

펀치 형상에 따른 Housing Lower 최적 공정 설계

박세제¹ · 박민철² · 김동환[#]

Optimal Design of the Punch Shape for a Housing Lower

S. J. Park, M. C. Park, D. H. Kim

(Received April 27, 2015 / Revised September 8, 2015 / Accepted September 15, 2015)

Abstract

In the current paper, a cold forging sequence was developed to manufacture a precisely cold forged H/Lower, which is used as the air back unit in commercial automobiles. The preform shape of the H/Lower influences the dimensional accuracy and stiffness of the final product. The shape factor (SF) ratio and shape of the tools are considered as the design parameters to achieve adequate backward extrusion height and maintain appropriate thickness variations. The optimal conditions of the design parameters were determined by using an artificial neural network (ANN). To experimentally verify the optimal preform and tool shapes, the experiments of the backward extrusion of the H/Lower were executed. The process design methodology proposed in the current paper, can provide a more systematic and economically feasible means for designing the preform and tool shapes for cold forging.

Key Words : Housing Lower, Backward Extrusion, Finite Element Analysis, Optimal Design, Thickness Deviation

1. 서 론

소성가공은 여러 가지 공구와 금형으로 소재에 힘을 가해 소재의 가소성을 이용하여 형상 변화를 유도하는 방법으로 정형이나 정형에 가까운 제품을 만들어 소재 손실 및 비용을 줄이고, 성형속도가 빠르므로 대량생산에 적합하다.

에어백(air bag)은 자동차가 상대 자동차 또는 여타의 장애물 등과 전방 및 측면 충돌 시 탑승자의 신체와 자동차의 핸들 및 대시 판넬 사이에 공기주머니를 순간적으로 부풀려 완충작용을 함으로써 탑승자의 머리, 가슴 등을 보호하는 장치이다.

최근 자동차의 에어백은 고급차종에만 적용되는 것이 아니라 일반 소형 차종에도 널리 적용되고 있으며 전면, 옆면, 그리고 후면 까지도 에어백을 장

착하고 있는 추세이다. 그러나 고급차종에 적용되었던 기존 에어백 부품이 그대로 소형차종에 적용되지 못하기 때문에 차량의 형태나 가격에 맞는 적합형 에어백 개발이 요구된다. 에어백은 운전자 그리고 동승자의 생명과 직결되는 중요한 자동차 안전 부품으로 만약 자동차 충돌 등의 외부 충격이 발생했을 때 에어백이 제대로 작동되지 않으면 운전자와 동승자의 인체에 치명적 문제를 야기할 수 있다. 또한 폭발 시 안내 역할과 압력을 균일하게 받기 위해서는 충분한 벽면 높이와 동심도 및 두께 균일이 중요하다. 동심도 및 두께가 불균일 하게 되면 폭발 압력을 균일하게 받지 못하여 폭발 압력에 의한 문제점이 발생하게 된다. 에어백 장치의 핵심 부품인 H/Lower 부품은 내부에 수납되고 차량의 충돌 사고 시 탑승자의 전방으로 전개안내의 역할을 한다.

1. 부산대학교 대학원 정밀가공시스템공학과

2. 한국생산기술연구원

Corresponding Author : Department of Aircraft Parts Engineering, International University, E-mail: dhkim@iuk.ac.kr

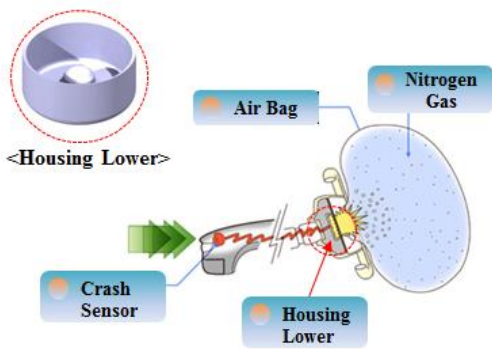
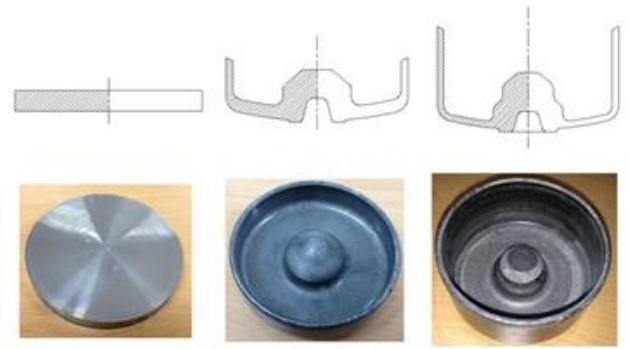


Fig. 1 Performance property of automotive air bag

에어백 장치의 구성품 및 작동 원리는 Fig. 1과 같다.

