

# 마그네슘 합금 AZ31B 판재를 활용한 차체 Dash Panel 온간 성형 부품 개발

박동환<sup>#</sup> · 윤재정<sup>1</sup> · 탁윤학<sup>1</sup> · 이춘우<sup>2</sup>

## Development of Automotive Dash Panel Parts Using Warm Drawing of Magnesium Alloy AZ31B

D. H. Park, J. J. Yun, Y. H. Tak, C. W. Lee

(Received December 9, 2014 / Revised March 9, 2015 / Accepted March 18, 2015)

### Abstract

The warm drawing of magnesium alloy AZ31B sheet is affected by temperature because tensile elongation is changed due to the elevated temperature. In the current study, the effect of temperature was investigated for an automotive dash panel part by both experimental and FE analysis. Tensile tests were performed to obtain mechanical properties for various temperatures. AZ31B alloy sheet shows increased total elongation with increasing deformation temperature in the range of 200 to 300°C. The heating channel inserted into the die was used to regulate and to obtain an optimal temperature. A temperature controller was constructed to reduce temperature variation. Warm drawing of magnesium alloy AZ31B was performed to produce the desired shape of the lightweight automotive dash panel. The simulated results showed good agreement with the experimental results.

**Key Words** : Warm Drawing, Automotive Dash Panel, Magnesium Alloy, AZ31B, Lightweight

### 1. 서론

최근 들어 에너지 자원의 효율적인 이용과 환경 오염 저감에 대한 사회적 요구가 증가하고 있다. 특히 한정된 화석원료를 주 연료로 사용하는 수송기기 산업의 경우 지구 온난화의 주원인인 CO<sub>2</sub> 및 각종 배기가스의 배출량에 대한 단계적인 규제를 통해 환경오염을 감소시키고 한정된 에너지 자원의 효율성을 향상시키기 위한 연구개발이 활발하게 진행되고 있다. 환경오염 규제는 자동차산업을 중심으로 나날이 강화되고 있으며, 이에 주요 자동차 생산국들은 기존 자동차와 비교하여 연비를 개선하는 차세대 자동차 개발을 활발하게 추진하고

있다.

자동차의 연비를 향상시킬 수 있는 여러 가지 방법 중에서 차체 경량화 기술은 경량소재 적용 및 기존 소재의 고강도화를 통해 차체 무게의 30% 이상을 감소시켜 연비를 개선하는 기술로 차세대 자동차 개발을 위해 가장 유력하고 현실성 있는 방안으로 제시되고 있으며, 특히 경량소재의 적용을 통해 기존의 철강소재를 대체하는 기술이 핵심기술이다. 현재 자동차에 적용되고 있는 마그네슘 합금은 대부분이 다이캐스팅 공정을 이용하여 제조되고 있으며, 주로 Case류 및 Steering Wheel, Seat Frame, Instrument Panel 등 비교적 강도와 내열성이 크게 요구되지 않는 분야에 적용되고 있다.

1. 경북하이브리드부품연구원

2. ㈜아진산업

# Corresponding Author : Gyeongbuk Hybrid Technology Institute, E-mail: pdh@ghi.re.kr

최근 차체 경량화 방안으로 알루미늄 합금, 마그네슘 합금, 고장력강 등 금속재료와 플라스틱 및 섬유강화 플라스틱을 적용한 차체기술이 미래 경량차체 기술로 부각되고 있다. 다양한 경량 소재의 적용은 차체 경량화를 구현할 뿐만 아니라 차체 주요 부품별로 충돌, 강성 등 요구 성능에 대응하는 적합한 기계적 성질의 소재들을 선별 배치하여 최적화된 차체 성능을 얻을 수 있다. 마그네슘 합금 적용 차체기술은 기존의 단일 소재를 적용한 차체기술에서 진일보된 초 경량화 및 차체 성능 최적화를 구현할 수 있는 자동차 산업의 미래 기술로 이슈화되고 있다. 초경량 차체는 연비 향상이 가능한 핵심 기술로서 차체 경량화 분야의 미래기술로 주목받고 있지만, 피로 수명 예측 등 기반기술이 취약한 실정으로 보고되고 있다[1, 2].

