

## 두께 분포를 갖는 드럼 형상 제품의 성형을 위한 deep drawing 과 단조 공정의 조합

차달준\* · 김승수\*\* · 변원용\* · 강상욱\* · 김응주\*\* · 박훈재\*\*

### Combination of deep drawing and forging process for forming drum-shaped-product to have thickness variation

D. J. Cha, S. S. Kim, W. Y. Byun, S. W. Kang, E. Z. Kim and H. J. Park

#### Abstract

A combination of deep drawing and cold forging process is tried to achieve near net shaping of automatic transmission part which has drum shape and thickness variation. It is key for successful shaping of the part to find out proper condition to combine two different forming methods. Finite element analysis can be utilized for that purpose effectively. Integrity, reliability, and durability of the part are improved by eliminating machining process. The developed process is applied in real manufacturing process successfully.

**Key Words:** Process Combination, Deep Drawing, Forging, FEA

#### 1. 서론

속이 빈 구조를 가짐과 동시에 두께가 얇고 표면적이 넓은 금속제품은 박판성형에 의해 효율적으로 성형 될 수 있다. 이러한 형태의 기존 제품 대부분이 용기류로서 성형에 필요한 기술들이 많은 발전과 함께 축적되어왔다.

한편 기계 요소들이 점차 가법고 얇고 작아지는 추세 속에서 초기 소재로서 판재와 관재의 활용이 늘면서 벌크재를 대체하는 경우가 많아지고 있다. 동력전달 등의 기능을 수행하는 기계요소의 경량화 박육화를 위해 판재를 적용하는 경우에는 기존 판재성형과 구분되는 문제들이 발생하게 된다. 고정밀도, 고강도와 내구성 확보가 필요하고 폭이나 반경방향에 따라 다른 두께 분포를 갖는 경우가 많아지게 된다.

이러한 문제들에 대한 기존의 대응법은 벌크재의 기계가공, 별도 판재 성형품의 용접, 후판 성형 후 기계가공 등이었다. 이 방법들은 소재 활용도, 부품 신뢰성, 비용절감 면에서 많은 단점을 갖고 있다.

위에서 거론한 문제점들을 해소하기 위한 하나의 방안으로 판재성형과 체적성형의 연계 성형을 고려할 수 있다. 전체 형상은 판재를 활용하여 성형하고, 복잡한 형상이나 정확한 치수관리가 필요한 부위는 국부적으로 체적성형을 활용하는 것이다. 이와 같이 판재성형과 체적성형 각 공정의 장점을 살리면서 서로 연계하여 부품의 강도와 신뢰성, 수명을 향상시키고 소재 손실을 줄임으로써 경제적, 효율적임과 동시에 환경 친화적인 정미성형(net shaping) 기술을 추구 할 수 있다.

\* 경창산업(주) TM 사업부

\*\* 한국생산기술연구원 마이크로성형팀

## 2. 연계 성형 공정

경량화 소형화를 위한 판재 활용과 더불어 고강도 고정밀도를 요구하는 예는 자동변속기 부품 등에서 흔히 발견 된다. 그 일례가 drum-lock-up 으로 Fig.1 에 나타내었다. 전동부품으로써 다른 부품과 연동되기 위해 일부 두께가 변하는 부분이 존재하며 형상과 치수가 정확해야만 한다.

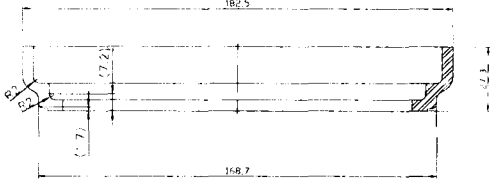


Fig. 1 Drum shape part for auto transmission: drum-lock-up

대표적인 박판성형 법인 deep drawing 만을 이용하여 이와 같이 두께 분포를 갖는 제품을 생산하고자 한다면 최대 두께를 갖는 위치의 치수와 같은 두께의 소재를 이용해야만 하고, 잉여부는 후가공을 통하여 깎아내야 한다. 불필요한 소재 두께의 증가는 소재 비용과, 성형하중을 상승시키게 되며, 후속 절삭 가공이 필요하므로 별도의 공정 비용을 야기시킴과 동시에 소재 손실을 가져오게 된다.