관련 연구를 살펴보면, Park 등[1]은 자동차 에어백 H/Lower 부품을 복합화 하는 신 공정기술로서 1대의 프레스내에서 자동으로 연속 생산이 가능한 공법을 제시하였고, Kim 등[2]은 냉간 압출 제품인 내부 폴리의 내·외부 결함이 발생하는 원인을 유한요소해석의 절점 추적을 통해 예측하였다. 그리고 기존의 연구에서 액슬하우징의 후판단조 중 모서리 부분의 두께 감소 방지를 위해 금형 시스템을 제시하였고[3], Lee 등[4]은 후방압출공정에서 정밀도를 향상시키기 위해 초기 소재의 형상 및 가공조건에 따라 치수정밀도에 미치는 영향을 분석하였다. Kim 등은 최적 성형기술의 한 방법으로 신경망의 함수 근사 능력을 이용하여 금속 유동 측면에서 금형 내의 재료 충만성을 좋게 하는 여러 가지 초기 소재 형상을 결정하는 방법을 제안하였고, 예비성형체 설계, 성형 해석 및 신경망해석을 통한 비교분석 및 브레이크 실린더 등과 같이 압출 길이가 내경에 비해 상당히 길어 냉간 성형한계 이상의 후방압출 제품 성형 시 공구 마멸을 최소화 할 수 있도록 편차 설계를 위한 설계 변수를 파악 및 정도를 평가하였다[5- 7]. 후방 압출 성형 시 편차 랜드부의 마멸 저감을 위한 최적의 편차 형상설계를 제시 및 냉간단조 중 발생한 결함을 예측하기 위해서 상용 유한요소 프로그램인 AFDEX를 이용하여 미충진결함, 겹침결함, 파이핑결함, 데드메탈에 의한 표면결함 등 정밀해석 정도를 검증하였다[8, 9].

자동차용 H/Lower의 냉간단조 공정은 Fig. 2와 같이 1, 2차 모두 후방압출(backward extrusion)로 이루어져 있으며 에어백 쿠션을 내장하고 차량의 충돌 등의 센서가 작동하면 폭발에 의해 쿠션 안내 역할을 하는 에어백 핵심 고강도 부품이다.



Thin plate 1st backward extrusion 2nd backward extrusion

Fig. 2 Forming process sequence for H/Lower

본 연구의 목적은 냉간 박육단조공법을 이용하여 자동차 에어백의 핵심부품인 H/Lower를 개발하는 것이다. H/Lower의 후방압출 높이를 확보하기 위해 신경망을 활용한 최적설계 공법으로 초기 소재 최적 형상비(shape factor)를 제시하고, 동심도 및 두께 편차 문제를 해결하기 위한 최적 설계 공법을 제시하고자 한다.

2. H/Lower 초기 소재 최적형상 결정

2.1 소재 형상비에 따른 유한요소해석

본 연구의 대상인 H/Lower는 냉간 단조로 생산되며, 제품의 특성상 냉간 단조 시 초기 소재의 형상에 따라 소재 후방 압출 높이가 달라진다. H/Lower의 기존 소재는 빌렛형상 직경 32.7mm, 높이 20.0mm를 이용하여 생산되었으나 제품 중심 바닥부의 돌출 형상으로 인하여 소재 정위치 안착이 불안정하였으며, 중심에서 벗어난 소재로 인하여 제품의 후방압출 불균형과 동심도 및 두께 편차가 발생되었다. 이러한 문제점의 분석 및 해결을 위하여 제품 초기 소재 형상은 박육형 소재를 사용하여 유한요소해석 수행이 요구된다.

H/Lower의 소재 재질은 SPHC, 무게는 128g, 마찰상수 μ 는 0.12, 편치는 1m/sec의 속도이며, 상용 유한요소 프로그램인 AFDEX를 사용하여 해석을 수행하였다. 냉간단조의 경우 체적이 동일하더라도 소재의 지름과 높이 비에 따라 소재의 유동 특성이 다르므로 초기 소재 치수 결정이 매우 중요하다. 초기 소재 형상을 정의 하기 위하여 Fig. 3과 같이 소재의 직경과 높이를 각각 D와 H로 정의하였다. 유한요소

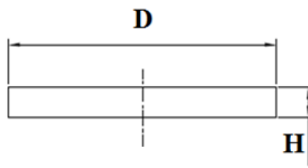


Fig. 3 Initial preform shape for H/Lower

Table 1 Conditions of shape factor for H/Lower

No.	D(Diameter)	H(Height)	SF(D/H)
Case 1	57.20	6.455	8.86
Case 2	57.00	6.500	8.77
Case 3	56.80	6.546	8.68
Case 4	56.60	6.592	8.59
Case 5	56.40	6.639	8.50

