

충격압출 공정에서 초기 슬러그 디자인이 사각 배터리 케이스의 이어링에 미치는 영향 분석

임재혁^{1,2} · 최석우¹ · 정완진² · 신정학³ · 이종섭^{1,#}

Effects of Initial Slug Design on the Earring of a Rectangular Battery Case During Impact Extrusion

J. H. Lim, S. Choi, W. J. Chung, J. H. Shin, J. Lee

(Received October 6, 2015 / Revised November 16, 2015 / Accepted November 19, 2015)

Abstract

In the current paper, the effects of initial slug design on the earring of an Al rectangular battery case manufactured by impact extrusion were studied. During impact extrusion, non-uniform metal flow between the long and the short sides of the battery case leads to earring, which is subsequently trimmed. Process parameters such as friction, aspect ratio of the battery case, the die shape and the forming temperature tend to induce earring because they cause greater non-uniform metal flow. Large aspect ratio of the battery case and high friction between slug and die can greatly affect the earring of a rectangular battery case. To make a rectangular battery case without earring, it is necessary to control metal flow uniformly during impact extrusion. One of the ways to reduce the earring is to control the metal flow of slug at the initial upsetting stage. To analyze the effects of the initial slug design on earring, FE analysis was conducted using DEFORM 3D. Two types of initial slug designs were evaluated where volume was removed along either the width or thickness directions. The results show that the initial slug design can be effective in adjusting the uniformity of metal flow.

Key Words : Impact Extrusion process, Initial Slug Design, Metal Flow, Earring

1. 서론

최근, 이산화탄소로 인한 온난화 문제가 심각해지면서 고효율, 친환경 차량에 대한 관심이 증가하고 있다. 그중에서도 특히 리튬 이온 배터리를 사용한 전기자동차의 시장은 급격하게 성장하고 있는 실정이다. 시장 수요가 증가함에 따라 중대형 배터리를 더 저렴한 가격으로 생산하려는 노력이 증가하고 있다.

배터리 케이스를 제조 방법으로는 대표적으로 충

격압출 공정과 딥드로잉 공정이 있다. 딥드로잉 공정은 펀치를 이용하여 블랭크를 다이 공동부로 밀어 넣음으로써 컵형상을 만드는 제조 방법이다. 그러나 형상비가 크고, 깊은 사각형 또는 타원형 컵 제조 시, 다단 공정이 요구되기 때문에 공정에 비례한 프레스와 금형이 필요하다. 결과적으로 생산성이 저하되고, 제조원가가 증가하는 단점이 있다[1]. 반면 충격압출 공정은 Fig. 1과 같이 다이에 안착된 소재를 펀치로 가압하여 펀치와 다이 사이의 틈새로 유동시킴으로써 컵 형상의 성형품을 만드는 공정이

1. 한국생산기술연구원 성형기술그룹

2. 서울과학기술대학교 제품설계금형공학과

3. ㈜케이원전자 기술개발연구소

Corresponding Author : Metal Forming Technology R&D Group, Korea Institute of Industrial Technology, E-mail: jongsup@kitech.re.kr

다. 충격압출 공정은 깊은 컵 형상의 성형품을 1~2 회이 공정만으로 제조가 가능하기 때문에 딥드로잉에 비하여 생산성과 제조원가가 저렴한 장점을 지닌다. 전술한 이유로 전기 자동차용 사각 배터리 케이스 및 에너지 저장 장치의 케이스 제조 시 충격압출 공정이 많이 시도되고 있으나[2~4], 충격압출 공정은 몇 가지 기술적인 어려움이 존재한다.

첫 번째로, 금형 및 프레스의 높은 정밀도가 요구된다. 펀치와 다이의 편심이 발생할 경우, 단·장변부 클리어런스가 달라지기 때문에 불균일한 금속 유동이 발생하며, 이어링 및 터짐 불량을 야기할 수 있다[3, 4].

두 번째로, 배터리 케이스의 형상비가 증가할수록 소재의 단·장변부 금속 유동 조절이 어려워진다. 직사각형상은 코너부에서 금속 유동을 제한하는 역할을 한다. 따라서 형상비가 증가할수록 단변부와 장변 중심부에서 금속 유동의 차이가 발생하기 때문에 이어링이 쉽게 발생한다[2].

