

Incremental Forming 기술을 적용한 Damper Case 생산 기술 개발에 관한 연구

박정호*, 이태원#, 정영덕**

The Study for Development of Damper Case Production Technique using Incremental Forming

Jeong-Ho Park*, Tae-Won Lee#, Young-Duk Jeong**

(Received 28 March 2011; received in revised form 19 August 2011; accepted 6 October 2011)

ABSTRACT

Currently, for the damper case, the material produced by cast/forged welding is mechanically processed and then the final product is mass-produced. By cutting the cast/forged welded material, the issues of excessive cutting time, multiple process production, and a large amount of chips (40% loss from the original material) arise, causing increased production cost and reduced profitability. Thus, in this study, the incremental forming technology which generates no chips was applied in production. Analysis was executed for 1st and 2nd works by change of tool diameter and working tool. For this, 3D molding and analysis were executed, which was applied to the processing the result, successful processing could be achieved through a few trials of molding processing according to tool forming and rotation counts.

Key Words : Incremental Forming(점진적 성형가공), Forming Simulation(성형해석), Feed Speed(이송속도), Noise Radius(노이즈 반경), Forming Tool(성형공구)

1. 서 론

기존 자동차 엔진의 캠축이나 크랭크축은 캠의 불균형(Unbalance)으로 인해 고속회전 시 비틀림 진동이 생성되어 엔진과 자동차 전체에 많은 문제점을 일으킬 수 있는 원인으로 작용한다. 이러한 진동을 감소하기 위하여 캠축이나 크랭크샤프트 끝단에 댐퍼

(Damper)를 장착하여 엔진의 진동과 소음을 감소시키는 역할을 한다. 댐퍼는 엔진에서 요구하는 강성과 정밀도를 가지면서, 엔진의 용량과 불균일 양에 따라 크기와 형상이 조금씩 달라지기 때문에 소량 다품종이 주종을 이루고 있다.

현재 댐퍼케이스의 제조는 주조, 단조에 의해 만들어진 소재를 기계가공한 후 최종제품을 양산하고 있다. 그러나 기존의 댐퍼케이스 제조기술은 원 소재의 낭비가 많으며, 단조 후 기계가공으로 인한 제작비용 증대 및 작업시간 증대에 따른 가격 경쟁력 저하의 문제점이 있다. 댐퍼 케이스는 다양한 종류가 생산되고 있으며, 주조 또는 단조 소재를 기계에서 절

* 창원문성대학 자동차기계학부

교신저자 : 창원문성대학 자동차기계학부

E-mail : leekine@hanmail.net

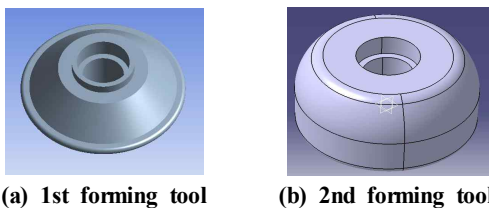
** (주)로프트

삭가공을 함에 따라 제품의 절삭 가공시간 과다, 多 공정생산, 다량의 칩 발생(원소재의 40% 손실) 등의 문제로 인하여 생산 비용증가, 수익성 저하를 초래하고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 기존 단조, 주조에 의해 생산된 소재를 다수의 기계를 이용 절삭가공을 통해 소정의 형태로 가공되던 제품을 기계가공을 행하지 아니하고, 판재를 소재로 하여 칩 발생 없이 형상 창조 기능을 갖는 성형(Incremental Forming) 기술을 적용하여 제품을 생산하고자 한다. 본 연구를 통해 강(Steel), 동합금, 알루미늄(Aluminium)합금 판재를 소재로 원하는 형상으로 제작하는 형상창조기능을 가진 판재성형 기술을 확보하고자 한다. 참고문헌에서 언급되었듯이 이는 향후 자동차, 조선, 기계, 전기전자 등 다양한 산업에 적용 가능한 활용도가 매우 높을 것으로 판단되어 지고 다양한 제품 형상으로 발전 가능성이 높은 기술이 될 수 있을 것으로 사료된다^[1,2].