마그네슘 합금 소재는 결정 구조가 조밀육방결정 구조로 되어 있어 상온에서는 드로잉 성형이 어려워 온간성형이 필수적으로 요구된다. 온간성형 방법에는 가열로 내에서 가열하여 노 내에서 꺼낸 후 성형하는 방법과 금형을 설정된 온도로 가열 후 판재를 금형에 삽입하여 성형하는 방법이 있다. 본 연구는 마그네슘 합금 소재 특성상 상온에서 성형이 어려워 금형을 설정된 온도로 가열 후 소재를 금형에 삽입하여 성형하는 방법을 선택하였으며 온도 편차를 줄이고 안정된 치수 정밀도의 제품 생산을 위해 온도 조절이 가능한 히팅 채널이 포함된 금형과 온도조절 장치를 구성하였다[3, 4].

또한, 경량 마그네슘 합금 소재는 소음진동 감소 및 차폐 기능이 있으며 강판대비 우수한 중량저감 효과를 가지고 있는 반면 공통적으로 성형성이 저하되는 난 성형 특성을 가지므로 차체 부품 제작을 위해서 온간성형 기술에 대한 연구가 이루어져 왔다[5~8]. 경량소재의 기계적 특성 및 부품 형상에 대한 특성을 토대로 성형 공법을 도출하고, 성형 공정 최적화 및 금형 설계기술을 확보하는 것이 필요하다. 온간성형은 일정 온도로 가열된 금형에 판재를 장착하여 예열한 후 원하는 형태로 성형하는 공정으로 복잡한 형상의 부품도 한 번에 성형이 가능한 장점을 지니고 있다[9]. 본 연구는 마그네슘 합금 판재를 사용하여 자동차 차체 Dash Panel 부품을 개발하는 것으로 해석과 실험을 통하여 부품을 경량화하고자 하였다.

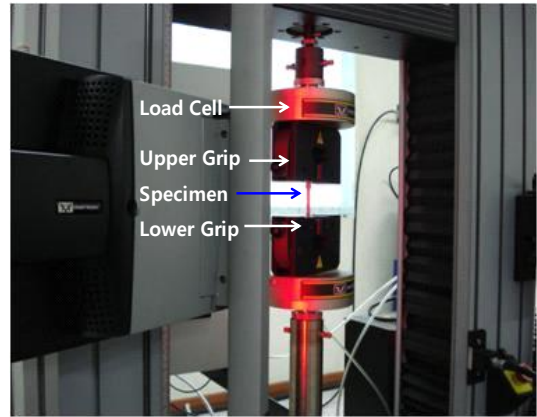


Fig. 1 Test equipment at room temperature

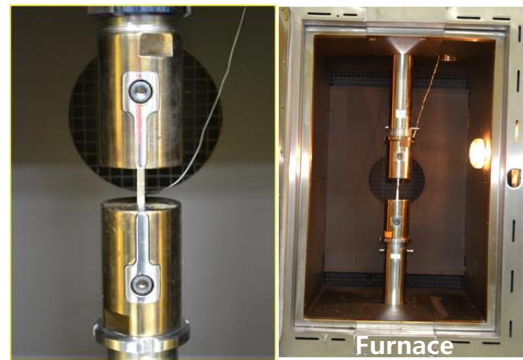


Fig. 2 Test equipment at elevated temperature

## 2. 소재 물성 시험

시험에 사용된 소재는 AZ31B로 두께는 1.0mm인 박판 소재를 와이어 커팅 가공하여 시편으로 사용하였다. 기계적 성질을 파악하기 위해 인장시험을 실시하였는데, 시험 시편은 압연 방향에 대해 0도, 45도, 90도의 각도를 가지도록 가공되었다. 인장시험은 만능재료시험기(UTM)에서 시험속도 2mm/min로 하였으며, 온도제어는 시험편에 열전대(thermocouple)를 장착하여 지정온도 도달 후에 10분간 유지한 후 시험을 수행하였다. 시험 온도는 상온(25℃), 100℃, 200℃, 250℃, 300℃에서 재료의 방향별로 3~5회 실시하였다. Fig. 1은 인장시험을 위한 장비를 보여주고, Fig. 2는 고온 인장시험을 위한 지그와 챔버를 각각 보여준다. Fig. 3~5는 변형률속도 0.0013/s에서 압연방향, 압연방향과 45도 방향, 압연방향과 90도 방향의 시편에 대해 각 온도에서 얻은 외삽(extrapolation)한 응력-변형률 곡선을 나타낸다. 온도가 증가할수록 항복응력과 인장강도는 낮아지고 있음을 알 수 있다.

