

자율주행 자동차용 전동회전시트 상부회전판의 핫스탬핑 성형에 관한 연구

육형섭^{*,***}, 편종권^{*}, 서창희^{**}, 오상균^{**}, 권태하^{**}, 김병기^{***}, 박동규^{****, #}

^{*}(주)다스, ^{**}대구기계부품연구원, ^{***}한국기술교육대학교 메카트로닉스공학부, ^{****}한국기술교육대학교
기전융합공학과

Study on Hot Stamping of the Rotating Module Upper Plate for an Autonomous Vehicle Seat

Hyung-sub Yook^{*,***}, Jong-Kweon Pyun^{*}, Chang-Hee Suh^{**}, Sang-Gyun Oh^{**}, Tae-Ha Kwon^{**},
Byung-Ki Kim^{***}, Dong-Kyou Park^{****, #}

^{*}DAS, ^{**}Daegu Mechatronics & Materials Institute, ^{***}School of Mechatronics Engineering, Korea
University of Technology and Education, ^{****}Department of Electromechanical Convergence
Engineering, Korea University of Technology and Education

(Received 13 July 2021; received in revised form 18 August 2021; accepted 01 September 2021)

ABSTRACT

Seats in autonomous vehicles must be able to rotate to fully utilize the interior space. Generally, ultra-high strength steel is used for the rotation module because it should have high strength and high rigidity. In addition, the rotating parts are difficult to form because they have complex shapes. In this study, the upper plate of the rotating module, whose complex shape makes it difficult to form, was formed by applying the hot stamping method. The drawing method and the form-drawing method, which are generally used to form components of complex shapes, were compared. We showed that the form-drawing method increased the degree of freedom of the material flow to improve the formability, thus enabling the forming of the plate. In addition, the die and blank shapes were found to be important factors in determining the success of the hot stamping. The validity of the analysis results was confirmed through forming analysis and experiments.

Keywords : Autonomous Vehicle(자율주행자동차), Rotating Seat(회전시트), Upper Plate(상부회전판), Hot Stamping(핫스탬핑)

1. 서 론

최근의 자동차는 첨단정보기술을 기반으로 하는

자율주행이 가능하도록 진화하고 있다. 자율주행이 상용화되면 운전자는 운전으로부터 해방이 되며 자동차의 실내 공간도 기존과는 완전히 다른 개념으로 접근이 가능할 것으로 기대된다. 즉, 운전자와 탑승자는 이동의 목적 외에도 취침, 휴식, 독서, 엔터테인먼트 등의 다양한 활동을 할 수 있을 것으로

Corresponding Author : pdongkyou@koreatech.ac.kr
Tel: +82-41-640-8614, Fax: +82-41-640-8719

기대된다. 이러한 요구로 인해서 자율주행 자동차의 시트는 자유로운 움직임이 가능하여야 하며, 운전석 및 조수석을 180° 회전시킬 수 있는 전동화된 회전모듈(Rotating module)의 개발이 요구된다. 시트와 자동차의 바닥을 연결하며 시트의 회전이 가능하게 하는 회전모듈은 충돌시 충격하중을 버텨야 하기 때문에 초고강도 소재를 사용한 고강성 부품들이 사용되어야 한다. 초고강도를 가지면서 복잡한 형상의 부품을 성형을 위해서는 냉간성형으로서는 거의 제조가 불가능하기 때문에 핫스탬핑 기술의 적용이 요구된다.

핫스탬핑은 고온에서 성형하기 때문에 복잡한 형상도 성형이 가능하며, 급냉을 통해서 초고강도 특성을 얻을 수 있기 때문에 산업에 널리 사용되고 있다. 고온에서의 성형을 위한 유동응력식들^[1-4]과 열전달계수들^[5-7]에 대한 다양한 연구가 진행되어 핫스탬핑 해석의 정확도를 높이고 있다. 이러한 연구를 바탕으로 다양한 형태의 부품을 핫스탬핑으로 제조하려는 연구들이 수행되었다^[8-11]. 이러한 기존 연구들은 자동차 필러류와 같이 성형에 다소 유리한 채널 형태를 가지고 있으며 성형 난이도가 크지 않은 부품들이다.