2. 유한 요소 해석

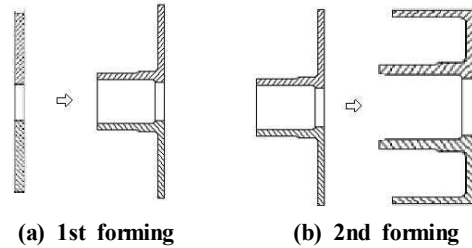
2.1 모델링 및 해석 조건 도출

본 연구 과정에서는 성형 시뮬레이션을 통하여 설계 단계에서 제품의 성형과정을 미리 점검해 봄으로써 공구의 설계, 작업 공정의 점검, 작업 과정의 예측 및 제품의 생성 과정을 사전에 파악할 수 있도록 하였다. 성형 해석은 2단계로 진행되었으며, 가운데 부분의 1차 성형 및 원주 부분의 2차 성형을 시뮬레이션으로 구현하였다. 해석에는 성형해석 전용 프로그램인 DEFORM을 사용하였다. Fig. 1에서 1차 및 2차 Incremental Forming Tool의 도면과 3D 모델링을 보여 주고 있다.



(a) 1st forming tool (b) 2nd forming tool
Fig. 1 3D modelings of incremental forming tool

Fig. 1의 공구를 이용하여 2차에 걸쳐 제품을 성형가공하게 되며, 원판 모양의 소재가 이중 원통을 가진 형상으로 성형가공이 이루어진다. 이를 Fig. 2에서 보여 주고 있다.

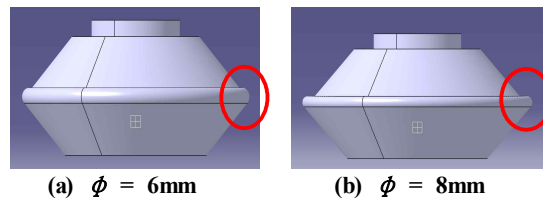


(a) 1st forming (b) 2nd forming
Fig. 2 Manufacture process 1st and 2nd works

해석은 강, 알루미늄 2가지의 재질에 대하여 수행하였고, 각각의 소재에 대하여 1차 공구의 가공부 직경이 6mm인 경우와 8mm인 경우에 대한 해석을 수행하였다^[3]. 소재의 재료 물성치는 열간압연강판과 알루미늄 6051계열의 소재가 가지는 일반적인 탄소성 물성치를 사용하였고 해석조건은 공구에 강제이송거리를 주어 소재에 변형을 가하는 방식을 취하였다. 이를 통해 소재의 변형양상을 파악하여 실제 성형을 모사해보고 결과를 실제 성형가공에 활용토록 하였다. Table 1에서 재질 및 해석 조건을 나타내고 있으며, Fig. 3에서 1차 성형공구의 2가지 형상을 보여 주고 있고, Fig. 4에서는 사용한 소재와 공구, 고정 장치 등을 나타내고 있다.

Table 1 Analysis condition and material properties

Item	Condition
Material property	Steel : SPHD Aluminium : 6051
Rotation velocity	1000rpm
Transfer distance of tool	20mm
Transfer velocity of tool	0.03m/s



(a) $\phi = 6\text{mm}$ (b) $\phi = 8\text{mm}$
Fig. 3 Change of diameter for 1st forming tool