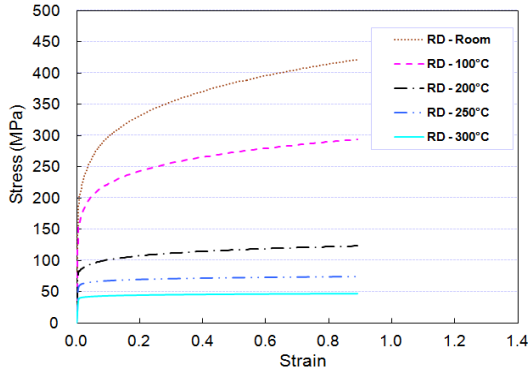


Fig. 3 Stress-strain curve of 0° specimens at elevated temperature

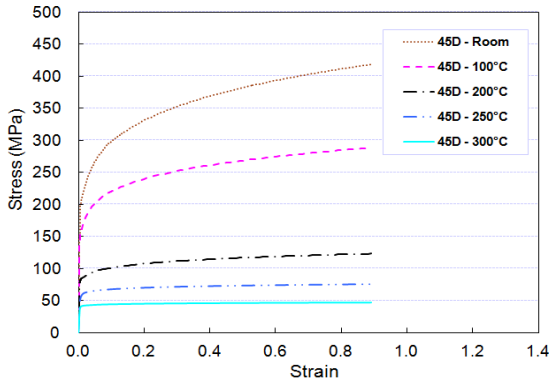


Fig. 4 Stress-strain curve of 45° specimens at elevated temperature

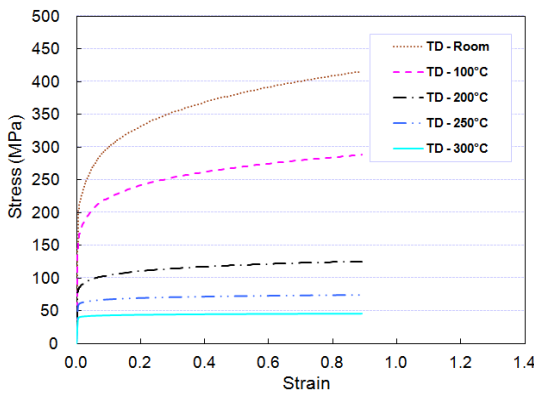


Fig. 5 Stress-strain curve of 90° specimens at elevated temperature

Table 1에서 이방성 계수는 상온에서 300°C까지 점진적으로 감소하는 경향을 나타내고 있다. 성형성 측면에서는 200°C와 300°C 사이의 온도에서 항복응력과 인장강도는 낮아지고 연신율은 증가하므로 250°C 온도 영역에서 성형 작업이 바람직할 것으로 판단된다.

Table 1 Mechanical properties of AZ31B

Temp. (°C)	Test Direction	n-Value	R-Value	E(GPa)
RT	RD	0.160	1.584	41.035
	45	0.156	2.167	41.051
	90	0.152	2.271	40.106
100	RD	0.127	1.848	30.762
	45	0.123	1.932	36.123
	90	0.118	2.351	39.031
200	RD	0.091	1.352	28.415
	45	0.090	1.461	32.536
	90	0.086	1.291	28.854
250	RD	0.043	1.399	12.747
	45	0.050	1.376	11.385
	90	0.044	1.322	13.219
300	RD	0.036	1.285	7.328
	45	0.027	1.376	9.349
	90	0.028	1.406	9.255

### 3. Dash Panel 해석

#### 3.1 금형 열 해석

Dash Panel 금형 전체를 250°C 전후로 가열하기 위하여 히터를 설계하였는데, 카트리지 히터(cartridge heater) 보다는 판 히터(plate heater)를 적용하는 것이 대형 금형 전체의 온도를 상승시키는데 유리하다고 판단하였다. 또한 금형 예열시간을 단축하고자 판 히터 용량을 크게 하여 금형 가열시간을 단축하고, 금형 균일 온도 제어를 위해 금형 내부에 판 히터를 균형 있게 배치하도록 설계하였다. 상형은 24개의 판 히터를 배치하였고, 하형은 26개의 판 히터를 배치하여 Dash Panel 열 해석을 수행하였다. 열 해석은 상용 유한요소 프로그램인 SOLIDWORKS S/W를 이용하여 등온조건으로 가정하여 수행되었다. 금형 구조에 따른 각각의 판 히터 열량 값과 대류조건 5W/m<sup>2</sup>k, 주변공기온도 25°C, 최적화온도 260~280°C를 입력하였다. Fig. 6은 Dash Panel 금형의 상형부 히터 설계 용량을 나타내고, Fig. 7은 Dash Panel 금형의 하형부 히터 설계 용량을

