

# 배압 성형기술을 이용한 Lock-up Hub의 정형제조 기술에 관한 연구

권용철<sup>1</sup>, 이정환<sup>1</sup>, 이영선<sup>#</sup>

## A study on Net-shape technology of Automotive Lock-up Hub using Cold back pressure forming

Y. C. Kwon, J. H. Lee, Y. S. Lee

### Abstract

The characteristics of the tool system give many effects into the costs and qualities for the finished components. This study proposes a new method for manufacturing of high manufacturing productivity, production process reduction and low cost through back pressure forming. The Lock-up hub is manufactured through many processes, such as upsetting(1<sup>st</sup> Forming), piercing, direct extrusion(2<sup>nd</sup> Forming), final sizing process(3<sup>rd</sup> Forming). In this study, process design for closed-die forging of a Lock-up hub used for a component of automobile transmission was made using three-dimensional finite element simulations, and the strain distributions and velocity distributions are investigated through the post processor. The rigid-plastic finite-element method for back pressure forging has been used in order to reduce development time and die cost. Using the FEM simulation, we found the optimum value of back pressure. The prototypes of Lock-up hub parts were forged into the net-shape. In the experiment, lead precision of tooth are measured by the CCMM(Contact Coordinate Measuring Machine). The dimensional accuracy of forged part was improved up to the 40% when back press was applied.

**Key Words** : : FEM, Back pressure Forming, Net-shape, Direct Extrusion, Lead precision

### 1. 서 론

정밀단조기술은 생산성이 높고, 재료 이용율이 높으며, 제품의 개당 생산비가 낮고, 제품의 기계적 특성이 우수하므로 자동차, 항공기등 산업 전반에 걸쳐 핵심 부품의 생산에 적용되고 있다. 또한 정밀단조기술은 최종제품에 최대한 가까운 형상과 치수를 단조품에 부여함으로써 단조 후 추가 공정을 삭감하고 원가를 절감하고자 노력하여 최근에는 무절삭 정밀 단조품(Net Shape Forged Part)을 실현하고 있는 사례가 증가하고 있다. 1975

년부터 국내에 일본의 단조 기술 도입을 시작으로 최근까지 많은 국내 및 국외 연구 학자들은 단조 공정 중 금형의 수명 향상 및 금형의 탄성 변형에 의한 제품의 정밀도 향상에 대해 연구를 지속적 하고 있다. 본 연구에서는 자동차 자동 변속기 부품에 사용되는 록업허브(Lock-up hub)를 이용하여 실험 및 유한요소해석을 수행하였다. 록업허브의 제조는 기존 전방 압출을 이용하여 원소재에서부터 최종제품까지 4공정으로 제조되어왔으며, 생산공정의 단축 및 치형부위의 리드정밀도를 향상시키기위해 기존 단조 형태와 다른 배압 성형기술을 개발하였다. 배압 성형 기술(Back Pressure Forming)이란 단조 공정 시 소재의 유동속도를 동일한 조건으로 제어함으로써 정형단조에 적합한 기술이며, 또한 치수 정밀도를 향상 시

1. 한국기계연구원 부설 재료연구소  
# 교신저자: 한국기계연구원 부설 재료연구소  
E-mail: lys1668@kims.re.kr

킬 수 있는 기술이다. 유한요소해석을 이용하여 배압성형 시 필요한 배압력을 계산하였으며, 해석의 정확성을 높이기 위해 소재의 물성치를 상온에서 압축실험을 통해 실제 측정값을 이용하였다. 해석에 의해 계산된 배압력을 이용하여 800[ton] 유압 프레스에서 배압력을 가할 수 있도록 특수 다이셋을 이용하여 실험을 하였으며, 제품의 치형 부위의 리드정밀도를 측정하기 위해 접촉식 3차원 측정기(Contact Coordinate Measuring Machine)을 이용하여 측정하였다. 또한, 제품에 대한 신뢰성을 입증하기 위해 기존 전방압출에 의해 제조된 제품과 일본 제품에 대해 리드 정밀도를 비교 분석하였다. Fig. 1은 실험과 해석의 전반적인 내용을 설명하고 있다. 그림에서 볼 수 있듯이 유한요소해석을 이용하여 최적의 배압력을 계산하였으며, 해석에 의해 계산되어진 압력을 실험에 적용시켰다.