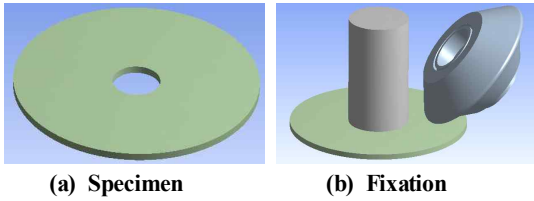


Fig. 4 Specimen, tool and fixation geometry has been applied

3. 해석 결과

3.1 1차 시뮬레이션 결과

본 연구에서는 소재의 종류가 강과 알루미늄이고 공구의 가공부 직경이 6mm와 8mm인 경우의 해석을 수행하였다. 먼저 소재가 강이고 6mm인 경우 소재는 직경 165mm, 두께 5mm의 크기를 가지며, 공구가 소재의 중심에서 51.5mm 되는 지점부터 중심방향으로 스피닝 가공을 수행하였다. 가공 과정 중 소재의 변화를 가지적으로 판단할 수 있도록 4부분에 걸쳐서 가공 과정을 Fig. 5에 나타내었는데, 공구가 지나간 부분은 비교적 매끈하게 나타났으며, 성형 후 솟아 올라온 부분의 끝단을 치수에 맞게 절단 하면 원하는 형상을 얻을 수 있다. 둘째로 강 소재이고, 소재와 맞닿는 공구 부분이 8mm인 경우의 해석 결과를 Fig. 6에 나타내고 있다. 그림에서 나타내는 색의 분포는 변형량에 대한 결과이며 붉은 색으로 갈수록 변형량이 많음을 의미한다.

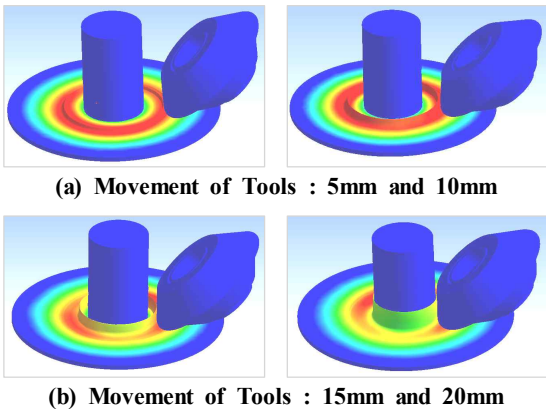


Fig. 5 Diameter 6mm of the tool is processing

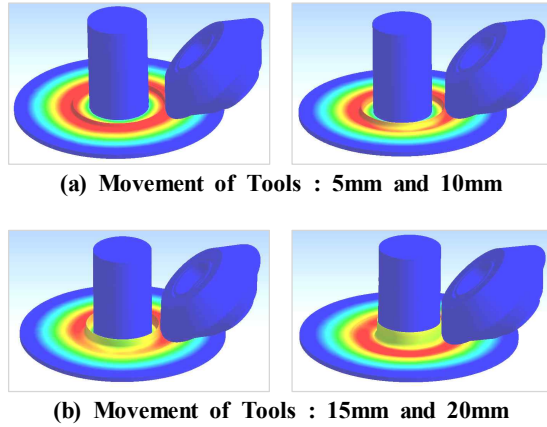
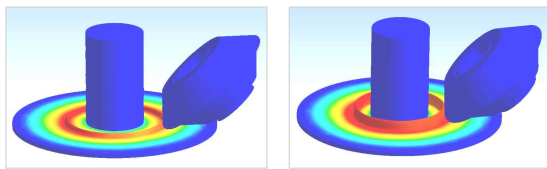


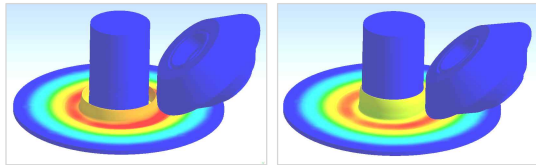
Fig. 6 Diameter 8mm of the tool is processing

이 경우 가공을 시작하는 부위와 끝나는 부위의 곡면 직경이 상기한 6mm인 경우보다 크게 나타났으며, 이러한 형상의 차이가 추후 제품의 강도에 어떤 영향을 미치는가 하는 것은 검토해 보아야 할 부분이다. 다음으로 소재의 종류가 알루미늄인 경우에 대하여 해석을 수행하였다. 공구는 이전의 해석과 마찬가지로 가공부 직경이 6mm인 경우와 8mm인 경우에 대하여 해석을 수행하였다. 각 해석에 소요된 평균 해석시간은 2~3시간 정도이며 격자의 변형에 대한 보정은 해석 프로그램에서 자동으로 설정하도록 하였다. Fig. 7에 알루미늄 소재에 대하여 수행한 해석의 결과를 보여 주고 있다. 결과를 보면 강 소재의 가공 해석 결과와 크게 다르지 않았으며 공구가 지나간 부위나 가공에 의하여 솟아오르는 부위도 비교적 매끈하게 나타났다. 이는 실제 가공 시 충분한 윤활에 의하여 마찰열의 발생이 줄어들고, 가공기에 충분한 압력이 부가될 경우 매끈한 표면의 제품을 얻을 수 있을 것이라는 예측이 가능하다.