본 연구에서는 자율주행 자동차용 회전모듈의 핵심 부품인 상부회전판을 핫스탬핑으로 제조하고자 하는 연구를 수행하였다. 상부회전판은 강성향상을 위해서 중앙부에 성형이 어려운 원형의 난형상을 가지고 있다. 본 연구에서는 상부회전판의 성형을 위한 최적의 핫스탬핑 공법을 제시하였으며, 실험을 통해서 제시된 공법의 유효성을 확인하였다.

2. 성형해석 및 실험 방법

2.1 성형해석 모델 및 조건

본 연구의 대상은 자율주행 자동차에 적용가능한 회전모듈의 상부회전판이며, 회전모듈 및 상부회전판의 형상을 Fig. 1에 나타내었다. 상부회전판은 중앙부의 성형깊이가 깊어서 성형난이도가 높은 부품이다. 상부회전판을 핫스탬핑 공법으로 성형해석을 수행하기 위한 금형 형상을 Fig. 2에 나타냈다. 성형량이 많은 경우에 사용되는 드로잉(Drawing) 공

법과 폼-드로잉(Form-Drawing) 공법 2가지 공법을 사용하여 성형성을 비교검토 하였다. 드로잉 공법에서는 홀더(Holder)를 사용하며, 폼-드로잉 공법에서는 홀더와 패드(Pad)를 동시에 사용하여 성형 자유도를 향상시킨 공법이다.

본 연구에서 사용된 소재는 두께가 1.6mm인 보론강이다. 핫스탬핑 성형해석을 위해 판재성형해석 전용 상용 코드인 Pam-stamp를 사용하였다. 성형해석을 위해 온도와 변형을 속도에 따른 유동응력, 열전달 계수, 상변태 물성치들은 Pam-stamp에서 제공되는 값들을 사용하였다. 대기온도는 20℃, 금형온도는 70℃, 블랭크온도는 900℃로 선정하였다. 가열로에서 금형까지 이송시 블랭크의 온도 하강이 발생함으로 블랭크의 이송시간에 따른 열전달 해석을 수행하였다. 이송시간은 실제 실험에서의 이송을 고려하여 10초로 선정하였다. 마찰계수는 0.4를 사용하였다.

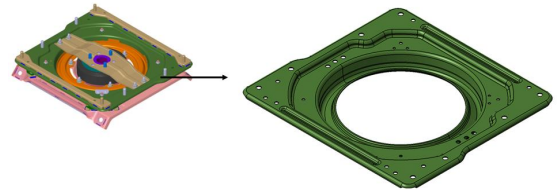
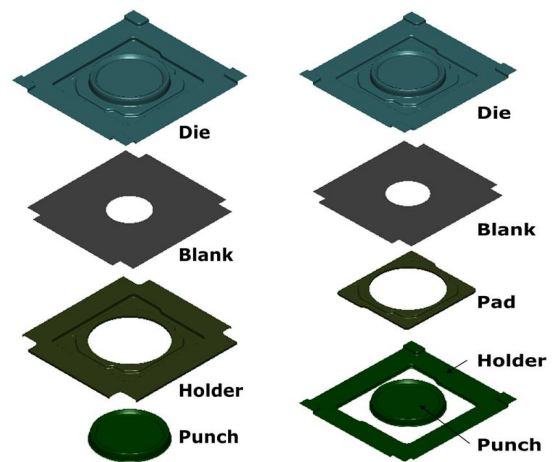


Fig. 1 Rotating module and upper plate



(a) Drawing method (b) Form-drawing method

Fig. 2 Die sets for forming simulation

2.2 실험 방법

시제품 제작을 위해 600톤의 유압프레스와 간접 가열 방식의 가열로를 사용하였다. 실험은 보론강 판재 소재를 가열로에 투입 후 900℃에서 10분간 가열한 후 금형내로 약 10초 정도로 가능한 빨리 이송하여 약 1초 동안 금형을 하강하여 성형이 이루어지게 하였다. 실험을 위한 프레스 및 금형을 Fig. 3에 나타내었다.

