

박판 성형을 위한 새로운 수치 제어식 시작 방법의 개발

Development of a New NC-Controlled Trial Manufacturing Process for Sheet Metal Forming

조 철 훈(기아자동차), 양 동 열(한국과학기술원)
CHEOL HOON CHO(KIA MOTORS), DONG YOL YANG(KAIST)

ABSTRACT

In this work, a new computerized incremental forming method having high flexibility has been developed. In the method, the ordinary tools are replaced by various small tools, and only the small local region of a sheet blank is incrementally deformed by movement of these tools. Since a small tool moves over the arbitrary surface of the dies using a NC machine, it is possible to produce three-dimensional and non-symmetric parts directly from the CAD data. Arbitrarily shaped dies are made by LOM(Laminated Object Manufacturing), which is one of the Rapid Prototyping Methods. A forming machine is designed and developed by introducing a computer to control the movement of the tools.

Key Words : sheet metal forming(박판 성형), incremental forming(점진적 성형), rapid prototyping(쾌속 조형법), trial manufacturing(시작:試作)

1. 서론

SLA(Stereo Lithography Apparatus)와 SLS(Selective Laser Sintering)등으로 대표되는 쾌속 조형법은 최근 10년 동안 각광받고 있는 시작품 제조 기술로서, 일반적으로 액상(liquid)으로 존재하던 재료가 특수한 조건하에서 고상(solid)으로 상태변환하는 것을 이용하여 일정 두께의 단면을 만들어 적층하는 방법을 사용한다. 따라서, 3차원 CAD DATA로부터 2차원 단면 형상을 추출하여 2차원적으로 제조되므로 복잡하고 난이한 형상의 제품을 비교적 쉽게 만들 수 있으나, 상태 변환 시의 수축과 재료의 기계적 성질등으로 인하여 두께가 매우 얇은 박판 제품에 이를 직접 응용하기란 쉽지 않다. 그러나, 2차원의 단면을 높이에 따라 순차적으로 만들어 나가는 방법 자체는, 3차원 형상의 복잡한 박판 제품을 각 높이에 따른 단면으로 잘게 나누어 각 단면을 국부적으로 성형하여 이를 점진적으로 진행하는 형태의 성형 방법, 즉 박판에서의 점진적 성형법의 기본적인 틀이 될 수 있다. 따라서 일반적인 박판 성형공정에 필요한 제품형태의 펀치가 필요하지 않고, 성형하고자하는 박판 제품보다 크기가 작고 일반적인 형태의 공구를 이용하여 조금씩 성형하므로 기존의 박판 시제품 제작 공정을 간략하게 단순화시킬 수 있다. 박판 성형시 필요한 금형은 쾌속 3차원 조형법으로 제작하여 시간과 비용을 절감

하고, 이는 복잡한 형태의 제품을 만들 때 매우 효과적이며 효율을 극대화 시킨다. 이렇게 해서 제작된 박판의 시작품은 기존의 시작품과 비교하여, 제품의 기능적 역할을 훌륭히 수행하여, 시작 기술을 넘어서 다품종 소량 생산에 있어서도 박판 성형의 한 방법으로 자리 매김을 할 수 있을 것이다.

본 연구에서는 3차원의 복잡한 곡면을 가지는 박판 제품의 CAD 모델링으로부터 금형 제작을 위한 모델링으로 전환하고, CAD 데이터로부터 제품에 이르기 까지 하나의 시스템으로 연결하여, 박판 시작품 제조 공정을 개발하였다.

2. 박판의 점진적 성형 공정

2.1. 기본 원리

본 연구에서는 박판의 점진적 성형공정을 이용하여 박판 시제품을 위한 시작 공정을 개발하고자 하며, 공정의 기본 원리는 다음과 같다. 제품에 비하여 상대적으로 크기가 매우 작고, 끝부분이 반구 또는 일정 형상을 가진 공구로 블랭크를 소량 누른 뒤 일정 경로를 따라 움직여 한 층을 성형하고, 같은 방법으로 다음 층을 성형하며, 단면에 따라 순차적으로 이를 반복하여 결국 원하는 3차원 형상의 제품을 만든다. Fig. 1은 본 공정의 기본 원리를 개략적으로 보여주고 있다.

