

〈論 文〉

정밀 전자부품 성형을 위한 소성가공 공정설계

변상규* · 최한호* · 강범수**

Process Design in Precision Press Forming of Electronic Components

S. K. Byun, H. H. Choi and B. S. Kang

Abstract

Precision forming of electronic components has appeared to be competitive according to manufacturing cost and dimensional tolerances. Now domestic electronic companies have been involving in utilization of the finite element method in process design of precision forming. A forming process to produce an electronic component, aperture, has been investigated to find out forming defects during multi-operations. The applications of the commercial FEM software MARC show a possibility of defect in precision coining process among the whole multi-process. Thus the coining process of three-dimensional deformation is analyzed using DAMF-3D which has been developed in this lab with the rigid-plastic algorithm. The result of simulations by DAMF-3D provides clear description of the defect involved in the coining process.

Key Words: Aperture(아퍼추어), Spring Back(탄성회복), Beading(비이딩), Bending(벤딩), Coining(코이닝), Piercing(피어싱), Sizing(사이징), Effective Plastic Strain(유효 변형률)

1. 서 론

최근에 생산되고 있는 전자제품들은 초소형화되어 가는 추세에 있으며 동시에 경량화, 슬림(slim)화 및 대용량 고기능화에의 요구가 급증하고 있는 실정이다. 이에 따라 전자제품 내부에 장착되는 제반 전자부품들도 초소형, 초정밀화 되어가고 있다.⁽¹⁾ 또한 산업전자 및 가전 부문등에서의 수요가

급증함에 따라 자동차 공업과 함께 현대 공업사회의 주축을 이루고 있을만큼 시장 규모가 확대되어 필연적으로 부품의 효율적인 대량생산 체계 확립의 필요성이 대두되고 있다. 그리하여 이미 압연법과 다양한 프레스 및 금형의 개발에 따라 급속도로 발전하여 자동차, 항공기 등의 기계공업에 널리 활용되고 있는 프레스 가공법을 활용한 초정밀 판재부품 성형에 대한 관심이 고조되어 가고 있다.⁽²⁾ 이는 박판금속을 소재로 하여 이어붙임없이 프레스가공으로 소성변형을 유발하여 필요한 형상으로 성형하는

*부산대학교 대학원

**부산대학교 항공우주공학과

공정으로서, 프레스랭의 압축행정을 이용하여 형공구에 의해 금속판의 인장, 압축, 굽힘 등의 응력상태를 유발하여 원하는 형상치수로 소성변형을 부여하는 가공법으로, 전단가공, 굽힘가공, 디프드로오잉, 스트레칭 등의 공정으로 나누어질 수 있다.^(3,4) 현재 미국, 일본 등의 기술 선진국에서는 판재성형 제품의 고정밀화를 달성하기 위해 가공 조건을 항상 최적상태에서 컴퓨터로 제어하는 지능형 가공 시스템의 개발을 시도하고 있으며 또한 성형품의 품질 안정화와 정밀도 검사를 위해 3차원 비접촉 측정기를 활용하여 면의 비뚤어짐 등을 측량 해석하고 있고, 판재의 성형한계를 향상시키기 위해 온간 성형법을 실용화 시키는 등 프레스 성형법에 의한 생산의 시간적, 경제적 절감효과 및 효율적인 공정설계를 통한 저코스트(cost), 고부가가치의 달성을 위해 판재성형 관련 기술의 광범위한 연구 개발에 매진하고 있다.⁽⁵⁾

이와 병행하여 판재성형에 유한요소법을 활용하여 공정설계 및 해석을 하는 연구가 최근에 급속히 발달하고 있는 추세이며, 선진국에서는 이미 필수 불가결한 기술로 자리잡고 있다.⁽⁶⁾ 또한 시뮬레이션 수단의 개발과 더불어 재료특성, 마찰상태에 대한 정확한 데이터 베이스의 구축도 시도되고 있다.⁽⁵⁾ 이러한 컴퓨터 시뮬레이션 기법을 다단계의 연속공정으로 이루어진 복잡한 형상 및 고정밀도를 요하는 부품의 개발에 적용하여 적절한 공정설계와 공정변수를 결정할 수 있다. 실제 공정설계에 필요한 정보를 미리 얻음으로써 대부분 숙련자의 경험과 실험에 의한 시행착오를 통하여 수행되고 있는 국내 현장에서의 개발 및 생산에 소모되는 시간적, 경제적 절감효과 및 공정수의 감소등의 효율적인 공정설계를 수행하는데 도움을 줄 수 있을 것이다. 또한 유한요소법을 이용한 판재 성형공정의 해석은 기업의 유한요소법을 활용할 수 있는 능력확보

와 금형 설계에 관한 기술의 축적에 도움을 줄 것이다.

전자총은 브라운관(CRT)에 장착되어 전자선(electronic beam)을 방출하는 부품으로 자기성을 띄지 않는 다수의 부품으로 구성되어진다.⁽⁷⁾ 그중 아퍼추어(aperture)는 외국에서 프로그래시브 다이(progressive die)에 의해 약 20여개의 연속 성형공정을 거쳐 생산되어지고 있으며 전자선 궤도의 오차를 줄이기 위하여 10 m 이내의 정밀도가 요구되는 핵심적인 초정밀 판재성형 부품이다. 기존의 공정도에 따라 아퍼추어에 대한 유한요소 해석을 수행함으로써 성형공정 동안의 소재 변형양상, 두께분포, 소재의 유동형태, 유효 변형률 분포 등에 관한 정보를 미리 획득하여 발생 가능한 결함을 예측하고 개선 가능성을 조사하여, 차후에 새로운 형태의 제품 개발에 도움을 주고자 하였다. 본 연구에서는 아퍼추어 생산 공정에 있어서 결함 발생 가능성이 가장 높은 공정들을 상용패키지(package)인 MARC와 실험실에서 자체 개발한 3차원 유한요소 프로그램인 DAMF-3D(design for advanced metal forming)를 이용하여 해석하였다.⁽⁸⁾

2. 시편의 인장시험(Tensile test)

아퍼추어는 자기성을 띄지 않는 스테인레스 스틸의 일종인 0.5 mm 두께의 I106S로 제작되어지는 박판성형 제품이다. 유한요소 해석에 입력되는 소재의 대표적 물성치인 응력(σ)과 변형률(ϵ)에 관한 자료를 구하기 위하여, 시편과 치공구를 제작, 본 대학에서 보유하고 있는 M. T. S.(axial and torsional material test system) 장비를 활용하여, 상온에서 인장시험(tensile test)을 수행하였다. 인장시험 결과 얻어진 응력과 변형률의 관계 그래프는 Fig. 1에서 보여지고 있으며, 인장시험의 결과로부터 구한 소재의 주요 물성치는 아래와 같다.