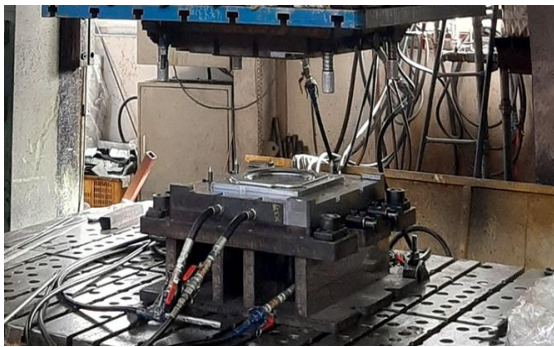


Fig. 3 Experimental apparatus for hot stamping

3. 결과 및 고찰

3.1 성형해석 결과

Fig. 4에서는 블랭크를 가열로에서 금형으로 10초 동안 이송중 온도 변화에 대한 해석 결과이다. 블랭크의 초기 온도는 900℃이며, 10초 동안의 이송후에는 721~724℃ 정도로 온도가 감소하였다. 이송후 블랭크 온도범위는 여전히 오스테나이트 영역으로 높은 성형성을 가질 것으로 파악되었다.

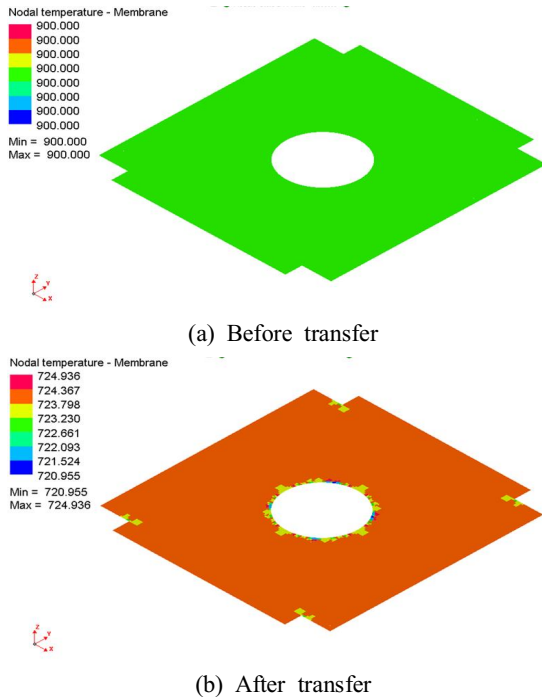


Fig. 4 Temperature results during blank transfer

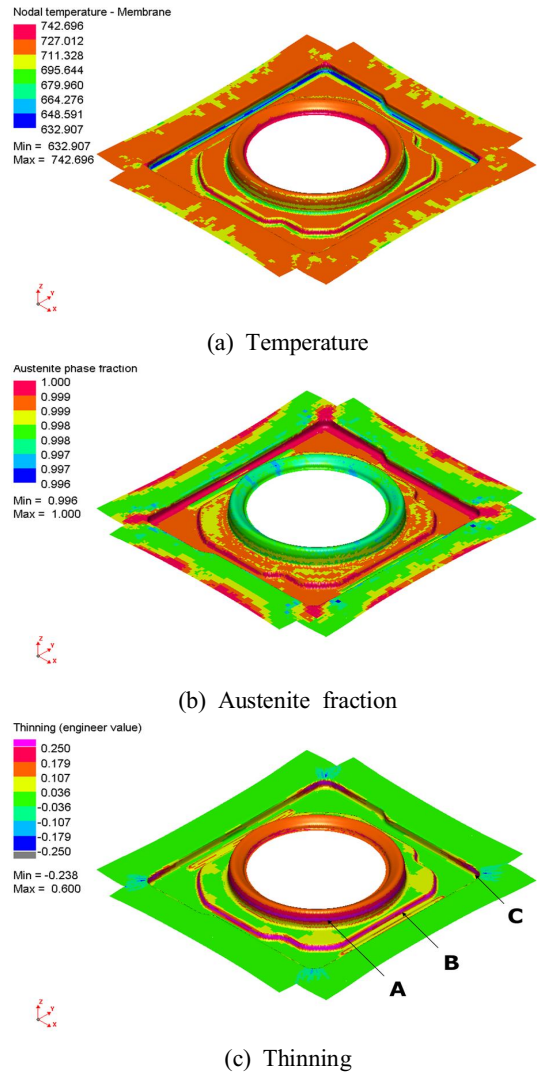


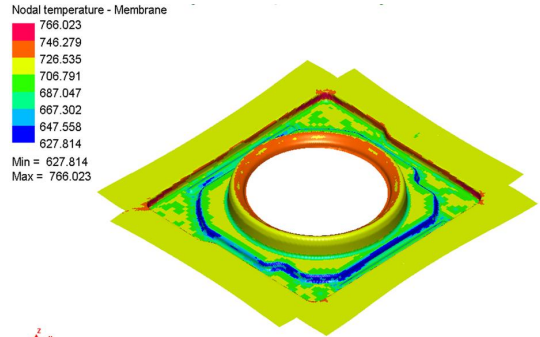
Fig. 5 Forming results using drawing method

Fig. 5에서는 드로잉 공법으로 성형한 후 블랭크의 온도 분포와 두께 감소율을 나타내었다. Fig. 5(a)에서 보여지듯이 성형 완료 후 블랭크 온도는 632~742°C로 변화하였다. 블랭크의 대부분의 영역에서는 700°C내외의 온도를 유지하였다. 금형과 접촉이 되는 부분에서는 온도가 좀 더 하강하였으며, 금형과 접촉되지 않으며 성형이 되는 부분에서는 소성가공시 발생하는 열에 의해서 미세한 온도 상승이 관찰되었다. Fig. 5(b)에 성형이 완료된 후의 오스테나이트 분율(Austenite fraction)을 나타내었다. 