

다단-포머를 이용한 오토트랜스 미션용 솔레노이드 밸브 공정설계 및 유한요소해석

박 철 우†

(원고접수일 : 2008년 7월 7일, 원고수정일 : 2008년 10월 18일, 심사완료일 : 2008년 11월 14일)

Finite Element Analysis and Process Planning about the Auto Transmission Solenoid Valve using of Multi-Former

Chul-Woo Park†

Abstract : The process design of forward Extrusion and Upsetting of Axi-symmetric part has been studied in this paper. During the cold forging product; auto transmission Solenoid Valve part, the defects such as folding and under-fill can be appeared by the improperly controlled metal flow. In this study, to reduce the folding and under-fill the design of experiments has been used to find out the significant design variables in the design of forging process. This paper deals with an Process Planning with which designer can determine operation sequences even after only a little experience in Process Planning of Multi-Former products by multi-stage former working. The approach is based on knowledge-based rules, and a process knowledge-base consisting of design rules is built. Based on the systematic procedure of process sequence design, the forming operation of cold forged auto transmission Solenoid Valve part is analyzed by the commercial Finite Element program, DEFORM/2D.

Key words : Auto transmission solenoid valve(오토트랜스 솔레노이드 밸브), Multi-Former(다단-포머), Process planning(공정설계), FEA(유한요소해석), Folding(폴딩)

1. 서 론

냉간 단조품의 공정설계에 컴퓨터를 응용한 최초의 연구발표는 Noack⁽¹⁾이 1973년에 축대칭 냉간 단조품의 공정설계 및 비용계산을 위한 프로그램을 개발하면서 시작되었다. 1977년 Lengyel⁽²⁾은 컴퓨터를 이용하여 여러 가지 냉간 단조 공정들 중에서 최적의 공정을 선정해 내는 방법을 제안했다.

Altan⁽³⁾ 등은 업세팅 및 전방압출을 고려한 공정설계용 전문가 시스템을 개발하였다. Bariani⁽⁴⁾은 공정설계, 비용계산 및 다단가공 시 작업시간을 예측하는 냉간 단조 공정설계 전문가 시스템을 개발했다.

솔레노이드 밸브는 자동차의 자동변속기 파워트레인의 부속품으로써, 엔진의 동력을 트랜스미션에 전달하는 변속기구이다. 수동변속기의 GEAR비에

† 교신저자(부산대학교 기계공학부, E-mail: p016535@empal.com, Tel: 051)510-1013)

의한 기계적인 변속을 행하는 것에 비유되는 자동 변속기 차량의 동력전달장치는 솔레노이드 밸브가 유체의 유압을 변속 제어기능을 수행하여 연비향상과 고속 시 큰 구동력을 얻기 위해서 사용된다. 고속 전자석을 이용한 솔레노이드 밸브는 자동변속기 내의 클러치 및 브레이크에 작용하는 유압을 최적의 상태가 되도록 제어해서 변속시의 승차감을 향상시켜 주는 것이다.

본 연구에서는 숙련된 기술자의 경험, 축적되어온 관련 연구결과, 소성가공이론, 유한요소해석을 통한 최적의 공정변수로 기술 지식베이스를 구축한 후, 컴퓨터를 이용한 솔레노이드밸브 제품의 제조를 위하여 다단 포머에 의한 냉간 단조 공정 및 해석을 수행하겠다. 설계규칙을 바탕으로 Auto Cad를 이용한 창출 될 수 있는 가공 가능한 공정을 공정설계에서 창출하며, 창출되어진 공정설계 중에서 가장 최적의 공정을 검증하기 위해서 DEFORM/2D를 이용해서 해석하였다. 유한요소해석을 바탕으로 최적의 공정설계를 창출하도록 한다.