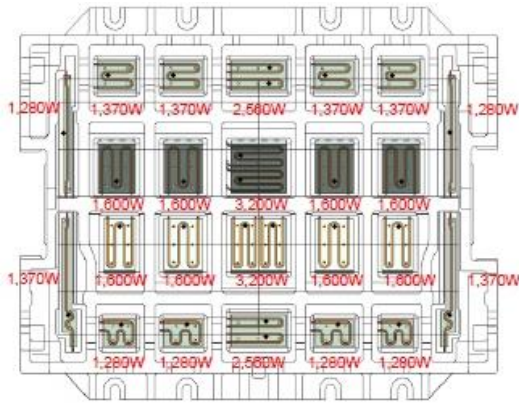


Fig. 6 Heater design of upper shoe of dash panel mold

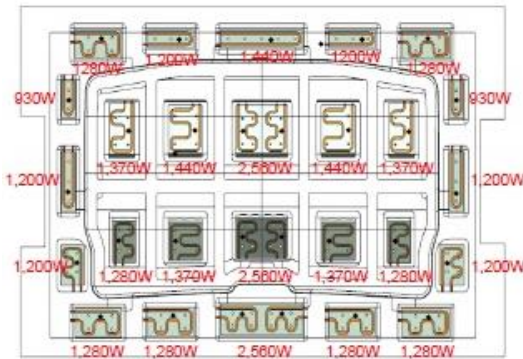


Fig. 7 Heater design of lower shoe of dash panel mold

나타낸다. Dash Panel 금형의 히터 용량을 설계하고 금형 열 해석을 수행한 결과 Fig. 8과 같이 Dash Panel 금형의 상형부 온도 분포를 나타내고, Fig. 9와 같이 Dash Panel 금형의 하형부 온도 분포를 나타낸다. Dash Panel 금형의 상형부 온도 분포는 최저 267.4℃, 최고 272.4℃로 최대 온도 편차는 5℃이며 기준온도(270℃) 대비 1.5% 오차를 보인다. Dash Panel 금형의 하형부 온도 분포는 최저 250.0℃, 최고 277.4℃로 최대 온도 편차는 27.4℃이며 기준온도 대비 10.1% 오차를 나타낸다. Dash Panel 금형 하형부의 경우 간섭 등의 문제로 거리편차가 불균일하여 온도 편차가 크게 나타나고 있다.

### 3.2 성형 해석

마그네슘 합금 판재는 온간에서 철강 소재보다 우수한 성형 특성을 보유하고 있으나, 상온에서는 금속 조직 특성상 성형이 곤란하다. 본 연구의 온간 성형기술은 상온 성형의 문제점을 극복하여 마그네슘 합금 판재의 성형성을 향상하는 기술이다.