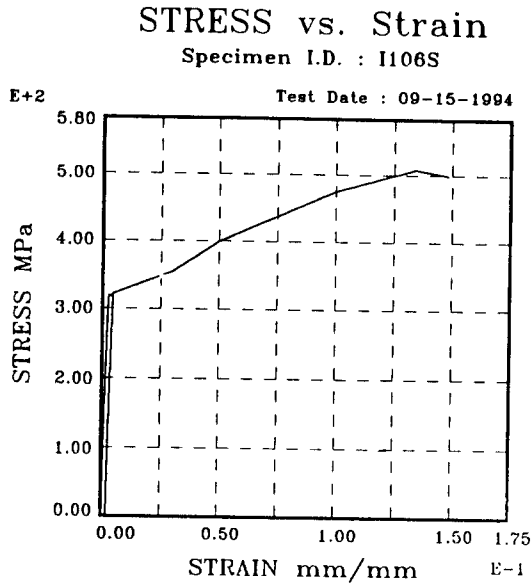


Fig. 1 Material property from the tensile test

Upper Yield Point(MPa)	: 320
Corresponding Strain(mm/mm)	: 0.00278
Lower Yield Point(MPa)	: 318
Corresponding Strain(mm/mm)	: 0.00353
Ultimate Stress(MPa)	: 508
Corresponding Strain (mm/mm)	: 0.1480
Offset Yield(%)	: 0.2
Offset Yield Stress(MPa)	: 322
Corresponding Strain(mm/mm)	: 0.00445
Modulus of Elasticity(GPa)	: 131

벤딩(beading & bending) 공정과 1차 코이닝(coining), 2차 코이닝 공정에 대해 유한 요소 해석을 수행하였다. 해석에서는 소재의 대칭성을 감안하여 1/2로 제어체적(control volume)을 설정하여 평면 변형률(plane strain) 기법을 도입하여 해석하였다. 각 공정마다 소재의 스프링백(spring back)에 의한 영향을 파악하기 위해 탄소성 유한요소 해석법을 사용하였고 비선형 방정식을 풀기 위하여 초기속도장을 가정하여 Newton-Raphson법으로 해를 구했다. 다이와 소재사이의 마찰조건에서, 마찰상수는 $m=0.05$ 로 취했다. 박판소재의 성형성에 많은 영향을 주며 이방성 정도를 나타내어 주는 값인 소성 변형률비(R)는 아래와 같이 정의되어지며, ⁽⁹⁾

$$R = \frac{\epsilon_y(\text{폭})}{\epsilon_z(\text{두께})}$$

소재 생산업체에서 제시한 각 방향에 따른 R 값의 분포는 다음과 같다.

$$R_0 = 0.905$$

$$R_{45} = 1.008$$

$$R_{90} = 1.007$$

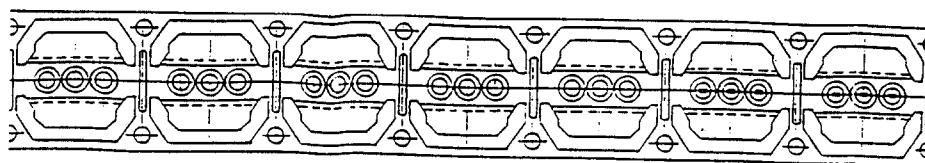
이 수치들에서 각 방향에 대한 이방성의 효과가 미미하게 나타나므로 이방성 효과를 무시하고 해석을 행하게 되었다.

3. 유한요소 모델링

아피추어 생산을 위한 20개의 연속 공정 중에서 결함 발생 가능성이 높은 비이딩 및

4. 현재의 성형공정

기존의 연속 성형공정의 공정도 도면과 그중 주요 성형공정인 비이딩 및 벤딩, 1차



Beading & Bending 1st Piercing 1st Coining 2nd Coining Sizing

Fig. 2 Schematic description of the current process sequence for forming an aperture

피어싱(piercing), 1차 코이닝 공정을 거친 반제품의 평면 형상 및 규격(mm 단위)과 A-A'단면 형상이 Fig. 2~4에서 보여지고 있다. A-A'단면의 연속 공정도를 보면 0.5 mm의 판재를 비이딩 및 벤딩 공정을 통해 두께변화없이 성형하고(Fig. 5(a)), 전자선이 방출되는 구멍을 뚫기 위한 예비 공정으로 가로 0.6 mm, 세로 0.4 mm의 구멍을 비이딩에 의해 원형으로 성형된 부위들의 가운데에 뚫음으로써 1차 피어싱 공정을 행한다. (Fig. 6(a)) 다음으로 원의 안쪽 부분들에 대해 1차 코이닝 공정을 행함으로써 두께 0.5 mm의 판재를 0.3 mm까지 줄이게 되며, (Fig. 5(b)) 동시에 1차 피어싱 공정에서 뚫은 구멍의 일부를 막을 것으로 예상된다. 2차 코이닝 공정은 원 내부의 일부를 0.3 mm에서 0.04 mm로 두께를 줄이는 공정으로 (Fig. 5(c)) 이를 통하여 Fig. 6(b)에서 보여지는 a부분의 소재를 b로 이동시켜 1차 피어싱 공정에서 뚫은 구멍의 대부분을 막게 된다. 사이징(sizing) 공정(Fig. 5(d))을 거쳐

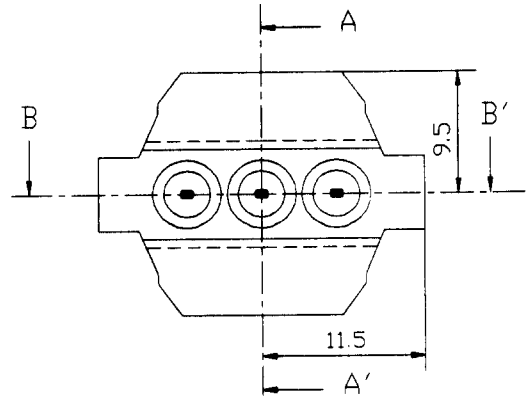


Fig. 3 Plane-strain assumption for numerical analysis

2차 피어싱 공정(Fig. 6(c))에서는 막혀진 부위에 지름 0.52 mm의 구멍을 다시 뚫음으로써 원안의 부위에 대한 가공을 마무리짓고 트리밍(trimming) 공정 등을 통해 성형을 완료하게 된다. 비이딩 및 벤딩 공정에서는 주요 부위에 걸리는 응력과 유효변형률의 분포 등과 스프링백에 의한 성형형상의 오차에 대한 해석을 행하게 되며, 코이