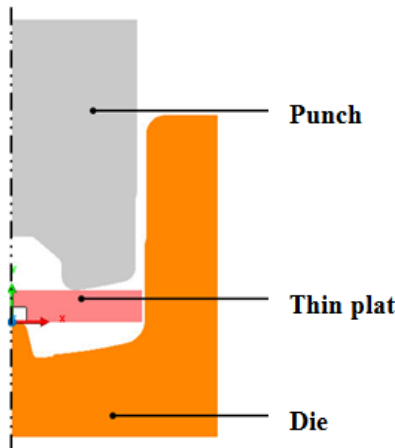
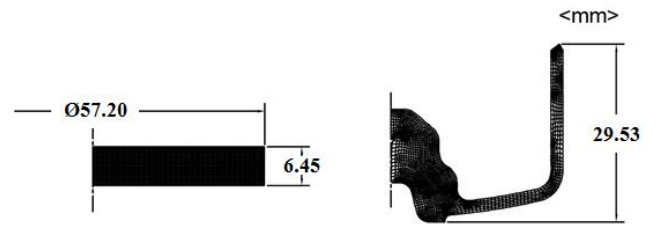


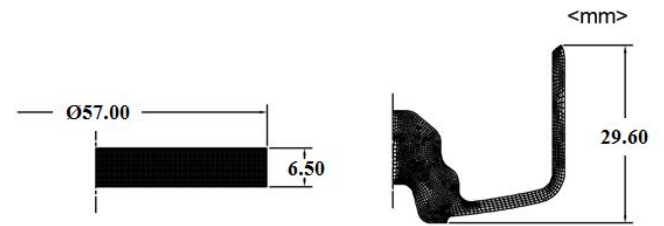
Fig. 4 Schematic drawing of tool shape for the forming process of H/Lower

해석 하기 위하여 직경과 높이의 조합인 SF비로 총 5가지 조건으로 구분하여 Table 1과 같이 정의하였다.

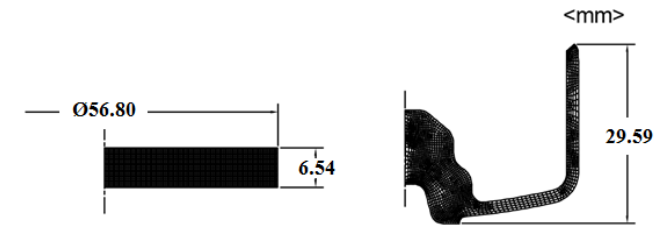
H/Lower의 냉간단조 공정은 Fig. 4와 같이 유한 요소해석 개략도를 나타내었다. 후방압출 공정은 총 2공정으로 진행되며, 1, 2차 펀치의 직경은 $\varnothing 53.3\text{mm}$ 로 동일하며 1차 하부 급형의 내부 직경은 $\varnothing 57.3\text{mm}$, 2차 하부 급형의 내부 직경은 $\varnothing 57.2\text{mm}$ 이다. H/Lower의 초기 소재 형상비에 따른 1, 2차 해석 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 일반적으로 판단조 형태의 후방압출품의 경우 원하는 높이까지 벽 두께를 균일하게 가져가기 위해서는 동일 조건에서 후



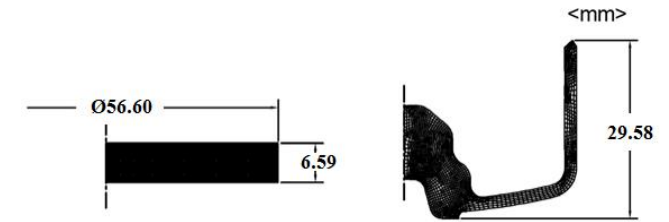
(a) SF 8.86



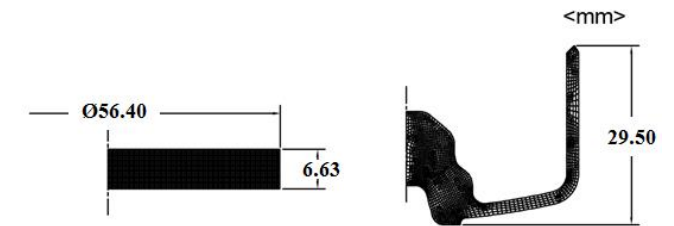
(b) SF 8.77



(c) SF 8.68



(d) SF 8.59



(e) SF 8.50

Fig. 5 The extruded height according to SF in backward extrusion process

방 압출 높이가 높을수록 실제 사용 높이까지 보다 균일한 벽두께와 동심도를 얻을 수 있다. 이에 본 연구에서는 다소 미소한 차이라 할지라도 비교적 압출 높이가 큰 초기 소재 형상비를 찾기 위하여

