

재료이용률 향상을 위한 Tube Injector의 냉간단조공정 유한요소해석

김현민*, 민규영**, 신경식***, 박용복***, 박성영*

*공주대학교 기계자동차공학부

**공주대학교 일반대학원 기계공학과

***(주)세립티앤디

e-mail : killjojo12@kongju.ac.kr

Finite Element Analysis for the Cold Forging Process of Tube Injector to Improve Material Utilization

Hyun-Min Kim*, Kyu-Young Min**, Kyung-Sic Sin***, Yong-Bok Park***,
Sung-Young Park*

*Dept of Mechanical Engineering, Kongju National University

**Dept of Mechanical Engineering, Kongju National University Graduate School

***SERIM T&D

요 약

자동차 디젤 분사장치의 하우징인 튜브 인젝터는 부품의 특성상 내식성, 내산화성, 강도 등을 필요로 하는 STS소재를 주로 사용하는데, 기존의 제조방법은 절삭가공이 주류를 이루었다. 그러나 생산성증대 필요성과 소재 이용률향상 및 제품의 고급화를 위하여 정밀냉간단조를 이용한 소성가공 방법이 최근에 시도되고 있다. 본 논문은 최적 정밀냉간단조 성형을 위해 유한요소법을 이용함으로써 정밀냉간단조 공정 및 금형설계의 기초자료를 제시하였다.

1. 서론

소성가공 산업은 차세대 성장 동력 유형 중 주력 기간 산업에 속하는 산업으로 신기술을 융합하여 지속적인 발전을 이루고 있다. 특히 자동차, 항공, 조선 등의 수송기계 및 풍력 일반산업 기계류 분야의 근간 기술을 형성하고 있다. 자동차용 튜브 인젝터는 인젝터를 제 위치에 유지시키고 냉각수로부터 보호하는 기능을 가지고 있다. 기존의 튜브 인젝터 절삭가공 공정은 원재료의 높은 손실, 절삭유의 사용에 따른 환경오염문제와 인젝터의 높은 압력으로 인한 체결부위와 노즐부위의 심한 마모 문제가 있다.

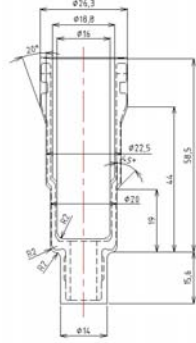
냉간단조시 금형 내부의 소재 유동은 금형의 형상, 금형과 소재의 마찰, 금형내의 압력에 따라 변화하며, 잘못된 공정 설계에 따른 금형형상은 제품의 미충진과 접힘 현상을 발생시켜 결함으로 이어진다. 또한 제품의 가공조건과 설계에 따라 다단계 단조공정을 통하여 최종제품이 생산된다. 그러므로 최적

공정 설계는 필수적이다. 본 연구에서는 단조공정에서 소재의 유동성, 변형률, 하중 및 금형응력을 확인하기 위해 유한요소해석 프로그램인 DEFORM-2D를 이용하였다.^[1-4] 실제 공정과 동일한 조건을 부여하여 해석을 수행하였으며, 해석 완료 후 제품의 각부에 발생하는 유동성 및 변형률을 분석하였다. 또한 기존공정에서 생산된 제품과 냉간단조공정에서 생산된 제품의 강도를 비교 분석하기 위해 제품을 절단하여 경도 측정을 수행하였다.

2. 유한요소해석

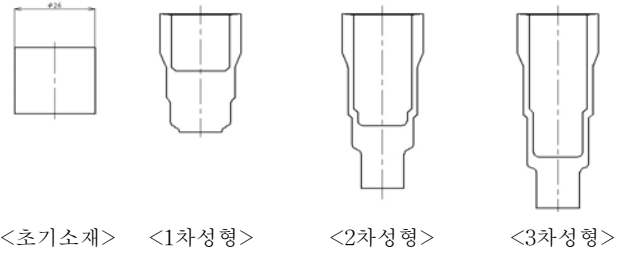
2.1 제품설계

그림1의 점선으로 표시된 부분은 절삭 가공시 완성된 제품을 표시한 것으로 이를 기초로 예상되는 공정상의 변형과 후가공을 고려한 단조치수를 나타냈다.