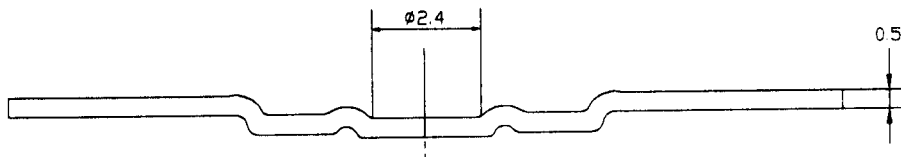


Fig. 4 Plane-strain treatment of section A-A'

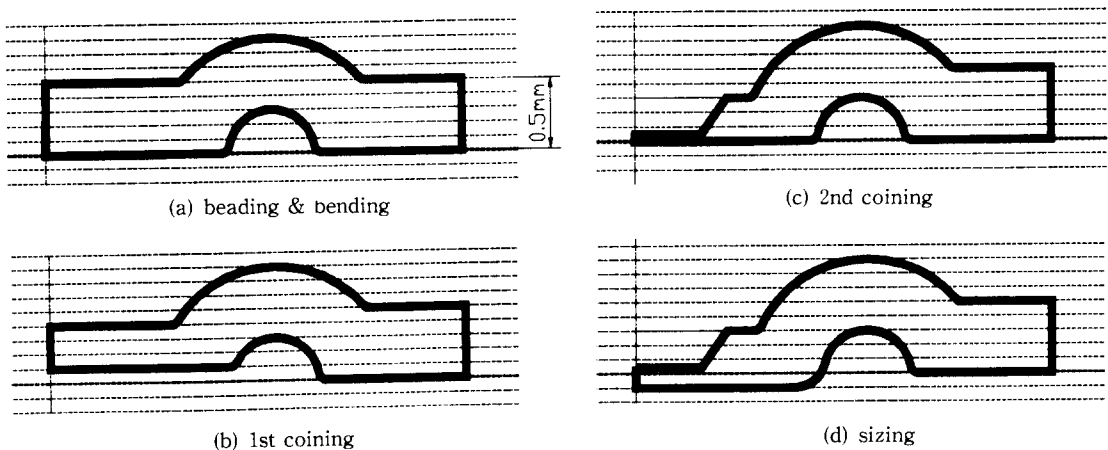


Fig. 5 Beading & bending, the first and second coining and sizing processes

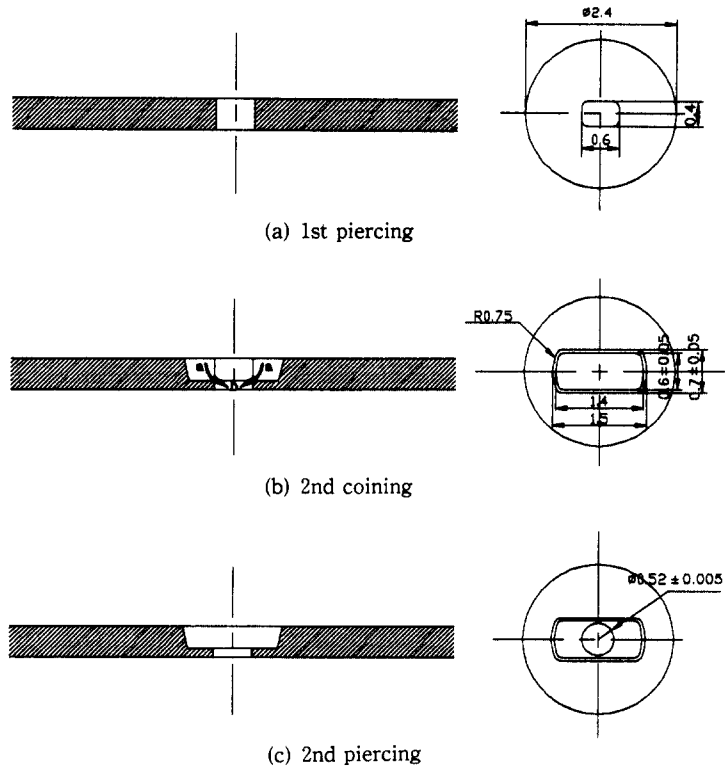


Fig. 6 Description of piercing and coining processes

닝 공정들을 거치면서 소재의 유동이 2차 피어싱 공정에서 뚫을 구멍의 안쪽까지 밀려들어 오는지의 여부에 대해 해석하게 된다. 이때 소재 유동속도의 불균일성 등의 요인으로 인해 Fig. 7에서 보여지는 바와 같이 성형이 되면 2차 피어싱 공정 수행후에 첨단 부위에서 균열(crack)로 남을 가능성이 예상된다.

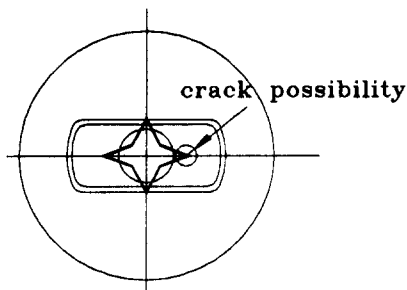


Fig. 7 Crack possibility during coining processes

5. 비이딩 및 벤딩 공정

이 공정에서는 상용 패키지인 MARC를 사용하여 해석을 수행하였으며, 성형품의 형상이 A-A'와 B-B'축에 대하여 각각 대칭적인 형상이므로 중앙부위 절점들(nodes)의 변위를 고정시키고 각 단면의 1/2을 제어체적으로 채택하여 2차원 평면 변형률 기법으로 A-A'와 B-B' 단면에 대해 해석하였다. A-A' 단면에 대한 초기 격자체계(initial mesh system)와 금형의 형상은 Fig. 8에서 보여지고 있는 바와 같고 비이딩 및 벤딩, 2차 코이닝 등의 급격한 성형이 예상되는 부분에서는 격자체계를 조밀하게 구성하여 해석에 대한 신뢰도를 향상시켰으며 1차 피어싱 공정을 고려하여 그 부위의 격자 크기를 미리 조정하였다. 공정이 끝난 후의

