

본 연구는 정밀정형 및 금형가공 연구센터(ERC/NSDM)의 연구비 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

정밀 전자총 부품 Aperture 성형공정 해석 및 설계 시스템 구축

변상규*, 허병우**, 강범수*

Analysis of a Process Sequence in Precision Press Forming of Aperture and Construction of Design System

S.K. Byun*, B.W. Huh**, B.S. Kang*

ABSTRACT

A process sequence in precision press forming of electronic components is investigated by the finite element method. Aperture, a key component of electronic gun, is formed through a sequence of about 15 operations, among which the beading & bending, the first piercing, the first coining, and the second coining operations are expected to be most critical in view of industrial experts' opinions. Thus, the analysis performed by a commercial code MARC focuses on the three operations, and comparisons are made between the results of the analysis and the measurements of experimental forming of the component.

Key Words : aperture(아퍼추어), progressive dies(프로그레시브 금형), spring back(탄성회복), strip(스트립), beading(비이딩), bending(굽힘) piercing(천공), coining(코이닝), sizing(사이징)

1. 서 론

프레스에 의해 소재에 인장, 압축 등의 응력상태를 유발하여 판재를 원하는 형상으로 성형하는 판재 성형공정^[1]은 기계 구조물 및 부품 생산에 많이 이용되는 공정 중의 하나이며, 제품의 크기 및 정밀도에 따라 그 종류 및 활용 가능성이 다양하다. 또한 균일한 제품을 대량생산할 수 있으므로 생산성이 우수하고 능률적이며, 현재는 프로그레시브 금형(progressive dies) 또는 트랜스퍼 프레스(transfer press) 등에 의한 가공법이 실용화되어 더욱

생산성이 향상되고 있다. 전자 부품은 대부분이 판재 성형품으로 구성되어 있으며, 초소형 초정밀 정형가공에 필요한 성형 정밀도와 효율적인 대량 생산성 등이 요구되고 있으므로 프레스 가공에 의한 생산에 관심이 모아지고 있다^[2].

프레스 성형은 제품설계, 공정설계, 소재, 윤활, 프레스 기계 등의 요소 기술이 조합된 총체적 기술이며, 이러한 기술들이 고도로 균형 있게 조화가 이루어지면 고정도 제품의 안정적 생산이 가능하다. 이중 공정 설계에는 공정 결정, 금형 설계, 예비성형체 설계 등과 같은 영역이 포함

* 부산대학교 정밀정형 및 금형가공 연구소
** LG 전자 (주)

되며 여러 가지 공정이 조합된 다단계 공정으로 이루어진 복잡한 형상의 부품 개발에서 이의 효율적인 수행은 매우 중요한 요소라 할 것이다.

선진국에서는 판재성형 제품의 품질 안정화, 고정밀화 및 생산성 향상을 달성하기 위하여 온간 성형법을 활용하여 판재의 성형한계를 확장하고, 지능형 가공 시스템, 정밀정형(net shape or near net shape) 개념 등을 도입하고 있다⁹⁾. 또한 탄성회복(spring back)등 판재성형에 영향을 미치는 여러 공정변수에 의한 시행착오를 줄이기 위하여 유한요소법을 활용하여 공정설계 및 해석을 하는 연구가 활발히 진행되고 있다⁴⁻⁶⁾. 그러나 국내에서는 대부분의 공정설계가 숙련자의 경험적 직관 및 실험에 의해 수행되고 있으므로 다단계의 성형공정을 거쳐 생산되는 복잡한 형상의 제품을 개발할 경우 공정동안 소재가 받는 여러 형태의 변형으로 인한 시행착오로 시간소비 및 단가 상승을 초래한다.

이를 개선하기 위하여 초동해석법, 미끄럼 선장법 및 상계법과 같은 전통적인 해석방법을 활용하여 왔으나⁷⁻⁹⁾, 복잡한 형상의 해석과 정밀한 예측 결과를 얻기가 곤란한 점이 있으므로 유한요소법의 활용이 시도되어지고 있다. 유한요소법에 의한 해석에서 구해지는 광범위한 정보는 현장에서의 실무적인 경험과 결합하여 공정설계에 소요되는 시간적, 경제적 절감효과 및 공정수 감소 등의 효율적인 공정설계를 수행하는데 도움을 줄 것이다¹⁰⁻¹³⁾.