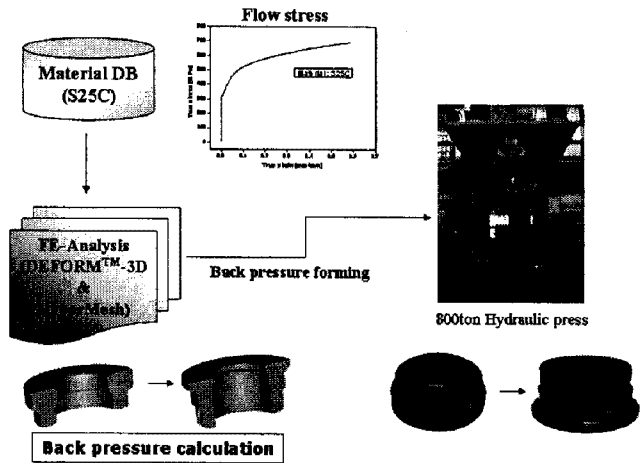


Fig. 1 Experimental and FE-Analysis procedures to investigate the back pressure forming

## 2. 실험 및 유한요소해석

본 연구에 사용한 소재는 S25C(AISI 1025)이며, 소재의 물성치를 정량화 시키기 위해 원통형 빌렛을 이용하여 상온에서 압축실험을 수행하였다. 압축 실험을 통해 정량화된 소재의 유동응력(Flow stress)을 측정하였으며, 실험에 의해 측정되어진 유동응력을 해석 시 적용시켰다. 우선 최적의 배압력을 결정하기 위해 소재는 소성체(Plastic

material), 펀치와 다이는 강체(Rigid body)로 놓고 강소성유한요소해석을 수행하였다. Fig. 2 은 기존 단조 공정(Direct Extrusion)와 배압성형 공정을 나타내고있다. 공정도에서 알 수 있듯이 3 공정을 제외한 나머지공정은 동일하며, 배압성형으로 인해 사이징(Sizing)공정을 제거할 수 있다.

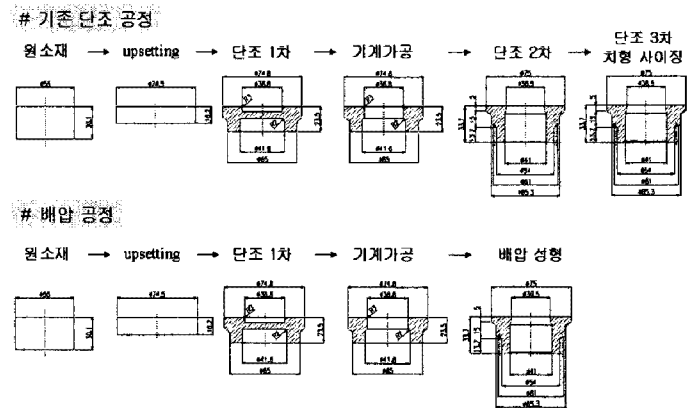


Fig. 2 The comparison for manufacturing process of Lock-up hub

Fig. 3 는 기존공정과 배압공정에 대해 유한요소해석에 사용된 모델을 비교한 것이다. 해석 시 사용된 요소수는 83066 개로서, 모델의 형상을 최대한 고려하기 위해 메쉬 전용 프로그램인 Hyper\_Mesh 를 사용하였다. 본 해석은 피어싱 후 3 공정에 대해서만 해석을 수행하였으며, 해석 시간을 고려하여 1/12 모델을 이용하였다. 성형해석 시 펀치의 속도는 40mm/sec, 배압력은 0.5, 1, 2, 2.2, 3, 4[ton]등 8 가지방안으로 각각 압력을 부가시켜 측정값을 찾고자 하였다.

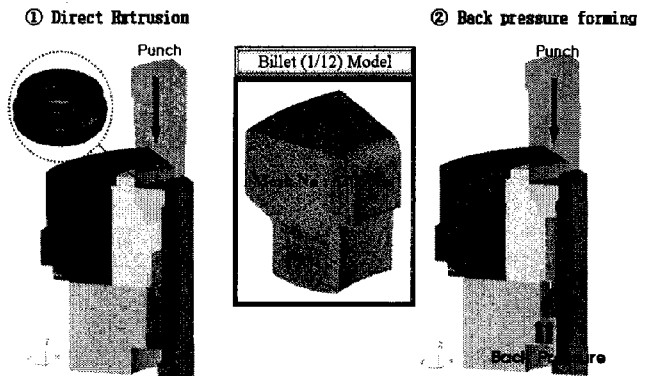
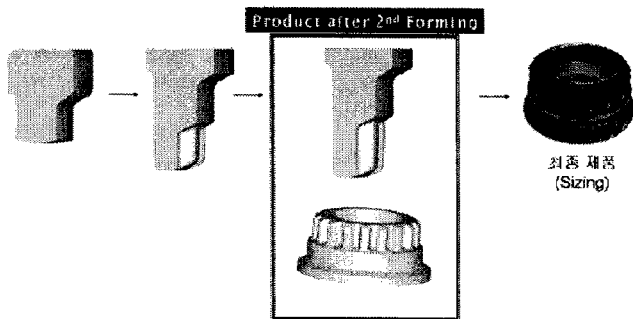