Deep drawing 과 냉간 단조의 연계 성형을 drum-lock-up 성형과정에 적용하여 보았다.

초기 소재는 원형 판재로 압연재를 blanking 하여 연계 된다. Deep drawing 과정을 통하여 일차적인 drum 형태를 갖게 된다. 이어지는 냉간 단조 공정을 거쳐 기능부의 형상을 성형하게 된다.

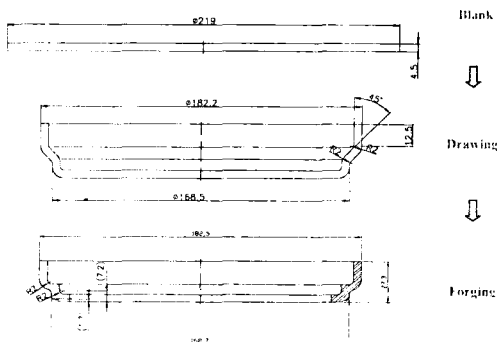


Fig. 2 Process map for the drum-lock-up

특성이 다른 두 성형법을 효율적으로 조합하기 위해서는 각 공정 변수간의 연계가 매우 중요하므로 이에 대한 분석에 이론해석의 활용이 필수적이다.

해석 대상인 drum-lock-up 은 축대칭 형상을 가지고 있으므로 Fig.3 과 같이 2 차원 모델로 해석이 가능하다.

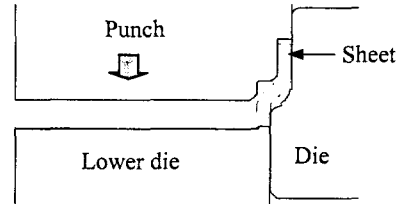


Fig. 3 Axisymmetric model for finite element analysis

유한 요소 해석 도구로는 DEFORM-2D 를 활용하였다. 금형과 소재사이의 접촉에는 Coulomb 마찰 모델을 이용하였으며 마찰계수는 0.1 로 가정하였다. 특정 공정 조건의 성형해석의 예를 Fig. 4 에 나타내었다.

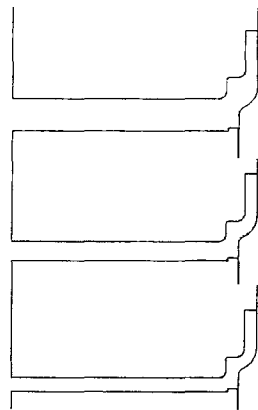


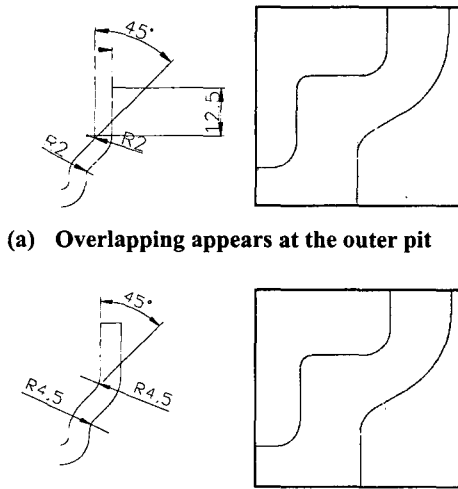
Fig. 4 Analyzed forging process of the drum-lock-up

위 경우와 같이 끝이 막힌 구조의 일체형 punch 를 이용한 경우 원주 벽면의 끝이 먼저 punch 와 접촉한다. 벽면이 내리 눌리면서 바닥부위가 들어올려졌다 가라앉은 것을 볼 수 있다. 이러한 소재 변형은 모서리에서 접힘 결함 등을 유발하게 된다. 이러한 예측으로부터 바닥을 먼저 눌러주고 추가로 모서리 부위를 성형 하도록 2 중 구조로 punch 를 개선하였다.

두 공정간 연계 방법이 최종 제품의 성형의 성

공여부를 판가를 하게 된다. 대표적인 중요 변수로서 deep drawing 시의 모서리 부위의 곡률 반경과 경사부의 기울기를 꼽을 수 있으며 이러한 공정 변수들이 후속 단조 성형에 어떤 영향 미치는지 고찰해 보았다.