본 연구에서는 브라운관(CRT)에 장착되어 전자선을 방출하는 전자총의 핵심 부품인 아퍼추어(aperture)의 성형공정에 대한 해석을 수행하였다. 아퍼추어는 프로그래시브 금형에 의해 약 15개의 연속공정을 거쳐 생산되고 있다. 주요 공정에 대한 유한요소 해석을 통해 얻어지는 성형공정 동안의 소재 변형양상 및 탄성회복 경향, 두께분포, 유효 변형률 분포 등에 관한 정보들을 이용하여 발생 가능한 결함을 예측하였으며, 시제품의 측정 데이터와 해석결과들을 비교하여 보다 정확한 해석을 수행하기 위한 기술을 습득하고, 공정 개선 및 유사한 제품의 공정설계시 도움이 될 수 있도록 정량적인 자료를 마련하였다. 해석에서는 상용 FEM 코드인 MARC와 표면 조도기(Surf. Com.) 등을 활용하였다.

2. 유한요소 모델링

아퍼추어의 성형에 사용되는 소재는 I106S이며 두께는 0.33mm의 박판이다. 각 공정마다 성형이 끝난 후의 탄

성회복에 의한 변형 경향을 파악하기 위하여 탄소성 유한요소법을 활용하였고, 소재의 대칭성을 감안하여 1/4을 제어체적으로 선택하여 3차원으로 해석을 수행하였다. 해석에서는 초기 속도장을 가정, 뉴턴-랩슨(Newton-Raphson)법으로 비선형 방정식을 풀었으며, 소재와 다이사이의 마찰상수(μ)는 0.05를 사용하였다.

2.1 소재의 주요 물성치

실험으로부터 구한 소재의 0.2% 오프셋(offset) 항복강도는 330 N/mm^2 이며, 종탄성계수값(E)은 131.4 kN/mm^2 를 사용하였다. 박판 소재의 성형에 큰 영향을 미치는 이방성 효과를 나타내는 값들은 소성 변형률 비 R(Lankford value), 평면 이방성 계수 ΔR , 수직 이방성 계수 \bar{R} 등이 있으며 이들에 대한 수식적 정의 및 실험치들은 아래와 같다¹⁴⁾.

1) 소성 변형률 비 R

$$R = \frac{\epsilon_w}{\epsilon_t} = \frac{\ln(w_f / w_o)}{\ln(t_f / t_o)}$$

여기서 f : final, o : original

w : 폭, t : 두께

이며 각 방향에 대한 값들은 아래와 같다.

$$R_0 = 0.905, R_{45} = 1.008, R_{90} = 1.007$$

2) 평면 이방성 계수 ΔR

$$\Delta R = \frac{R_0 + R_{90}}{2} - R_{45} = -0.052$$

3) 수직 이방성 계수

$$\bar{R} = \frac{R_0 + 2R_{45} + R_{90}}{4} = 0.982$$

이어링(earing) 현상의 판정 기준이 되는 ΔR 은 0에 가깝게 나타났고, 수직 이방성 계수 \bar{R} 은 등방성을 나타내는 값인 1에 거의 근접하였으므로 이방성 효과는 해석에서 고려하지 않았다.

2.2 금형의 주요 물성치

코이닝 공정에서는 금형의 구조적 특성상 탄성해석을 통해 금형의 탄성수축량을 구하였다. 금형의 재질은 GA20으로 종탄성계수값은 588 kN/mm^2 , 프와송비(ν)는 0.3을 사용하였다.

3. 성형공정 및 경계조건

아퍼추어는 연속 성형공정을 거쳐 생산되며, 공정동안 스트립(strip)에 구속되어(그림 1참조) 이에 의해 다음 공정들로 이동하며, 최종 파팅(parting) 공정에서 분리된다. 이 중 대부분의 성형이 이루어지고, 성형정도와도 가장 밀접한 관계가 있는 비이딩 및 벤딩(beading & bending) 공정, 1차 피어싱(piercing), 1차 코이닝(coining) 공정 등이 해석 대상에 포함되었다.