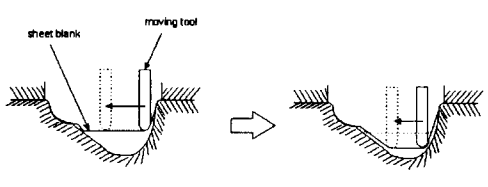


Fig. 1 Schematic Diagram of Incremental Forming

2.2 공정 특성

점진적 방법에 의한 박판 소성 가공의 특징은 성형시 변형이 국부적으로 발생한다는 것이다. 따라서 성형에 필요한 힘이 적게 들고, 성형성이 좋아지는 반면에 제품을 완성하는데 장시간이 소요된다. 그러나 드로잉등의 일반 성형법에서는 제품 개발 단계에서 펀치등의 생산요소를 개발할 필요가 없고 CAD DATA로부터 직접 제품을 성형할 수 있는 잇점이 있다.

또한 박판을 점진적으로 성형해 나갈 때 성형 지점의 변형에 의하여 이미 성형된 지점의 변형 상태가 변하지 않도록 해야 하기 때문에 블랭크의 안쪽을 성형할 때에는 블랭크가 금형 벽면을 따라 흘러 들어오는 것을 기대할 수 없다. 이는 굽 스트레칭 성형을 말하며 따라서 이 공정으로 만들 수 있는 제품은 다분히 제한적이다.

그러나 점진적 성형 공정에서는 Fig. 2에서와 같이 일정 변형에 필요한 스트레칭 응력이 변형될 부위에만 집중되고 원하는 변형이 발생하면 다음 변형될 지점으로 옮겨가기 때문에 기본적으로 네킹이 발생하지 않고 변형이 전 지역에 골고루 발생하여 일반 스트레칭 성형보다 월등히 뛰어난 성형성을 갖는다.

본 공정은 박판의 시작품 제작을 그 목적으로 하고 있으나 원 재료를 박판 그대로를 사용하고 있기 때문에 제품의 기능적 역할을 충분히 수행할 수 있다. 따라서 시작품으로의 의미를 넘어서 하나의 제품으로도 사용 가능하며 이는 소량 생산 방식의 산업에 하나의 박판 성형 공정으로도 그 기능을 발휘할 수 있을 것이다.

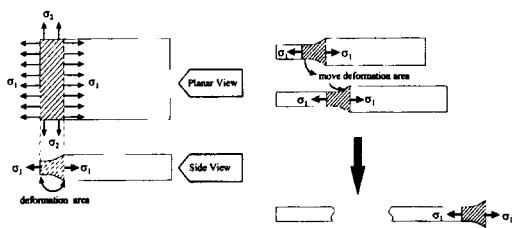


Fig. 2 Schematic Diagram of Incremental Stretching Process

3. 점진적 성형 방법에 의한 박판의 시작품 제작

제품 개발 단계에서 시작품의 빠른 제조를 위하여 CAD 모델링으로부터 원하는 형상을 직접 성형할 수 있도록 하나의 시스템화 하기 위하여, 이 분야에서 지난 10년동안 꾸준히 연구, 개발되어온 쾌속 조형법을 기본적인 모델로 설정하였다. 먼저 제품의 형상을 솔리드 모델링(Solid Modeling), 또는 서피스 모델링(Surface Modeling)등의 CAD DATA로부터 금형을 모델링한다. 다음은 금형의 CAD DATA를 통해 쾌속 3차원 조형법의 하나인 LOM 기술로 금형을 제작하고, 제품의 CAD DATA로부터 단면 DATA를 추출하여 이송 공구의 경로를 생성한 후, 적당한 형태의 공구를 선택하고 장치를 모두 조합하여 최종적으로 점진적 방법에 의하여 성형한다. Fig. 3은 박판 시작품 제작을 위한 흐름도이다.

