

## 실사이드 부품의 롤포밍공정에서 고주파유도가열 부가조건에 따른 기계적 특성 및 미세조직 평가

김근영<sup>\*,\*\*</sup>, 최이준<sup>\*</sup>, 신현일<sup>\*\*</sup>, 조준행<sup>\*\*</sup>, 이창훈<sup>\*\*</sup>, 강명창<sup>\*,#</sup>

<sup>\*</sup>부산대학교 융합학부, <sup>\*\*</sup>세원기술연구소

## Characteristics of Mechanical Properties and Micro Structure according to High-Frequency Induction Heating Conditions in Roll Forming Process of a Sill Side Part

Kun-Young Kim<sup>\*,\*\*</sup>, Lee-Jon Choy<sup>\*</sup>, Hyun-Il Shin<sup>\*\*</sup>, Jun-Haeng Cho<sup>\*\*</sup>, Chang-Hoon Lee<sup>\*\*</sup>,  
Myung Chang Kang<sup>\*,#</sup>

<sup>\*</sup>Graduate school of convergence science, Pusan National University, Pusan 609-735, Korea

<sup>\*\*</sup>New Technology department, Sewon Corp, Ltd, 53 Do-nam Yeong cheon-si, Gyeongbuk 38898, Korea

(Received 14 November 2017; received in revised form 27 November 2017; accepted 28 November 2017)

### ABSTRACT

Hot stamping processes are possible for tensile strength 1.4 GPa but the strength reduction is appeared from the cooling performance unbalance. And the strength of roll forming process is below than that of hot stamping process owing to using the steel which is lower strength of boron steel. In this study, We provide roll forming process assisted high-frequency induction heating to solve the problem of conventional one. The experiments were carried out at under various sill side part conditions: high-frequency induction heating conditions of 15, 18, 21, 24, 27 and 30 kW. The high-frequency induction heating temperature was checked with Infrared camera and the sill side parts of mechanical properties and microstructure were measured. The heating temperature of high frequency induction was measured to max 850 °C under the coil power of 30 kW. The tensile strength was 1.5 GPa and hardness was 490 Hv. The martensite structure was discovered under coil power of 30 kW. The weight of steel material sill side having thickness 1.5 mm and the boron steel sill side having thickness 1.2 mm were compared to weight effect. The boron steel sill side reduced 11.5% compared to steel. Consequently, manufacturing process of 1.5 giga-grade's sill side part was successfully realized by the roll forming assisted high-frequency induction heating methods.

Key Words : Sill Side(실사이드), High Frequency Induction Heating(고주파 유도가열), Roll Forming(롤포밍), Boron Steel(보론강), GIGA-Grade Steel(기가급 강재)

### 1. 서 론

최근 자동차 산업은 환경 및 안전 규제가 지속적

으로 강화됨에 따라 완성차 업체는 경량화 및 고강도 차체기술 개발에 대한 관심이 증대되고 있다. 경량화와 충돌 안정성을 향상시키기 위해서 일반 스틸의 강판에서 기가급 고강도강판에 대한 성형 기술이 확대 적용되고 있다<sup>[1-3]</sup>. 글로벌 차체 업체를 중심으로 매년 “EuroCarBody”행사<sup>[4]</sup>를 실시하고

# Corresponding Author : kangmc@pusan.ac.kr

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

있으며 기가급 고강도강판을 적용한 도어 임팩트 빔, 범퍼 등 경량화와 충돌 안전에 관한 부품을 전시하고 있다. 기가급 고강도강판에 대한 자동차 차체 부품을 50 %까지 적용할 계획이라고 보고하였다.

현재 롤포밍공정은 부품성형의 시뮬레이션 연구를 통해 롤 금형에 대한 롤(roll)단수 및 형상변화의 스프링백(Spring back) 개선에 대하여 발표되고 있다<sup>[5-6]</sup>. 또한 핫스탬핑 공정은 900 °C 고온에서 급속히 냉각하여 최대 1.4 GPa이상의 강도를 확보할 수 있는 공법으로 기가급 강판성형에 대한 기계적 특성 평가에 관한 연구가 주로 발표되고 있다<sup>[7-8]</sup>. Han<sup>[9]</sup> 등은 핫스탬핑 공정에 적용한 보론강의 고온성형 특성을 연구하였고, Merklein<sup>[10]</sup>은 고온성형의 물성 값에 대한 온도, 변형률 속도, 냉각속도, 부품성형에 대한 스프링백 결과 및 다양한 금형재의 내마모성에 대해 고찰하였다.