그림 1에서는 초기 소재의 평면형상 및 주요 공정들을 보여주고 있다. 비이딩 및 벤딩 공정을 거치는 동안 소재는 두께변화 없이 성형되며, 1차 피어싱 공정에서 지름 1.0mm의 예비홀(hole)을 뚫게 되는데, 후속의 코이닝 공정들에서 막혀지게 된다. 이는 코이닝 부위의 두께 조절 및 2차 피어싱 공정을 용이하게 수행하기 위한 예비공정이다. 그러나 피어싱이 소재에 미치는 영향은 유한요소 해석으로 판별하기 곤란하며, 실제 그 영향도 미미할 것으로 예측되므로 피어싱 부위의 소재만 제거하는 것으로 대체하였다. 1차 코이닝 공정에서는 비이드 안의 원형 부위를 성형하는 펀치를 하강시켜 두께를 감소시킨다. 이

공정에서는 펀치가 하사점에 도달하였을 때 펀치와 다이 가 서로 오버랩(overlap) 되어 있으며, 공정중에 소재로부터 가해지는 반력에 의해 탄성 수축되면서 소재를 성형하게 된다. 그러므로 금형의 탄성 변형량에 대한 정확한 계산은 공정설계시 매우 중요한 요소가 된다. 이어지는 2차 코이닝 공정에서는 원의 중심부위에 돌출된 원형 펀치를 이용하여 1차 코이닝 된 원의 중심부의 두께를 감소시키게 된다. 해석에서는 각 공정이 끝난 후 소재로부터 다이를 분리시켰을 때 탄성회복에 의한 변형의 경향 및 제품의 평탄도, 주요 부위의 두께 분포, 유효응력 및 변형을 분포, 금형의 탄성 변형량 등을 조사하고자 하였다. 이후 사이징(sizing), 트리밍(trimming), 벤딩 사이징, 표면 사이징 등의 공정들을 통해 앞공정들에서 성형된 주요 부위의 치수를 보장하게 되며, 2차 코이닝 성형된 부위의 가운데에 지름 0.4mm의 최종 홀을 뚫는 2차 피어싱 공정 및 파팅 공정을 거쳐 제품이 완성된다. 그림 2에서는 연속 성형 후 완성된 제품의 평면형상 및 각 단면의 형상이 보여지고 있으며, 또한 해석대상이 된 1/4의 제어체적이 보여지고 있다. 각 대칭면에는 대칭에 따른 구속 경계조건을 적용하였으며, 해석후 주요 관찰의 대상이 되는 단면에는 임의로 P-P, C-C 또는 A-A 단면으로 이름을 붙였다.

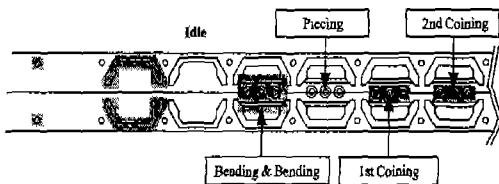


Fig.1 Schematic description of the process sequence and constraints by the strip for forming an aperture(deformation occurs in the gray zones)

4. 비이딩 및 벤딩 공정

비이딩 및 벤딩 공정은 소재에 주요 변형이 발생하는 첫 공정으로 제품 성형정도에 큰 영향을 미치리라 예상된다. 그러므로 해석의 신뢰도를 구축하기 위하여 해석과 시제품 측정으로부터 구한 결과들을 비교 검토하면서 해석을 수행하였다. 이 공정에서 해석의 주안점은 주요 부위의 두께분포, 비이드 높이, 각 단면의 길이변화, 탄성회복 경향 및 이로 인한 성형품의 평탄도 변화 등이다.

그림 3에서는 해석을 위하여 MARC에서 구성한 소재의 초기 격자체계와 비이딩 및 벤딩 공정의 금형형상을 보여 주고 있다. 후속 공정들에서 코이닝 성형되는 부위와 비이딩 성형되는 부위는 격자 체계를 원형으로 조밀하게 구성하여 성형되는 형상과 일치시켜 해석의 신뢰도를 향상시키고자 하였다. 금형은 워펀치 및 아랫다이와 성형 후 소재를 이동시키기 위해 스프링의 힘으로 밀어 올리는 패드로 구성되어 있다. 그림 4에서는 프레스가 하사점에 도달했을 때 P-P단면에 대한 소재 성형형상이 보여지고 있다. 소재로부터 금형이 분리되었을 때 소재의 탄성거동에 의해 탄성회복이 발생되었으며, P-P 단면에 대한 주요부위

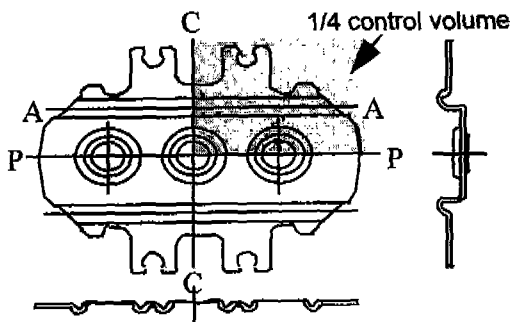


Fig.2 Planar and sectional configurations and the control volume used in analysis

