

세장비가 큰 다단계 초정밀 사각형 디프드로잉을 위한 블랭크 설계

박철성*·구태원**·강범수***

Blank Design in Multi-Stage Rectangular Deep Drawing of Extreme Aspect Ratio

C.S. Park, T.W. Ku and B.S. Kang

Abstract

In this study, finite element analysis for multi-stage deep drawing process of rectangular configuration with extreme aspect ratio is carried out especially for the blank design. The analysis of rectangular deep drawing process with extreme aspect ratio is likewise very difficult with respect to the design process parameters including the intermediate die profile. In order to solve the difficulties, numerical approach using finite element method is performed in the present analysis and design. A series of experiments for multi-stage rectangular deep drawing process are conducted, and the deformed configuration is investigated by comparing with the results of the finite element analysis. Additionally, to minimize amount of removal material after trimming process, finite element simulation is applied for the blank modification. The analysis incorporates brick elements for a rigid-plastic finite element method with an explicit time integration scheme using LS-DYNA3D.

Key Words : Multi-stage rectangular deep drawing process, Extreme aspect ratio, Finite element method, Trimming process, Blank modification

1. 서 론

원형이 아닌 각형모양의 부품 생산을 위한 디프드로잉 성형공정은 자동차산업, 항공우주산업, 그리고 전자산업 뿐만 아니라 여러 산업분야에서 널리 이용되어지고 있다. 특히, 세장비가 큰 초정밀 사각형 케이스는 전자제품

의 배터리 케이스, 반도체 케이스, 그리고 초소형 진동자 케이스 등으로 널리 이용되어지고 있다. 전자제품의 초경량 컴팩트화로 인하여 우리생활 속에서 초정밀 사각형 케이스의 수요가 증가하고 있지만, 여전히 생산성 향상 및 공정수의 감소를 위한 세장비가 큰 초정밀 사각형 드로잉공정 기술의 개발이 필요하다. 세장비가 큰 사각

* 부산대학교 항공우주공학과 대학원
** 부산대학교 정밀정형 및 금형가공 연구소
*** 부산대학교 항공우주공학과

형 드로잉제품의 생산성 향상과 비용절감을 위해서는 트리밍공정과 같은 여분의 공정이 필요치 않는 연속적인 다단계 디프드로잉 공정이 이루어져야한다. 그러나 세장비가 큰 사각형 형상을 가진 컵을 성형하기 위한 다단계 디프드로잉 공정은 전형적인 원통형 디프드로잉에 비해 더 복잡한 변형 형태를 보이고 있다. 이런 복잡한 변형 매커니즘으로 인하여 최종 형상의 기계적 성질등을 예측하기가 어렵고, 원하는 최종 형상을 얻기 위한 다단계 디프드로잉 공정설계 또한 쉽지 않다.

Kobayashi^(1,2) 등은 사각형컵의 드로잉공정에 대한 변형 해석을 수행하였으며, D. Ravi Kumar⁽³⁾ 등은 디프드로잉 공정에서 방향귀(earing)를 최소화하기 위한 초기블랭크 형상을 연구하였다. 본 연구에서는 Kang⁽⁴⁾ 등이 수행한 폭 5.95mm를 가지는 세 장비가 큰 초정밀 사각 박테리 케이스의 다단계 디프드로잉 성형공정을 바탕으로 폭 4.95mm에 대하여 유한요소해석을 수행하여 그 결과를 실험과 비교 검토하였으며, 또한 트리밍공정중 소재의 낭비를 최소화하기 위해서 초기블랭크를 수정, 보완하였다.