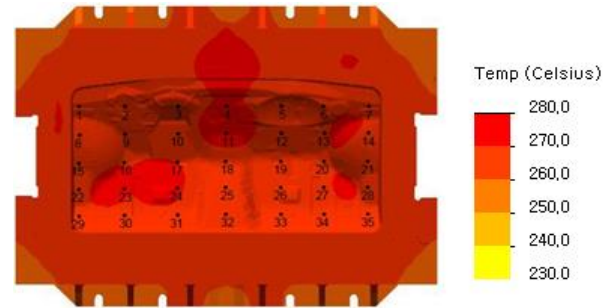


Fig. 8 Temperature distribution of upper shoe of dash panel mold

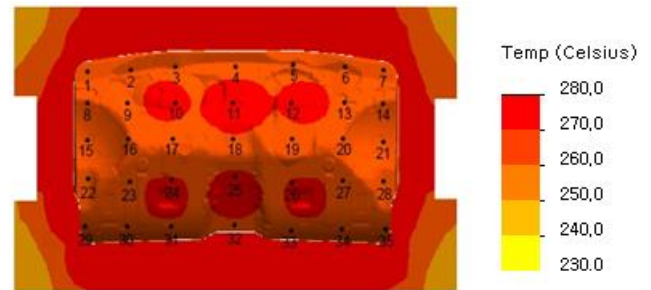


Fig. 9 Temperature distribution of lower of dash panel mold

해석은 상용 유한요소 프로그램인 PAM-STAMP를 이용하였다. 온간 성형해석을 진행하기 위하여 마그네슘 합금 판재 AZ31B의 물성 데이터를 사용하였다. Punch, Die 등은 합금공구강인 STD61를 적용하고, 소재 두께는 1mm와 2mm를 사용하여 블랭크 크기 (blank size)는 1,500×1,000(mm)를 사용하여 금형 모델링을 Fig. 10과 같이 실시하고, Table 2와 같이 해석조건을 수립하여 성형해석을 수행하였다. 상온에서 성형해석 결과 성형완료 전에 터짐이 발생하고, 계속해서 제품 파손이 진행되어 상온에서 성형이 곤란할 것으로 판단하였다. Fig. 11은 Dash Panel 금형을 상온에서 성형 완료 시까지 성형한 해석 결과를 보여준다. 마그네슘 합금 판재를 적용하여 Dash Panel 금형을 상온 성형 시에 터짐이 발생함을 알 수 있다. Fig. 12는 마그네슘 합금 소재 두께 1mm의 Dash Panel 금형을 250℃ 성형온도에서 성형 해석 결과를 보여준다. 성형해석 결과 양쪽 코너부에서 터짐이 발생하여 코너 반지름을 크게 가공함으로써 터짐 발생을 방지할 수 있었다. Fig. 13은 마그네슘 합금 소재 두께 2mm의 Dash Panel 금형을 250℃ 성형온도에서 성형 해석한 결과를 보여준다. 성형해석 결과



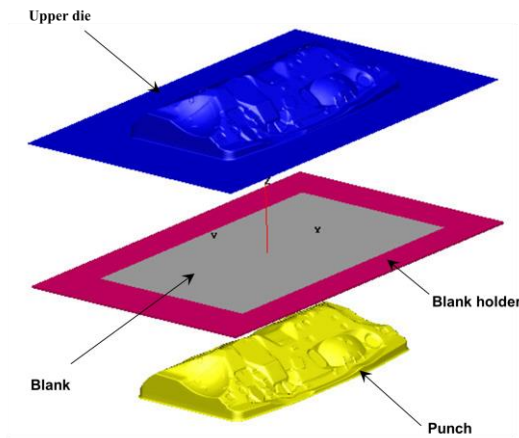


Fig.10 Finite element model for drawing analysis

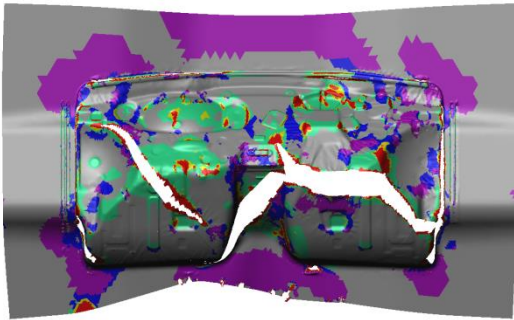


Fig.11 Simulation results of AZ31B dash panel at room temperature (thickness 1mm)

마그네슘 합금 소재 두께 2mm인 경우에 성형성이 소재 두께 1mm인 경우와 비교해서 좌우 양쪽 플랜지 부분이 거의 나타나지 않음을 알 수 있다. 이로부터 마그네슘 합금 소재 두께 2mm인 경우에 성형성이 더 좋음을 알 수 있고, 양쪽 코너부에서 터짐 발생이 예측되어 코너 반지름을 크게 가공하여 터짐 발생을 방지할 수 있었다.

#### 4. 온간 성형 금형

##### 4.1 온간 성형 금형설계

마그네슘 합금 소재는 상온에서 드로잉 성형이 어려워 금형을 설정된 온도로 가열할 수 있도록 성형면 뒤쪽에 판 히터를 삽입할 수 있도록 설계하였다. 온도 편차를 줄이고 안정된 치수 정밀도와 비틀림이 적은 제품을 생산하기 위해 최적 온도로 조절할 수 있는 히팅 채널이 삽입된 금형과 온도조절 장치를 설계하였다. 금형 크기는 1,990×1,300×570

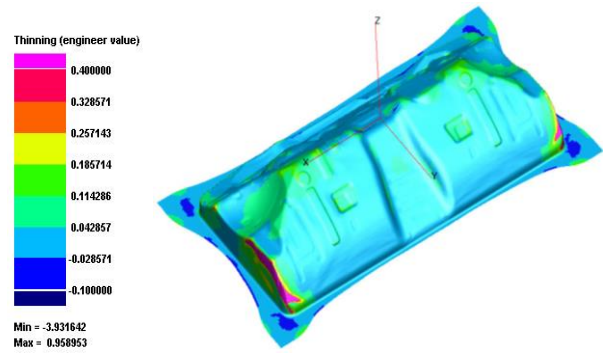


Fig.12 Simulation results of AZ31B dash panel (thickness 1mm, 250°C)