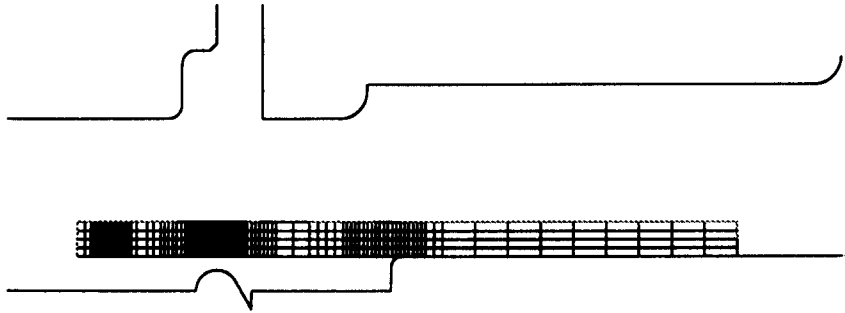


Fig. 8 Initial mesh system and die set-up for beading & bending process(A-A' section)

A-A'와 B-B' 단면에 대한 성형형태 및 유효 변형률(effective plastic strain) 분포를 Fig. 9에서 보이고 있다. 예상되던 바와 같이 비이딩 및 벤딩 성형이 이루어지는 부위에서 높은 유효 변형률이 분포되고 있으며, 비이딩만 발생하는 B-B' 단면에서보다 비이딩과 벤딩이 동시에 발생하는 A-A' 단면에서 유효변형률 분포와 응력분포가 각각 약 17.5%, 21.5% 높게 나타났다. 또한 공정 후에 소재로부터 금형을 분리시켰을 때 벤딩부위 바깥쪽(H지점)에서 스프링백 현상

에 의한 탄성복원이 나타났으나 현장 개발진과의 토론에서 차후 공정에서 교정될 수 있다고 결론 내릴 정도의 크기였으며, 해석에 있어서 또다른 주안점의 하나인 평탄도도 좋게 나타남을 알 수 있었다. Fig. 10에서는 A-A' 단면에 대한 주요 성형 부위의 두께분포도가 보여지고 있으며, 비이딩되는 부위의 두께감소율이 소재 두께의 8% 정도로 가장 높음을 알 수 있고 이 부위의 두께 감소량을 줄일 수 있는 방법에 대한 연구가 필요하다고 하겠다.

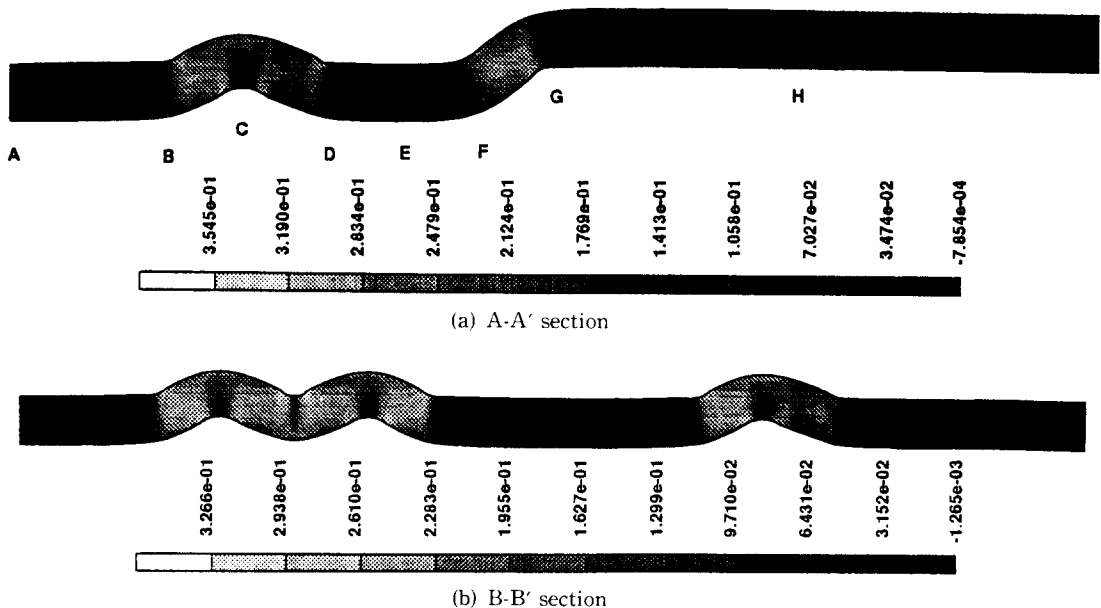


Fig. 9 Deformation and distribution of effective strain after beading & bending operation

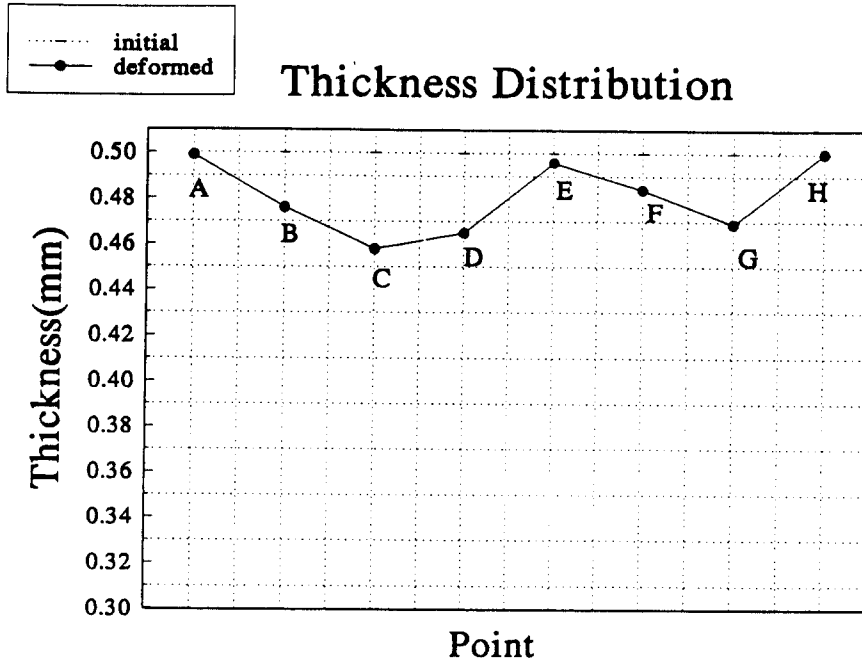


Fig. 10 Thickness distribution of A-A' section after beading and bending operation