성형이 완료된 후에도 블랭크 온도는 최소 632°C 이상임으로 보론강의 마르텐사이트 시작온도가 약 400°C 정도임을 감안할 때 여전히 블랭크의 모든 영역에서 오스테나이트 상을 가지고 있음을 알 수 있다. Fig. 5(c)에는 성형 후 두께감소율(Thinning) 결과를 나타내었다. A, B, C 영역에서 두께감소율의 증가로 인해서 크랙 발생이 예상되었다. 상부회전판은 성형량이 많기 때문에 일반적인 드로잉 공법으로는 성형이 힘들 것으로 판단되었다.

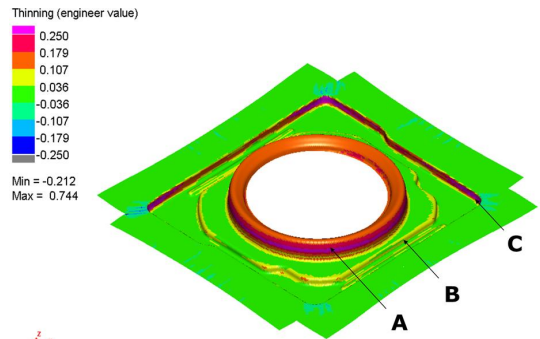
Fig. 6에서는 폼-드로잉 공법으로 성형한 후 블랭크의 온도 분포와 두께 감소율을 나타내었다. Fig. 6(a)에서 보여지듯이 성형후 블랭크의 온도 분포는 드로잉 성형 공법으로 성형한 결과와 거의 유사하게 나타났다. 다만, 성형 중 패드에서 블랭크와 접촉 시간이 가장 많기 때문에 패드와 접촉하는 블랭크 영역에서 온도 감소가 가장 크게 나타났다. Fig. 6(b)에서는 성형 후 두께감소율 결과를 나타내었다. A 영역과 C 영역에서는 여전히 크랙이 발생할 위험이 증가하고 있으나 B 영역의 크랙은 발생하지 않을 것으로 예측되었다. 폼-드로잉 공법에서는 중간 패드 영역을 먼저 성형하기 때문에 블랭크 중심부의 소재와 외각의 소재가 패드 영역쪽으로 유입이 쉽게 발생하게 된다. 이로 인해서 B 영역의 크랙 발생이 억제된 것으로 예상된다. 하지만 여전히 A와 C 영역의 크랙 발생 위험은 존재하고 있는 것으로 파악되었다.