마지막으로, 마찰이 증가함에 따라 단·장변부 금속 유동 조절이 어려워진다. 마찰이 증가할수록, 코너부에서의 금속 유동은 더 심하게 제한되기 때문에 단·장변부의 금속 유동 차이를 유발하며[5], 이로 인하여 이어링이 심화된다.

결과적으로 이어링을 줄이기 위해선, 형상비나 마찰에 의해 발생하는 불균일한 금속 유동을 제어할 필요가 있다. 그러나, 충격압출 공정에서 하중을 줄이거나, 높은 소성변형을 통해 성형품의 강도를 증가시키는 연구[3]는 많이 진행되었으나, 소재 유동을 조절하여 이어링을 줄이기 위한 연구는 거의 없는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 슬러그 형상을 변경하여 금속 유동을 조절하였으며, 해석과 실험을 통해 결과를 비교하였다.

2. 유한요소 해석조건

슬러그 형상이 이어링에 미치는 영향을 분석하기 위하여 성형 해석을 수행하였다. 해석에 사용된 유한 요소 해석 소프트웨어는 DEFORM 3D이다. 소재는 Al6061-O 이며, Al은 상온에서 변형률 속도 민감도가 거의 없기 때문에[6] 정적 인장 실험 물성을 사용하였다. Fig. 3에 유동응력 선도를 나타내었다. 유한 요소 해석에 사용된 최종 성형품 치수와 해석

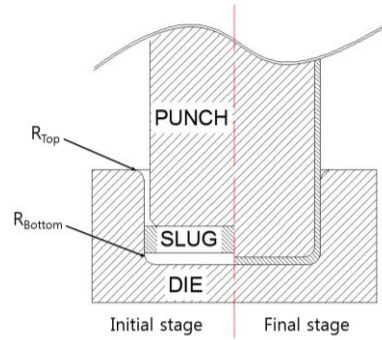


Fig. 1 Schematic drawing of impact extrusion process

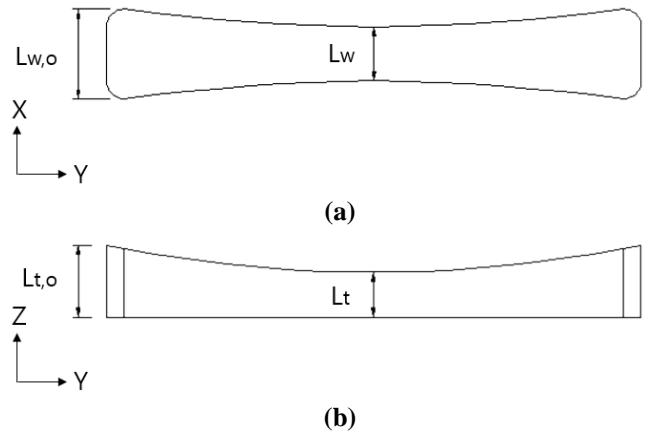


Fig. 2 (a) Volume reduction along width direction, (b) Volume reduction along thickness direction

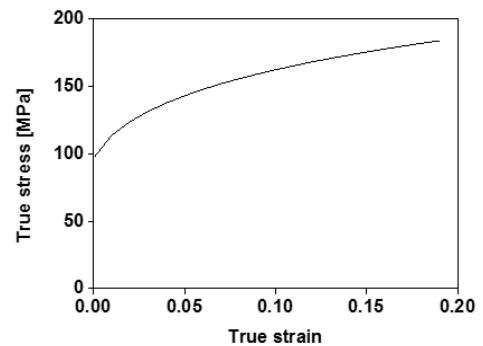


Fig. 3 Flow stress of Al6061-O

조건은 각각 Table 1, 2에 나타내었으며, 슬러그 치수는 Table 3에 나타내었다.

최종 성형품은 단·장변과 바닥부의 두께가 각각 다르고, 단변부와 장변부의 형상비는 약 1:5.6으로 세장비가 크기 때문에 금속 유동이 다르게 발생하기 쉬운 형상을 갖는다. 해석은 1/4 대칭 모델에 대하여 수행하였고, 해석 시간과 수렴성을 고려하여 소재는 강소성체로 모델링하였다.