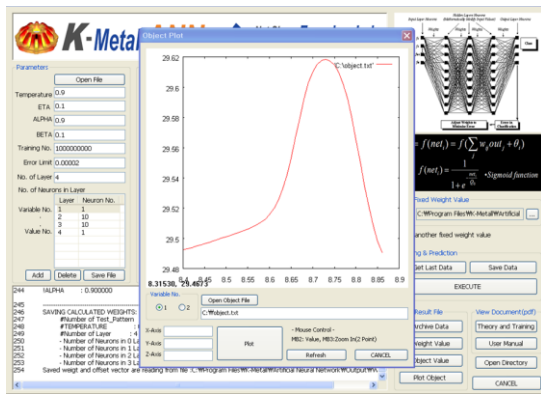


Fig. 6 The training result using ANN

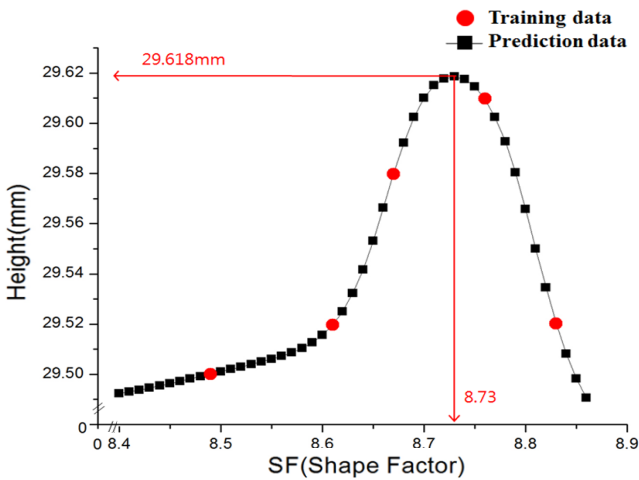


Fig. 7 The prediction of extruded height using ANN

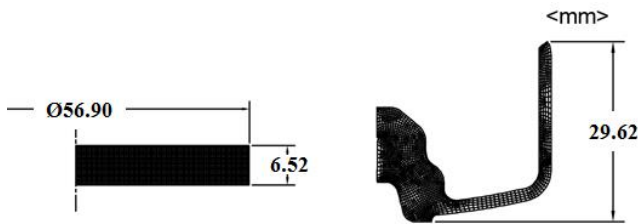


Fig. 8 The results of FE-simulation according to selected condition(SF 8.73)

SF비에 따른 후방 압출 높이를 예측하고 그 유동 특성을 분석하였다.

유한요소해석 결과로부터 총 5가지의 형상비를 즉 SF비에 대한 후방압출 높이 결과를 정리하여 Fig. 5(a)~(e)에 나타내었다. 그 결과 SF비 8.86에서 29.53mm의 후방압출 높이를 보였으며 이후 SF비 8.77에서 29.60mm로 후방압출 높이가 가장 높게 나오다가 다시 낮아져 SF비 8.50에서는 후방압출 높이

29.50mm로 점점 낮아지는 것을 알 수 있었다. 본 연구결과 특정구간에서 SF비가 작아질수록 즉 높이 H가 미소하게 증가하고, 직경 D가 감소할수록 후방압출 높이가 다소 증가하다가 감소하는 경향이 나타나는 것을 알 수 있었다.

2.2 신경망을 이용한 최적 소재 형상 결정

초기 소재의 SF비에 따른 유한요소해석 결과 SF비 8.77일 때 소재 후방압출 높이가 가장 높게 나타났다. 본 연구에서는 이전에 수행된 SF비에 따른 후방압출 높이를 신경망으로 학습하고, 미해석 SF비에 대한 후방압출 높이를 예측하고자 한다[6, 7].

5가지 형상비 중 SF비 8.50, 8.59, 8.68, 8.77, 8.86에 대한 각각의 압출 높이를 신경망의 출력층에 입력하고, 각 형상비를 신경망의 입력층에 입력한 후 신경망 학습을 수행하였다. 학습 후 미해석 형상비 즉 SF비 8.35에서 8.87까지 0.01 간격으로 후방압출 높이를 예측한 결과 SF비 8.73에 대하여 가장 높은 압출 높이 29.618mm로 예측되었다.

신경망 해석 결과를 바탕으로 SF비 8.73인 직경 Ø56.90mm, 높이 6.52mm의 초기 박판 소재를 이용하여 검증해석을 수행하였다. 그 결과 Fig. 9와 같이 후방압출 높이 29.62mm로 신경망의 학습과 유한요소해석 결과가 잘 일치하는 것을 알 수 있었다.

3. H/Lower 최적 공정 설계

3.1 편치 형상에 따른 성형성 평가

본 연구에서는 H/Lower 초기 형상으로부터 금형 형상에 따른 성형성에 관하여 연구를 수행하였다. 먼저, H/Lower의 1, 2차 냉간단조 중 1차 공정 성형성을 평가하기 위하여 그 개략도를 Fig. 9에 나타내었다. Fig. 9 (a)는 기존 현장에서 사용중인 중실형 편치를 이용한 냉간단조 공정이며, Fig. 9 (b)는 중공형 편치이다. 본 연구에서 2가지 금형 형상, 즉 중실형 편치형상과 중공형 편치 형상에 대하여 성형 특성을 비교 하였고, 각각의 형상을 Fig. 9 (a)와 Fig. 9 (b)에 나타내었다. 유한요소해석 조건은 기존 성형 해석과 같으며, 초기 소재의 형상은 SF비 8.73인 직경 Ø56.90mm, 높이 6.52mm를 이용하였다.