Fig. 7에서는 폼-드로잉 공법을 사용하면서, 블랭크의 중앙 홀 지름을 증가시키고 C 영역에서의 다이 반경을 증가시킨 후 성형해석을 수행한 결과를 나타내었다. 블랭크 중앙 홀 지름을 175mm에서 180mm로 증가시켰으며, 이로 인해서 블랭크 중앙

부의 소재가 A 영역으로의 유입이 원활하게 되었다. 따라서 A 영역의 두께감소를 방지하여 크랙 발생의 위험을 감소시킨 것으로 판단된다.



(a) Temperature



(b) Thinning

Fig. 6 Forming results using form-drawing method

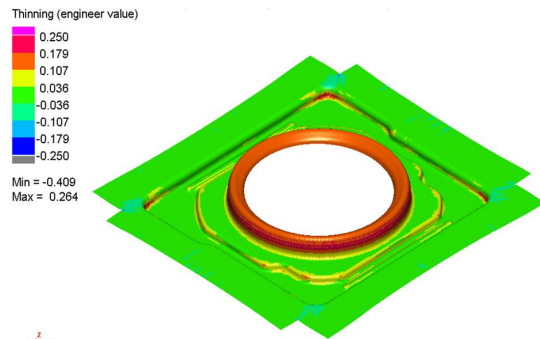
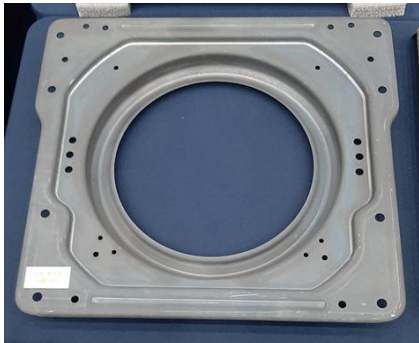


Fig. 7 Forming results using form-drawing method with blank and die modification



(a) Before trim



(b) After trim

Fig. 8 Hot stamping experimental results

다이 반경이 작을 경우 다이 반경부에서 일반적으로 급격한 두께감소가 발생하게 된다. 본 연구에서는 다이 반경을 기존 3mm에서 10mm로 증가시켰으며 이로 인해서 C 영역의 크랙 발생 위험이 감소되었다. 핫스탬핑 공법과 함께 금형 형상 및 블랭크 형상은 핫스탬핑의 성형에 많은 영향을 미치고 있음을 알 수 있었다.

3.2 실험 결과

Fig. 8에서는 폼-드로잉 공법을 사용한 핫스탬핑 실험 결과를 나타냈다. 다이 반경은 10mm로 하였으며, 블랭크의 중앙부 홀 직경을 180mm로 하였다. Fig. 8(a)는 금형을 사용하여 성형한 직후의 결과이다. 제품의 형상부의 성형은 주름이나 크랙 발생 없이 정상적으로 수행되었다. 블랭크 외부에 주름이 발생하고 있으며 이는 홀딩력이 부족하여 나타난 결과로 예상된다. 하지만 블랭크 외부는 제품으

로 사용되는 부분이 아니기 때문에 큰 문제는 없을 것으로 판단되었다. Fig. 8(b)는 불필요한 부분을 절단(Trim) 후 완제품으로 제작된 결과이다. 실험결과에서 보듯이 제품으로 사용되는 부분의 크랙이나 주름의 발생은 없었다.