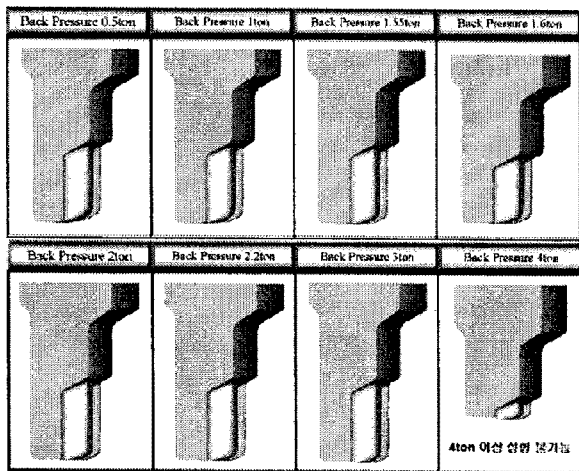
Fig. 3 The model and die design used FE-Analysis

Fig. 4 는 강소성 유한요소법을 이용하여 해석을 수행한 결과를 나타내고 있다. 배압력 4[ton] 이상에서는 성형이 불가능하며, 적절한 배압력을 결정하기위해 최종 제품에서의 유동속도와 변형률 분포를 측정된 결과 Fig. 5 와 같이 2~2.5[ton]에서 최적의 배압력으로 계산되어졌다. 그림에서 알 수 있듯이 기존 공정에 비해 배압 성형에서 유동 속도 및 유효변형률의 분포가 전체적으로 거의 동일하게 제어 되는 것을 확인 할 수 있다.

본 해석을 통해 결정된 배압력을 이용하여 실금형을 제작하여 실험을 수행하였으며, Fig. 6 은 실험과 해석에서의 하중값을 비교 분석한 결과이다. 실험에서 측정된 최고 하중값은 580[ton], 해석에 의해 계산되어진 값은 640[ton]으로 약 60[ton] 정도 차이를 보였다. 그러나 그림에서 알 수 있듯이 동일한 양상의 그래프가 나타나는 것을 확인 할 수 있다.

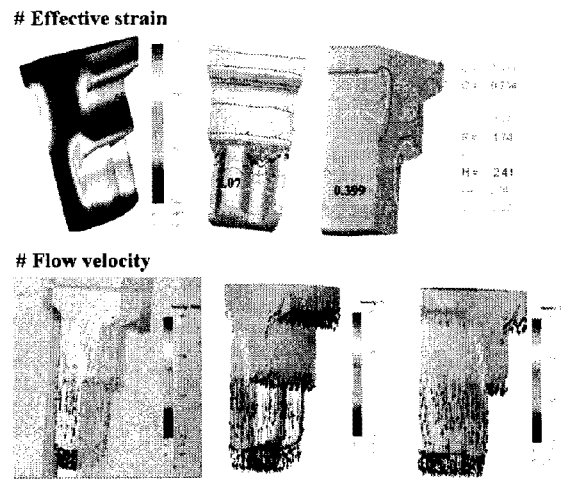


[a] Forming analysis result for Direct Extrusion

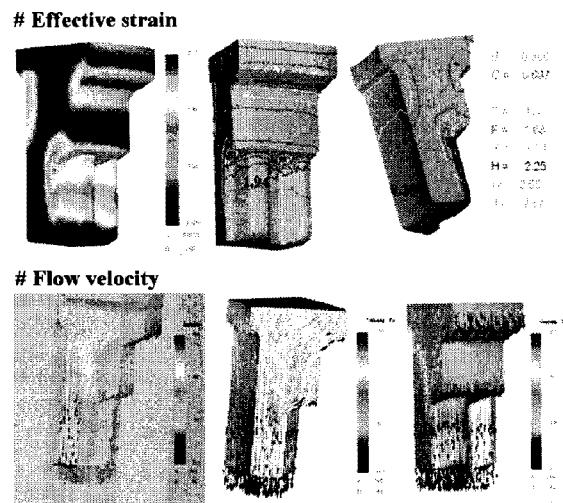


[b] Analysis results for back pressure

Fig. 4 The forming analysis results using Rigid-plastic FEM



[a] Direct Extrusion product



[b] Back pressure forming product(24ton)

Fig. 5 The comparison analysis of flow velocity and strain distribution in the final product