2. 유한요소해석

2.1 유한요소해석

폭 4.95mm를 가지는 다단계 사각형 디프드로잉 공정 해석에 적용된 블랭크는 13863개의 절점과 9000개의 요소로 모델링 되었고, 초기두께는 0.8mm이다. 본 해석에서는 소성굽힘변형과 아이어닝 효과를 고려하기 위해서 8절점 육면체 요소를 사용하였다. 또한, 육면체 요소의 사용은 해석시 블랭크의 두께뿐 아니라 그 증감도 정확하게 계산할 수 있다. 블랭크 이외의 금형인 펀치, 다이, 블랭크 홀더 그리고 취출장치는 강체 쉘(shell)요소로 구성되어 있다. 본 연구에 사용된 소재는 알루미늄 합금인 AA3003-H16 판재를 사용하였으며, 인장시험을 통하여 직접 구한 소재의 물성치는 Table 1에 나타내었다. 해석상 무의미한 영향을 주는 제한된 조건에 대하여 다음과 같이 가정하였다. 첫째, 소재는 균질한 등방성으로 이루

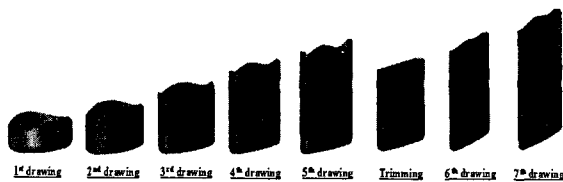


Fig. 1 Deformed shapes of the blank at each deep drawing stage

어져 있다. 둘째, 공정 중에 발생하는 열에 대한 효과는 무시한다. 셋째, 각 부분별 마찰조건은 일정하게 쿨롱 마찰계수 0.1로 적용하였다.⁽⁵⁾ Fig. 1에서는 폭 4.95mm를 가지는 세장비가 큰 다단계 디프드로잉 유한요소해석을 통한 각 단계별 변형된 형상을 보여주고 있다.

2.2 다단계 디프드로잉 실험

폭 4.95mm를 가지는 세장비가 큰 다단계 디프드로잉 실험은 70톤(ton) 용량의 이송식 프레스를 사용하였다. 모든 공정은 Table 1과 같은 두께 0.8mm인 AA3003-H16을 이용하여 수행되었으며, 드로잉, 아이어닝(ironing), 블랭킹(balnkng), 그리고 트리밍(trimming) 공정을 포함하여 15공정으로 이루어진다. 실험을 통해 얻어진 최종형상의 높이, 길이, 폭은 각각 48.45mm, 33.60mm, 4.95mm의 치수를 가진다. 여기서 길이와 폭의 비인 세장비(aspect ratio)는 6.78이상인 것을 알 수 있다. 세장비가 클수록, 다단계 디프드로잉을 통한 사각형 컵을 성형시 더 많은 공정상의 어려움이 존재한다. Fig. 2는 각 단계별로 성형된 제품의 형상을 보여주고 있다.

3. 초기 블랭크 설계

3.1 초기블랭크 설계절차

본 연구에서는 초기블랭크를 수정, 보완하여 재료의 낭비를 최소화하기 위해 외연적 유한요소 프로그램인 LS-DYNA3D를 사용하였다. Fig. 3는 초기블랭크 설계

Table 1 Mechanical properties of applied specimen

Specimen	Al. Alloy 3003-H16
Ultimate Tensile Strength	180Mpa
Yield Tensile Strength	170Mpa
Modulus of Elasticity	70Gpa
Poisson's Ratio	0.33
Elongation	5 ~ 14 %

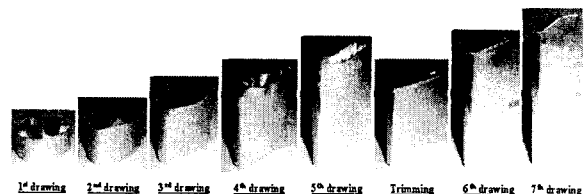


Fig. 2 Experimental result for rectangular cup drawing with 4.95mm width

를 위한 순서도를 나타내고 있다. 초기블랭크 설계기준은 다단계 공정을 통해 발생하는 수치적 에러를 줄이기 위해 세 번째 디프드로잉 공정후, 높이가 균일한 컵을 가지는 블랭크형상을 채택하였다. 수치적 에러의 분포가 설계기준형상의 1%, 즉 0.32mm이하일 때 만족한다고 설정하였다. 기존블랭크로 세 번째 공정까지 성형해석후, 설계기준과 비교하여 그 편차만큼 기존블랭크를 수정한다. 수정된 블랭크로 다시 세 번째 공정까지 디프드로잉 성형후 설계기준과 비교하여 만족할 때까지 블랭크 수정을 한다. Fig. 4에서는 초기블랭크의 수정절차를 보여주고 있다.