2. 설계 규칙

본 연구에서는 다단-포머 냉간 단조품의 소재 직경 결정에 대한 규칙, 공정설계에 대한 설계규칙으로 나누어지고, 소재 직경결정에 대한 설계규칙에서는 제품의 형상에 따른 직경결정의 방법을 보여

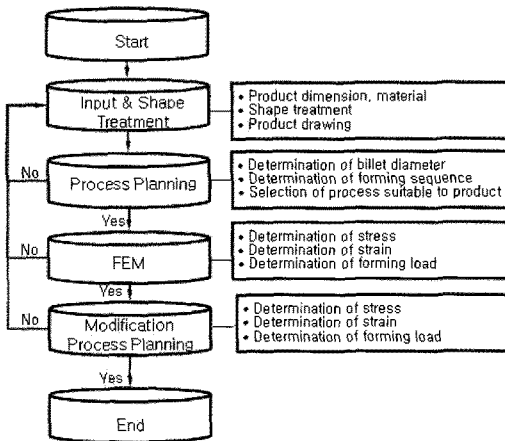


Fig. 1 The procedure of process design

준다. 공정설계에 대한 설계규칙은 제품의 압출률과 성형한계를 바탕으로 설계규칙이 만들어 졌다. 이와 같은 구성은 냉간 단조의 성형순서, 공정변수, 금형설계 및 생산현장 전문가의 경험적 지식에서 추출하여 일반적이고 이론적으로 모순이 없는 사항에 대하여 규칙베이스로 구축하였다. Fig. 1 냉간 단조품에 대한 성형공정순서를 나타내고 있다.

2.1 소재 직경 결정에 대한 규칙

규칙 1)^[5] 중실 제품에서 제일 작은 직경의 중실 변형률(SS)이 한계 구속 변형률(LSTS)+2×한계 비구속 변형률(LSOS)보다 크면 소재 직경을 줄여야 한다.

규칙 2) 공정에 따른 성형 한계 값의 정의를 Fig. 2에 나타내었다.

$$SS = \ln \frac{d_0^2}{d_1^2}, \quad SLDR = \frac{l_0}{d_0}$$

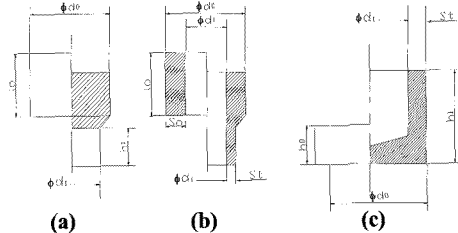


Fig. 2 Comparison of configuration & dimensions between initial billet and final product

2.2 공정설계 규칙

규칙1)^[5] 중간단계의 예비성형의 치수를 결정하려면 체적일정 법칙을 사용한다.

규칙2) 다음 단계의 형상이 성형되어야 하면 앞 단계의 예비성형품은 변형되는 영역과 변형되지 않는 영역으로 구성된다.

규칙3) 최종 제품의 단이진 부품이면 일련의 작업 순서에 의하여 생산되어야 하며 각 작업은 하나의 변형영역을 만든다.

규칙4) 다단 부품의 소재 직경은 제품의 최대직경과 최소직경의 사이에 있다.