H/Lower 1차 냉간단조 공정 유한요소해석 결과 중실형 편치를 이용한 경우 Fig. 10 (a)와 같이 후방압출 높이가 17.69mm로 나타났다. 중공형을 사용한

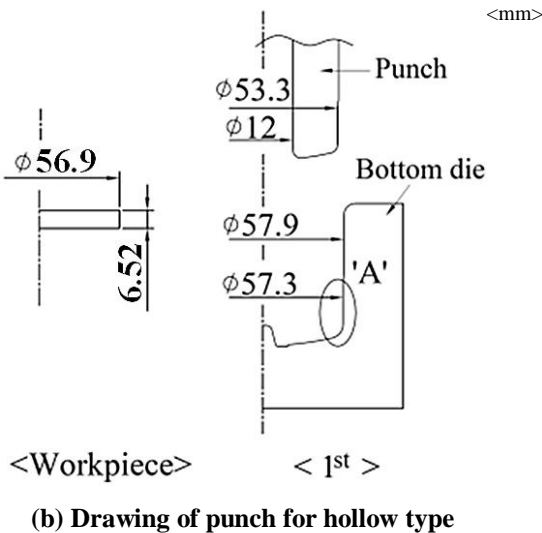
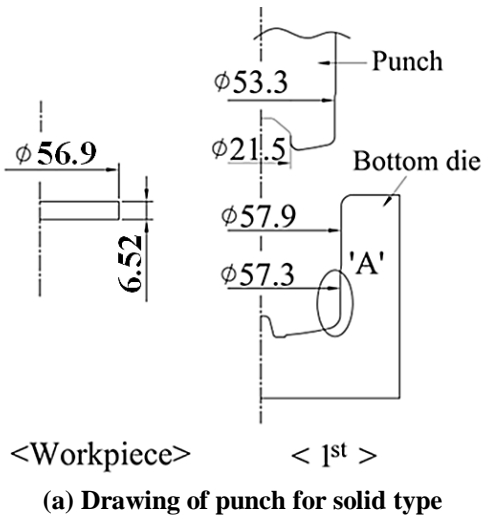


Fig. 9 Schematic drawing depend on punch type

해석 결과 Fig. 10 (b)와 같이 18.57mm로 나타났다. 냉간단조의 경우 단조품의 정밀정형 양산성은 매우 중요하며 이에 본 연구에서는 금형의 강도적 측면을 고려하여 유한요소해석으로부터 금형의 탄성 변형량을 예측하였고 그 결과를 Fig. 11에 나타내었다. 그 결과 탄성 변형량은 중공형이 다소 적음을 확인하였다.

3.2 H/Lower 기존 금형 형상의 문제점

현장에서 H/Lower 냉간단조 1, 2차 공정 완료 시 펀치에 소재가 소착 되어 펀치 퇴출 시 소재와 함께 상승되는 결함이 생겨 이를 방지하기 위한 하부 금형에 언더컷(under cut)을 적용하였다. 하지만 언더컷 때문에 소재의 두께 불균일이 발생하였다. 이

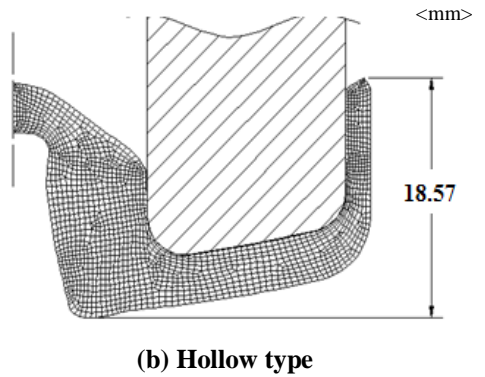
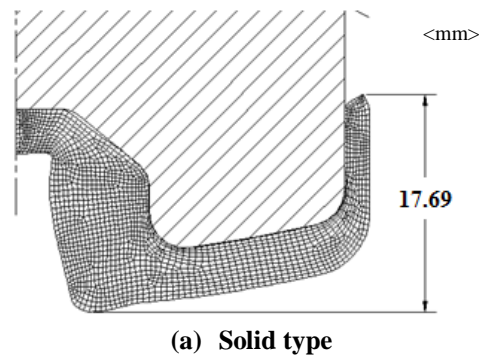


Fig.10 The result of FE-simulation according to punch type in 1st forging process

