

정밀냉간단조에 의한 엔진오일 누수방지용 자동차부품 개발

권혁홍[#] · 이봉규¹

Development of the Automobile Part for the Engine Oil Leakage Prevention by the Precise Cold Forging

H. H. Kwon, B. K. Lee

(Received July 20, 2005)

Abstract

This study was aimed at the design of the dies for the automobile part for the engine oil leakage prevention using the computer simulation to shorten the period of production, on the basis of the process planning which was designed by the field experts. In the computer simulation, 'eesy-2-form' of 2D FEM simulation package and 'eesy-DieOpt' have been used, which are the commercial process analysis and die design program. Through the simulation of 'eesy-2-form', we could know the propriety of the forming process, the inner pressure of the die and the suitable fitting pressure between the insert and the sleeve which was not showing any positive tangential stresses in the insert. Through the simulation of 'eesy-DieOpt', we could know the number of the stress ring, the diameter ratios, the stresses of the die, the shrink fitting tolerance and temperature in the condition of the already determined maximum outer die diameter of the multi-stage former. The validity of the die design using the computer simulation was analyzed by the experiments and the results were satisfactory. As the results of this study, the new and easy die design system for cold forging has been developed.

Key Words : Computer Simulation, Die Design, Process Planning, Process Analysis, Cold Forging

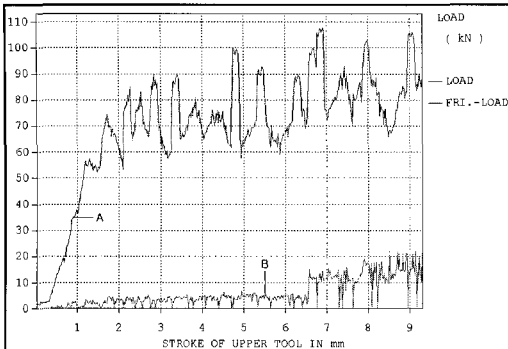
1. 서 론

냉간단조성형은 설비 및 금형의 성형능력의 한계를 적절히 이용하여 저가의 최소 원재료를 투입하여 압출, 업세팅, 피어싱 등의 여러 공정을 거쳐 원하는 균일한 제품의 형상을 최종형상에 가깝도록 대량생산하는 방법이다. 자동차 부품 등이 냉간단조공정에 의하여 많이 생산되고 있으며, 소재의 손실을 최소화하고 가공경화로 인한 기계적 성질의 향상 및 금속유동의 연속성으로 인한 강도향상의 효과를 가져올 수 있고 생산비용이 절삭가공에 비하여 상당히 절감되기 때문에 오늘날

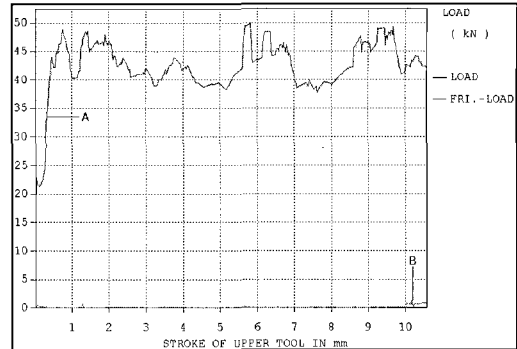
산업현장에 널리 사용되고 있다. 그러나 성형시 상당한 압력을 필요로 하기 때문에 냉간단조 시 문제가 되고 또한 중요한 것은 최적의 공정 및 금형을 설계하는데 있다. 이를 위하여 많은 학자들이 관련 연구들[1~8]을 해왔으며, 앞으로도 이러한 연구는 지속되리라 판단된다. 이들 방법의 공통적인 특징은 모두 CAE 기법을 도입함으로써, 가상공정을 통하여 실제 금형제작 및 제품생산을 위한 시행착오에 발생하는 시간 및 비용을 절감하고자 하였다.