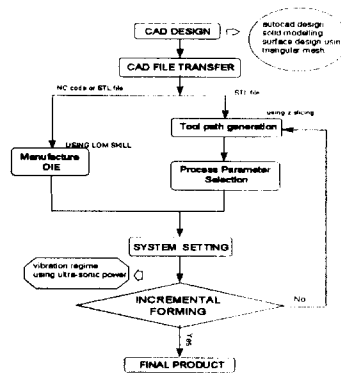


Fig. 3 Flow Chart for Manufacturing of Sheet Product

본래 쾌속 3차원 조형법에서는 CAD 설계로부터 직접 공정에 필요한 기하학적 정보(Geometrical Information)를 얻기 위하여 CSG(Constructive Solid Geometry)나 B-Rep(Boundary Representation)등의 방법으로 솔리드 모델링을 한다. 본 공정에서는 박판 성형을 그 목적으로 하므로 기본적으로 서피스 모델링을 먼저 하며, 이를 근거로 금형의 솔리드 모델링을 한다. 현재 세계적으로 상당수의 CAD 소프트웨어가 통용되고 있으며, 각각의 소프트웨어는 독자적인 데이터 구조를 갖고 있기 때문에 아직까지도 상호간의 호환성 유지를 위한 표준화 작업이 완벽하게 이루어지지 못한 상태이다. 이에 LOM을 비롯한 대부분의 쾌속 조형 시스템들은 솔리드를 표현하는 가장 기본적인 정보만을 담고 있는 STL 형식의 화일을 표준 입력 형식의 화일로 사용하고 있으며 본 공정을 위한 CAD DATA 형식으로 채택하였다. STL 화일의 형식은 삼각형 격자(mesh)와 격자의 수직 벡터(normal vector)로써 제품의 표면 형상을 표현한다. STL 화

일의 기본적인 형식은 다음과 같다.

```

SOLID <<WORK1>>
  FACET NORMAL NX NY NZ
  OUTER LOOP
    VERTEX X(1) Y(1) Z(1)
    VERTEX X(2) Y(2) Z(2)
    VERTEX X(3) Y(3) Z(3)
  ENDLIST
ENDFACET
(REPEATED...)
ENDSOLID <<WORK1>>
  
```

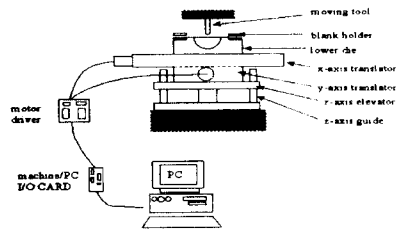


Fig. 5 Schematic Diagram of Incremental Forming System



Fig. 6 In Processing of Incremental Forming of Sheet Metal

ENDSOLID <<WORK1>>

금형은 쾌속 조형법의 하나인 LOM으로 제작함으로써 금형 제작 기간과 비용을 단축하였다. LOM은 두께가 약 0.1-0.5mm 인 종이를 단면의 높이에 따라 레이저로 자른 후 적층하여 제품을 만든다. 각 단면의 단계에 있는 종이가 그 위아래 단계에 있는 종이와 접착하기 위하여 종이의 한 방향의 면은 일정한 압력과 열을 받을 때 접착 물질이 새어 나올 수 있도록 특수 제작한 종이를 사용한다.

4. 점진적 방법에 의한 박판 제품 성형

박판 시작품 제작의 마지막 공정이자 실제 박판을 성형하는 공정으로 전 단계에서 결정된 공정 변수들로 실제 점진적인 방법에 의하여 제품을 완성시킨다. 본 연구에서는 각 방향으로의 단면이 타원인 타원체 제품을 점진적 성형 방법에 의하여 제작하였다. Fig. 4는 성형하고자 하는 제품의 기하학적 형상을 보여주고 있다.