Table 1 Dimensions of rectangular cup

Height [mm]	Width [mm]		Thickness [mm]		
	long	short	long	short	bottom
91	148.0	26.25	0.65	0.8	1.1

Table 2 FE analysis condition

Classifications	Specifications
FEM S/W	DEFORM 3D
Symmetric condition	1/4 symmetry
Material	Al6061-O (Rigid-plastic)
Punch and die	Rigid-body
Friction	Hybrid friction (Coulomb 0.05, Shear 0.1)

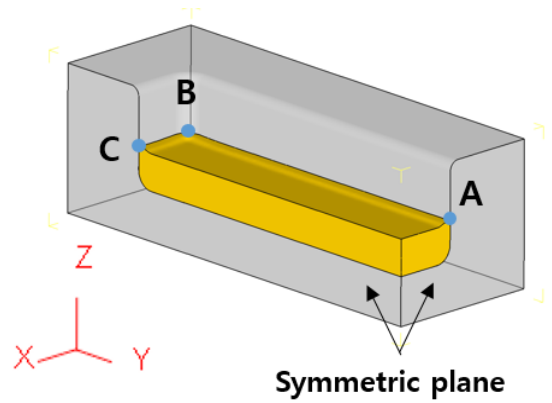
Table 3 Slug designs for FE analysis

Parameter	Dimension [mm]	Ratio[%]
		($L_w/L_{w,0}$, $L_t/L_{t,0}$)
Lw	23.6	0.9
	21.0	0.8
	18.4	0.7
Lt	7.2	0.9
	6.4	0.8
	5.6	0.7

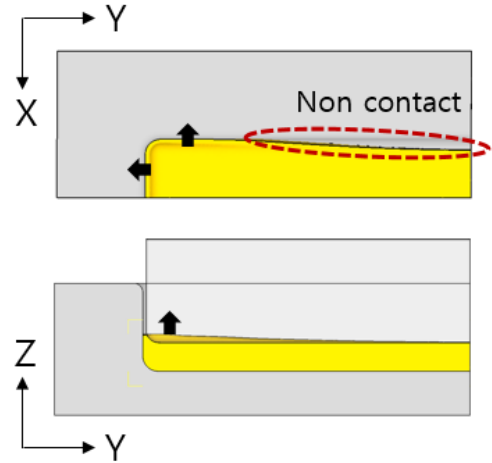
3. 해석결과

3.1 성형 초기 소재 유동 비교

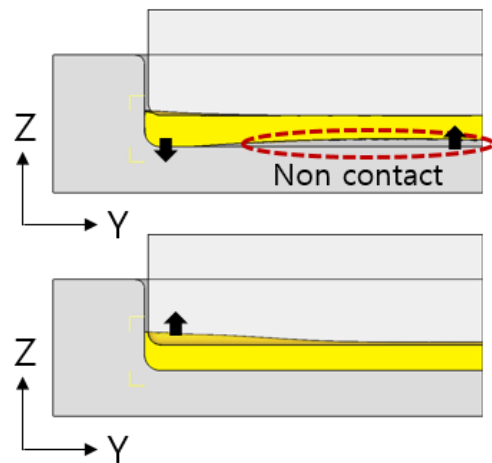
Fig. 4에 업세팅 단계에서 직사각형 슬러그(0% reduction)와 폭 방향, 두께 방향 체적을 각각 30% 감소시킨 슬러그의 금속 유동을 나타내었다. 직사각형 슬러그는 Fig. 4(a)와 같이 펀치 스트로크가 진행되면서 다이 바닥면에 접촉 후 다이 측벽부에 접촉한다. 반면, Fig. 4(b)와 같이 슬러그 폭 방향 체적을 30% 감소시킨 경우, 단변부에서 다이 바닥부와 측벽부 접촉이 먼저 발생하며 서서히 장변 중심부의 접촉이 진행된다. 단변측 다이 바닥과 벽면에 우선적으로 접촉한 슬러그는 압출 구간(+Z direction)으로 유동하기 때문에 장변부에 비해 먼저 압출이 진행된다.