본 연구 또한 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 현장전문가가 경험에 의거한 공정설계에 대하여

1. 대전대학교 과학영재교육원
교신저자: 대전대학교 컴퓨터응용기계설계공학과
E-mail: hhkwon@daejin.ac.kr

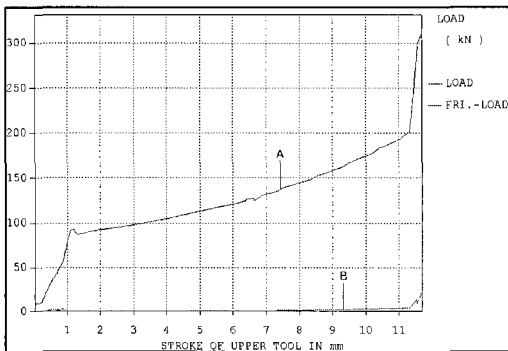


(a) #1 process

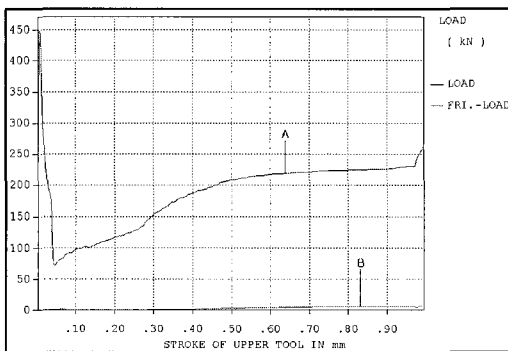


(e) #5 process

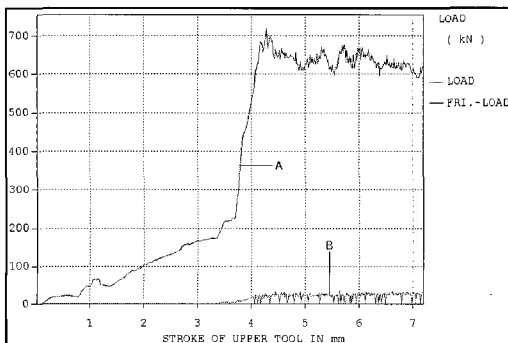
Fig. 3 The forming load of each process



(b) #2 process



(c) #3 process



(d) #4 process

로써 성형가능성을 검토하였는데, 유효변형률과 유효응력이 성형한계치를 벗어나지 않음을 알 수 있었다. 그리고 성형하중을 검토함으로써 다단 성형기의 성형하중능력 범위 내에 있는지를 확인하였다. Fig. 3의 그래프는 각 공정별 하중을 나타내는데, 선B는 다이와 소재의 마찰에 의해 소요되는 성형하중을 나타내며, 선A는 마찰력이 포함된 전체 성형하중을 나타낸다. 각 공정별 최대성형하중은 각각11톤, 32톤, 45톤, 72톤, 5톤 정도로 모두 더한 값이 다단 성형기의 성형하중 범위 내에 있음을 확인할 수 있었다. 결국, 설계된 공정은 소재의 성형한계치와 다단포머의 성형능력을 고려하였을 때 공정이 적절하게 설계되었음을 알 수 있었다.

3. 금형설계 및 검토

3.1 금형설계 규칙

규칙 1) 초경합금(carbide)의 경우, $\sigma_{phi} < 0$ 와 $\sigma_{yy} < 0$ 의 조건을 모두 만족하여야 한다.

규칙 2) 고속도공구강(high speed steel)의 경우, $\sigma_{yy} < 200\text{MPa}$ 의 조건을 만족하여야 한다.

규칙 3) 초경합금의 경우 σ_{yy} 가 어느 지점에서 0보다 클 경우는 금형이 파손되는데, 이것을 방지하기 위해서는 그 지점에서 분할해야 된다.

규칙 4) 초경합금의 경우 σ_{phi} 가 0보다 클 경우 금형이 파손되기 때문에 이것을 방지하기 위해서는 인서트에 예압력(pre-straining)이 작용하도록 해야 한다.

규칙 5) 열박음에 의해서 다이를 끼워맞춤할 경우, 열박음 온도(fitting temperature)는 슬리브(sleeve)나

케이스(casing)로 사용된 재질의 담금질(tempering) 온도보다 50℃정도 낮게 한다.

3.2 금형설계

공정해석 시뮬레이션을 통해 중간형상, 공정순서 및 공정수 등에서 적절성이 입증된 각각의 공정에 대하여 최적의 금형을 설계하고자 하였다. 4번 공정을 예로 들면, 먼저 재질이 G7인 분할하지 않은 임의의 인서트 외경에 대해서 원주방향 응력 σ_{phi} 의 값이 0이하가 되도록 하는 예압을 알기 위하여 몇 가지 경우의 외력을 가하여 금형강도를 해석하였다. 그 결과 Fig. 4와 같이 약 700MPa 정도의 예압이 인서트에 주어졌을 때는 Fig. 5와 같이 인서트의 원주방향응력이 모두 0보다 작아짐을 알 수 있었다. 그러나 축방향 응력은 Fig. 6과 같이 상단 코너부분에서 0보다 큰 707.7MPa