한편, 초고강도 강판을 적용한 실사이드(Sill side)는 롤포밍과 핫스탬핑에 관한 공정연구가 진행되고 있으며, 특히 롤포밍 공정은 시뮬레이션의 해석 연구를 통한 롤금형 단수와 핫스탬핑공정의 부품 트리밍 금형에 관한 연구가 보고되었다<sup>[8-9]</sup>. 하지만 실사이드 부품의 롤포밍공정은 최대 1.1 GPa급 냉간 소재로 성형하기 때문에 핫스탬핑공정에서 사용하는 보론강소재보다 강도가 낮으며 핫스탬핑공정은 측벽부에 프레스 가압력이 전달되지 않아 성형시 냉각성능 불균형에 따른 강도저하 문제가 발생되고 있다. 또한 부품의 트리밍 성형시 금형 수명이 단축되고 있다는 연구가 보고되고 있다<sup>[11]</sup>.

따라서 본 연구에서는 자동차용 실사이드부품을 기가급 초고강도강을 제조할 목적으로 기존 롤포밍 공정에서 부가공정으로 고주파 유도가열 방식을 새로이 도입하였다. 롤포밍 공정으로 실사이드 부품을 성형하였으며 최대 1.5 GPa급 인장강도를 얻기 위해 고주파 유도가열 출력에 따른 온도 거동을 열화상 카메라로 분석하였고, 인장강도 및 비커스 경도를 평가하였다. 그리고 주사전자현미경(FE-SEM)을 통하여 고주파유도가열 출력변화에 따른 미세조직을 조사하였다. 또한 보론강소재를 적용한 실사이드부품의 경량화 정도를 일반강과 비교 평가하였다.

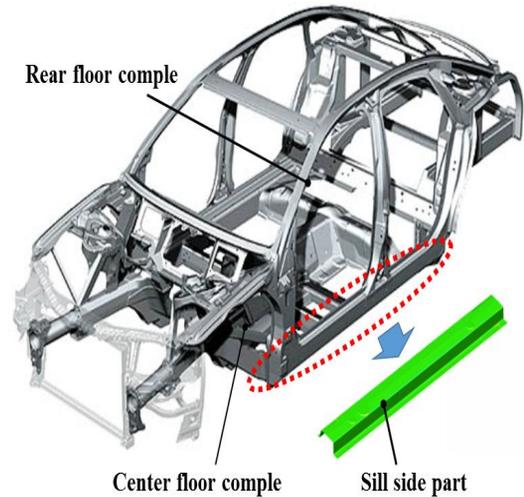


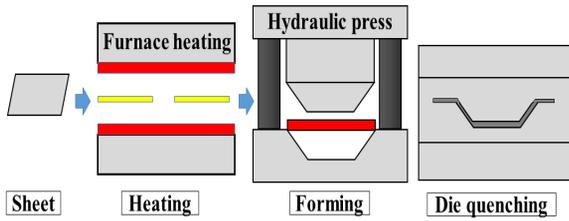
Fig. 1 Body In White and the under-body structure<sup>[12]</sup>

## 2. 롤포밍공정의 고주파유도가열 부가공정 개요

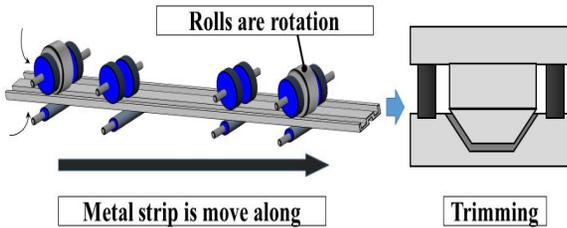
### 2.1 실사이드 부품의 기존 제조공정

Fig. 1은 자동차 부품의 차체 언더바디(underbody) 형상을 보여주고 있다. 실사이드 부품은 차체의 하단 측면부에 장착되어지는 언더바디부품으로 언더바디부품은 센터플로워컴플(Center floor comple)과 리어플로워컴플(Rear floor comple)로 이루어져 있다. 실사이드는 자동차의 측면충돌시 차체 전체 부품을 지지하는 역할과 후방 충격을 흡수하는 중요한 역할을 한다.