4. 결론

본 연구에서 자율주행 자동차용 시트 회전모듈의 핵심 부품인 상부회전판을 핫스탬핑 공법으로 성형성에 대한 연구를 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 상부회전판과 같은 난형상의 부품을 성형하기 위해서는 핫스탬핑 성형 동안 블랭크 소재의 유동을 정밀하게 제어하는 것이 필요하다.
2. 상부회전판의 성형을 위해서는 드로잉 공법에 비해서 폼-드로잉 공법이 유리함을 알 수 있었다.
3. 금형의 다이 반경과 블랭크 형상도 소재의 유동을 제어하기 위한 중요한 인자이며, 본 연구의 대상인 상부회전판 성형을 위해서 다이 반경은 10mm, 블랭크 중앙홀 지름은 180mm가 적당한 것으로 나타났다.
4. 핫스탬핑 성형해석과 실험 결과를 비교하였으며, 성형해석을 통해서 실제품의 성형성을 정밀하게 예측할 수 있음을 확인하였다.

후 기

“이 논문은 소재부품기술개발사업(20004965)의 연구비 지원에 의하여 연구되었음.”

REFERENCES

1. Turetta, A., Bruschi, S., and Ghiotti, A., “Investigation of 22MnB5 Formability in Hot Stamping Operations”, *Journal of Material Processing Technology*, Vol. 177, No. 1, pp. 396-400, 2006.
2. Merklein, M., and Lechler, J., “Investigation of

- the Thermo-mechanical Properties of Hot Stamping Steels”, *Journal of Material Processing Technology*, Vol. 177, No. 1, pp. 452-455, 2006.
3. Naderi, M., Durrenberger, A., Molinari, A., Bleck, W., “Constitutive Relationships for 22MnB5 Boron Steel Deformed Isothermally at High Temperatures”, *Materials Science and Engineering A*, Vol. 478, No. 1, pp. 130-139, 2008.
 4. Bardelcik, A., Salisbury, C., Worswick, M., Wells, M., “High Strain-rate Properties of Hot-formed Die-quenched Boron Steel”, *Proc. 1st Int. Conf. on Hot Sheet Metal Forming of High-Performance Steel*, Grips Media, pp. 45-54, 2008.
 5. Shapiro, A. B., “Using LS-DYNA to Model Hot Sheet Metal Stamping”, *Proc. 1st Int. Conf. on Hot Sheet Metal Forming of High-Performance Steel*, Grips Media, pp. 89-95, 2008.
 6. Karbasian, H., Klimmek, C., Brosius, A., Tekkaya, A. E., “Numerical Process Design of Hot Stamping Processes Based on Optimized Thermo-mechanical Characteristics,” *Proc. 1st Int. Conf. on Hot Sheet Metal Forming of High-Performance Steel*, Grips Media, pp. 97-103, 2008.
 7. Kim, H. K., Lee, S. H., and Choi, H., “Evaluation of Contact Heat Transfer Coefficient and Phase Transformation During Hot Stamping of a Hat-type Part”, *Materials*, Vol. 8, pp. 2030-2042, 2015.
 8. Yoon, S. C., Kim, D. H., “Analysis of Phase Transformation and Temperature History during Hot Stamping using the Finite Element Method”, *Transactions of Materials Processing*, Vol. 22, No. 3, pp. 123-132, 2013.
 9. Kim, J. T., Kim, B. M., and Kang, C. G., “Blank Shape Design Process for a Hot Stamped Front Pillar and its Experimental Verification”, *Transactions of Materials Processing*, Vol. 21, No. 3, pp. 186-194, 2012.
 10. Suh, C. H., Kim, W. S., Sung, J. H., Park, J. K., Kim, Y. S., Kim, Y. S. “Hot Stamping Simulations and Experiments for CTBA Tubular Beams”, *Transactions of Materials Processing*, Vol. 24, No. 1, pp. 13-19, 2015.
 11. Lee, J., Kang, D., Suh, C., Lim, Y., Lee, K., Han, S., “Effect of Die Cooling Time on Component Mechanical Properties in a Front Pillar Hot Stamping Process”, *Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers*, Vol. 18, No. 6, pp. 33-38, 2019.