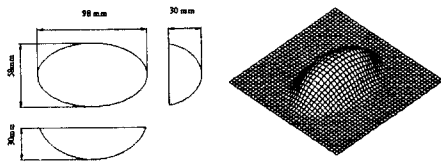
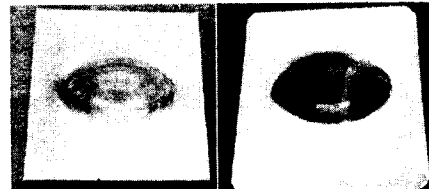


Fig. 4 Geometry of Sheet Product to be formed by Incremental Forming

박판의 점진적 성형 공정을 위한 장치는 X-Y Table과 PC(Personal Computer), 엘리베이팅 장치, 블랭크 고정 장치, 이송 공구 등으로 구성된다. 장치 제작의 편의상 이송 공구를 고정 시키고, 금형과 함께 블랭크를 평면상에서 이송시키는 방법을 택하였으며, 400톤 프레스(Press)의 상단부에는 공구를, 하단부에는 X-Y Table을 고정시켰다. Fig. 5는 이 장치의 개략도를, Fig. 6은 본 공정에 의하여 제품이 성형되는 모습이며, Fig. 7은 이송 공구의 지름이 각각 10, 20mm의 끝이 반구형태인 이송 공구로, 한 층을



a) formed by 10 mm dia. tool b) formed by 20 mm dia. tool

Fig. 7 Ellipsoidal Cup Formed by Incremental Forming Method

0.5 mm씩 성형한 타원체 제품이다. 박판 소재로는 어닐링된 알루미늄을 사용하였다. 이렇게 성형된 제품의 변형상태가 나타난 Fig. 8로부터 변형된 부분이 대부분 스트레칭 영역에 존재하면서, 한계 변형율에서 최고 3배이상 늘어남에도 불구하고 파단이 발생하지 않고 있음을 알수 있다. 이는 점진적 성형 공정의 뛰어난 성형성을 증명해준다. 또한, 본 공정의 특성으로

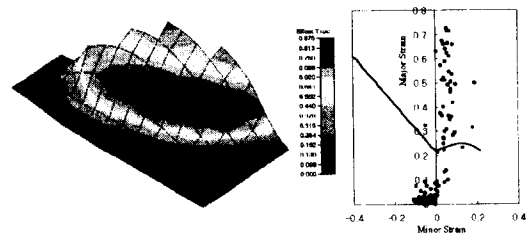
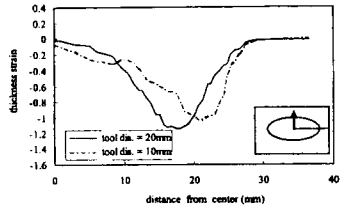
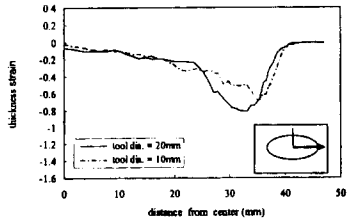


Fig. 8 Effective Strain Distribution and FLD of Ellipsoidal Cup Formed by Incremental Forming