Fig. 2는 기존의 롤포밍공정과 핫스탬핑공정을 보여주고 있다. Fig. 2(a)는 핫스탬핑공정을 보여주고 있다. 핫스탬핑공정은 보론강소재를 가열로에서 10분동안 약 900 °C 이상의 온도에서 가열하여 오스테나이트 조직에서 프레스공정을 통해 성형공정을 수행한다. 프레스공정에서 성형된 부품은 금형내부의 냉각수에 의한 냉각공정을 통해 마르텐사이트 조직으로 상변태가 이루어지며 인장강도가 우수한 기가급 초고강도 부품을 얻을 수 있는 장점을 가진다. Fig. 2(b)는 롤포밍공정의 개념도를 나타내고 있다.



(a) Design draw of Hot stamping process



(b) Design draw of roll forming process

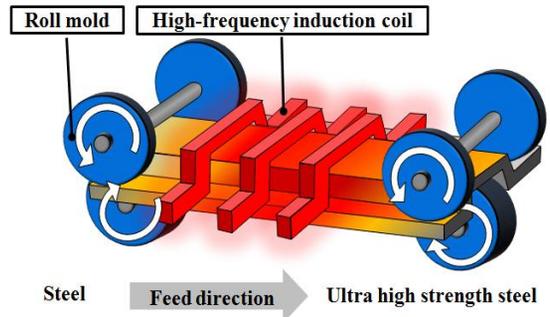
Fig. 2 Schematic of roll forming and hot stamping<sup>[6-7]</sup>

롤포밍공정은 상하 독립된 성형 롤러에 의해 단면 형상이 최종제품으로 성형될 때까지 여러 단의 롤러 사이를 소재가 통과하면서 원하는 단면의 굽힘 가공에 의해 성형된다.

## 2.2 실사이드 부품의 롤포밍공정에서 고주파유도가열 부가공정

고주파유도가열에 의한 열처리기술은 고경도 및 내마모성이 요구되는 공구류나 기어 등과 같은 부피가 작은 제품을 열처리하여 사용되고 있다. 자동차 차체부품산업의 경우 제품의 부피가 크고 프레스성형으로 형상이 일정하지 않으며, 소재 두께가 적어 변형률이 심해 고주파열처리 기술을 적용하는데 현실적인 어려움이 있다. 따라서 자동차 부품에 적용가능한 롤포밍기반 고주파유도가열 부가공정기술을 연구하고자 한다.

Fig. 3은 롤포밍기반 고주파 유도가열 공정을 보여주고 있다. Fig. 3(a)는 롤포밍기반 고주파유도가열 구성을 나타내고 있다. 한 쌍의 롤을 이용하여 금속 판재를 연속적인 입체적인 형상을 바꾸는 방법으로 순차적으로 설계된 롤 금형을 통과하여 연



(a) Schematic of high-frequency induction heating process in Roll Forming



(b) Roll forming and high-frequency induction heating process

Fig. 3 Principle and system photo of the high-frequency induction heating process

속적으로 제조되며 고주파유도가열의 부가조건을 통해 인장강도를 높일 수 있다. Fig. 3(b)는 본 연구에서 제안한 롤포밍 공정에서의 고주파유도가열 장치의 실제 사진을 나타내고 있다. 보론강 소재는 롤 금형사이로 전진하며 상단 롤(Upper roll)과 하단 롤(Lower roll)이 소재를 통과 할 때 단계적으로 성형된다. 롤포밍공정에서 고주파유도가열기까지의 이동속도는 최대 10~30 mm/sec까지 가능하다. 고주파유도가열 부가방법은 롤포밍공정에서 부가적으로 진행하였으며 열변형을 최대한 방지하기 위해 고주파 유도가열 후 롤금형에서 스프링백 현상을 최소화( $\pm 1.0$  mm)하였다.