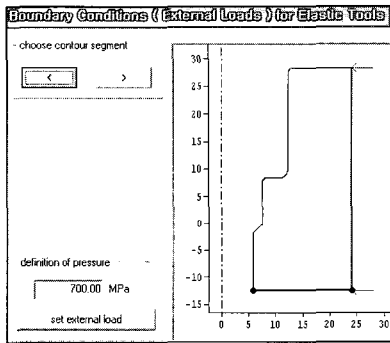


Fig. 4 The boundary condition in order to know the external load which does not show any positive tangential stresses in the insert

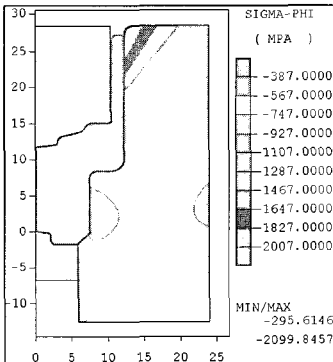


Fig. 5 Tangential stresses of the insert not being split in the #4 process when the external load is 700MPa

로 나타나 이 부분에서는 분할해야 함을 알 수가 있다. 다이 분할 후 윗 부분에 대하여 다시 다이의 강도해석 결과, 분할다이의 윗 부분에서는 500MPa 정도의 예압만 가해져도 원주방향응력 σ_{phi}

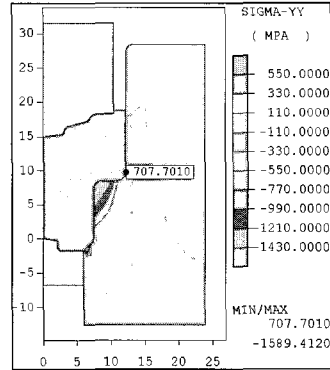
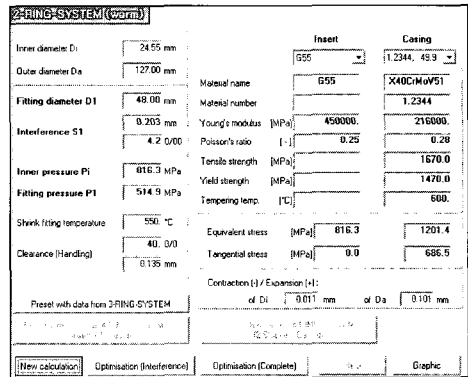
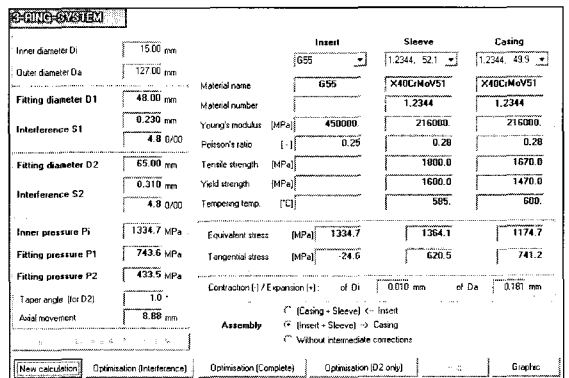