[그림 1] 단조치수

앞에서의 각 예비 기초해석결과를 토대로 그림4와 같은 공정설계가 제시되었다.



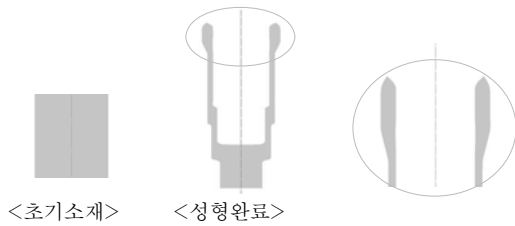
[그림 4] 3단계 공정설계

2.2 공정해석

튜브 인젝터의 초기소재크기는 $\varnothing 26 \times 29$ 이며, 물성은 SUS410이고 유동응력식은 다음과 같다.^[5]

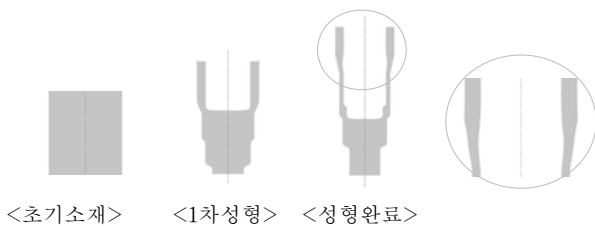
$$\bar{\sigma} = 960 \bar{\epsilon}^{0.1} \text{ [MPa]} \quad (1)$$

냉간단조 유한요소해석시 축대칭으로 해석하였으며 Punch의 속도는 5mm/s로 제어하였다. 그림2는 튜브 인젝터가 한번의 공정으로 성형이 가능한지 예측하기 위해 해석하였으며, 상단부분에 결함이 발생하여 공정 추가가 필요하다는 것을 확인할 수 있다.



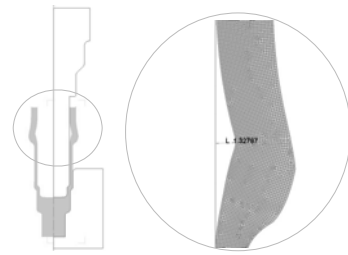
[그림 2] 상단부 치수 결함

공정을 추가할 경우 가공경화에 따른 성형성이 용이하지 못하므로 소둔처리를 해서 다음 공정을 진행한다. 그림3은 공정을 추가해 성형해석을 실시하였는데, 상단부가 벌어지는 결함과 제품의 치수 결함이 발생하였다. 이는 추가공정이 필요하며, 치수결함을 줄이기 위해 상단부의 성형을 1차 공정에서 완성시키는 것이 중요하다는 것을 확인할 수 있다.



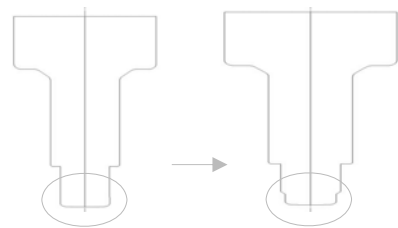
[그림 3] 성형결함

제시된 공정설계를 기초로 해석 시 2차 공정에서 성형결함이 발생하는데 그림5는 제품의 결함을 단적으로 보여주고 있다.



[그림 5] 2차 가공 결함

이러한 결함을 해결하기위해 다음과 같은 두 가지 방법이 제시되었다. 첫 번째 공정방법은 그림6에 보여진 것처럼 1차 공정의 펀치를 2차 공정과 동일한 형상으로 만들고 그림6에서 나타나있는 2차 공정 금형을 수정하여 해석하는 방법이다.