Fig. 8에 성형공구의 가공부 직경이 8mm인 경우의 해석 결과를 나타내고 있는데, 가공의 시작과 끝 부분이 이전의 6mm인 경우에 비하여 더 둥글게 나타나고 있다. 가공의 결과, 공구의 이송이 끝난 후 솟아오르는 부위의 높이가 6mm 조건에 비하여 약 2mm 정도 낮게 나타났다. 이는 강 소재에 비하여 연한 소재인 알루미늄을 사용하였고, 공구의 가공부 직경이 커지면서 소재를 중심부로 밀어 올려주는 현상의 약간 둔화된 것을 알 수 있다.

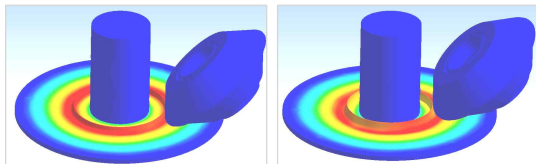


(a) Movement of Tools : 5mm and 10mm

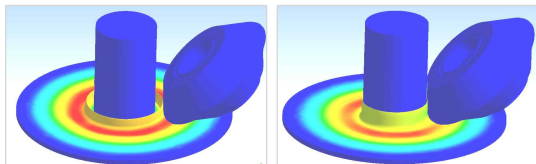


(b) Movement of Tools : 15mm and 20mm

Fig. 7 Diameter 6mm of the tool is processing (Aluminium)



(a) Movement of Tools : 5mm and 10mm



(b) Movement of Tools : 15mm and 20mm

Fig. 8 Diameter 8mm of the tool is processing (Aluminium)

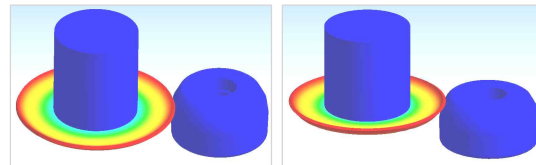
3.2 2차 시뮬레이션 결과

Fig. 9에 2차 성형해석 결과를 가공과정 중 소재의 변화를 가시적으로 잘 나타낼 수 있는 6부분을 나타내고 있다.

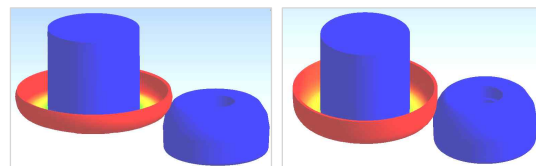
2차 가공은 1차 가공된 소재의 원주 부분을 반경방향으로 90도 꺾어 올리는 작업으로 1차 가공에 사용한 공구와는 다른 공구를 사용한다. 가공 모델은 1차 가공이 끝난 모델을 사용하였으며, 고정 장치 역시 1차 가공과 다른 형태를 사용하였다.

해석 과정을 보면 공구가 반경방향으로 소재를 밀고 들어가는 과정에서 소재가 가공 초기에는 약간 둥글게 말려 올라가는 형상을 보이다가, 가공 후반으로

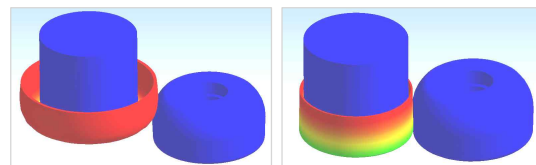
갈수록 평평한 형상을 나타낸다. 이는 추후 실제 가공 시 치수를 맞추는 과정에서 고려되어야 할 부분으로 보인다.