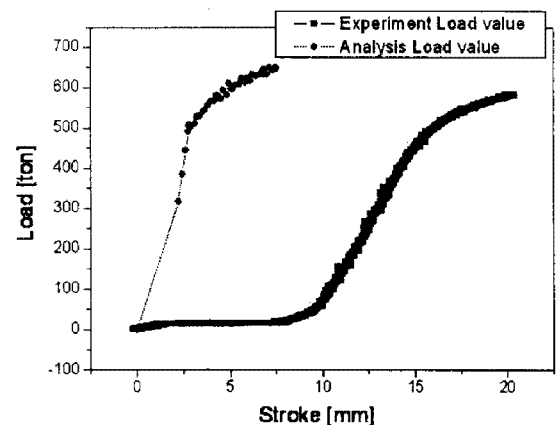


Fig. 6 The Comparison of forming load value

### 3. 리드정밀도 측정

본 실험에 사용된 장비는 800[ton]유압프레스를 사용하였으며, 배압력은 24[ton]의 배압력을 이용하여 실험을 수행하였다. 또한 배압력을 가하기 위해 특별히 제작된 유압기기를 사용하였다. 실험에 사용된 유압펌프의 최대 유압용량은 100[ton]이다. Fig. 7은 자동차용 부품인 록업허브의 기존 압출 공정에 의해 성형된 최종제품과 본 연구를 통해 개발된 배압성형품을 나타내고 있다. 제품의 리드 정밀도를 각 부위별로 비교 분석한 결과 압출품은 기준점에 비해 최대 25  $\mu\text{m}$ , 배압성형품은 60  $\mu\text{m}$ 의 차이를 보였다. 또한 배압성형품은 현재 양산되고있는 압출품에 비해 35  $\mu\text{m}$ 정도의 차이를 보였다. 측정은 정밀도가 높은 접촉식 3 차원 측정기를 사용하였다.

### 4. 결론

본 연구에서는 록업허브의 제조과정 시 배압력을 이용하여 제품의 품질을 향상시키고, 단조공정을 단축시키기 배압성형기술을 개발하였다. 제조과정 시 최적의 배압력을 얻기 위해 강소성유한요소해석을 수행하였으며, 계산에 의해 결정된 배압력을 이용하여 실험을 수행하였다. 또한 실험에 의해 제조된 시제품의 리드 정밀도를 측정하였다. 본 연구 결과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) 적정한 배압력을 결정하기 위해 8 가지 방안으로 배압력을 부가시켜 해석을 수행한 결과 48[ton]이상에서는 성형이 불가능하며, 20~25[ton]의 배압력이 최적의 배압력으로 계산되어졌다. 또한 유동속도 및 변형을 분포에서도 기존 압출성형품에 비해 배압성형품이 각 부위별로 동일한 분포로 속도가 제어되는 것을 확인 할 수 있었다.
- 2) 해석에 의해 결정된 배압력으로 실험을 수행한 결과 제품의 외형적 부분에서 기존제품에 비해 우수하였으며, 2 가지 제품에 대해 치형 부위의 리드정밀도를 비교 분석한 결과 압출품은 기준점에서 최대 25  $\mu\text{m}$ , 배압성형품은 60  $\mu\text{m}$ 의 차이를 보였다. 또한 배압성형품은 현재 양산되고있는 압출품에 비해 35  $\mu\text{m}$ 정도의 차이를 보였다. 본 실험과 해석을 통해 배압성형 기술을 개발하였으며, 특허를 출원하였다.

① Back pressure forging

② Direct Extrusion

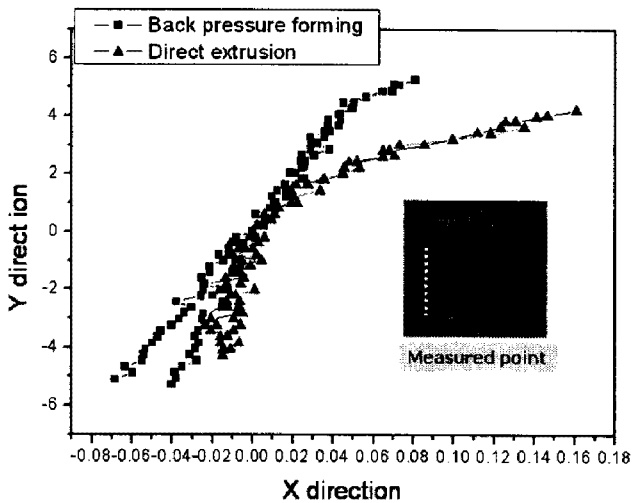


Fig. 7 The measurement result of lead precision using the CCMM

### 참고 문헌

- [1] P. W. J. Mckenzie, 2007, The influence of back pressure on ECAP processed AA 6016, Acta Materialia. Vol. 55, pp. 2985~2993.
- [2] Y. T. Im, 2007, Finite element investigation of equal channel angular extrusion with back pressure, J. of Mater. Process. Technol, Vol. 171, pp. 480~487.
- [3] A. Specker, 2007, Precision forging processes for high-duty automotive components, J. of Mater. Process. Technol, Vol. 185, pp. 139~146.
- [4] . S. Lee, 2000, Hot precision forging with a back-pressure of Al-Si Alloy for Scroll type compressor parts, T. of Mater. Process, Vol. 9, pp. 52~58.