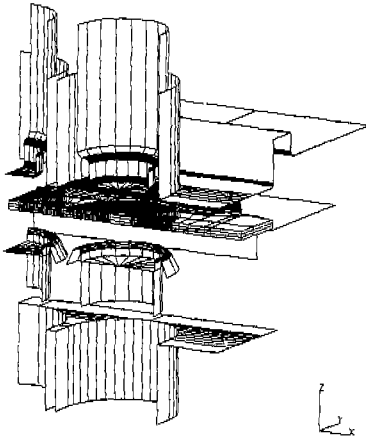


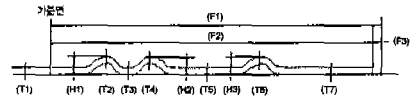
Fig.3 Initial mesh system and die set-up for the beading and bending operation



Fig.4 Final deformation of cross-section after the B&B operation

의 치수 변화를 측정하였다. 그리고 이 결과는 각 단면별로 표면조도기에 의해 측정된 실험 결과와 비교되었다.

소재에 가해졌던 성형력이 제거되고 난 후 P-P 단면은 탄성회복에 의해 비이드들의 높이(H1-H3)는 낮아지고 주요부위의 두께(T1-T7)는 증가했다(그림 5 참조). 그리고 이로인해 길이 방향(F2)으로 늘어나는 것을 알 수 있었다. 그림 6에서는 해석과 측정으로부터 구한 탄성회복 결과들이 P-P 단면에 대해 비교되어 보이고 있다. 소재는 표면조도기에 의해 측정되어 스케닝한 후 확대되었으며, 비교를 용이하게 하기 위하여 해석의 결과를 비슷한 크기로 확대하였다. 그러므로 두 결과의 스케일(scale)은 동일하지 않으나 경향은 비교할 수 있다. 소재 윗면의 측정에서는 전체적으로 위로 볼록하게 탄성회복됨을 알 수 있으나 해석에서는 아래로 조금 오목한 형상



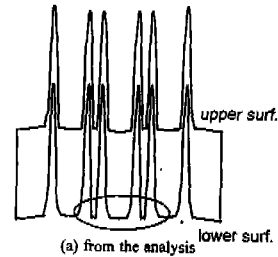
H1-H3 : height of beads
T1-T7 : thickness of workpiece
F1-F3 : length of section in P-P line

(a) the spring backed configuration of P-P section

구분	규격치수	금형상태	H1	H2	H3	비고			
BEAD 높이	0.9±0.05	하사점	0.7741	0.7684	0.7936				
		탄성회복	0.7689	0.7644	0.7878				
구분	금형상태	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	비고
두께변화	하사점	0.3196	0.2500	0.3200	0.2754	0.3196	0.2960	0.3298	
	탄성회복	0.3207	0.2737	0.3280	0.2767	0.3207	0.2973	0.3300	
구분	금형상태	초기치수(F1)	성형후치수(F2)	초기치수치이(F3)					
P-P단면치수	하사점	11.7	11.4002	0.2998					
	탄성회복	11.7	11.4107	0.2893					

(b) numerical comparisons about the primal dimensions

Fig.5 Sectional deformations along the P-P line caused by spring back effect



(c) lower surface measured by Surf. Com.

Fig.6 Sectional configuration after spring back from the analysis and experiment along the P-P line

으로 나타나고 있어 차이를 보이고 있다. 밀면에서는 비이드 부위가 들려 올라가 있어 해석과의 차이를 보이고 있다(원안의 부위 참조).

C-C 단면의 탄성회복 경향은 플랜지(flange) 부위가 상승하였고, 단면 방향의 길이가 늘어났음을 알 수 있다(그림 7 참조). 이때 이 길이는 후속의 트리밍 공정의 선행 여