a) Thickness Strain Distribution along Minor Axis



b) Thickness Strain Distribution along Major Axis

Fig. 9 Thickness Strain Distribution along Major and Minor Axis

인하여 변형이 박판 면과 수직인 방향으로만 일어나기 때문에 부변형율이 거의 없고 대부분 주변형율만 발생하는 평면 변형 상태가 되고 있음이 관찰되었다. Fig. 9는 위 두 제품의 장축과 단축에서의 두께 변형률 분포를 보여준다. 이 두 경우 모두 제품의 중간 부분에서 변형이 집중되는 현상을 보이며 공구의 크기에 따라 변형이 집중되는 지점과 최고 변형율이 변하고 있어, 제품의 변형률 상태가 공구의 크기와 상당히 관련되어 있으며, 성형 속도, 공구의 수직이송 거리 등의 공정 변수들과도 관련되어 있음을 시사하고 있다. 성형성 측면에서 일반적인 펀치스트레칭 성형과 비교하기 위하여 같은 제품에 대해, 펀치 스트레칭 공정을 수치모사하였으며 Fig. 10의 결과를 보면 제품의 스트레칭 상태가 비록 점진적 방법에 의하여 성형된 제품의 것보다 양호하나 한계 변형율을 넘어서 파단이 일어날 가능성이 매우 높아 이 방법으로는 성형하기 어려움 알 수 있다.

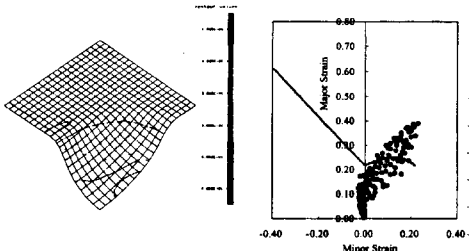


Fig. 10 Effective Strain Distribution and FLD of Ellipsoidal Cup Formed by Typical Stretching Forming (Result from FEM Analysis)

5. 결론

시작 (trial manufacturing) 공정에 대한 연구는 현대 산업사회가 다품종 소량생산체제로 전환됨으로써 그 중요성이 더욱 더 부각되어 왔으며, 최근에는 쾌속 조형법이 개발되어 산업에 응용되고 있다. 본 연구에서는 박판 시작품 제조 공정을 박판의 점진적 성형 방법을 근거로 시스템화 하여 개발하였으며, 실제로 본 공정을 이용하여 타원체 제품을 성형함으로써 그 가능성을 입증하였다. 그러나 보다 구체적인 박판 시작 공정으로 발전하기 위해서는 공구의 형상 및 크기, 이송 속도 등의 공정 변수들이 본 공정에 미치는 영향에 대해 보다 면밀한 연구가 진행되어야 할 것이다.

참고 문헌

1. S.Kobayashi, I. K. Hall, E.G.Thomson, "A Theory of Shear Spinning of Cones", J. of Engrg. for Industry, Trans. ASME, 1961, pp 485 - 495
2. S.Matsubara, "Incremental Backward Bulge Forming of a Sheet Metal with a Hemispherical Head Tool", J. of the Japan Soc. for Tech. of Plasticity, 1994, vol 35, pp 1258 - 1264
3. N. N. Powell, C. Andrew, "Incremental forming of flanged sheet metal components with dedicated dies", Proc. Instn. Mech. Engrs. Vol 206, pp 41 - 47
4. K.Kitazawa, A. Wababayash, K. Murata, J. Seino, "A CNC Incremental Sheet Metal Forming for Producing the Shell Components Having Sharp Corner", J. of the Japan Soc. for Tech. of Plasticity, 1994, vol 35, pp 1348 - 1353
5. H. Iseki, H. Kunon, "Forming Limit of Incremental Sheet Metal Stretch Forming Using Spherical Rollers", J. of the Japan Soc. for Tech. of Plasticity, 1994, vol 35, pp 1336 - 1342
6. M. Mutsubara, S. Tanaka, T. Nakamura, "Forming Process of Spherical Surface by Incremental Press Forming System", J. of the Japan Soc. for Tech. of Plasticity, 1994, vol 35, pp 1330 - 1335
7. 신민철, "금속 재료를 이용한 직접식 3차원 형상 제조 공구의 실험적 연구", 한국과학기술원 석사논문, 1995
8. 박근, 윤정환, 양동열, 조종래, "쾌속 3차원 조형법과 유한 요소 해석을 연계한 소성가공 금형 설계의 동시 공학적 접근 방법", 소성가공학회 논문집, 1996, pp 146 - 154