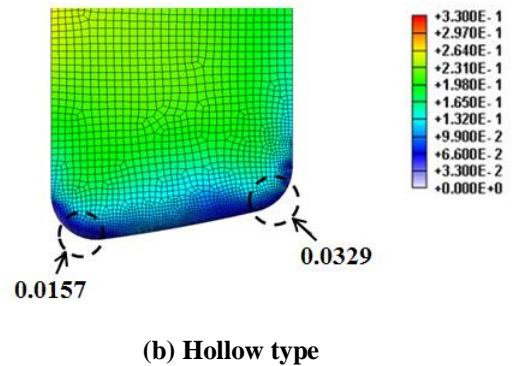
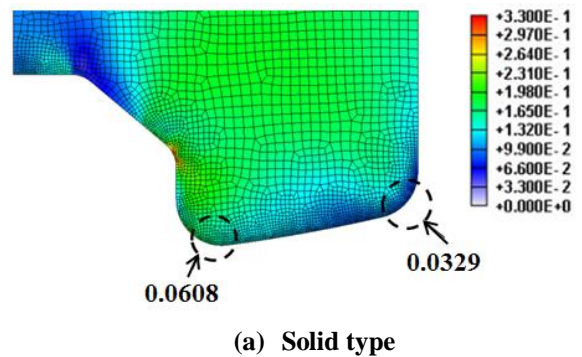


Fig.11 The result of effective strain depend on punch type in 1st forging process

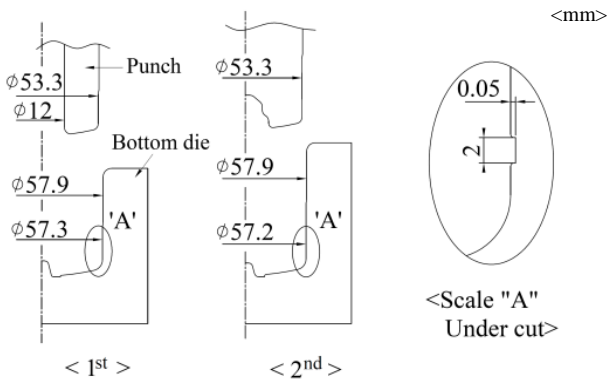


Fig.12 Schematic drawing of punch & die for H/Lower

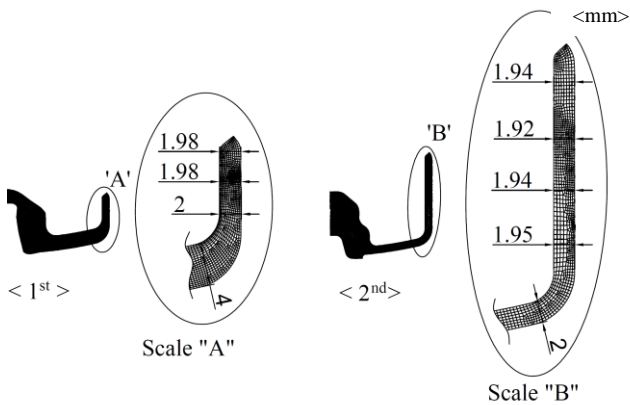


Fig.13 FE-simulation results of applying the under cut on the bottom die

러한 문제점을 개선하기 위하여 소재의 두께가 균일하도록 유한요소해석을 통하여 편치 및 하부 금형의 최적 설계를 제시 하고자 한다. 앞서 편치 형상에 따른 유한요소해석으로 H/Lower 1차 냉간단조 공정에서 중공형이 중실형 보다 제품의 후방압출 높리와 금형의 강도적 측면에서 유리하다 는 것을 알 수 있었다. 유한요소해석을 진행하기 위하여 Fig. 12와 같이 H/Lower의 1차 냉간단조 공정의 편치 형상은 중공형을 이용하였으며 2차 냉간단조 하부 금형은 내벽에 2mm의 언더컷을 두었다.

냉간단조 1차 공정 후 제품의 목표 두께 2mm, 2차 냉간단조 공정 후 목표 두께 1.95mm이다. 하지만 해석결과 현장의 문제점과 같이 2차 냉간단조 성형 시 소재가 다이의 언더컷 후부터 소재와 금형과의 접촉이 균일하지 못하여 소재 두께가 균일하게 되지 못하는 문제점이 나타났다. 유한요소해석 결과 Fig. 13과 같이 나타내었다. 소재 두께가 불균일 하면 폭발 압력을 균일하게 받지 못하여 에어백이 터지는