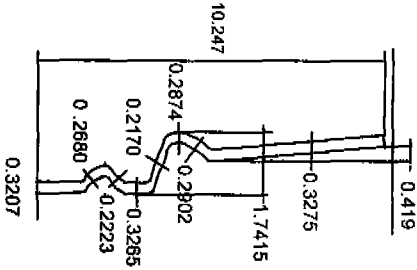


Fig. 7 Sectional configuration for the C-C line after spring back



Fig. 8 Twisted parts at the end of bending line

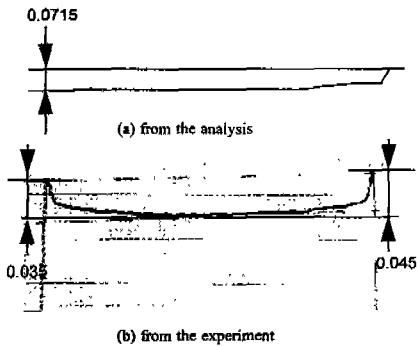


Fig. 9 Deformation of A-A section by spring back (scale:mm)

부와 밀접한 관계를 맺고 있으므로 이의 정확한 예측은 공정 수 감소에 중요한 요소가 된다.

또한 비이드와 벤딩 성형된 부위의 높이가 낮아지고 전체적으로 두께가 고루 증가했음을 알 수 있었다. 이들 결과들은 측정에서 나타나는 경향과 부합되고 있다.

벤딩 능선(A-A 단면)의 가장자리에서는 그림 8에서 나타나는 바와 같이 미소한 뒤틀림(twist)과 솟아오른 부위가 발견되었으며 이로 인해 시도된 이 부위의 측정 결과와 부합됨을 알 수 있었다(그림 9참조). 또한 측정으로부터 A-A 단면 양쪽의 비대칭성에 의해 0.01mm의 높이 차이가 발견되었으며, 이는 차후 측정에서 발생할 수 있는 오차를 개선하는데 중요한 단서가 되었다.

비이드 및 벤딩공정에 대한 해석 결과 P-P 단면에서의 탄성회복 경향이 측정과 오차를 보였다. 이의 원인으로는 정밀금형의 제작시 랩핑(lapping)에 의해 유발되는 도면과 실제 금형과의 치수 및 곡률 차이에서 비롯된다고 추측된다(그림 10 참조). 이러한 차이는 성형시에 소재 유동에 영향을 미치리라 예상되며, 실험에 사용된 금형의 정확한 치수를 파악하는 작업이 선행되어야 할 것이다. 아울러 윤활 조건, 스트립에 의한 영향 등도 세밀히 검토되어야 할 것이다. 그림 11에서는 이 공정을 통하여 성형된 소재의 3차원 형상이 보여지고 있다.

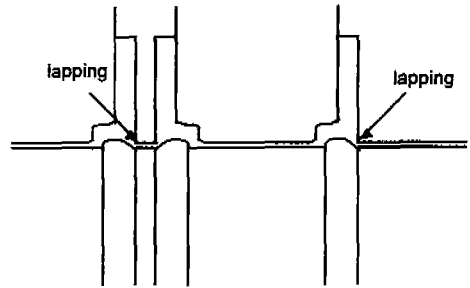


Fig. 10 Lapping expected points during manufacturing the dies

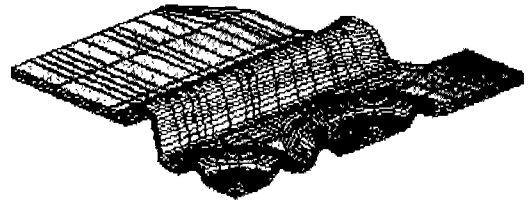


Fig. 11 3-dimensional configuration after the B&B operation

5. 1차 코이닝 공정

비이딩 및 밴딩공정을 거친 소재는 스트립에 의해 이동되어 1차 피어싱 공정에서 내경 1.0mm의 예비홀을 뚫은 후 코이닝 성형을 받게 된다. 피어싱 공정은 해당 부위의 소재를 제거하는 것으로 대체하였으며, 코이닝 공정동안 홀의 변형 거동을 관찰하였다. 1차 코이닝 공정에서는 윗 펀치를 더욱 하강시켜 비이드 안쪽의 원형 부위의 두께를 0.33mm에서 0.1mm로 감소시키게 되며 동시에 앞공정 이후 탄성회복된 비이드 부위가 재 성형되게 된다. 이 공정에 대한 해석에서의 주요 관찰 항목은 앞공정과 동일하다.