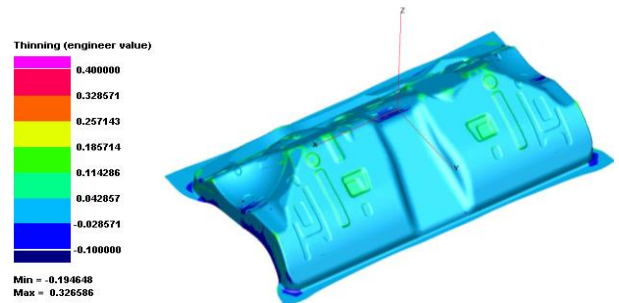


Fig.13 Simulation results of AZ31B dash panel (thickness 2mm, 250°C)

Table 2 Simulation conditions (AZ31B)

Material Density	1.71g/cm <sup>3</sup>
Drawing Temperature	25°C, 250°C
Material Thickness	1mm, 2mm
Friction Coefficient	0.10
Stamping Velocity	5m/sec

(mm) 이며, 금형 온도는 300°C까지 승온이 가능하고 대형 금형이라도 승온이 가능한 판 히터를 적용하여 금형을 설계하였다. Dash Panel 온간금형 설계는 Fig. 8과 Fig. 9의 열 해석 결과를 반영하여 온도분포가 불균일한 부위를 조정하고 온도가 낮은 부위에 판 히터 용량을 크게 설계하였다. 판 히터와 온도조절장치 간의 배선과 금형의 작동범위를 고려하여 간섭을 피하여 금형을 설계하였다.

##### 4.2 온간 성형 금형제작

온간성형 금형 내에 판 히터를 좁은 간격으로 금

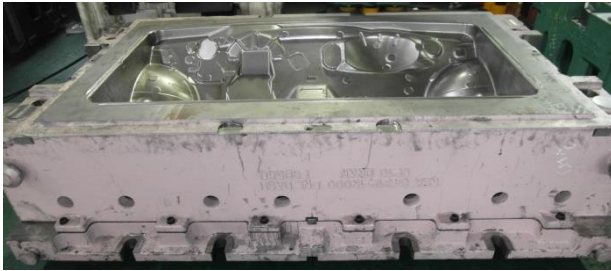


Fig.14 Upper shoe of dash panel mold



Fig.15 Lower shoe of dash panel mold



Fig.16 Dash panel mold before drawing

형 표면으로부터 가까운 위치에 설치하면 균일한 온도를 얻을 수 있지만, 금형 형상과 구조상 조밀 삽입이 불가능한 위치에는 간격을 조정하였다. 금형 표면과 너무 가깝게 설치하면 성형 시 프레스 가압으로 인하여 금형 내구성 문제가 발생할 수 있고, 금형 구조상 간섭을 일으킬 수 있으므로 이를 고려하여 금형을 제작하였다. Fig. 14는 마그네슘 합금 판재를 적용한 Dash Panel 금형의 상형을 보여 주고, Fig. 15는 Dash Panel 금형의 하형을 보여준다. Fig. 16은 프레스에 장착한 드로잉 성형 전의 Dash Panel 금형을 보여준다. 블랭크 소재를 하형 금형 위에 두고 상형과 하형 금형이 맞닿게 한 상태에서 블랭크 소재를 예열하도록 하였다. 즉, 성형하

기 전에 마그네슘 합금 판재를 일정한 온도로 예열하기 위하여 상하 금형이 맞닿아 있는 상태를 일정 시간 유지하였다.

## 5. 결과 및 고찰

### 5.1 Dash Panel 금형 트라이아웃

Dash Panel 금형은 1,000ton 기계식 프레스를 사용하여 트라이아웃을 진행하였으며, 유압식 프레스 대신 기계식 프레스를 사용한 이유는 생산속도가 빠르고 양산성이 우수하기 때문이다. 사용된 피가공 소재는 마그네슘 합금 판재 AZ31B로 크기가 폭 1,000mm, 길이 1,500mm, 두께 1mm로 시중에 시판되는 폭 500mm 소재를 레이저 용접하여 블랭크 소재로 사용하였다. 금형 내 히팅 채널을 삽입하고 금형온도는 250℃로 설정하였다. Fig. 17은 열화상 카메라를 이용한 Dash Panel 금형의 온도 측정 장면을 보여준다. 열화상 카메라를 이용하여 금형 온도를 측정하였으며 상온에서 목표온도까지 도달시간은 약 2시간이 소요되었다.

