

# 산소센서 하우징의 성형공정 설계 Forming Process Design for O<sub>2</sub> Sensor Metal Shell

\*김동민<sup>1</sup>, 김지환<sup>1</sup>, 한승상<sup>2</sup>, 김태선<sup>2</sup>, 채수원<sup>3</sup>

\*D. M. Kim(shadow@korea.ac.kr)<sup>1</sup>, J. H. Kim<sup>1</sup>, S. S. Han<sup>2</sup>, T. S. Kim<sup>2</sup>, S. W. Chae(swchae@korea.ac.kr)<sup>3</sup>  
<sup>1</sup> 고려대학교 기계공학부 대학원, <sup>2</sup>영신금속, <sup>3</sup>고려대학교 기계공학부

Key words : O<sub>2</sub> sensor, forging, FEM

## 1. 서론

최근 자동차의 운행 중 발생하는 배기 가스에 의한 환경오염 문제에 대한 관심이 크게 증가하고 있는 추세이다. 세계 각국은 이러한 배기가스에 의한 환경오염을 방지하기 위해 국제기구를 중심으로 온실가스 배출에 대한 엄격한 규제방안을 협의하고 이를 시행하고 있다. 이러한 자동차의 온실가스 배출을 줄이기 위한 노력의 일환으로 양산 자동차 업계에서는 자동차에서 배출되는 배기가스를 촉매를 통해 정화함으로써 온실가스의 배출을 줄이는데 많은 연구 개발을 하고 있다. 일반적으로 가솔린 자동차의 경우 이론공연비인 14.8:1 에서 가장 좋은 촉매 정화효율을 보이는데 이러한 공연비를 제어하기 위해 배기가스에 포함된 산소의 농도를 측정하여 ECU 로 전달하는 산소센서를 주로 사용한다.

국내 자동차 업계에 공급되는 가솔린 엔진용 산소센서의 핵심구성 부품인 하우징(metal shell)의 60% 가량이 일본의 단조 제품이나 상대적으로 가공비가 높은 절삭부품에 의존하고 있는 실정이다. 따라서 산소센서 하우징에 대한 성형공정을 개발하여 산소센서 하우징의 국산화를 실현하고 제품의 경쟁력을 높일 필요가 있다.

냉간단조공법은 소재의 가공효율이 높아 특수강 제품의 대량생산이 가능하나 복잡한 형상의 제품에 대한 성형가능성에 대한 연구가 미흡한 실정으로 이에 대한 연구개발이 필요하다.

## 2. 성형공정 결함 및 해석

### 2.1 다단계 성형공정 설계

본 논문에서 다루고자 하는 자동차용 산소센서 하우징의 냉간단조 성형공정은 일반적으로 Fig. 1 과 같이 여러 단계의 공정으로 이루어진다. 이렇게 여러 단계에 걸쳐 성형을 수행하는 이유는 최초 재료의 형상에 비해 최종 성형하고자 하는 제품의 형상이 크게 복잡하여 한번의 프레스 성형 가공만으로 원하는 형상을 얻기 불가능하기 때문이다[1].

산소센서 하우징의 재료로는 부식성에 강하고 단조효율이 높은 SUS430 계열의 재료를 선택하였다. 재료는 일정한 직경의 코일 형태로 공급되는데 이 코일을 성형하는데 적당한 크기로 절단하여 산소센서 하우징을 가공하게 된다. 본 연구에서는 산소센서 하우징의 성형에 사용되는 재료의 인장 시험 결과를 바탕으로  $\sigma = 543.25 \epsilon^{0.15}$  의 응력 - 변형률 관계[2]를 얻었으며 유한요소해석에 이를 반영하였다.

### 2.2 유한요소 모델

본 연구에서 다루는 산소센서 하우징은 전술한 바와 같이 여러 단계에 걸쳐 성형이 이루어 지므로 각각의 단계의 성형 과정에서 발생한 재료의 변화나 잔류응력이 다음단계의 성형에 영향을 미치게 된다. 따라서 유한요소해석을 통해 여러 단계에 걸친 성형공정을 모사하기 위해서는 이에 상응하는 유한요소모델이 필요하다. 본 연구에서는 DEFORM-2D[3]를 사용하여

각각의 단계에서 산소센서 하우징이 성형되는 과정을 모사하였다. 유한요소 모델은 Fig. 2 와 같이 산소센서 하우징의 재료에 대해 4 절점 축대칭 요소를 사용하였으며 금형은 강체로 설정 하였다[4].