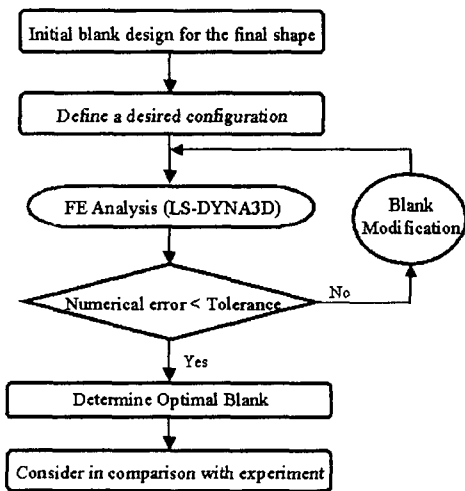


Fig. 3 The flow chart for procedure of initial blank modification

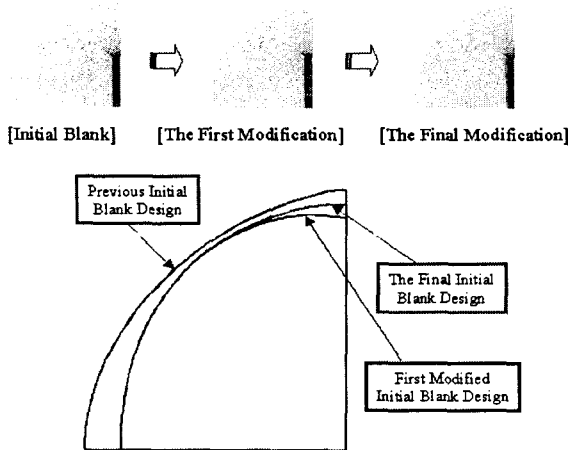


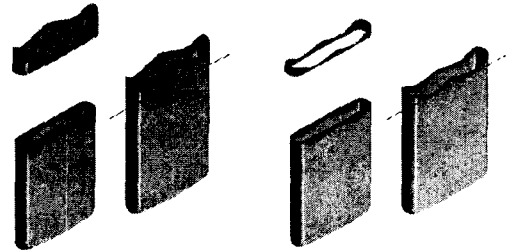
Fig. 4 The procedure of initial blank modification

3.2 초기블랭크 수정전후의 비교

유한요소해석을 통해 초기블랭크 수정전후를 비교하였다. 블랭크 수정후 필요없는 방향귀 감소로 인하여 블랭크와 각 금형간의 마찰력이 줄어들었고, 이로 인하여 각 단계별 유효응력이 감소하였다. Fig. 5는 블랭크수정 전후의 초기블랭크를 가지고 5단계 디프드로잉 성형후 트리밍되는 양을 비교하여 보여주고 있다.

4. 해석 결과 검토 및 고찰

폭 4.95mm의 다단계 사각형 디프드로잉에 대한 유한요소해석과 실험을 각 단계별로 변형된 형상과 높이에 대해 비교하였다. 그 결과 허용가능한 오차를 보여주고 있으며, Fig. 6과 Table 2에서는 실험과 수정전후의 블랭크를 이용해 성형한 각 단계별 높이를 나타내었다. 5단계에서 수치적 해석과 실험사이에 약간의 차이를 보이고 있지만, 전체 각 단계별 공정에서는 만족할 만한 결



(a) Initial blank application (b) Modified blank application

Fig. 5 The trimmed amount after the fifth deep drawing forming blank before/after initial blank modification

