000					
C	Si	Mn	P	S	S-AL
4	3	3	4	4	3
13	8	87	130	70	24

Table 3 Property data of SGACC

Yield Strength	Tensile strength	Elongation
142 N/mm <sup>2</sup>	292 N/mm <sup>2</sup>	48%

Table 4 Ingredient list of Asphalt pads

Cellulose	Calcium-oxide	Calcium-carbonate	Asphalt oxidized
6%	3%	50%	38%



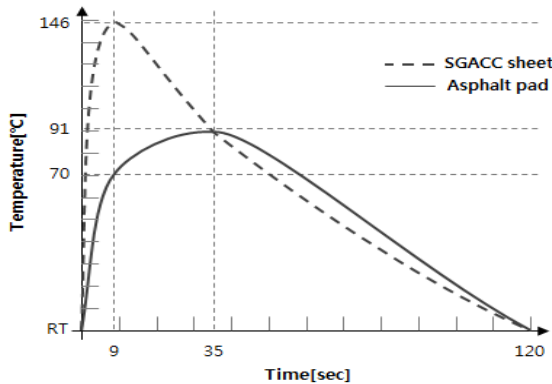
Fig. 6 CAS Non Contact IR Thermometer

분위기에서 작업하는 경우 통상의 작업에 지장을 주는 결함이 없어야 하기에, 외관상 흑색이고, 현저한 변형, 상처, 주름 등의 실용성을 잃은 결함이 없는 소재를 사용하였다.

본 실험에 사용된 아스팔트 패드 B 타입은 히팅 온도가 160℃ 이상이며, 20℃에서 0.14 ~ 0.20의 제진계수를 갖는 특성을 가지고 있다. 본 실험에 사용된 아스팔트 패드는 길이 200mm × 폭 100mm × 두께 3mm로 자세한 성분 배합 표는 Table 4에 나타내었다. 실험 중 SGACC 시트 및 아스팔트 패드 온도를 측정하기 위해 CAS 비 접촉 적외선 온도계를 통하여 온도를 측정하였으며, Fig. 6에서 보여주고 있다.

**Table 5** Temperature change with time and Amount of change

Material	After 9 Seconds (°C)	After 35 Seconds (°C)	Amount of change (°C)
SGACC sheet	146	70	- 76
Asphalt pad	70	91	+ 21



**Fig. 9** SGACC sheet & Asphalt pad Temperature change graph with time

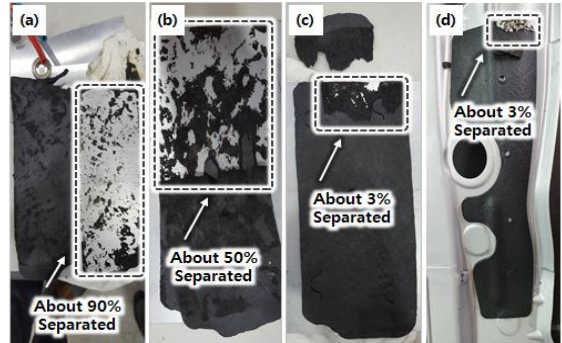
#### 4. 실험결과 및 고찰

##### 4.1 아스팔트패드와 SGACC시트의 온도 변화

실험 장치를 통하여 5초, 7초, 9초의 3가지 타입으로 각 3번의 반복 실험을 진행하였고, 그 평균값을 얻었다. 아스팔트 패드와 SGACC 시트의 온도 측정 결과를 Table 5와 Fig. 9에 나타내었다. 실험 종료 후 SGACC 시트의 온도는 146°C, 아스팔트 패드 온도는 70°C로 측정되었으며, 실험 종료 후 SGACC 시트는 온도가 점차 내려가는 반면 아스팔트 패드의 온도는 계속 상승하였다. 실험 종료 후 26초지나 아스팔트 패드에서는 더 이상의 온도 상승이 없었다. 이때 SGACC 시트의 온도는 70°C로 측정되었으며, 아스팔트 패드의 온도는 91°C로 측정되었다. Table 5에서 SGACC 시트와 아스팔트 패드의 온도 변화에 따른 편차 표현하였다.

##### 4.2 오픈타입의 단면 융착효과 관찰

현재 정형화된 평가방법이 없기에 단순 SGACC



**Fig. 10** Separation test results for open type (a) 5 seconds, (b) 7 seconds, (c) 9 seconds heating and oven type (d) 60 seconds heating

시트와 아스팔트 패드의 융착 정도를 정성적으로 상대 비교하였으며, 실험시 온도에 따른 물성변화는 고려하지 않았다. 다만 가열 후 냉각시 SGACC 시트보다 방열 효과가 떨어지는 것을 알 수 있었으며 이는 Fig. 9의 그래프에서 보여주고 있다.