6. 1차 코이닝 공정

앞 공정에 대한 해석에서 구한 소재의 형상, 응력, 유효변형률 분포 등의 데이터를 토대로 하여 원의 중앙 부분에 가로 0.3 mm, 세로 0.2 mm의 구멍을 뚫어 1차 피어싱 공정을 수행하고, 금형의 형태를 바꾸어 1차 코이닝 공정을 수행하였다. 이때 피어싱에 의한 응력 및 유효 변형률 분포 등

의 값들의 변화는 현실적으로 유한요소 해석에서는 파악이 곤란하고 이 값들의 변화가 해석결과에 미치는 영향이 미미하다는 가정하에, 피어싱되는 부분의 격자(element)들만 제거하는 것으로 1차 피어싱 공정을 대체하였다. 1차 코이닝 공정에서는 MARC를 활용한 2차원 해석과 함께 실험실에서 개발한 3차원 유한요소 프로그램을 이용하여 원안의 코이닝되는 부위를 해석하여 비교검토하였다.

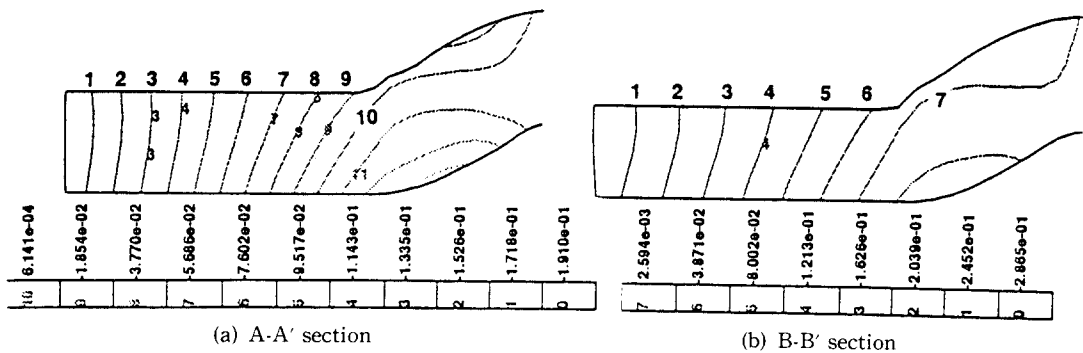


Fig. 11 Metal flow pattern during the 1st coining process

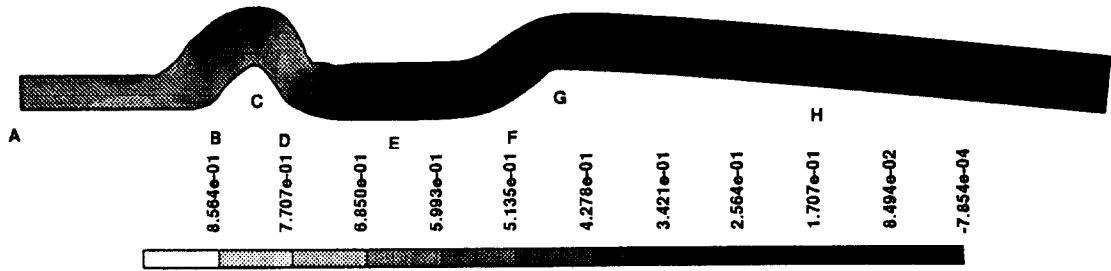


Fig. 12 Deformation and effective plastic strain in the 1st coining process

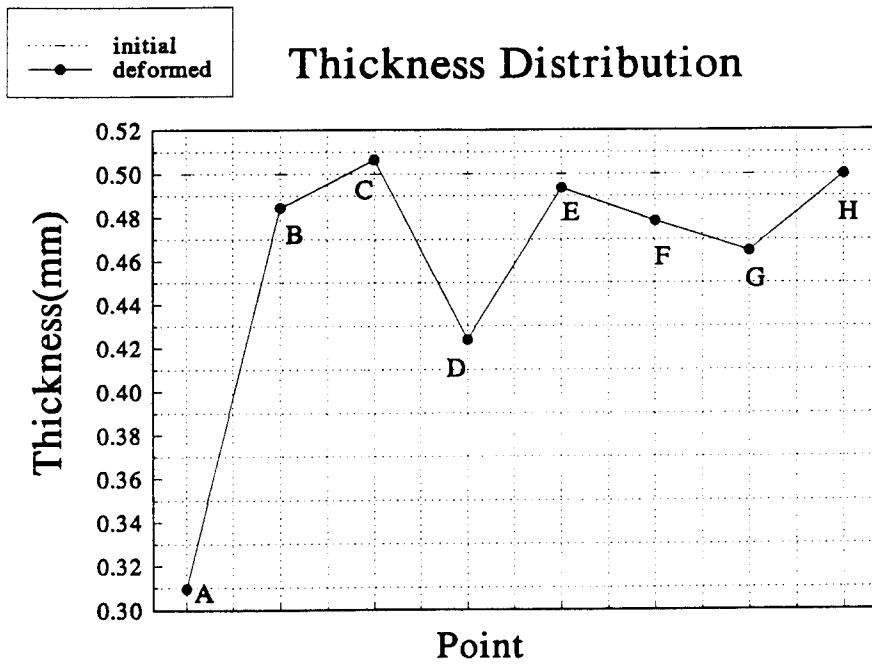


Fig. 13 Thickness distribution of A-A' section after the 1st coining operation

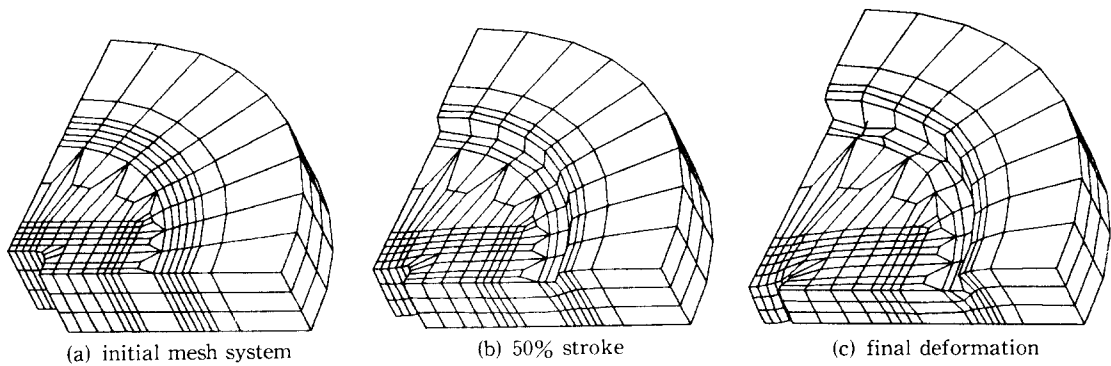


Fig. 14 Initial mesh system and final deformation of 3D simulation for the 1st coining process