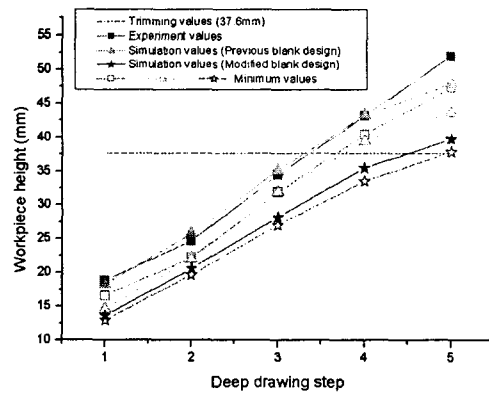


Fig. 6 The heights of experiment before/after blank modification

Table 2 The height of workpiece on experiment and simulation before/after modification (Unit : mm)

	Experiment values		Simulation values (before)		Simulation values (after)		Reduction (%)
	Minimum	Maximum	Minimum	Maximum	Minimum	Maximum	
1st step	16.6	18.9	14.60	18.26	12.94	13.62	25.41
2nd step	22.2	24.6	21.98	25.75	19.68	20.61	19.96
3rd step	31.9	34.5	31.92	35.11	27.05	28.23	19.60
4th step	40.4	43.1	39.41	43.26	33.54	35.51	17.91
5th step	47.3	52.0	43.61	47.92	37.83	39.74	20.58

과를 보여주고 있다. 또한, 블랭크 수정후 평균적으로 방향귀가 20.69% 감소하였으며, 이로 인해 유효응력도 감소하여 성형성이 향상되었다.

5. 결론

세장비가 큰 사각형 케이스는 배터리 케이스와 반도체 케이스등으로 전자부품에 널리 이용되고 있다. 더욱이 멀티기능형 휴대용 전자제품의 초소형화 경향에 따라 더욱 폭이 좁은 드로잉컵이 요구되고 있다. 본 연구에서는 유한요소법을 통해 폭 4.95mm의 세장비가 큰 사각형 드로잉컵을 성형공정 해석하였으며, 또한 블랭크수정을 통하여 공정설계과정에 유용한 정보를 제공한다.

(1) 실험결과와 비교하여 유한요소해석이 타당함을 입증하였다. 실험과 해석을 통해 얻어진 형상과 높이를 각 단계별로 비교하였으며, 수치적 해석결과가 실험치와 거의 유사함을 알 수 있었다.

(2) 세장비가 큰 다단계 사각형 드로잉공정에서 초기 블랭크의 향상을 위해 세 번의 수치적 방법을 통한 블랭크수정이 수행되었으며, 각각의 블랭크로 성형해석후의 결과를 비교함으로써 블랭크수정으로 인한 성형성 향상뿐만 아니라 소재의 낭비를 줄임으로써 생산비 절감효과도 할 수 있음을 알 수 있었다.

후 기

본 연구는 부산대학교 정밀정형 및 금형가공 연구센터(ERC/NSDM)의 지원에 의해 수행중이며, 이에 관계자 여러분께 감사 드립니다.

참 고 문 헌

- (1) C. H. Toh and Shiro Kobayashi, 1985, "Deformation analysis and blank design in square cup drawing", Int. J. Machine Tool Design & Research, Vol. 25, pp. 15~32.
- (2) N. S. Kim and Shiro Kobayashi, 1986, "Blank design in rectangular cup drawing by approximate method", Int. J. Machine Tool Design & Research, Vol. 26, pp. 125~135.
- (3) Naval Kishor and D. Ravi Kumar, 2002, "Optimization of initial blank shape to minimize earing in deep drawing using finite element method", The J. Mat. Proc. Tech. Vol. 130-131, pp. 20~30.
- (4) T. W. Ku, B. K. Ha, W. J. Song, S. M. Hwang, and B. S. Kang, 2002, "Finite Element Analysis of multi-stage deep drawing process for high-precision rectangular case with extreme aspect ratio", The J. Mat. Proc. Tech. Vol. 130-131, pp. 128~134.
- (5) LS-DYNA Keyword User's Manual, May 1999 Livermore Software Technology Corporation, Livermore, CA, USA.