(a) Movement of Tools : 5mm(←) and 10mm(←)



(b) Movement of Tools : 15mm(←), 5mm(↑) (c) Movement of Tools : 20mm(←), 10mm(↑)



(d) Movement of Tools : 25mm(←), 15mm(↑) (e) Movement of Tools : 30mm(←) 30mm(↑)

Fig. 9 Forming processes of 2nd work

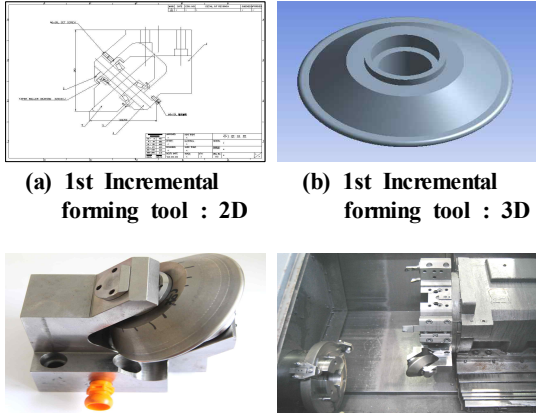
4. Incremental Forming Tool 제작

4.1 1차 제작 및 CNC 장착

1차 Incremental Forming Tool은 샤프트에 의해 2개의 테이퍼 롤러 베어링으로 지지를 받고 있고 절삭유의 베어링 내 유입을 막기 위해 좌,우 스페이스를 설치하여 테이퍼 롤러 베어링의 허용압력을 높이는 효과와 동시에 회전시 회전력으로 유입되는 절삭유를 바깥으로 내 보내거나 하부구멍으로 드레인을 시키는 구조로 되어있다.

CNC선반의 공구대의 공구홀더 부착면에 부착되는 하우징은 공구전체에 미치는 힘을 받치고 있으며 성형시 충분한 강성을 가질 수 있는 구조로 설계, 제작되었으며 성형공구는 판재의 재질에 따라 성형이 용

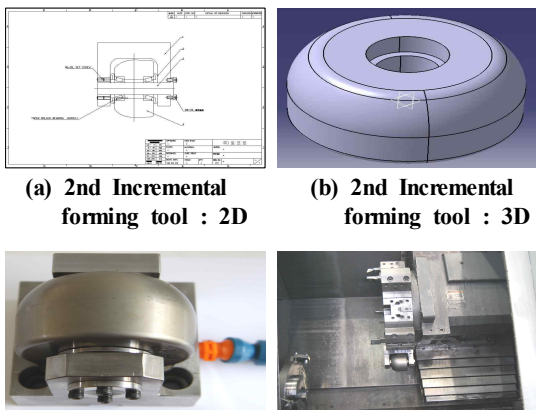
이하도록 선단부 공구 노이즈 반경(Noise Radius)을 달리하여 설계하였다. Fig. 10은 1차 성형 Tool의 2D / 3D 및 CNC 장착사진을 나타낸다.



(a) 1st Incremental forming tool : 2D (b) 1st Incremental forming tool : 3D
(c) 1st Incremental forming tool and turret installation
Fig. 10 2D/3D and CNC installation of 1st forming tool

4.2 2차 제작 및 CNC 장착

1차 성형된 소재를 2차 성형하기 위하여 제작된 성형공구로 1차 성형공구와 같이 공구를 지지하는 베어링은 동일하고 베어링 예압 방식도 동일화하여 공용화를 꾀하였다. 다만 성형공구의 형상이 판재의 넓은 면과 접촉되므로 접촉부분의 하중을 분산시킬 수 있도록 원형으로 설계하였다. 주요 구성부품은 하우징, 스페이스, 샤프트, 성형공구로 구성된다. Fig. 11에 2차 성형 Tool의 2D / 3D 및 CNC 장착사진을 나타낸다.



(a) 2nd Incremental forming tool : 2D (b) 2nd Incremental forming tool : 3D
(c) 2nd Incremental forming tool and turret installation
Fig. 11 2D/3D and CNC installation of 2nd forming tool

4.3 시험 결과

본 연구에서는 주축 회전수를 400rpm으로 고정하고 공구 이송속도를 10mm/min에서 40mm/min으로 변화시켜 성형 시험을 실시하였고 그 결과를 Fig. 12로 나타내었다. 이송속도가 느릴수록 1차 성형끝단 부위에 물결모양의 기복이 심해지면서 균열이 많이 발생하는 경향을 보였다.