(a)



(b)



(c)

Fig. 4 (a) Rectangular slug without volume reduction, (b) Volume reduction 30% along the width, (c) Volume reduction 30% along the thickness

한편, Fig. 4(c)와 같이 슬러그의 두께 방향 체적을 30% 감소시킨 경우, 슬러그의 단변부는 다이 바닥과 우선적으로 접촉하지만, 장변중심부는 편치축으로 휨이 발생하여 접촉이 지연된다. 이후, 편치가 하강함에 따라 장변 중심부가 다이 바닥부와 접촉하게 된다.

압출은 성형 초기에 바닥부와 측벽부 접촉이 완료된 후 발생하기 때문에 체적이 제거된 슬러그 형상이 단변부에서 급형과 접촉이 먼저 이루어지므로 단변부 먼저 압출이 발생한다. 따라서 성형 초기에 압출량 차이를 유도할 수 있으며, 체적 제거율이 증가할수록 단·장변부 압출량 차이는 증가하기 때문에 장변 중심부에서 빠른 압출 속도로 인하여 발생하는 이어링을 성형 초기에 보상할 수 있다.

3.2 이어링 비교

슬러그 형상은 성형 초기 단계에서 압출량에 영향을 미치기 때문에, 업세팅 직후와 소재가 클리어 런스를 통과한 압출 직후 시점에서 각각의 이어링

을 확인하였다. 슬러그 형상에 따른 이어링 높이차를 분석하기 위하여, Fig. 5에 표시된 A→B→C를 따라서 컵의 높이를 측정하여 Fig. 6에 나타내었다.

직사각형 소재(0% reduction)의 경우, 업세팅 직후 소재의 높이가 균일하지만, 압출 직후에 상대적으로 유동저항이 작은 장·단변 중심부(A, C)가 높고, 유동저항이 상대적으로 큰 장변측 코너부(distance 65mm)의 높이가 낮은 결과를 보인다. 따라서 직사각형 소재는 성형 초기부터 이어링이 크게 발생하는 것을 알 수 있다.

한편, Fig. 6(a)와 같이 슬러그의 폭 방향 체적을 감소시킨 경우, 체적 제거율이 증가할수록 업세팅 직후 장변 중심부(A)의 높이가 단변부(B~C)보다 감소하기 때문에 압출 직후에 직사각형 슬러그에 비하여 이어링이 저감되는 것을 확인할 수 있다. 마찬가지로, Fig. 6(b)와 같이 슬러그의 두께 방향 체적을 감소시킨 경우, 체적 제거율이 클수록 업세팅 직후 장변 중심부(A)의 높이가 감소하기 때문에 압출 직후 이어링이 저감되는 것을 확인할 수 있다.