## 2.3 시편준비 및 실사이드 형상설계

대상 실사이드의 상세형상 및 치수를 Fig. 4에 나타내었다. 실사이드는 모자형상(Hat-shape)의 단면을

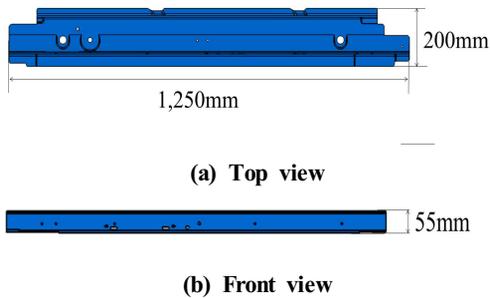


Fig. 4 Shape and dimension of the sill side part

Table 1 Chemical composition of boron steel<sup>[10]</sup>

Material	C	Si	Mn	P	S	Cr	B
wt(%)	0.2	0.21	1.27	0.017	0.017	0.22	0.028

가진 제품이며 실사이드의 길이, 넓이, 폭은 각각 1,250 mm, 200 mm, 그리고 55 mm이다. 가열과 냉각을 통한 초고강도화를 달성하기 위해 탄소(C)와 열처리성을 확보한 보론(B)이 적용된 22MnB5(Posco Corp., Korea) 소재이며, 사용된 소재의 원소성분은 Table 1과 같다.

### 3. 실험장치 및 방법

#### 3.1 고주파유도가열 부가장치의 구성

고주파유도가열은 교류전원이 가열코일에 전류를 흐르게 하면 자기장이 발생하여 피가열체 표면을 타고 2차 전류가 유도되어 금속의 저항성분에서 열이 발생하는 원리이다. 소재의 원하는 물성을 얻기 위해서는 고주파전류조건과 실사이드형상에 맞는 유도코일의 설계가 이뤄져야 하며 최적의 고주파유도가열 시스템에 대한 이해가 필수적으로 요구된다<sup>[11]</sup>. 따라서 고주파유도가열에 대한 출력 조건과, 코일 형상, 컨트롤 장치를 통해 열화상 카메라로 소재의 표면온도 측정이 요구된다.

Fig. 5는 고주파유도가열 실험장치 구성을 나타낸 것이다. 실험장치는 고주파유도가열기, 코일, 냉각

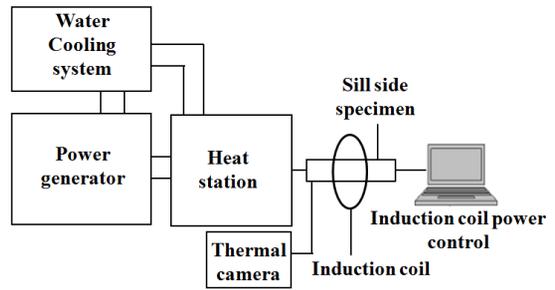


Fig. 5 Schematic diagram of high-frequency induction heating equipments

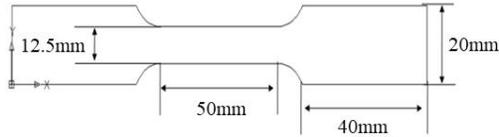
장치, 고주파 컨트롤 장치, 열화상카메라로 구성된다. 실험에 사용되는 고주파가열기(PSIH series, PSTEK Corp., Korea)는 코일파워 최대 30 kW와 주파수 최대 40 kHz가 가능한 장비로 코일파워에 따라 1~30 kW까지, 주파수의 경우 30~40 kHz까지 가변이 가능하다. 실사이드부품 생산시 고주파열처리에 대한 공정 변수는 실사이드 부품과 코일과의 간격거리를 고려하여야 한다. 따라서 가열코일과 실사이드부품과의 거리는 전기쇼트를 고려하여 최단 거리인 5 mm로 설계하여 제작하였다. 실사이드 부품과 고주파유도가열 코일은 실사이드 형상과 동일하게 제작되었으며 2권으로 감겨져 있다. 고주파유도가열로 실사이드 시편을 열처리할 때 열화상카메라(TG165, Flir Corp., USA)로 실사이드 외부표면온도를 측정하였으며, 고주파유도가열 후 수냉급속냉각방법을 채택하였다.