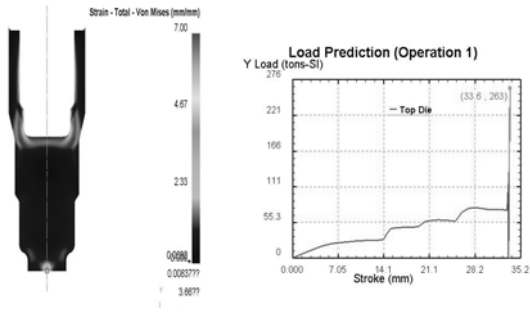


(a) 1차 펀치수정

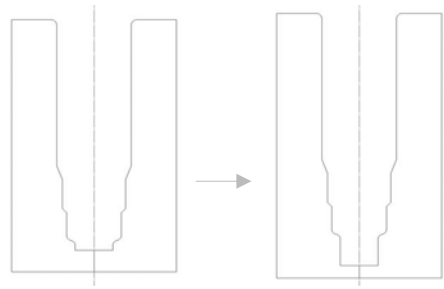


(b) 2차 금형수정

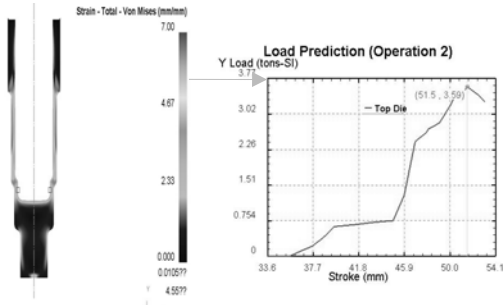
[그림 6] 펀치 및 금형수정



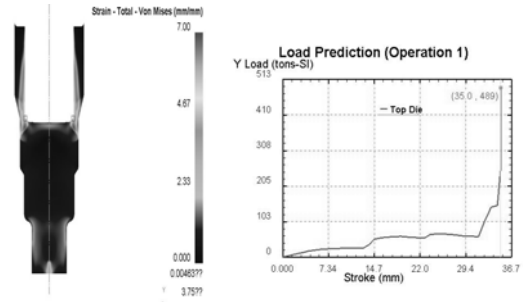
(a) 1차 공정



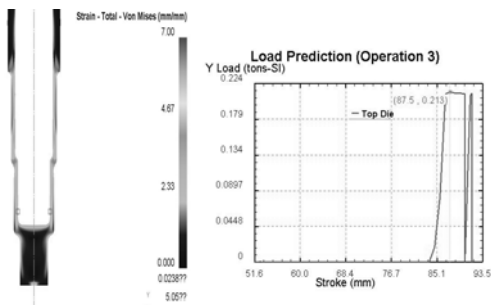
[그림 8] 1차 금형 수정



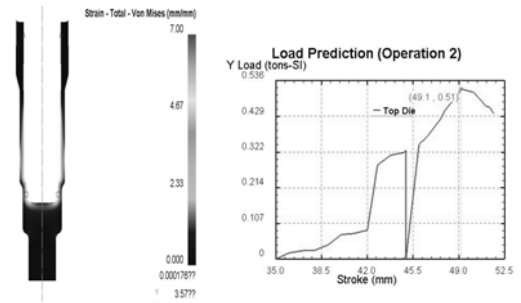
(b) 2차 공정



(a) 1차 공정



(c) 3차 공정

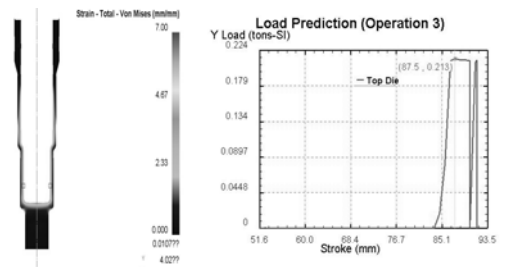


(b) 2차 공정

[그림 7] 각 공정별 유효변형률 및 하중

그림7은 1공정에서 3공정까지의 유효변형률과 하중을 각각 보여주고 있다. 1공정에서 하중은 263ton, 2공정에서는 3.59ton, 3공정에서는 1.29 ton이 작용한다. 1공정에서 하중이 급격히 증가한 이유는 밀폐단조로 공정을 수행했기 때문이며, 2, 3공정은 개방형단조로 수행해서 낮은 하중이 작용하였다. 1차 공정과 2차 공정 및 3차 공정사이에는 소둔을 실시하기 때문에 변형률을 0으로 만든 후 해석을 수행하였다.