모서리 곡률의 경우 제품의 최종 치수 조건을 만족시키기 위해 단조성형 이전에 과도하게 반경을 줄인 경우 모서리 부위에서 겹침 결함이 발생할 것으로 예측되었다.



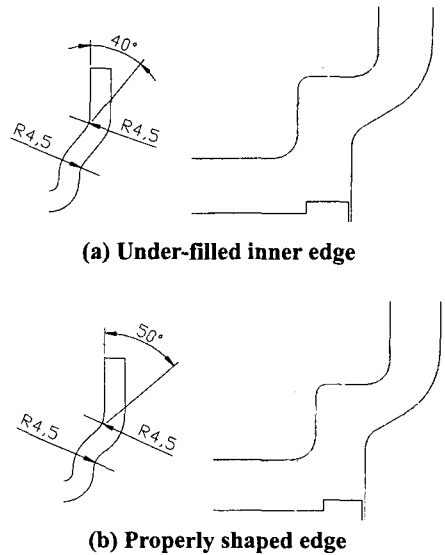
**(a) Overlapping appears at the outer pit**  
**(b) Overlapping is resolved by larger corner radius**  
**Fig. 5 Effect of fillet radius of drawn work piece**

위 그림에서 보이는 바와 같이 모서리 부위의 곡률이 작은 경우 모서리 부위가 안쪽으로 밀려 들어가면서 겹침이 발생하는 것을 알 수 있다. 적절한 곡률 값을 계산의 반복 수행을 통하여 얻을 수 있었으며 개선된 한 예를 Fig.5(b)에 나타내었다.

모서리 곡률과 같은 국부적인 치수 외에 전체적인 형상 조건의 영향도 매우 크다. 계단 형태를 발전할 부분에 deep drawing 시에 부여한 기울기의 영향을 살펴보면 다음과 같다.

Deep drawing 된 소재의 경사부가 가파른 경우 (Fig.6(a)) 안쪽 모서리가 충분히 채워지지 않는 현상이 예측되었다. Fig.4(b)에서 보이는 바와 같이 계단 형상을 갖는 부위가 성형 되기 시작할 때 금형의 위쪽 모서리가 소재의 특정 점에 닿게 된다. 이 지점의 두께가 감소하면서 남는 체적의 소재가 안쪽으로 밀려나게 된다. 접촉점 밖의 소재는 최외각 벽면을 밀어 올리게 되고, 안쪽 소재는

안쪽모서리를 형성하는데 쓰이게 된다. 소재의 경사부가 가파른 경우에는 이 접촉점이 소재 분포상 안쪽에 형성되어 모서리 부위를 형성하는데 필요한 소재의 체적을 충분히 확보하지 못하게 되는 것이다.



**(a) Under-filled inner edge**  
**(b) Properly shaped edge**  
**Fig. 6 Effect of drawing inclination on the edge filling**

위와 같이 박판성형과 체적성형 공정간 연계 과정 분석에 쓰여진 이론해석은 단조공정 자체의 공정변수 분석에도 활용할 수 있다. 측벽 상부 구속 여부에 따른 변화, 바닥면 단차 높이가 모서리 부 충전에 미치는 영향 등을 파악하여 실제 성형에서 일어날 수 있는 문제점을 미리 파악하여 설계를 점진적으로 개선시킬 수 있다.

### 3. 성형 실험

판재를 이용하여 blanking, deep drawing, forging 으로 이어지는 성형 공정의 연계를 실험적으로도 시도하여 보았다.

유한요소해석을 통하여 얻은 최적 공정 변수들을 활용하여 성형 공정을 설계하고 금형을 제작하여 성형 실험을 수행하였다. 소재는 냉간 압연 강판 SAPH370(SP231-370)을 이용하였다.