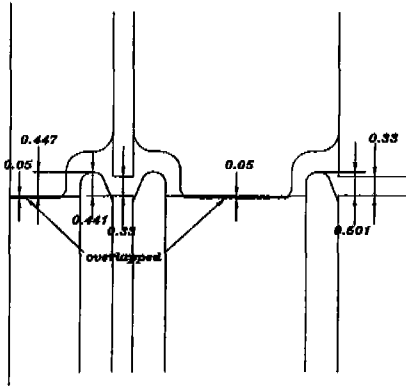
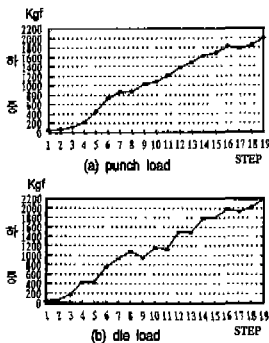


Fig. 12 Sectional configuration and dimensions along the P-P line



Step No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Stroke(%)	5.0	10.0	15.0	20.0	26.8	33.6	40.4	47.2	54.0	58.6
Step No.	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
Stroke(%)	63.2	67.8	72.4	77.0	81.6	86.2	90.8	95.4	100.0(0.5mm)	

(c) punch strokes correspond to the step numbers

Fig. 13 History of loads for punch and die during the 1st coining operation

그림 12에서는 프레스 램이 하사점에 도달하였을 때의 금형의 형상과 치수를 보이고 있으며 상형 펀치는 모두 가동부, 하형 다이는 모두 고정부로 구성되어 있다. 또한 코이닝 성형되는 부위의 펀치 및 다이는 서로 오버 되어 있으며 성형중 소재로부터 가해지는 반력에 의해 탄성 수축되면서 소재를 성형하게 된다. 그러므로 펀치 및 다이의 정확한 스트로크(stroke)와 변형 거동을 관찰하기 위하여 금형에 대한 탄성해석을 수행하였다.

해석에서는 우선 금형을 강체(rigid body)로 설정하였으며, 1차 코이닝 성형이 끝난 후 탄성회복된 소재의 두께가 도면에서 규정하고 있는 0.1mm가 되는 스트로크를 구하였다.

그림 13에서는 공정동안의 펀치 행정에 따른 금형 하중분포를 보이고 있으며, 프레스가 하사점에 도달하였을 때 각각의 최대 하중은 펀치는 2톤, 다이는 2.2톤으로 나타났다. 다음으로 코이닝 성형에 관계되는 비이드부 안쪽의 원형 펀치 및 다이를 변형체(flexible body)로 구성하여 앞에서 구한 하중값을 적용하여 탄성수축량을 구하였다. 해석 결과 펀치는 26.4 μ m, 다이는 54.6 μ m의 수축을 받았음을 알 수 있었으며, 그림 14에서는 탄성수축된 금형의 형상을 보여주고 있다. 앞에서 구한 스트로크 하에서의 소재 성형형상이 그림 15에 나타나 있으며, 성형이 끝난 후 소재에 발생한 탄성회복의 경향을 측정 결과와 상호 비교하였다.

P-P 단면에서는 재성형에 의해 비이드부의 높이는 상승하고 두께는 코이닝 성형에 의해 두꺼워짐을 알 수 있었으며 단면의 길이는 앞공정에 비해 늘어났음을 관찰할

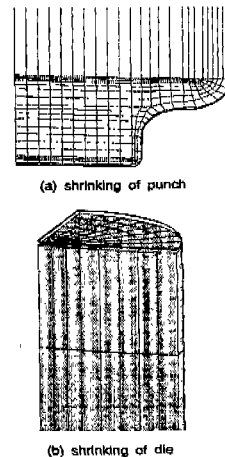


Fig. 14 Shrunken punch and die occurred by the reaction load

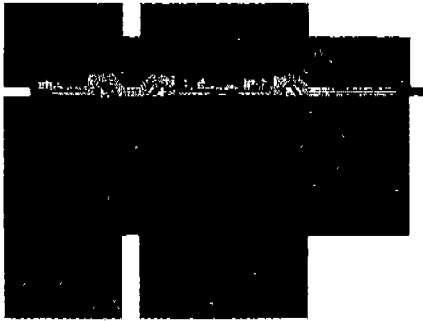


Fig. 15 Final deformed cross-section configuration after the 1st coining operation

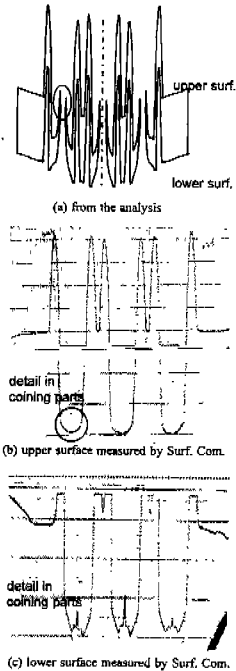


Fig. 16 Sectional configuration after spring back from the analysis and experiment along the P-P line