두 번째 방법은 1차 공정 금형형상을 수정하는 방법으로 그림8에 보는 것과 같이 기존의 공정에서 하단부의 길이를 늘리는 방법으로 수정하였다. 이후 2차 및 3차 공정은 그림4에서 제시된 공정설계를 기초로 해석을 수행하였다.



(c) 3차 공정

[그림 9] 3차 공정 유효변형률 및 하중그래프

그림9는 1공정에서 3공정까지의 유효변형률과 하중을 보여주고 있다. 1차 공정의 경우 하중이 489 ton의 하중이 작용한다. 2차 및 3차 공정에서는 하중이 각각 0.51ton과 0.224ton이 작용하였는데 앞의

첫 번째 방법보다는 하중이 낮게 작용하였다.

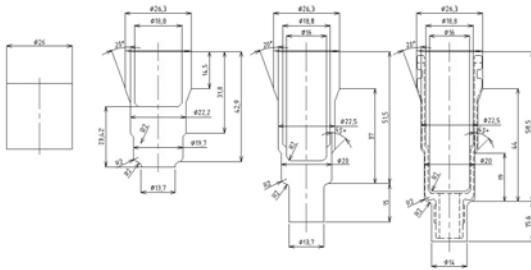
3. 결론

본 연구에서는 튜브의 재료 이용률 향상을 위한 냉간단조공정의 유한요소해석을 수행하였다. 표1을 통해 기존 절삭공정에서 보다 소재회수율 측면이 크게 증가함을 알 수 있다.

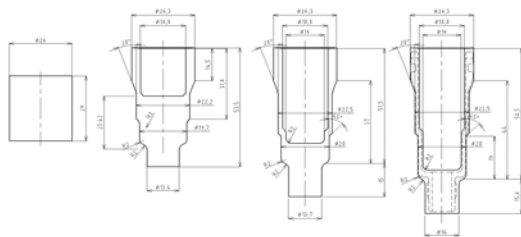
[표 1] 소재회수율

| | 소재(mm) | 체적(mm ³) | 비고 |
|------|------------|----------------------|--------|
| 절삭공정 | ∅26.4 × 71 | 39247.94 | |
| 단조공정 | ∅26 × 29 | 15396.95 | 약60% ↑ |

그림10은 앞에서 실시한 유한요소법을 바탕으로 제시된 두 가지 공정도이며, 향후 시제품 생산에 필요한 자료가 될 것이다. 또한 이와 유사한 제품설계와 공정도 및 금형설계의 기초자료로 활용할 수 있겠다.



(a) 첫 번째 공정도



(b) 두 번째 공정도

[그림 10] 공정도

참고문헌

[1] “DEFORM User’s Manual V7.2”, Scientific Forming Technologies Cooperation 박건형, 여흥태,
 [2] 김동진, 김병민, “이중 리브를 가진 냉간 압출품의

내 외부 결함 방지를 위한 공정 설계”, 한국소성가공학회지 논문지, 제8권, 제6호, pp.612-619, 1999.

[3] 고대철, 김병민, 조채찬, 오세욱, “허브냉간단조품의 공정설계”, 대한기계학회 논문집(A), 제20권, 제11호, pp.3387-3397, 1996.
 [4] 장용석, 최진화, 고병두, 이호용, 황경복, “숏넥 플랜지의 공정설계에 관한 연구”, 한국정밀공학회지, 제17권, 제6호, pp.127-134, 2000.
 [5] 허관도, “반응표면법을이용한 연료 분사하우징의 성형공정설계”, 한국소성가공학회 2004년도 추계학술대회 논문집, pp. 311-314, 10월, 2004.