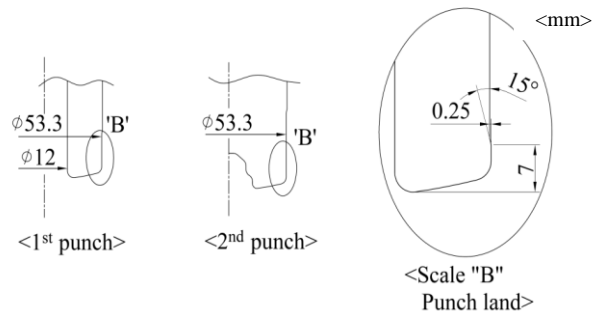


Fig.14 Schematic drawing of punch-land

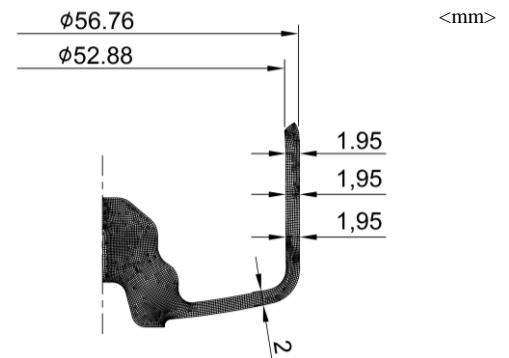


Fig.15 FE-simulation results for punch-land

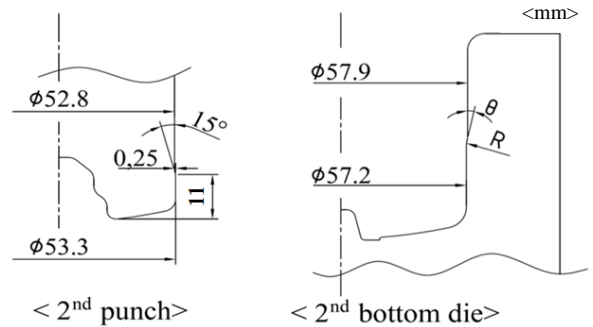


Fig.16 The dimension of punch and die considering the angle and the radius of land

순간 H/Lower 내부에 내장되어 있는 에어백이 탑승자에게 제대로 안내 되지 못하거나, 두께 불균일로 인한 취약부위에 폭발 압력을 견디지 못하고 파손되는 등의 문제가 발생하게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 편치와 소재의 접촉 면적을 원활하게 하고자 편치와 하부 금형의 랜드부 형상을 이용하여 해석을 수행하였다.

3.3 H/Lower 금형 형상 최적설계

편치의 랜드부 적용 초기 형상은 편치 바닥부에서 7mm 지점에서 15° 각도를 이루며 0.25mm 두께

Table 2 The levels of design factor for optimization

No.	Factors	
	θ	R
1	10°	6mm
2	13°	4mm
3	16°	5mm

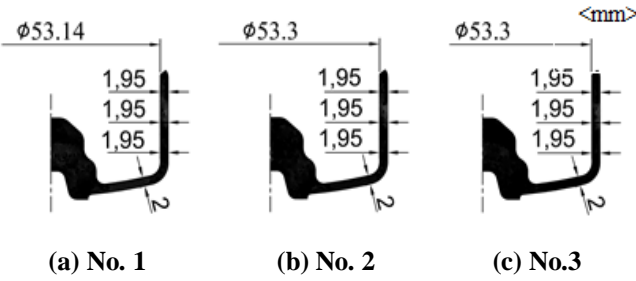


Fig.17 The results of FE-simulations



(a) Punch(1st process) (b) Punch(2nd process)



(c) Die of H/Lower

Fig.18 Mold of H/Lower in cold forging process

편차를 가지는 형상을 설계하였다. H/Lower 냉간단조 1, 2차 공정 유한요소해석 결과 Fig. 16과 같이 나타내었다. 제품의 목표 두께 1.95mm로 원활한 성형성을 보였지만 소재의 끝부분이 안쪽으로 유입되는 문제점이 발생하였다. 이는 소재의 동심도를 맞추기 위하여 1, 2차 소재 벽면 두께 치수를 다르게 했기 때문이다. 이를 개선하기 위하여 하부 금형의



Fig.19 The mass of thin plate for H/Lower

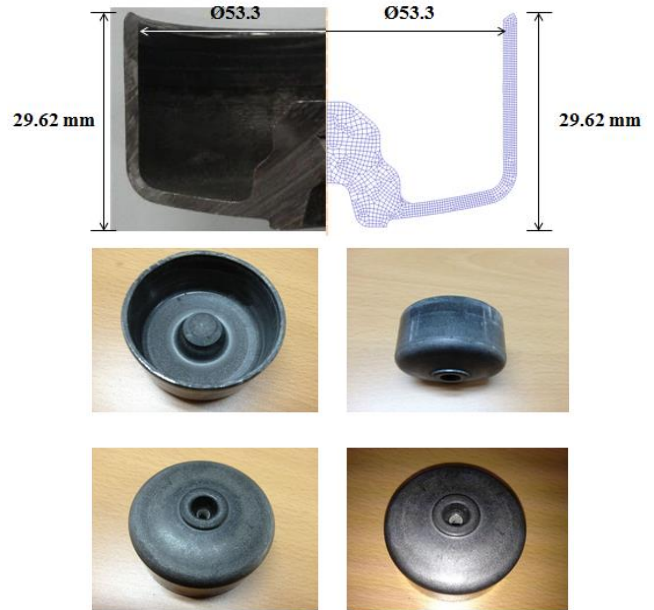


Fig.20 The result of experiment in cold forging process

랜드부 각도와 곡률을 설계 변수로 선정하여 해석을 수행하였다. 펀치 랜드부 길이에 따라 소재가 안쪽으로 유입되는 영향력이 상당히 높기 때문에 펀치 랜드부 길이가 7~10mm일 때는 소재가 안쪽으로 유입되는 결함이 발생하여 11mm 로 고정하였다.