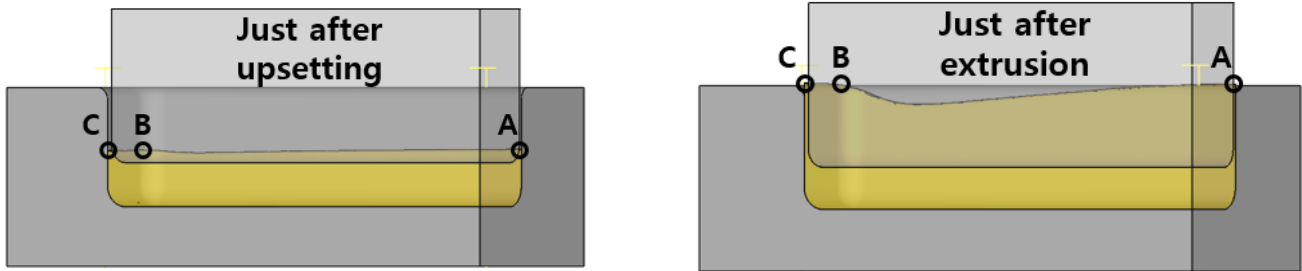


Fig. 5 Measuring points of the height

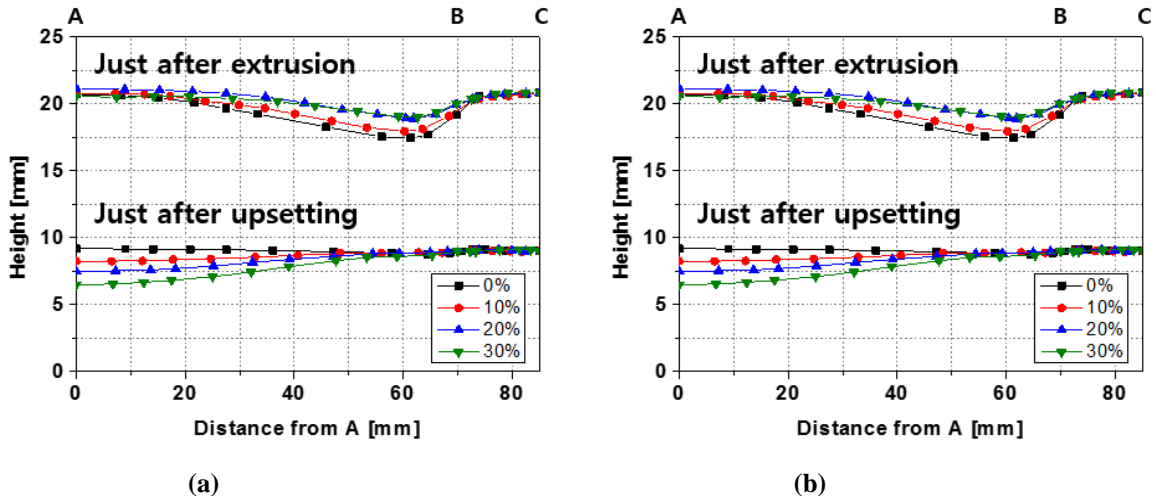


Fig. 6 Earring results for volume reduction (a) along the width, (b) along the thickness

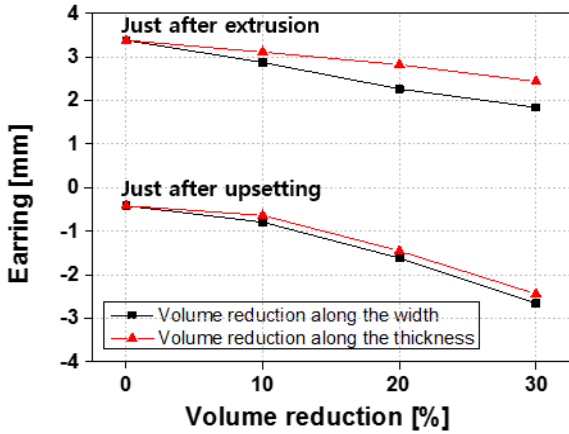
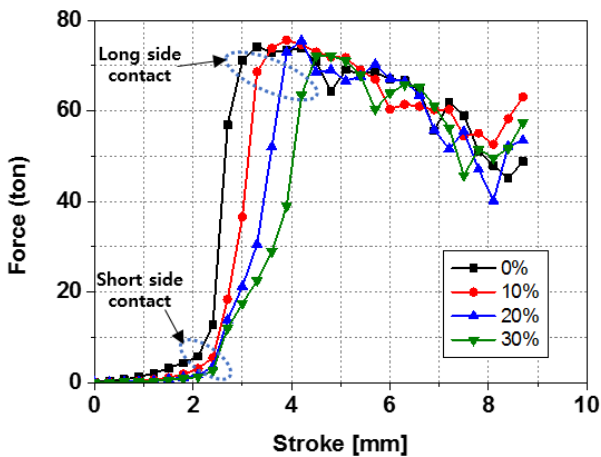
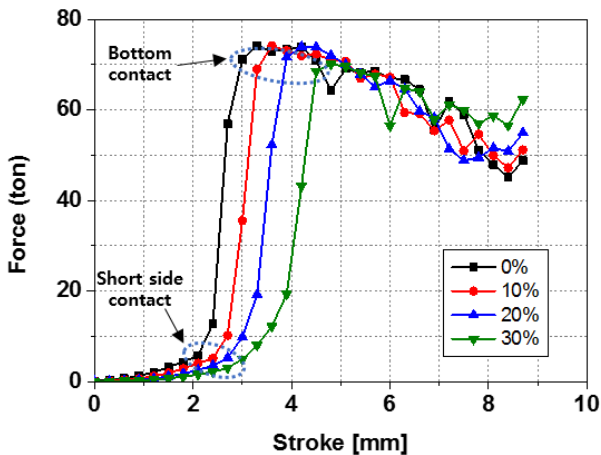