Fig. 10은 오픈 타입 줄 히팅 결과에 대한 시편 a, b, c와 기존 오븐 타입 공정에서 제작한 시편 d의 분리 단면을 보여주고 있다. 실험 결과 5초 가열한 a시편의 경우 전체 면적의 약 10% 미만의 융착으로 인하여 쉽게 탈락되는 현상을 보였으며, 7초 가열한 b시편의 경우 약 50% 정도의 융착성을 보여주고 있으나 SGACC 시트와 아스팔트 패드의 완벽한 융착이 되었다고 판단하기는 어렵다. 반면 9초로 가열한 c시편의 경우 기존 오븐 타입에서 60초 가열 제작한 d시편과 비슷한 95% 이상의 융착성을 얻을 수 있었다.

본 실험에서는 줄 이론을 바탕으로 시편 검증을 위해 오픈 타입의 히팅 장치를 구성하였으며, 스틸 소재인 SGACC 시트와 아스팔트 패드의 융착성 평가를 위해 실험을 수행 하였다. 균등한 열량 소비를 위해 직접 접촉되는 SGACC 시트의 경우 사각 형태의 시트를 고려하였고 실험결과 5초, 7초, 9초 조건에서의 SGACC 시트에 균등한 열량이 소비되었다는 것을 단면에서 명확하게 확인할 수 있었다.

#### 5. 결 론



본 연구에서는 줄 히팅을 통한 아스팔트 패드와 SGACC 시트의 용착성 검증을 위해 줄 이론을 바탕으로 실험용 장비를 제작하여 통전 시간별 용착성 효과를 검증하였으며, 다음과 같은 주요 결과를 얻었다.

- 1) 오븐 타입의 60초 가열과 같은 용착성을 얻기 위해서는 고정 전류 7.0kA, 시간 9초 이상에서의 온도는 최소 146℃(온도 편차 ±5℃) 이상 필요한 것을 알 수 있었다.
- 2) 가열된 SGACC 시트는 복합적인 열 손실이 발생하면서 일부 열전도를 통한 아스팔트 패드에 영향을 준 것을 알 수 있었다. 이는 9초 가열의 경우 실험 종료 직후 SGACC 시트의 온도는 146℃로 측정되었으며, 35초경과 후 70℃로 76℃ 감소하였다. 그에 반해 아스팔트 패드의 온도는 실험 종료 후 70℃에서 35초경과 후 91℃로 21℃ 상승하였다.
- 3) 줄 히팅을 이용한 직사각형 시편에 아스팔트 패드의 전도열을 이용한 간접 가열의 유용성을 확인하였다.

## 후 기

본 연구는 2019년도 산업통상자원부 광역협력권 산업육성사업(P0006085) 연구비 지원에 의한 연구임.

## REFERENCES

1. Kim, K. Y., Choy, L. Jon., Shin, H. I., Cho, J. H., Lee, C. H., Kang, M. C., "Characteristics of Mechanical Properties and Micro Structure according to High-Frequency Induction Heating conditions in Roll Forming Process of a Sill Side Part," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 16, No. 6, pp. 87-94, 2017.
2. Park, J. H., Park, S. H., Park, S. H., Joo, Y. H., Kang, M. C., "Evaluation of Mechanical Properties with Tool Rotational Speed in Dissimilar Cast aluminum and High-Strength Steel of Lap Jointed Friction Stir Welding," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 18, No. 7, pp. 90-96, 2019.
3. Joo, Y. H., Park, Y. C., Lee, Y. M., Kim, K. H., and Kang, M. C., "The Weldability of a Thin Friction Stir Welded Plate of Al5052-H32 using High Frequency Spindle," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 16, No. 1, pp. 90-95, 2017.
4. Noh, J. S., Kim, J. H., Go, G. H., and Kang, M. C., "New technology Trends on Friction Stir Welding Based on Milling Process in terms of Tools, Machine and Pllied Parts," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 12, No. 6, pp. 37-44. 2013.
5. Park, J. H., Jeon, S. T., Lee, T. J., Kang, J. D., Kang, M. C., "Effect on Drive Point Dynamic Stiffness and Lightweight Chassis Component by using Topology and Topography Optimization," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 17, No. 3, pp. 141-147, 2018.
6. Kim, S. Y., Kim, K. S., "A Study on Radiation Noise of Vehicle Power Seat Recliner using Finite Element Analysis," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 17, No. 1, pp. 101-107, 2018.
7. Chung, W. J., Oh, J. S., Park Y. N., Kim, D. C., Park, Y. J., "Optimization of the Suspension Design to Reduce the Ride Vibration of 90kW-Class Tractor Cabin," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 16, No. 5, pp. 91-98, 2017.
8. Lee, D. H., "Reduction of Structure-borne Noises in a Two-Dimensional Cavity using Optimal Treatment of Damping Materials," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 30, No. 12, pp. 1581-1587, 2006
9. Kim, H. S., Sung, M. H., "Analysis of Damping Effects of the Stiffness of Body Panel," Journal of the Korean Society Automotive Engineers, pp. 30-34, 2000.
10. Chang, J. H., Oh, J. W., Lee, H. S., "Comparison of energy efficiency on different types of hot stamping furnace," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, pp. 788-791, 2018.