각 단면에 대한 2차원 해석 결과 1차 코이닝 공정 동안에 다이의 행정(stroke)이 44% 정도 진행되었을 때 이 공정으로 유발된 원의 중심쪽으로 이동하는 소재 유동에 의해, 1차 피어싱 공정에서 뚫은 구멍이 막혀지게 됨을 알 수 있었다. 이 때의 각 단면에 대한 소재의 유동양상은 Fig. 11에서 보여지고 있는 바와 같다. 이때 A-A' 단면(Fig. 11(a))에서는 흐름선(flow line) 9번과 10번 사이에서 소재 흐름의 방향이 바뀌었고, 수치적으로 볼 때 10번 흐름선 가까이에 소재가 유동하지 않은 중립선(neutral line)이 생성됨을 알 수 있었다. 이는 1차 코이닝 공정에서 구멍이 막힐 때까지 코이닝 되는 부위의 소재가 비이딩 성형된 부위로 유출되지 않았음을 의미하고 있다. B-B' 단면(Fig. 11(b))에서도 역시 6번과 7번 흐름선 사이에서 7번선에 가까운 쪽으로 중립선이 생성되어 코이닝되는 부위의 소재가 비이딩 성형된 부위로 유출되지 않았다. 이상의 결과로써 A-A' 단면과 B-B' 단면에 있어서 소재유동 양상이 1차 코이닝 공정 동안 거의 비슷함을 알 수 있었고, 이로 인해 원안의 부위에 대해서만 성형이 이루어지는 차후의 공정에서는 A-A' 단면에 대해서만 해석을 수행하게 되었다.

구멍이 막히고 난 후에 1차 코이닝 공정의 남은 행정을 수행하여 얻은 소재의 최종형상 및 유효변형률 분포 등은 Fig. 12에서 보여지는 바와 같다. 공정이 끝난 후 다이를 소재로 부터 분리시켰을 때 나타나는 탄성회복 효과에 의해 원안의 코이닝 성형된 부위(A-B 구간)가 위로 들려졌고, 벤딩 성형된 바깥부위(H)가 아래로 처져 평탄도가 나쁘게 나타났다. 또한 코이닝 된 부위의 유효 변형률 분포가 급격히 상승했고, 다른 부위에서는 이들의 분포가 10% 이내의 미소한 변화를 보이고 있었다. 구멍이 막히고 나서 소재의 유동이 비이딩된 부위로 유입되는 과정에서 비이딩 부위의 전반부(B-C

구간)의 두께가 증가했다. 각 지점의 두께 분포는 Fig. 13에서 보여지고 있는데, A지점에서는 두께 0.3 mm로 성형이 되어야 하나 탄성복원 효과에 의해 0.31 mm로 성형이 되었다. 그리고 B와 C지점에서는 소재 유입으로 인해 원래 원하던 두께인 0.5 mm 정도까지 두께가 회복되었으나 D지점에서는 오히려 전공정에서 보다 0.04 mm정도 두께가 감소하여 이 부위에서의 결함 발생 가능성을 예상할 수 있었다. 이는 다이의 형상에 기인하고 있다고 생각된다.

1차 피어싱 공정에서 뚫은 구멍이 1차 코이닝 공정 동안에 변형되는 양상을 보기 위하여 3차원 유한요소 프로그램인 DAMF-3D를 활용하여 코이닝되는 부위의 1/4을 제어체적으로 설정, 경계면에서 원주방향의 변위를 고정시키고 해석을 수행하였다. 소재의 초기형상(Fig. 14(a))에는 중앙에 1차 피어싱 공정에서 뚫은 구멍이 타원형 형상으로 뚫려져 있다. 공정 동안에 소재가 구멍으로 유입되면서 초기에 예상되던 바와 같이 별표 형상으로 뾰족하게 구멍이 막힌 것을 알 수 있다.(Fig. 14(c)) 이는 구멍이 축대칭의 원형이 아니고 타원형 형상이므로 코이닝 되는 체적이 원주방향으로 불균일하게 분포되어, 이로 인해 유발되는 소재 유동속도의 차이에 기인하는 것이라 생각된다. Fig. 15에서는 구멍의 성형 경과를 보여주고 있다. 이 때 2차 피어싱 공정에서

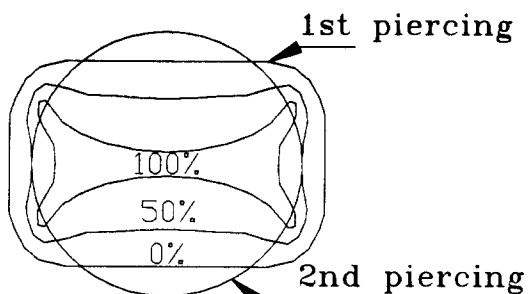


Fig. 15 Progressive hole configuration during the 1st coining operation

최종적으로 뚫을 구멍의 바깥쪽에 미충진 부위가 발생함으로써 균열 등의 결함 발생이 예측된다.

7. 2차 코이닝 공정

1차 코이닝 공정이 끝난 후 윗 다이만 교체하여 원안의 부위를 두께 0.3 mm에서 0.04 mm로 급격히 감소시키는 2차 코이닝 공정을 수행하였다. 공정후의 소재 결과 형

상 및 유효변형률 분포등을 보여주고 있는 Fig. 16에서 코이닝되는 부위의 유효변형률 분포가 극심하게 증가했음을 보여주고 있다. 또한 공정 동안에 벤딩 성형된 바깥 부위가 상승하다가 윗 다이의 바깥쪽의 라운드된 부위에 의해 소재의 비이딩 부위가 눌러 짐으로써 다시 하강하는 양상을 보였다. 이로 인해 코이닝 되는 부위의 바깥쪽 아랫면에 아랫 다이와 접촉되지 않고 오목하게 성형된 부분이 생겼음을 알 수 있다. (Fig.