Fig. 6 The axial stress of the insert not being split in the #4 process

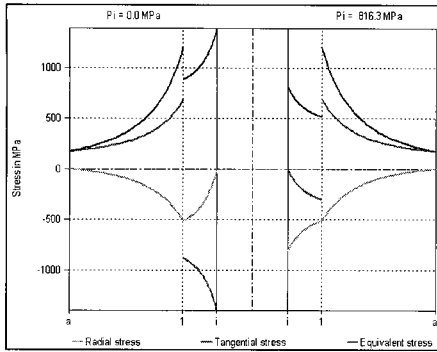


(a) upper part of the split dies

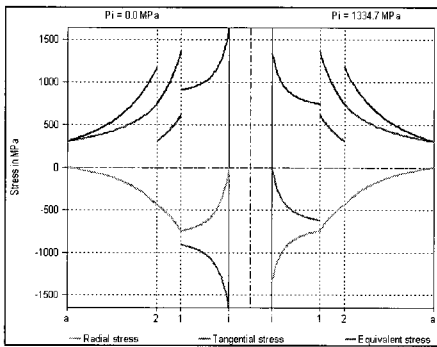


(b) lower part of the split dies

Fig. 7 Die design for the #4 process



(a) upper part of the split dies



(b) lower part of the split dies

Fig. 8 Distribution of stresses in the insert, sleeve and casing

가 0 이하가 됨을 확인하였다. 이러한 성형 시에 필요한 예압들을 근거로 해서 ‘eesy-2-form’ 관련 다이설계 프로그램인 ‘eesy-DieOpt’를 이용하여 다이를 설계한 결과를 Fig. 7 에 나타내었다. 다이의 외경은 127mm 이며 인서트의 외경(fitting diameter)을 48mm 로 하였을 경우 분할다이의 윗 부분은 인서트와 케이스의 구조만으로도 514.9MPa 의 예압이 생성됨을 알 수가 있으며, 이때 끼워맞춤공차는 0.203mm 이며 끼워맞춤온도는 550℃이다. 다이 아래 부분은 인서트와 슬리브, 케이스의 구조로 조립하였을 경우에만 700MPa 이상의 예압이 발생되었는데, 인서트의 외경을 48mm, 보강링(sleeve)의 외경을 65mm, 끼워맞춤공차를 각각 0.23mm, 0.31mm 로 한 결과 생성된 인서트에 가해지는 예압은 743.6MPa 였다. 이때 보강링의 재질은 SKD61(Hrc 52.1), 케이스의 재질은 SKD61(Hrc 49.9)이다. 다이의 조립순서는 인서트와 보강링을 먼저 조립 후 케이스를 조립하는 것으로 하였다. 분할다이 등의 응력분포도는 Fig. 8 에 나타내었으며, 모두 재질의 성형한계치 이내에 있음을 알 수

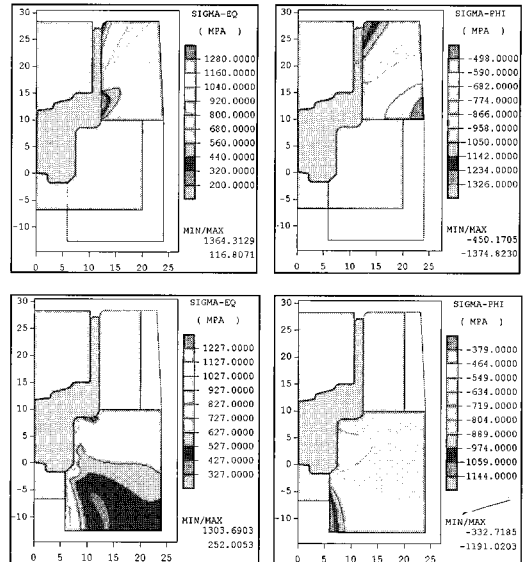


Fig. 9 Equivalent stresses and tangential stresses of the split dies for the #4 process

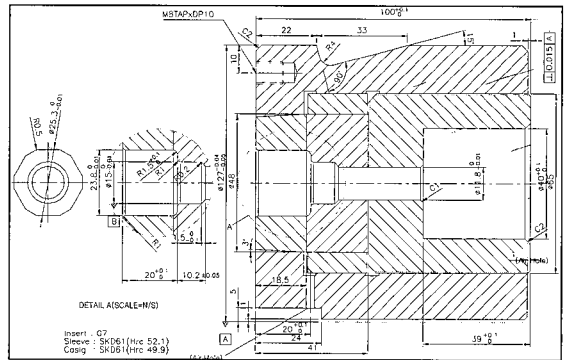


Fig.10 Drawing of die design for the #4 process

있다. 이렇게 하여 현 공정의 성형을 위하여 설계한 금형에 대하여 다시 강도해석을 한 결과를 Fig. 9 에 나타내었다. 분할다이의 윗 부분과 아래 부분, 슬리브와 케이스의 상당응력과 원주방향응력 모두 사용된 재질의 성형조건 한계 범위 내에 있음을 알 수 있었다. 이러한 여러 가지 금형강도에 대하여 해석한 내용들을 근거로 하여 다이를 설계하였으며, 4 번 공정을 위한 금형에 대한 설계도면을 Fig. 10 에 나타내었다.