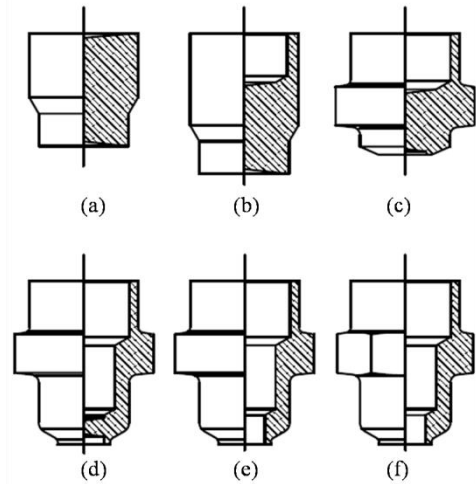


Fig. 1 Manufacturing process of O<sub>2</sub> sensor metal shell; multiple operations

### 2.3 유한요소 해석

본 연구에서 다루고자 하는 산소센서 하우징의 냉간단조 공정의 타당성을 평가하고자 Fig. 2 에 도시된 바와 같이 유한요소 모델을 작성하고 상용유한요소코드인 DEFORM-2D 를 이용하여 해석을 수행 하였다.

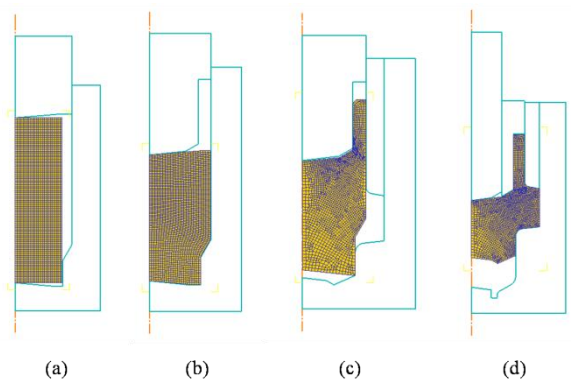


Fig. 2 FE models of O<sub>2</sub> sensor metal shell

일반적으로 강소성(rigid-plastic) 해석은 탄소성(elasto-plastic) 해석에 비해 시간소요가 적게 들지만 재료에 내재한 잔류응력 등에 대한 해석이 불가능하다는 단점이 있다.[3][5] 본 연구에서는 각각의 해석 방식의 장점을 이용하기 위해 다음과 같이 두 단계에 걸쳐 성형해석을 수행 하였다. 먼저 재료가 강소성(rigid-plastic) 거동을 하는 것으로 보고 해석을 수행하여 재료의 유동과 전체적인 응력 및 변형률 상태, 금형과 접촉면에서의 면압 등을 추출하고 이를 토대로 금형의 형상에 대해 수정 및 보완을 실시한다. 이 과정을 통해 재료의 성형이 원만하게

이루어 지는 것으로 판단되면 최종 결정된 금형의 형상을 이용하여 재료가 탄소성(elasto-plastic) 거동을 하는 것으로 보고 해석을 수행하였다.

**2.4 냉간단조 성형결합**

유한요소 해석 결과 여러 단계에 걸친 성형 공정에서 Fig. 1(d)에 해당하는 4 단계 성형과정에 재료에 가해지는 응력, 변형률이 특정지역에서 급격하게 증가하는 것으로 나타났다. Fig. 3 에 나타난 바와 같이 성형과정에 있어 재료의 유동이 불균일하게 나타나고 성형이 원활하게 일어나지 않는 것이 관찰되었다. 이러한 결과는 실제 성형과정에서도 발견된 문제를 반영하는 것으로 해당 단계의 공정 뿐 아니라 이전 단계의 공정에 대한 재설계 또한 필요한 것으로 판단된다.