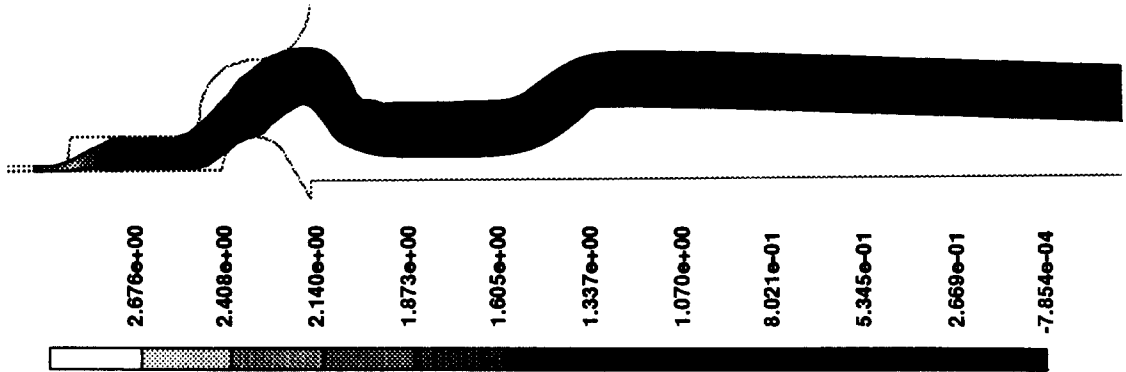


Fig. 16 Deformation and effective plastic strain in the 2nd coining process

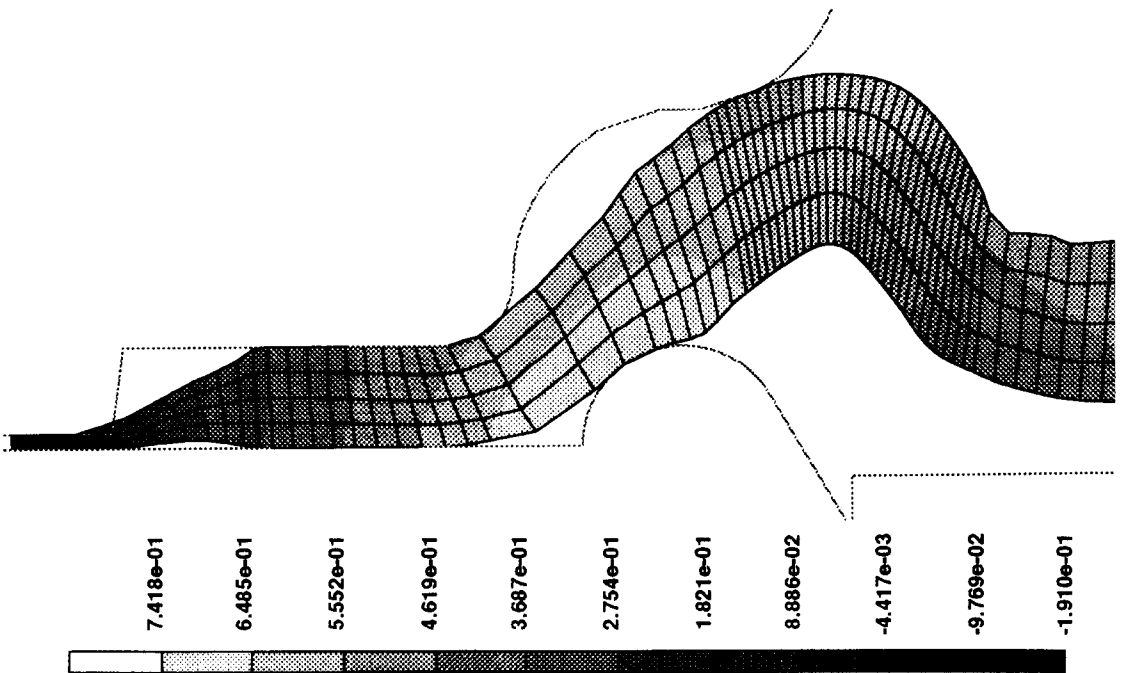


Fig. 17 Metal flow pattern after the 2nd coining process

History of Die Load

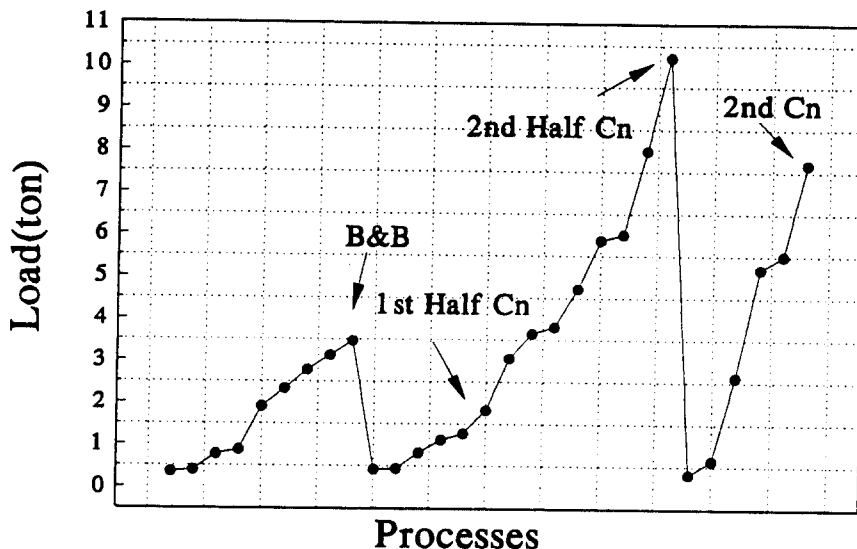


Fig. 18 History of die load during the processes

17 참조) 2차 코이닝 공정에서 추가로 코이닝된 부위와 오목하게 성형된 부위에서 높은 유효변형률 분포에 의한 결함 발생 가능성이 높으리라 예상된다. 또한 코이닝된 부위의 소재가 공정 동안에 유발된 소재 유동에 의해 비이딩된 부위로 급속히 유입됨에 따라 비이딩이 시작되는 경계면에 있는 격자들이 심하게 늘어나게 되어 원하던 형상으로의 성형이 불가능하게 되었다.

8. 다이 하중의 변화

MARC에 의해 수행된 평면 변형률 기법을 이용한 2차원 단면에 대한 연속공정 해석에 의해서 구해진 각 공정에서의 다이 하중의 변화는 Fig. 18에서 ton 단위로 환산되어 보여지고 있다. 비이딩 및 벤딩 공정에서는 하중이 서서히 증가하여 그 최대값이 3.5 ton에 달했다. 1차 코이닝 공정에서는 하중이 낮게 분포되어 서서히 증가하다가 구멍이 막힌 후로부터 급격히 증가하는 양상을 보이고 있다. 이 공정의 마지막에서

약 10.4 ton의 최대 하중을 보이고 있고, 이 값은 해석대상 공정들중에서도 최대 하중이다. 2차 코이닝 공정에서도 하중이 급격히 상승하고 있고, 그 값 역시 높은 분포를 보이고 있음을 알 수 있다.