#### 3.2 고주파유도가열 실험방법

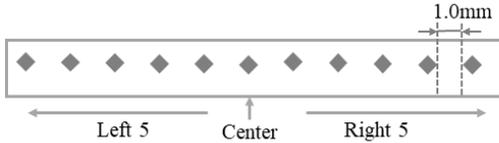
Table 2는 고주파유도가열 열처리공정 조건을 나타내고 있다. 고주파유도가열은 가열코일에 대한 출력에 따라 최대 열전달의 효과를 가지며 보론강은 최대 850 °C 이상의 열처리 조건에서 최대 인장강도를 얻을 수 있다. 코일의 출력 조건을 0~30 kW로 설정하였으며 롤의 이동속도는 실사이드 부품의 불량률증가와 물금형이 파손될 문제점을 고려하여 10 mm/sec조건에서 실험하였다. Fig. 6은 인장시험과 경도시험에 사용된 시편을 보여주고 있다. Fig. 6(a)는 인장시험용 시편으로 표준시편제작을

**Table 2 Experimental conditions of high-frequency induction heating process**

Experiment list	Conditions
Coil power (kW)	0, 15, 18, 21, 24, 27, 30
Roll speed (mm/sec)	10



(a) Schematic diagram of specimen for tensile test

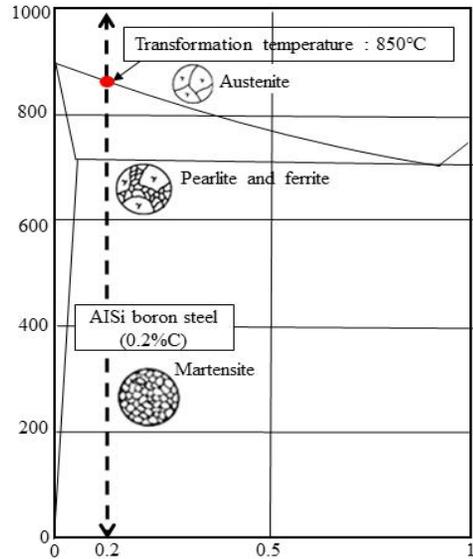


(b) Schematic diagram of specimen for micro vickers hardness

**Fig. 6 Specimen configuration of tensile strength test and micro vickers hardness**

위해 성형된 실사이드 부품에서 워터젯(SJA-1224, Tops Corp., Korea)으로 가공하였다. 인장시험은 ASTM E8 기준으로 인장시험기(ESM 1500, Exstec Corp., Korea)로 5 mm/min의 속도로 실시하여 인장강도를 측정하였다. Fig. 6(b)는 경도시험의 측정 위치를 보여주고 있다. 경도시험은 마이크로 비커스 경도시험기(Tukon 2100 series, Wolpert Corp., USA)로 측정하였으며 시험에 사용된 시편은 하중 98 N, 시편의 중앙부를 중심으로 1.0 mm간격으로 오른쪽과 왼쪽 방향으로 각 5회 측정하여 총 10회를 측정하였다.

Fig. 7은 Fe-C 상태를 나타낸 것으로 탄소 함유량이 0.2 %인 소재는 과공석강(Hyper-eutectoid steel)으로서 기본 조직은 페라이트(Ferrite)와 펄라이트(Pearlite)로 구성되어 있다. 탄소강의 임계 온도는 830 °C이며 모든 페라이트 조직은 균일한 오스테나이트로 변태한다. 마르텐사이트 조직은 강도를 높이는 데 가장 중요한 원소이며 오스테나이트 조직에



**Fig. 7 Fe-C phase diagram with Al-Si boron steel material<sup>[14]</sup>**

서 급속 냉각시 마르텐사이트 조직으로 형성된다<sup>[14]</sup>. 일반적으로 철강재료의 강화메카니즘은 가공경화, 변태 경화, 결정립 미세화 석출 경화 및 마르텐사이트의 강화 등으로 나타날 수 있다<sup>[13]</sup>.

마르텐사이트 조직은 높은 강도와 연신율을 얻을 수 있으며 소재의 두께를 줄여 경량화가 가능하다.