이송속도가 빨라질수록 표면상태도 불량해지고, 1차 성형높이가 낮아지면서 시편형상이 급격히 불량해지는 현상이 발생하였다. 이송속도 16mm/min에서 가장 좋은 성형성을 보였다. 사진에 제시는 하지 않았지만, 알루미늄에 비해 황동은 이송속도에 크게 영향을 받지 않으며 대체로 양호한 성형성을 보였다. 1차 가공공구의 직경이 6mm인 경우에 대한 해석 결과와 유사한 결과를 나타내고 있는 것이며,

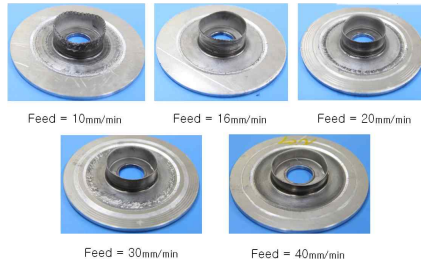


Fig. 12 Results of the 1st forming (Speed : 400rpm, Feed 10~40mm/min)

이에따라 본 조건에 의한 가공이 유효함을 알 수 있다. Tool 이송속도를 16mm/min으로 고정하고 주축 회전수를 300, 400, 500rpm으로 변화시켜 알루미늄과 황동에 대하여 시험을 실시하고 그 결과를 Fig. 13에 나타내었다. 알루미늄의 경우 회전수가 증가할수록 1차 성형부위의 균열 및 표면상태가 불량해지는 결과를 보인 반면에 황동의 경우에는 회전수에 관계없이 우수한 성형성과 함께 회전수가 증가 할수록 표면상태는 향상되는 결과를 보였다. 유한요소 해석 결과를 토대로 공구를 선정하고, 1차 성형조건 중 알루미늄과 황동 모두 우수한 결과를 나타낸 조건(회전수 400rpm, 이송속도 16mm/min)에서 알루미늄과 황동 1차 성형품을 각각 10개씩 제작하여 2차 성형 시험용으로 사용하였다. Fig. 14는 1차 성형에 성공한 알루미늄과 황동 성형품을 나타내었다.

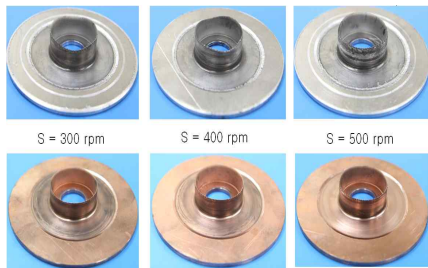


Fig. 13 Results of the 1st forming
(Speed : 300~500rpm, Feed 16mm/min)

1차 성형 가공 결과를 해석 결과와 비교하여 Fig. 14에 나타내었다. 가공 표면의 매끈함 및 1차 가공 시 밀려 올라가는 부분의 끝단에 발생하는 요철부가 해석 및 실제 가공에서 모두 나타났으며, 이는 해석 결과 및 조건을 실제 가공에 적용이 가능함을 보여 주고 있다.



Fig. 14 Comparison of theory and practice



Fig. 15 Succeeded in 1st forming Al and brass model
(Speed 400rpm, feed 16mm/min)

2차 성형을 위해 회전수를 300~500rpm까지 변화시키고, 이송조건을 10~40mm/min 변화시켜가며 알루미늄과 황동에 대하여 성형시험을 행하였고 그결과를 Fig. 16에 나타내었다. 그러나 모두 1차 성형 시작점인 경계면에서 파손이 발생하며 끝단으로 올라갈수록 두께가 얇아지는 불량 발생하였다.