블랭크 윤활은 무윤활 상태와 그라파이트 윤활 상태에서 실시하였다. Fig. 18은 Dash Panel 금형에서 드로잉 성형 전의 블랭크를 보여준다. Fig. 19는 그라파이트 윤활상태에서 Dash Panel 금형 드로잉 성형 후 터짐이 발생된 제품을 보여준다. 드로잉 금형 트라이아웃에서 중앙 코너부가 먼저 터짐이 발생되었으며 나머지 가장자리 쪽에도 터짐이 발생되었다. 터짐이 발생된 원인으로서는 목표로 하는 소재 온도에 도달하지 않고, 금형 내 불균일한 온도 분포로 인하여 터짐이 발생된 것으로 판단된다. 또한, 기계식 프레스 사용으로 소재가 충분히 연화되면서 서서히 가압될 수 있는 유압의 특성을 활용하지 못하였고, 금형 및 피가공 소재뿐만 아니라 접촉하고 있는 프레스 주변 기기로의 열 손실 등에 의한 것으로 판단된다. 열화상 카메라를 사용하여 피가공 소재 및 금형 온도를 체크하고, 터짐 발생을 최소화하기 위해 금형 코너부를 수정하고 블랭크 형상을 최소화하도록 조정하였다.

### 5.2 최종 Dash Panel 성형 제품

최종 Dash Panel 제품을 얻기 위한 금형 트라이아웃은 1,000ton 기계식 프레스를 사용하여 성형 온도, 슬라이드 위치, 프레스 속도, 유지 시간 등 4가지의



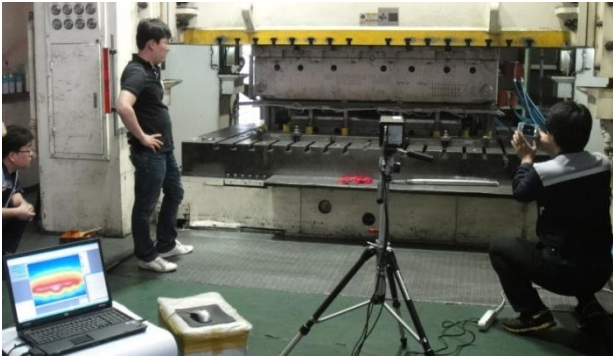


Fig.17 Temperature measurement of dash panel mold using thermal imaging camera



Fig.18 Dash panel blank before drawing



Fig.19 Drawing part of dash panel(thickness 1mm)

성형인자를 고려하여 실시하였다. 사용된 피가공 소재는 마그네슘 합금 판재 AZ31B로 크기가 폭 1,000mm, 길이 1,500mm, 두께 2mm로 시중에 시판되는 폭 500mm 소재를 레이저 용접하여 블랭크 소재로 사용하였다. 금형 내 히팅 채널을 삽입하고 금형 온도는 250℃로 설정하였다. 상온에서 목표온도까지 도달시간은 약 2시간 20분이 소요되었다. Fig. 20은 Dash Panel 금형의 드로잉 성형 제품을 보여준다. 프



Fig.20 Drawing part of dash panel(thickness 2mm)



Fig.21 Final dash panel product(thickness 2mm)

레스에 금형 체결을 완료하고 히터 컨트롤러를 하형, 상형 순으로 체결하고, 히터를 작동시킨다. 예열 시간 2시간 20분이 지나면 목표 온도인 250℃ 정도가 되어 마그네슘 합금 판재를 하형 금형 위의 일정한 위치에 두고 상형 금형을 가동시켜 상형과 하형 금형이 맞닿은 상태에서 2분간 예열하여 프레스 작업을 진행하였다. 2분간 예열을 한 이유는 마그네슘 합금 판재를 상온 상태에서 금형에 투입하여 금형 내 온도와 비슷한 250℃ 정도로 승온을 하여야 하기 때문이다. Dash Panel 부품 성형은 무운환 상태와 그라파이트 윤활 상태에서 실시하여 모두 완성 제품을 얻을 수 있었다. 그라파이트 윤활은 Fig. 20과 같이 마그네슘 합금 판재의 양면에 그라파이트를 분사하여 실시하였는데, 무운환보다는 그라파이트 윤활이 성형성에서 우수하였다. Fig. 21의 완성제품 성형 정밀도를 측정하기 위하여 공인시험기관을 통하여 제품의 치수편차를 측정하였는데, 치수정밀도가  $\pm 0.5\text{mm}$  이내로 나타났다. 마그네슘 합금 판재를 적용하여도 치수정밀도를 만족하는데 문제가 없을 것으로 판단되며, 제품 단가와 이종 용접 등의 문제가 해결된다면 자동차 부품 적용이 많을 것으로 기대된다.