3.3 금형제작 및 실험

Fig. 11 은 제품을 생산하기 위하여 제작한 금형의 사진이며, Fig. 12 는 200 톤의 성형능력을 가진

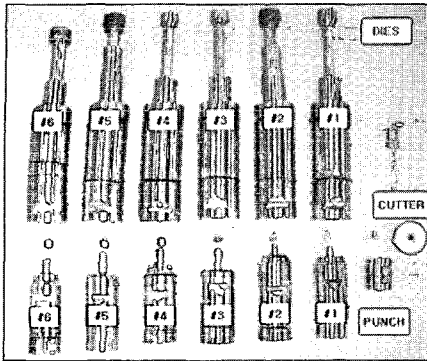


Fig.11 Photo of dies for the forming process of Fig.1



Fig.12 Photo of products produced by the die for each process

다단포머를 이용하여 제작한 금형을 이용한 공정별로 이루어진 제품의 형상 사진이다. 사진에서 보는 것처럼 실험 결과 원활하게 각 공정 별로 성형이 이루어졌음을 알 수 있다. 정밀도나 표면조도 등도 오차범위 내에서 성형되었음을 알 수 있었으며, 결국 원하는 제품의 형상을 얻을 수 있었다.

4. 결론

이 연구로 인하여 생산현장의 전문가가 경험에 의하여 어떤 형상의 최종제품을 성형하기 위한 공정설계에 대하여 이 공정설계의 타당성을 시물레이션을 통해서 검토하고 또한 이것을 근거로 하여 다이를 설계하는 손쉬운 방법을 개발하였다. 그리고 이 방법을 통한 다이설계의 적절성을 실제로 다이를 제작하여 테스트를 하고 생산현장에 적용시킴으로써 검증하였다. 이 연구를 통한 다음과 같은 결론을 내릴 수 있었다.

(1) 현장전문가의 경험과 지식을 컴퓨터 시물레이션과 접목시켜 성형해석을 통한 공정설계의 타당성을 검토하고, 이를 바탕으로 금형을 제작하는 것은 시간과 비용을 절감하여 제품을 생산할 수 있는 아주 유용한 방법이다.

(2) 이 시스템을 적용하여 금형을 제작 후 실험

한 결과 양호한 제품이 생산되었으며, 실제로 생산현장에 적용한 결과 금형의 파손없이 10 만개 이상의 제품을 생산할 수 있었다. 따라서 공학적 지식이 많지 않은 현장전문가도 손쉽게 이용할 수 있는, 상용 성형해석 및 금형설계 프로그램을 적용한 새로운 형태의 금형설계 방법을 개발하였다

후 기

본 연구는 2005 학년도 대전대학교 학술연구지원사업의 연구비지원에 의해 행해졌으며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] H. Y. Cho, G. S. Min, C. Y. Jo, M. H. Kim, 2003, Process design of the cold forging of a billet by forward and backward extrusion, J. Mater. Process. Technol, Vol. 135, pp. 375~381.
- [2] 박철우, 조천수, 김철, 김영호, 최재찬, 2004, 준축대칭 제품 냉간단조용 전문가시스템 개발-다단포머 금형의 수평분할 및 최적설계, 한국정밀공학회지, 제 21 권, 제 9 호, pp. 32~40.
- [3] 전만수, 이민철, 류찬호, 조홍석, 2000, 단조용 금형세트 설계용 구조해석 시스템 AFDEX/DIE 한국소성가공학회지, 제 9 권, 제 2 호, pp. 165~170.
- [4] 허판도, 최영, 여홍태, 2001, 정밀 냉간단조 금형설계를 위한 보강링의 영향, 한국정밀공학회지, 제 18 권, 제 12 호, pp. 145~151.
- [5] 허판도, 최영, 여홍태, 2003, 플렉시블 허용오차법을 이용한 예압된 금형설계에 관한 연구, 한국소성가공학회지, 제 12 권, 제 2 호, pp. 116~122.
- [6] 이봉규, 권혁홍, 조해용, 2002, 비축대칭 제품의 냉간단조 공정설계시스템의 개발, 한국소성가공학회지, 제 11 권, 제 5 호, pp. 405~413.
- [7] 박종욱, 이준호, 정성운, 2002, 준축대칭 제품의 냉간단조 공정설계 및 금형설계 자동화 시스템 개발, 한국정밀공학회지, 제 19 권, 제 1 호, pp. 107~118.
- [8] 박철우, 강정훈, 이준호, 김철, 김문생, 최재찬, 2003, 다단포머-볼트류 공정 및 금형설계 자동화 시스템 개발, 한국정밀공학회지, 제 20 권, 제 4 호, pp. 29~38.