각각의 고주파 유도 가열 출력에 따라 본 연구에서 제조된 실사이드 부품의 금속조직을 분석하기 위해 주사전자현미경(S-4800, Hitachi Corp., Japan)을 이용하였다. 실사이드 부품을 10 mm x 10 mm 사이즈로 시편을 가공하였다. 연마포 (Polishing cloth)에 1 μm 다이아몬드 페이스트(Diamond paste)를 폴리싱(Polishing)하여 시편을 관찰하였다. 경량화 평가는 일반강 실사이드(두께 1.5 mm)와 보론강을 적용한 실사이드(두께 1.2 mm)를 전자저울로 비교하여 측정하였고, 제작공정에 있어서 동일한 두께를 얻을 수 없어서 상대적인 의미로 비교평가를 하였다.

#### 4. 실험 결과 및 고찰

#### 4.1 고주파유도가열조건에 따른 열처리특성

일반적으로 고주파 유도가열시 출력의 주요 변수는 유도 코일의 형상, 주파수 등으로 알려져 있으나 재료의 종류에 따라 실제 열이 침투하는 깊이가 달라질 수 있다<sup>[15]</sup>.

Fig. 8은 고주파 유도가열에 따른 실제 실사이드 부품의 표면온도 결과를 보여주고 있다. 고주파 유도가열 파워가 15 kW에서는 500 °C, 30 kW에서는 870 °C의 표면온도가 측정되었다. 최대 출력 30 kW에서 목표 온도보다 100 °C 낮은 정도에서 유지되는 현상이 나타났으며 코일 파워가 증가할수록 온도상승이 더욱 커지는 것을 확인할 수 있었다.