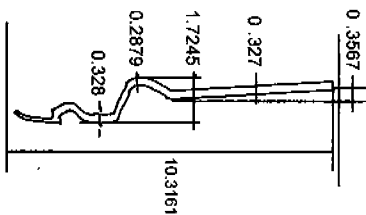


Fig. 17 Sectional configuration for the C-C line after spring back

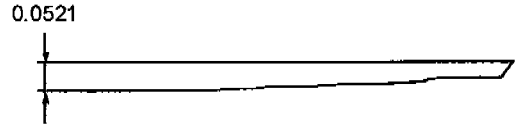


Fig. 18 Deformation of A-A section by spring back

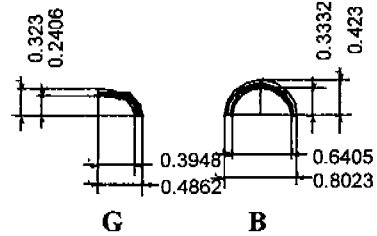


Fig. 19 Deformation of preholes during the 1st coining operation

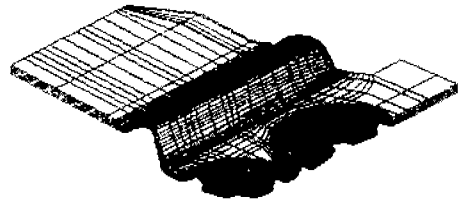


Fig. 20 3-dimensional configuration after the 1st coining operation

수 있었다. 그림 16에서는 해석 및 측정으로부터 구한 탄성회복된 소재의 P-P 단면 형상이 비교되어 나타나 있다. 측정 결과 소재 뒷면의 형상은 평탄하게 나타났으나 해석에서는 아래쪽으로 오목하게 나타났다. 코이닝 부위는 예비홀을 중심으로 아래쪽으로 오목하게 측정되었으나 해석에서는 홀 가장자리가 위로 상승한 것으로 나타나 차이를 보였다(원안의 부위 참조). 아랫면에서는 비이드 부의 위치가 측정과 차이를 보였다.

C-C 단면에서는 탄성회복후 벤딩부의 두께 변화는 거의 없었으나 그 부위의 높이가 낮아졌다. 그리고 플랜지 부위는 앞공정에 비해 성형시에 조금 상승하였으나 탄성회복되면서 아래로 내려오는 경향을 보였다(그림 17 참조). 이러한 결과는 측정에서 나타나는 경향과 부합되고 있다.

A-A 단면에서는 그림 18에서 보여지는 바와 같이 0.0715mm에서 0.0521mm로 높이 편차가 줄어들어 이 부위의 평탄도가 개선되었다. 예비홀은 오른편(B) 보다는 중앙(G)의 형상 변화가 크며 그 형상이 찌그러짐을 알 수 있었다. 해석으로부터 구한 예비홀의 형상 및 치수는

그림 19에 나타나 있다.

1차 코이닝 공정 해석에서는 P-P 단면의 홀의 가장자리 부위에서 탄성회복 경향이 측정과 차이를 보였다. 이는 앞 공정에서와 마찬가지로 금형의 램핑에 의해 유발되는 도면과의 치수 및 곡률 차이와 마찰력 등의 요인으로 인해 발생하는 소재 유동 패턴의 변화에 기인한다고 생각된다. 그림 20에서는 공정후의 소재의 3차원 형상을 나타내고 있다.

6. 결 론

상용 패키지인 MARC를 활용하여 아퍼추어를 성형하기 위한 연속 프레스 성형 공정에서 결합 발생이 예상되는 주요 공정에 대하여 탄소성 유한요소법으로 3차원 해석을 수행하였다. 해석 결과를 실험에 의한 측정치와 비교하였으며, 각 공정에 대해 다음의 결론을 얻었다.

6.1 비이딩 및 벤딩 공정

비이딩 및 벤딩 공정은 제품의 성형정도에 큰 영향을 미칠 것으로 예상되는 공정이다.