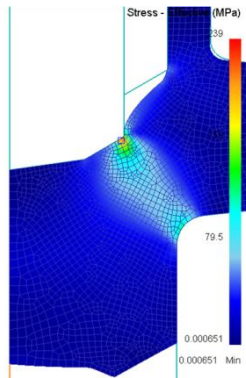


Fig. 3 FE simulation results of operation phase 4

**3. 성형공정 설계**

**3.1 설계변수 선정**

성형해석을 통해 문제가 있는 것으로 판단된 4 단계 성형과정은 3 단계 성형과정에서 가공된 재료의 형상에 의해 성형이 원만히 이루어지지 않았음을 알게 되었다. 따라서 본 연구에서는 3 단계(Fig. 1(c)) 성형과정에 대한 설계 변수를 추출하고 이 개선을 통해 4 단계(Fig. 1(d)) 성형공정을 개선하고자 하였다. 본 연구에서는 Fig. 4 와 같이 설계변수를 선정하였다. 설계변수의 선정에는 현장의 경험을 바탕으로 해당 변수의 치수에 따라 재료의 성형특성이 크게 변하는 것을 고려하여 선정하였다.

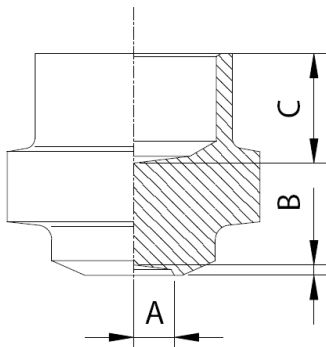


Fig. 4 Design parameters of phase 3 manufacturing operation

**3.2 설계변수에 따른 성형해석**

선정된 설계변수에 대해 실험계획법의 직교배열표에 따라 유한요소 모델을 작성하고 해석을 수행하였다.[6] 분석 결과 Fig. 4 의 A, B 치수를 증가 시키게 되면 4 단계 성형 과정에서 발생하는 문제점을 개선 할 수 있는 것으로 나타났다. 이와 같이 문제가 발생한 단계의 이전 단계(Fig. 1(c)) 에서 재료의 성형 형상을 조절 하여 다음 단계의 성형 형상이 크게 개선된 것을 확인 할 수 있었다.(Fig. 5)

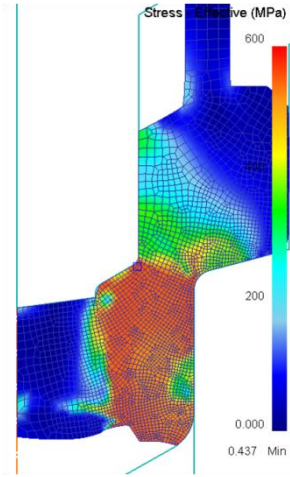


Fig. 5 FE simulation result of operation phase 4 with modified design parameters

**4. 결론**

본 연구에서는 국내 연관 업계에서 거의 행하여 지지 않는 산소센서 하우징의 냉간단조 공법을 통해 제품 성형공정을 개발하는 방법을 제시하였다. 본 연구에서 제시한 성형공정의 개발과정과 그 방법은 기타 유사한 형태의 부품에도 쉽게 적용될 수 있을 것으로 판단되며 유관 업계의 제품 국산화에도 크게 기여 할 수 있을 것으로 기대한다.

**후기**

이 논문은 산학연컨소시엄사업 (No. R0704801)의 지원과 2007 년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. R11-2007-028-01001-0).

**참고문헌**

1. Lange K., "Handbook of Metal Forming", McGraw-Hill, 1985
2. 김동원, "소성학", 청문각, 1996
3. DEFORM-2D User Manual
4. Badawy, A.A., Kuhlmann, D. J., Raghupathi, P. S. and Altan, T. "Computer-Aided Design of Multistage Forging Operations for Round Parts", J. Mech. Work. Technology, Vol. 11, no. 3, pp.259~274, 1995
5. K. J. Bathe, "Finite Element Procedures", Prentice Hall, 1996
6. Nam Pyo Suh, Axiomatic Design, Oxford University Press, 1990