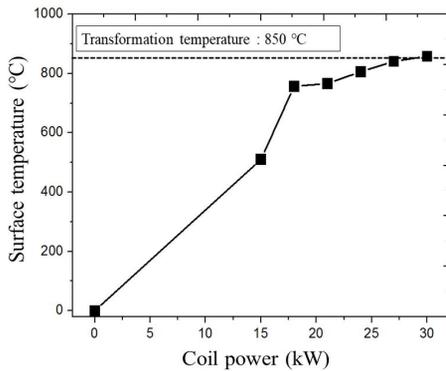


Fig. 8 Measurement results of high frequency induction heating power

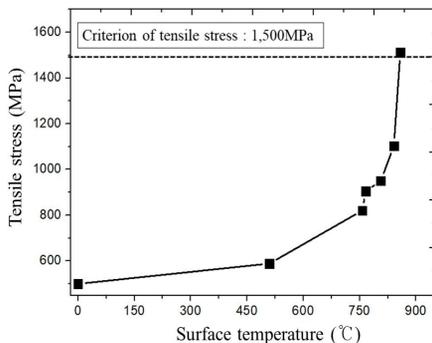


Fig. 9 Measurement result of tensile stress according to Max temperature

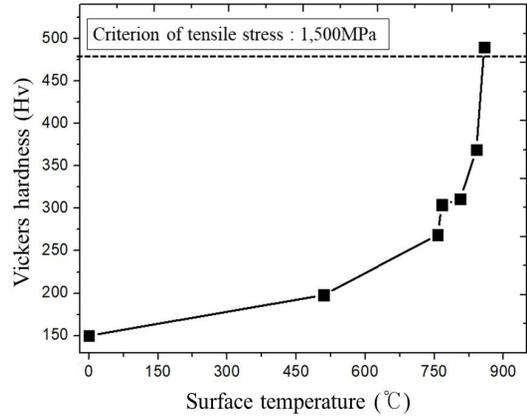


Fig. 10 Measurement result of vickers hardness according to tensile stress

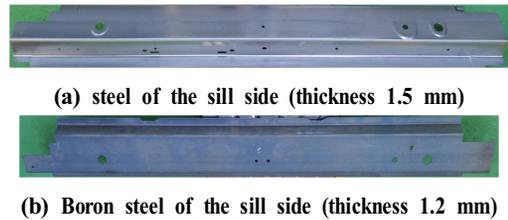
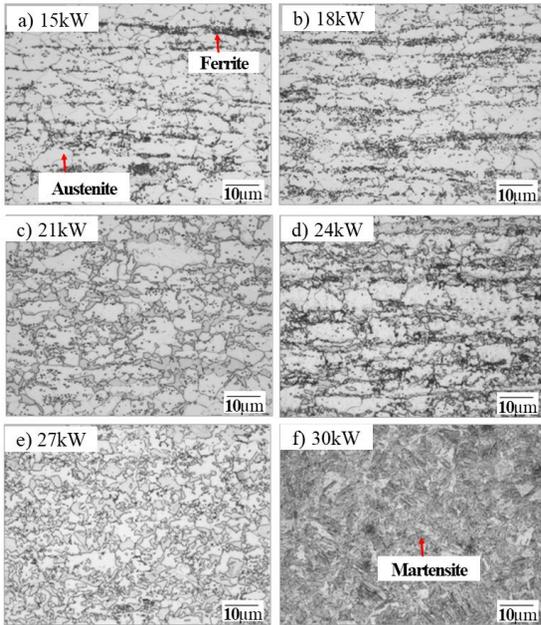


Fig. 11 Comparisons of steel and boron steel according to high frequency induction heating condition assisted in roll forming process of a sill side part

Fig. 9는 열처리 조건에 따른 인장강도 시험의 결과를 보여주고 있다. 코일 파워의 증가에 따라 인장강도가 증가하였으며 고주파출력 30 kW에서 표면온도가 870 °C 이상까지 온도가 상승하는 것을 확인하였으며 870 °C의 고주파 열처리된 시험편의 경우 1,500 MPa 이상을 만족하는 고장력강에 해당되는 인장강도의 결과를 얻을 수 있었다.

Fig. 10은 열처리된 시험편의 경도시험결과를 보여주고 있다. 경도 값은 인장강도의 값이 증가함에 따라 비례적으로 증가한다는 것을 알 수 있다. 1,500 MPa 값 이상의 인장강도에서 490 Hv 이상의 경도값을 얻을 수 있었다.

Fig. 11은 일반강을 적용한 실사이드와 고주파유도가열 부가조건에 따른 보론강을 적용한 실사이드



**Fig. 12** Microstructures of the sill side specimen on surface according to coil power

부품을 보여주고 있다. 경량화 비교평가는 일반강 실사이드 (두께 1.5 mm)의 경우 3.29 kg의 무게가 측정되었고 보론강을 적용한 실사이드(두께 1.2mm)는 2.91 kg으로 측정되어 11.5 %의 경량화 효과를 얻을 수 있었다.

### 4.3 고주파유도가열출력에 따른 미세조직 변화특성

Fig. 12는 고주파 유도가열에 의한 조직의 상변태 형상을 보여주고 있다. 15 kW에서 보론강의 조직은 오스테나이트와 소량의 페라이트 조직이 형성되었다. 고주파 코일출력이 높을수록 오스테나이트와 페라이트 조직에서 결정립의 크기가 줄어 들었으며 마르텐사이트 조직이 형성되었다. 고주파 출력 30 kW에서 마르텐사이트를 관찰할 수 있었다. 따라서 고주파유도가열 열처리 30 kW의 파워에서 마르텐사이트 조직으로 상변태됨을 확인할 수 있었고 고주파유도가열에서는 30 kW가 최적의 열처리조건으로 볼 수 있다.

## 5. 결론

본 연구에서는 롤포밍공정에서 고주파 유도가열 부가방법을 적용한 자동차용 실사이드 부품에 있어서 기계적 특성 및 미세조직의 거동을 평가하여 다음과 같은 주요결과를 얻었다.

1. 자동차용 실사이드 부품을 핫스탬핑과 동일한 강도를 가질 수 있도록 롤포밍공정에서 고주파 유도가열의 부가공정을 새로이 제시하였다.
2. 고주파유도가열 출력을 0~30 kW로 변화를 준 결과 30 kW에서 표면온도 870 °C를 확인하였고, 최대 인장강도 1,500 MPa값을 얻을 수 있었다.
3. 보론강의 소재표면온도가 증가함에 따라 경도값도 증가하였으며, 임계온도인 870 °C에서 490 Hv의 경도 값을 얻을 수가 있었다.
4. 일반강 실사이드와 보론강을 적용한 실사이드 부품의 무게를 측정한 결과 일반강 스틸보다 11.5 %의 경량화 효과를 얻을 수 있었다.
5. 미세조직의 상변태 형상은 고주파 유도가열 출력 30 kW에서 마르텐사이트 조직으로 변태하였음을 확인하였고, 표면온도 870 °C와 밀접한 관계가 있음을 알 수 있었다.