그러므로 해석의 신뢰도를 향상시키기 위해서 실제 성형품의 측정치와 비교하면서 해석을 수행하였다. 해석 결과 탄성회복에 의해 각 방향으로 단면의 길이가 늘어났으며, 비이드 및 벤딩 부위의 높이는 낮아지고 두께는 두꺼워짐을 알 수 있었다. 플랜지 부위는 상승하였으며, A-A 단면의 가장자리에는 미소한 뒤틀림 및 솟아오른 부위가 발견되었다. P-P 단면에서는 소재의 탄성회복 경향이 측정과 차이를 보였으며 이를 개선하기 위해서는 금형의 정확한 치수 측정, 윤활 조건, 스트립에 의한 영향 등이 세밀히 검토되어야 할 것이다.

6.2 1차 코이닝 공정

1차 코이닝 공정은 비이드의 안쪽 원형 부위에 예비홀을 뚫는 1차 피어싱 공정 이후에 수행되며, 이 부위의 두께를 0.1mm로 감소시키는 공정이다. 해석에서는 금형의 적정 스트로크를 구하여 이때의 하중값으로 금형에 대한 탄성해석을 수행하였다. 여기서 최대하중값은 펀치가 2톤, 다이는 2.2톤으로 나타났으며, 펀치는 26.4 μ m, 다이는 54.6 μ m의 수축을 받았음을 알 수 있었다. 성형후 하중이 제거되면 소재의 탄성회복 거동이 발생하였으며, 이에 의해 플랜지 부위가 하강하는 경향을 보였다. 비이드부는 코이닝 성형에 의해 두께가 증가했으며 높이는 재성형에

의해 상승했다. 벤딩부의 평탄도가 개선된 것으로 나타났으며, 가운데 홀의 형상이 찌그러짐을 알 수 있었다. P-P 단면에서는 소재의 탄성회복 경향이 측정과 차이를 보였으며 이를 개선하기 위해서는 앞 공정과 마찬가지로 금형의 정확한 치수 측정, 윤활 조건, 스트립에 의한 영향 등을 검토한 후 재해석이 이루어져야 할 것이다.

참고문헌

1. K. Lange, "Handbook of Metal Forming", McGraw-Hill Book Co., 1985.
2. T. Jimma and T. Adachi, "Recent trends in precise-working of electronic components", Advanced Technology of Plasticity 1993.
3. K. Yamaguchi and K. Sadamura, "板材成形 21世紀への展望", Journal of the JSTP, Vol. 35, No. 400, 1994.
4. B.S.Kang, "Application of FEM to Process Design in Metal Forming for Production of Aircraft Components", J. of the Korean Society for Aeronautical and Space Sciences, Vol. 19.
5. S.I.Oh, "Finite Element Analysis of Metal Forming Processes with Arbitrarily Shaped Dies", Int. J. Mech. Sci., Vol. 24, pp. 479-493, 1982
6. S.I.Oh, N. Rebelo, and S. Kobayashi, "Finite Element Formulation for the Analysis of Plastic Deformation of Rate-Sensitive Materials in Metal Forming", IUTAM Symposium, Tutzing/Germany, 28 August-3 September, pp. 273-291, 1978.
7. G.B. Yu and T.A. Dean, "A practical computer-aided approach to mould design for axisymmetric forging die cavities", Int. J. Mach. Tool Des. Res. Vol. 25, No. 1, pp. 1-3, 1985.
8. K.R. Vemuri, S.I. Oh and T. Altan, "BID : A knowledge-based system to automate blocker design", Int. J. Mach. Tools Manuf. Vol. 29, No. 4, pp. 505-518, 1989.
9. J.C. Gerdeen, "Development of a computer

- program "AXIFORM" for the analysis of forming of axisymmetric sheet metal parts". Proc. 12th NAMRC, pp. 209-213, 1984.
10. S.M. Hwang and S. Kobayashi, "Preform Design in Disk Forging", Int. J. Mach. Tool Des. Res., Vol. 26, No. 3, pp. 231-243, 1986.
 11. B.S. Kang, N.S. Kim and S. Kobayashi, "Computer-Aided Preform Design in Forging of Airfoil Section Blade", Int. J. Mach. Tools Manufact. Vol. 30, No. 1, pp. 43-52, 1990.
 12. B.S. Kang and S. Kobayashi, "Preform design in Ring Rolling Processes by the Three-Dimensional Finite Element Method", Int. J. Mach. Tools Manufact. Vol. 31, No. 1, pp. 139-151, 1991.
 13. B.S. Kang, "Processes Sequence Design in a Heading Process", J. of Materials Processing Tech., 27, pp. 213-226, 1991.
 14. 전 기찬, "박관금속의 성형 - 이론과 실제", 반도출판사, 1993.