이들 원인은 성형전용 M/C이 아닌 범용 CNC 선반을 가지고 시험했기 때문으로 판단된다. CNC의 이송

력은 절삭을 중심으로 이루어지기 때문에 이송력이 약할 수밖에 없어 두께 5mm의 판재를 직각으로 세우지 못하고 경계면이 찢어지는 불량을 초래한 것으로 판단된다. 특히 알루미늄 소재의 경우에는 더욱더 심한 불량을 보였다. 참고문헌의 결과와 비교하면, 전용기의 사용에 의한 가공이 본 연구와 같은 약식개조에 의한 결과보다 나은 것으로 사료된다^[4].

2차 성형 시뮬레이션 해석에서 성형이 성공으로 나타난 것은 1차 성형시 열경화를 받은 상태로 다소 취약해진 상태를 고려하지 않고 원 소재로 경계조건을 설정하여 시뮬레이션 했기 때문으로 판단된다. 향후 2차 성형 시뮬레이션에서 고려해야 할 항목으로 생각된다.

따라서 기존 1차 성형된 판재를 두께 2mm를 가공하여 두께 3mm로 제작하여 다시 시험을 시작하였다. 회전수 400rpm, 이송속도 16mm/min에서 황동의 경우 2차 성형에 성공하였으며, 그 결과를 Fig. 17에 나타내었다.



Fig. 16 Failure result of 2nd forming



Fig. 17 Succeeded in 2nd forming brass model

5. 결 론

본 연구에서는 기존 단조, 주조에 의해 생산된 소재를 다수의 기계를 이용 절삭가공을 통해 소정의 형태로 가공되던 제품을 기계가공을 행하지 아니하고, 판재를 소재로 하여 칩 발생 없이 형상 창조 기능을 갖는 성형(Incremental Forming) 기술을 적용하여 제품을 생산하고자 하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 1차 Incremental forming의 형상 설계를 위해서 해석한 결과 공구가 지나간 부분은 비교적 매끈하게 나타났으며, 성형 후 솟아 올라온 부분의 끝단을 치수에 맞게 절단하면 원하는 형상을 얻을 수 있었다.
 2. 2차 Incremental forming의 형상 설계를 위해서 해석한 결과 공구가 반경방향으로 소재를 밀고 들어가는 과정에서 가공 초기에는 약간 둥글게 말려 올라가는 형상을 보이다가, 후반으로 갈수록 평평한 형상을 나타내었다.
 3. 1차 Incremental forming 제작 시 CNC 선반의 공구대의 공구홀더 부착면에 부착되는 하우징은 공구전체에 미치는 힘을 받치고 있으며 성형공구는 판재의 재질에 따라 성형이 용이하도록 선단부 공구 노이즈 경(Noise Radius)을 달리하여 설계하였다.
 4. 2차 Incremental forming 제작 시 성형공구의 형상은 접촉부분의 하중을 분산시킬 수 있도록 원형으로 설계하였다.
 5. 알루미늄의 경우 회전수가 증가할수록 1차 성형 부위의 균열 및 표면상태는 불량해지는 결과를 보인 반면에 황동의 경우에는 회전수에 관계없이 우수한 성형성과 함께 회전수가 증가 할수록 표면상태는 향상되는 결과를 보였으며, 회전수 400rpm, 이송속도 16mm/min에서 2차 성형에 성공한 것을 알 수 있었다.
- Curvatures in the Incremental Roll Forming Process", 한국소성가공학회지, Vol. 13-2, pp. 122-128, 2004.
4. Kim, Y. H., Park, J. W. and Cho, H. S., "An Analysis of Tube Spinning for Shock Absorber on Vehicles", 한국정밀공학회지, Vol. 17, pp. 33-38, 2000.

참고문헌

1. Lee, M. C., Um, J. K. and Jeon, M. S., "Finite Element Analysis of an Incremental Forming Process for Joining the Ball with the Socket of a Concave Piston Assembly", 한국소성가공학회 춘계학술대회, pp. 353-358, 2006.
2. Yoon, S. J. and Yang, D. Y., "Development of an Incremental Roll Forming Process for the Manufacture of a Doubly Curved Sheet Metal and Prediction of a Manufactured Shape", 한국정밀공학회 추계학술대회, Oxford, pp. 694-697, 2003.
3. Yoon, S. J. and Yang, D. Y., "An Effect of Process Parameters on the Generation of Sheet Metal