## REFERENCES

1. Kim, K. Y., Kwak, S. H., Han, G. D., Park, J. S., Cho, J. H., Lee, C. H., Kang, M. C., "Formability Evaluation with the Vacuum Resin Transfer Molding of a CFRP Composite Automobile Seat Cross Part," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineer Vol. 16, No. 3, pp. 24-29, 2017.
2. Han, B. J., Jeong, Y. C., Hwang, K. H., Kang, M. C., "Performance and Feasibility Evaluation of Straight-Type Mixing Head in High-Pressure Resin Transfer Molding Process of Carbon Fiber Reinforced Composite Material," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineer, Vol. 16, No. 5, pp. 157-65, 2017.
3. Kang, H., Kyoung, W. M., "Structural Design

- Optimization of the Aluminum Space Frame Vehicle,” Transactions of KSAE, Vol. 16, No. 1, pp. 175-180, 2008.
4. Zhou, J., Wan, X., Li, Y., “Advanced aluminium products and manufacturing technologies applied on vehicles presented at the EuroCarBody conference” Materials Today: Proceedings, Vol. 2, Issue 10, pp. 5015-22, 2015.
  5. Son, H. J., Kim, S. Y., Oh, B. S., Kim, K. S., “Development of Vehicle Door Side Impact Beam with High Tensile Steel using Roll Forming Process,” Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Enginee, Vol. 11, No. 6, pp. 82-87, 2012.
  6. Jung, D. W., Kim, D. H., Kim, B. C., “A Study on Development of Automotive Panel of Bumper Reinforcement with High Strength Steel Using Roll Forming Process,” Jorunal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 29, No. 8, pp. 840-844, 2012.
  7. Lee, I. K., Lee, S. Y., Lee, S. K., Ahn, M. S., “Trimless Blank Design for Hot Stamping Process of a Sill Side,” Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Enginee, Vol. 15, No. 5, pp. 93-99, 2016.
  8. Kum, J., Park, O., Hong, S., “Tough High Thermal-Conductivity Tool Steel for Hot Press Forming,” J. of KSMPE, Vol. 15, NO. 3, pp. 130-134, 2016.
  9. Han, S. S., “Formability Test of Boron Steel Sheet at Elevated Temperature for Hot Stamping” Transactions of Materials Processing,” Vol. 26, No. 2, pp. 121-125, 2017.
  10. Merklein, M., Lechler, J., Geiger, M., “Characterisation of the Flow Properties of the Quenchenable Ultra High Strength Steel 22MnB5,” CIRP Annals - Manufacturing Technology, Vol. 55, No. 1, pp. 229-232, 2006.
  11. Mori, K., Bariani, P. F., Behrens, B. A., Brosius, A., Bruschi, S., Maeno, T., Merklein, M., Yanagimoto, J., “Hot stamping of ultra-high strength steel parts,” CIRP Annals - Manufacturing Technology, Vol. 66, 755-777, 2017.
  12. [http://global-autonews.com/skin/board/global\\_basic/print.php?bo\\_table=bd\\_013&wr\\_id=752](http://global-autonews.com/skin/board/global_basic/print.php?bo_table=bd_013&wr_id=752)
  13. Jeon, H. B., Song, T. H., Park, H. J., “Surface Hardening Characteristics of High Carbon Steel using High Frequency Induction Hardening,” Proceedings of KSME, Vol. 2007, No 11, pp. 74-80, 2007.
  14. Choi, Y. G., Cho, W. S., Jang, W. Y., “Effect of Prior Structure on the Martensitic Transformation in an Fe-Cr-C Steel,” Jorunal of Advanced Engineering and Technology, Vol. 2, No 1, pp. 171~176, 2009.
  15. Lee, D. H., Yoon, C. S., and Lim, J. D., “Mechanical Properties of High Stength Sheet Steels for Auto-Body by Induction Heat Treatment,” Jorunal of the Korean Society for Heat Treatment, Vol. 17, No. 2, pp. 73-77, 2004.