Fig. 7 Load-stroke curve depending slug types

Fig. 7에 업세팅 직후와 압출 직후 시점에서 슬러그 형상에 따른 이어링 경향을 고찰하였다. 이때, 이어링은 장변부 최대 높이(A)를 기준으로 측정하였다. 압출량이 더 많은 단변부는 장변부에 비해 높기 때문에 업세팅 직후 이어링은 0보다 작으며, 두 가지 슬러그 형상 모두 체적 제거율이 증가할수록 단변부가 더 높은 이어링이 발생한다. 반면, 압출 직후 장변부가 더 높은 이어링이 발생하지만, 체적 제거율이 증가할수록 이어링 경향은 감소하는 것을 확인할 수 있다. 따라서 성형 초기에 단변부에서 먼저 압출이 발생할 수 있는 형상의 슬러그를 사용하여 성형품의 이어링을 저감할 수 있다.



(a)



(b)

Fig. 8 Load-stroke curve depending slug types, (a) Volume reduction along the width, (b) Volume reduction along the thickness

Fig. 8 (a), (b)에 슬러그 형상에 따른 성형하중 이력을 각각 나타내었다. 초기 업세팅 단계에서 체적 제거율이 증가할수록 측벽부 및 바닥부의 접촉이 늦어지기 때문에 성형하중 증가 시점이 지연되는 결과를 유발한다. 하지만, 최대 성형하중과 바닥부 접촉 이후 하중은 두 가지 슬러그 모두 서로 유사한 경향을 보이며, 체적 제거율이 클수록 최대 하중이 약간 감소하는 것을 확인할 수 있다.

4. 결론

본 연구에서 성형해석을 통하여 폭 방향과 두께 방향 체적을 제거한 슬러그 형상이 이어링에 미치는 영향을 분석하였다. 해석을 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

- (1) 폭 방향과 두께 방향 체적을 제거한 슬러그는 체적 제거율이 증가할수록 직사각형 슬러그에 비하여 업세팅 직후 단변부 압출량이 증가하여, 단변부가 더 높은 이어링이 발생한다.
- (2) 압출이 진행될수록 장변 중심부의 금속 유동이 증가하여 블록한 이어링이 발생하지만, 슬러그 체적 제거율이 증가할수록 성형 초기에 단변부 압출량을 보상하였기 때문에 이어링이 감소하여 단·장변부 높이가 균일해진다.
- (3) 체적 제거율이 증가할수록 금형과의 접촉이 지연되기 때문에 하중 증가 시점이 지연되어 최대 성형 하중이 약간 감소한다. 하지만 슬러그 형상에 따른 최대 성형 하중은 큰 차이를 보이지 않는다.

REFERENCES

- [1] S. H. Kim, S. H. Kim, H. Huh, 2001, Finite Element Inverse Analysis for the Design of Intermediate Dies in Multi-stage Deep-drawing Processes with Large Aspect Ratio, *J. Mater. Process. Technol.*, Vol. 113, No. 1, pp. 779~785.
- [2] S. H. Kim, S. W. Chung, 2005, Investigation of Sectional Aspect Ratio on the Backward Extrusion Process of Aluminum Container, *Kor. CAD/CAM*, Vol. 2005, No.1, pp. 950~956.
- [3] J. Danckert, 2004, The Influence of the Punch Land in Backward can Extrusion, *CIRP Annals*, Vol.53, Issue 1, pp. 227~230.
- [4] T. Watanabe, M. Motomura, A. Hagiwara, G. Konishi, 2012, Investigation on Defects Generation Mechanism and Method for Reducing Defects in Impact Extrusion of Battery Cases for Vehicles, *Jpn. Light Metal.*, Vol. 62, No. 10, pp. 363~369.
- [5] S. H. Kim, S. W. Chung, S. Padmanaban, 2006, Investigation of Lubrication Effect on the Backward Extrusion of Thin-walled Rectangular Aluminum Case with Large Aspect Ratio, *J. Mater. Process. Technol.*, Vol. 180, Issue 1-3, pp. 185~192.
- [6] E. Romhanji, M. Dudukovska, D. Glisic, 2002, The Effect of Temperature on Strain-rate Sensitivity in High Strength Al-Mg Alloy Sheet, *J. Mater. Process. Technol.*, Vol. 125-126, pp. 193~198.