9. 결 론

상용 패키지인 MARC와 3차원 유한요소 프로그램인 DAMF-3D를 사용하여 전자총 부품의 하나인 아퍼추어의 연속 프레스 성형공정 해석을 공정도에 따라 비이딩 및 벤딩, 1차 코이닝 그리고 2차 코이닝 공정에 대해 수행하였으며, 구해진 해석결과를 바탕으로 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 비이딩 및 벤딩 공정

이 공정에서는 스프링 백에 의한 탄성회복 효과와 주요 성형 부위에서 두께감소 현상이 발생하였다. 그러나 소재의 탄성복원량이 미미하여 차후 공정에서 교정될 수 있을 정도로 판명되었다. 또한 비이딩 및 벤딩 성형된 부위에서 두께 감소가 발견되었

고 특히 비이딩 부위에서 소재두께의 8%에 달하는 최대 두께감소량이 발생되었으므로, 이를 줄이는 방향으로의 연구가 필요하다고 할 것이다. 그리고 비이딩과 벤딩이 동시에 일어나는 단면(A-A')에서 비이딩들만 발생한 단면(B-B')보다 다소 높은 응력, 유효 변형률 분포를 보였다.

(2) 1차 코이닝 공정

이 공정에서는 1차 피어싱 공정에서 뚫은 구멍이 막히는 순간을 기준해서 소재 유동 양상 및 이로 인한 소재 성형형상에 많은 변화가 발견되었다. 1차 피어싱 공정에서 뚫은 구멍의 형상변화에 대한 3차원 유동해석에서는, 구멍의 타원형 형상으로 인해 원주방향으로 소재 체적이 불균일하게 분포되므로 이에 의해 유발된 유동속도의 차이때문에 별표형상으로 성형되었다. 이때 2차 피어싱 공정에서 뚫을 최종 구멍의 바깥쪽에 미충진 부위가 존재하므로 성형 후 균열로 남을 가능성이 있다. 또한 A-A' 및 B-B' 단면에 대한 해석에서 원안의 코이닝 되는 부위에서 구멍이 막히는 동안 비슷한 유동양상을 보임이 확인되었다. 구멍이 막힌 후 계속된 다이 행정에서 바깥쪽으로 유출되는 소재에 의해 비이딩 부위의 일부의 두께가 증가하는 것을 알 수 있었다. 공정 후 다이를 소재로부터 분리시켰을때 탄성복원 효과가 발생, 원안의 중심 부위가 위로 들려 올려지는 것을 알 수 있었고 바깥 부위가 아래로 처짐에 따라 평탄도가 나쁘게 나타났다.

(3) 2차 코이닝 공정

이 공정 동안에도 소재 유동이 바깥쪽으로 흐름에 따라 비이딩 부위가 심하게 늘어나게 되어, 원하던 형상으로 성형이 불가능하게 되었다. 또한 코이닝되는 부위의 유효 변형률 분포가 급격히 증가하였고, 공정 동안에 바깥 부위가 상승, 하강함에 따라 코이닝 바깥 부위의 아랫면에서 아랫 다이와 접촉하지 않고 오목하게 성형된 부분이 생

성되었다. 그러므로 코이닝 성형된 부위와 오목하게 성형된 부위들에서 균열 등의 결함 발생 가능성이 예상되었다.

(4) 각 공정 동안의 다이 하중 분포

다이 하중은 전반적으로 낮게 분포되어 있었으나 1차 피어싱 공정에서 뚫은 구멍이 막힌 후의 공정들에서는 하중값이 급격히 상승하는 양상을 보였다. 이 결과로부터 1차 피어싱 공정에서 구멍을 미리 뚫고 원안의 부위를 성형하여 최종적으로 2차 피어싱 공정을 행하는 현재의 성형공정이 1차 피어싱 공정을 행하지 않고 코이닝 공정을 수행하여 최종적으로 구멍을 뚫는 공정보다 다이 하중적인 관점에서는 훨씬 유리하다는 결론을 도출해 낼 수 있었다.

이상의 결과를 종합하여 현 공정도에서 제시된 다이의 형상 및 여러 공정변수에 관한 재 검토가 필요하며, 특히 1차 피어싱 공정에 의해 유발된 여러 가지 장·단점을 파악하여 활용할 수 있으리라 생각된다. 특히 1, 2차 코이닝 공정에서 일어나는 구멍의 성형 형상 및 심한 형상 변화에서 유발되는 결함을 개선하기 위해서는 유동의 흐름 경향을 면밀히 분석하여 1차 피어싱 공정에서 뚫을 구멍의 형상 및 크기를 재조정하는 연구가 수행되어야 할 것이다.

후 기

본 연구는 부분적으로 과학재단이 지원한 부산대학교의 정밀 정형 및 금형가공 연구 센터 연구비로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- (1) Jimma, T. and Adachi, T., 1993, "Recent Trends in Precise-Working of Electronic Components," Advanced Technology of Plasticity.

- (2) 강범수, 이진희, 변상규 등, 1994, "유한요소법을 활용한 궤도륜의 프레스 성형 공정 설계," 한국소성가공학회지, 제3권.
- (3) Eavy, D. F. and Reed, E. A., 1974, "Techniques of Pressworking of Sheet Metal," 2nd ed., Prentice-Hall, N. J.
- (4) 전기찬, 1993, "박판금속의 성형 — 이론과 실제," 반도출판사.
- (5) Yamaguchi, K. and Sadamura, K., 1994, "板材成形 21世紀への展望," Journal of the JSTP, Vol. 35, No. 400.
- (6) Kang, B. S., "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.
- (7) Jimma, T. and Adachi, T., 1992, "微細電子部品の高精度塑性加工技術," 塑性と加工(日本塑性加工學會誌), 第33巻.
- (8) 최한호, 강범수, 1994, "DAMF-3D : A Finite Element Program for Process Design in 3-D Plastic Deformation," 부산대학교 항공우주공학과 구조역학실험실 Report.
- (9) Lange, K., 1985, "Handbook of Metal Forming," McGraw-Hill Book Co.