에어백이 터지는 순간 폭발 압력을 균일하게 받기 위하여 소재의 두께는 균일해야 한다. Table 2와 같이 하부 금형 랜드부 각도 θ , 곡률 R을 변수로 두어 유한요소 해석한 결과 Fig. 17에 나타내었다. 해석 결

과 모두 소재 두께가 일정하게 나타났으나, No. 1의 경우 소재 끝 부분이 안쪽으로 유입되면서 내경이 작아지는 문제점이 나타났지만, 상대적으로 랜드 각도가 크고, 곡률반경이 적은 경우인 No. 2, No. 3의 경우는 양호한 결과를 얻을 수 있었다. 이 결과는 랜드 각도가 다소 클 수록소재와 접촉 부위가 줄어들고 마찰 특성이 다소 유리하다고 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 자동차용 에어백의 중요 부품인 H/Lower의 초기 형상 결정과 1, 2차 냉간단조 공정의 편치 형상을 최적화하여 동심도 및 두께 불균일 문제점을 해결하기 위하여 유한요소해석 하였다. 그 결과를 정리하면 다음과 같다.

(1) H/Lower의 초기 소재 형상에 따른 유한 요소 해석 하였으며, 그 결과를 이용하여 신경 망학을 이용한 결과 후방압출성이 양호한 SF비는 8.73으로 나타났고, 검증해석 결과 잘 일치하는 것을 확인하였다.

(2) 1차 냉간단조 공정에서는 중공형이 중실형에 비하여 후방압출 높이가 0.88mm 높게 나왔으며, 금형의 강도적 특성에도 중공형이 중실형에 비하여 유리함을 알 수 있었다.

(3) 1차 냉간단조 금형을 중공형으로 설정한 다음 1차, 2차 금형의 랜드부 형상을 설계 변수로 하여 유한요소해석하였다. 그 결과 No. 2의 경우에서 성형성 및 두께편차에서 제품 목표 치수를 모두 만족하였다.

(4) H/Lower 1차, 2차 냉간단조 공정을 유한 요소해석한 결과를 바탕으로 Fig. 18과 같이 금형을 제작하였으며 Fig. 19와 같이 SF비 8.73인 직경 $\phi 56.90\text{mm}$, 높이 6.52mm 소재를 이용하여 실험한 결과 Fig. 20과 같이 목표치수를 모두 만족하는 결과를 얻을 수 있었다.

후 기

본 연구는 2014년 한국국제대학교 교내 연구비 지원되어 수행한 과제이며 이에 관계자 여러분께 감사 드립니다.

REFERENCES

- [1] D. H. Park, J. J. Yun, N. Y. Park, 2011, Complex Forging Part Technology Development of Car Airbag Housing Lower, KSMTE, p. 110.
- [2] D. J. Kim, B. M. Kim, 1999, Process Design to Prevent Internal & External Defects of Cold Extruded Products with Double Ribs, Trans. Mater. Process., Vol. 8, No. 6, pp. 612~619.
- [3] J. S. Kim, K. S. Kim, S. H. Shim, J. G. Eom, M. S. Joun, 2010, Development of a Die System for Avoiding Thickness Reduction along the Corner in Warm Plate Forging of an Axle Housing, Proc. Kor. Soc. Tech. Plast. Spring Conf, Kor. Soc. Tech. Plast., Seoul, Korea, pp. 232~235.
- [4] I. H. Lee, H. Y. Cho, H. K. Song, J. H. Kim, B. H. Seo, K. H. Kyoung, 2007, Finite Element Analysis of Forging for Spring Cup of Engine Valve, Trans. Kor. Soc. Mech. Eng., pp. 350-355
- [5] D. J. Kim, D. C. Ko, B. M. Kim, J. C. Choi, 1995, Determination of Initial Billet Size using The Artificial Neural Networks and The Finite Element Method for a Forged Product, Trans. Mater. Process, Vol. 4, No. 3, pp. 214~221.
- [6] D. H. Kim, K. S. Chung, B. M. Kim, 2004, The Optimal Preform Design for Automotive Differential Bevel Gear, KSAE, Vol. 12, No. 1, pp. 184~189.
- [7] D. H. Kim, J. M. Lee, B. M. Kim, 2004, Design of Punch Shape for Reducing the Punch Wear in the Backward Extrusion, J. Kor. Soc. Precis. Eng., Vol 21, No. 10, pp 180~187.
- [8] C. H. Lee, D. Y. Yang, 2001, The Analytical Consideration for Several Design Parameters of Flat-Die Extrusion Processes, Trans. Mater. Process., Vol. 10, No. 6, pp. 551~557.
- [9] S. W. Lee, W. S. Byeon, S. R. Cha, B. S. Kim, M. S. Joun, 2011, Case Study on Major Defects in Cold Forging by Finite Element Method(2) – Shape Defect, Proc. Kor. Soc. Tech. Plast. Autumn Conf, Kor. Soc. Tech. Plast., Seoul, Korea, pp. 228~231.