성형 하중은 1 차 deep drawing 에서 600ton, 2 차 deep drawing 에서 1000ton 이 소요되었으며, 최종 형상을 완성하기 위한 단조공정에서는 1700ton 의 하중이 필요하였다. 예상한 바와 같이 박판성형

보다 체적성형에서 매우 큰 성형하중을 필요로 하였다. Deep drawing 에서는 국부적인 bending 과 stretching 이 변형 양상의 주류를 이루게 되므로 변위는 크나 변형량이 작아서 상대적으로 작은 하중으로 성형이 가능하다. 후속 단조공정에서는 전체적인 형상변화의 폭은 작지만 각 부분에서 두께가 급격히 감소 또는 증가하여 변형률이 커지게 되므로 높은 성형하중을 필요로 하게 된다.

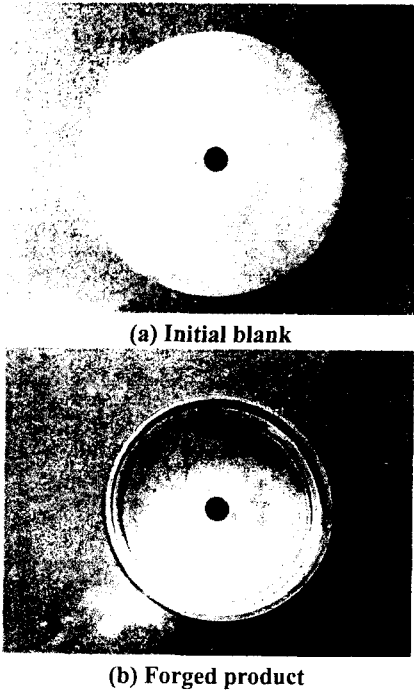


Fig. 7 Drum-lock-up produced by combination of deep drawing and forging

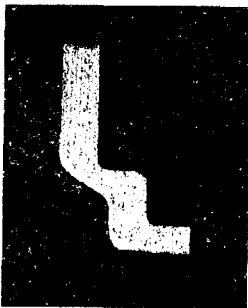


Fig. 8 Cross section of the processed part that has thickness variation along the bottom to wall path

초기 원형 판재와 성형 완료된 제품을 Fig.7 에서 볼 수 있다. 유한요소해석을 통하여 개선된 성

형 조건에서 Fig.7(b)와 같이 성공적인 성형이 가능하였다. 성형 완료된 제품의 단면 형상을 관찰하면 Fig.8 과 같다. 측면과 바닥 부분은 일정한 두께를 유지하고 있으며, 측면과 바닥을 잇는 모서리부에서 바깥에는 빗면을 안쪽에는 계단 형상을 정확히 구현하였다.

후속 기계 가공 없이 복잡한 두께 분포를 갖도록 성형하였으므로 금속조직이 단절 없이 이어진 상태를 유지하고 있다.

#### 4. 결론

박판 성형의 일종인 deep drawing 과 대표적인 체적성형법인 냉간 단조가 연계된 성형법을 자동변속기용 부품 drum-lock-up 에 적용한 결과 두께 분포를 갖는 drum 형상 부품 성형에 두 공정의 연계 성형이 매우 효율적임을 확인하였다.

특성이 크게 다른 두 성형 공정의 연계가 원활하게 이루어지도록 이론해석을 활용하였다.

비절삭 성형으로만 원하는 형상을 구현함으로써 제품의 경도가 증가하였고 이로 인해 내구수명의 향상이 예상된다.

이러한 연계 성형을 실제 생산에 적용하여 대폭적인 생산성 향상이 가능하였다.

#### 후 기

본 연구는 산업자원부 산업기술개발사업의 지원으로 수행되었음을 밝힙니다.

유한요소해석에 도움을 주신 ATES 관계자 여러분께 감사 드립니다.

#### 참 고 문 헌

- (1) K. Lange, 1985, Handbook of metal forming, McGraw-Hill, New York.
- (2) D. F. Eary, E. A. Reed, 1974, Techniques of press-working sheet metal, Prentice-Hall, Englewood Cliffs.
- (3) S. Kobayashi, S.-I. Oh, T. Altan, 1989, Metal forming and the finite-element method, Oxford university press. New York.
- (4) 차달준, 김승수 외, 2003, 고기능 구동체를 위한 저절삭/초정밀 부품 성형기술 개발, 산업기술개발 보고서, 산업자원부.