## 6. 결론

온간성형은 일정 온도로 가열된 금형에 마그네슘 합금 판재를 장착하여 예열한 후 원하는 형태로 성형하는 공정으로 복잡한 형상의 부품도 성형이 가능한 장점을 지니고 있다. 본 연구는 마그네슘 합금 판재의 온간성형 공법을 적용하여 자동차 차체 Dash Panel 시작금형 설계 제작과 주요 공정의 성형 해석을 통하여 Dash Panel 부품의 온간성형 금형기술 개발을 성공적으로 수행하였다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 마그네슘 합금 판재의 블랭크는 마그네슘 합금 판재를 맞대기하여 레이저 용접으로 제작하고 자동차 Dash Panel 부품에 적용하여 온간성형 가능성을 확인하였다.

(2) Dash Panel 금형 내의 온도를 250℃ 내외로 균일하게 유지하기 위하여 금형 열 해석을 수행하였다. 상형과 하형 금형에 간섭을 피하여 적당한 위치에 판 히터를 설계 제작하여 대형 금형 내의 온도를 균일하게 제어할 수 있었다.

(3) 마그네슘 합금 판재의 온간금형 성형기술을 적용하여 경량 자동차 Dash Panel 부품의 제작 가능성을 확인할 수 있었다.

## REFERENCES

[1] S. S. Choi, 2010, Prediction of Fatigue Design Life in Magnesium Alloy by Failure Probability, J. Kor. Soc. Manuf. Technol. Eng., Vol. 19, No. 6, pp. 804~811.  
 [2] S. S. Choi, 2009, Effect of Specimen Thickness on Probability Distribution of Fatigue Crack Propagation

Behavior in Magnesium Alloy AZ31, J. Kor. Soc. Manuf. Technol. Eng., Vol. 18, No. 4, pp. 395~400.  
 [3] H. K. Kim, J. D. Kim, Y. M. Heo, W. J. Kim, 2012, A Comparative Study of Failure Criteria for Magnesium Alloy Sheet under Warm Press Forming Condition, Trans. Mater. Process., Vol. 21, No. 2, pp. 113~118.  
 [4] S. W. Kim, Y. S. Lee, 2012, Failure Prediction for an AZ31 Alloy Sheet during Warm Drawing using FEM Combined with Ductile Fracture Criteria, Trans. Mater. Process., Vol. 21, No. 4, pp. 258~264.  
 [5] M. G. Lee, H. J. Kim, 2011, Experimental and Analytical Evaluation of Forming Characteristics for AZ31B Magnesium Alloy Sheet, Trans. Mater. Process., Vol. 20, No. 2, pp. 146~153.  
 [6] S. S. Han, M. Y. Lee, 2013, Numerical Study of the Butting Process for a AZ31B Magnesium Alloy Tube, Trans. Mater. Process., Vol. 22, No. 8, pp. 486~491.  
 [7] D. O. Kim, C. W. Kang, S. Y. Lee, 2011, The Study of the Variation of Strain Rate Sensitivity Index Depending on the Strain and Microstructural Observations of AZ31 Mg Alloy Sheet, Trans. Mater. Process., Vol. 20, No. 7, pp. 498~503.  
 [8] W. J. Song, S. C. Heo, T. W. Ku, B. S. Kang, J. Kim, 2011, Evaluation of Strain, Strain Rate and Temperature Dependent Flow Stress Model for Magnesium Alloy Sheets, Trans. Mater. Process., Vol. 20, No. 3, pp. 229~235.  
 [9] D. H. Jang, 2011, Process Development for Automotive Hybrid Hood using Magnesium Alloy AZ31B Sheet, Trans. Mater. Process., Vol. 20, No. 2, pp. 160~166.