- 규칙5) 가공공정 단축을 위하여 성형 시에는 각 작업에서 한계변형률이 부품요소의 변형률보다 클 때에는 부품요소의 변형률까지, 한계 변형률이 부품요소의 변형률보다 작을 때에는 가능한 최대성형 한계까지 성형하며, 성형되지 못한 양은 다음 공정에서 수행한다.
- 규칙6) 중실제품에서 제일 작은 직경의 중실변형률(SS)이 한계구속변형률(LSTS) + 2×한계비구속변형률(LSOS)보다 크면 소재 직경을 줄여야 한다.
- 규칙7) 중실제품에서 제일 큰 직경의 업세팅직경비(ULDR)가 한계 업세팅 직경비(LULDR)보다 크면 소재 직경을 늘여야 한다.
- 규칙8) 다단제품이 중실 형상이면 압출과 업세팅의 결합으로 성형된다.
- 규칙9) 제품에서 제품 직경이 소재 직경보다 작으면 압출한다.
- 규칙10) 제품에서 제품 직경이 소재 직경보다 크면 업세팅한다.
- 규칙11) 제품에 내부 구멍이 있으면 캔 압출한다.
- 규칙12) 구속 전방압출에서 다이 벽면과 소재 사이의 간극(clearances)은 0.02~0.05mm이다.
- 규칙13) 중실부품의 공정순서는 먼저 압출공정을 하고 업세팅 공정을 한다.
- 규칙14) 나사부와 나사부 상단의 압출비가 18%이 하인 경우에는 전방압출과 예비업세팅을 동시에 수행할 수 있다.
- 규칙15) 중실변형률(SS)이 한계비구속변형률(LSOS)보다 작으면 비구속압출로 성형한다.
- 규칙16) 중실변형률(SS)이 한계비구속변형률(LSOS)보다 크고 한계구속 변형률(LSTS)보다 작으면 구속압출로 성형한다.
- 규칙17) 동시에 2단 구속압출은 다이의 마모를 고려하여 한번에 성형하지 않는다.
- 규칙18) 한번 구속압출이나 비구속압출을 받은 부분은 다음에 구속압출로 성형할 수 없다.
- 규칙19) SS가 LSTS+LSOS보다 작으면 먼저 LSTS까지 예비성형한 다음 비구속 압출로 작업을 완성한다.
- 규칙20) SS가 LSTS+LSOS+LSOS보다 작으면 먼저 LSTS까지 예비성형하고 그 다음 비구속 압출로 작업을 완성한다.
- 규칙21) 중실업세팅 길이 대 직경비(ULDR) ≤ 2.25 이면 한번에 자유업 세팅된다.
- 규칙22) 2.25 < ULDR ≤ 4.5이고 중실업세팅 직경비(UDDR) ≤ 1.3이면, 한번에 원통업세팅된다.
- 규칙23) 2.25 < ULDR ≤ 4.5이고 UDDR > 1.3이면, 예비업세팅을 한 다음 원통업세팅된다.
- 규칙24) 2회 업세팅을 수행할 경우 1차 업세팅에서 원추형 예비성형체를 성형한다.
- 규칙25) 4.5 < ULDR ≤ 6.5이고 UDDR ≤ 1.3 이면, 한번에 원통업세팅된다.
- 규칙26) 4.5 < ULDR ≤ 6.5이고 UDDR > 1.3 이면, 2회 예비업세팅과 원통업세팅이 필요하다.
- 규칙27) 업세팅 성형후의 지름은 성형 전 지름의 2.2배를 초과하지 못한다.
- 규칙28) 동시에 양끝 단의 구속 전방압출은 결합 가공할 수 없다.
- 규칙29) 두 단계의 연속된 전방압출 공정의 경우 하단의 전방압출이 비구속으로 수행될 때에 한하여 2단 동시압출을 사용한다.
- 규칙30) 다단 업세팅은 업셋비가 2.3보다 작은 경우에 한하여 수행한다.
- 규칙31) 구속 전방압출과 업세팅은 결합 가공할 수 없다.
- 규칙32) 예비업세팅과 원통업세팅은 결합 가공할 수 없다.
- 규칙33) 비구속 전방압출과 업세팅이 결합가공이면, 금형 내 일정길이의 소재 구속부가 필요하다.
- 규칙34) 전방압출과 후방압출이 연속으로 수행이 되며 두 공정이 모두 데이터베이스에 저장되어 있는 소재의 제한 압출비 내에서 성형이 될 경우 결합압출을 사용하여 1회에 성형한다.

3. 공정설계 및 유한요소해석

3.1 단조도면 설계

본 논문에 사용한 자동차 오토 트랜스미션용 슬레노이드 밸브의 단면도는 Fig. 3과 같다. 업세팅과 전후방압출의 성형공정을 동시에 이용해서 제품을 완성한다. Fig. 4는 단조 후 기계가공을 최소화시킬 수 있는 단조도면을 나타내고 있다. 하부 쪽은 압출에 의해서 공정이 이루어지며 상부 쪽은 업세팅에 의해서 공정이 이루어진다. 제품의 형상은 진원도를 맞추기 위한 최소한의 가공여유를 두었다.

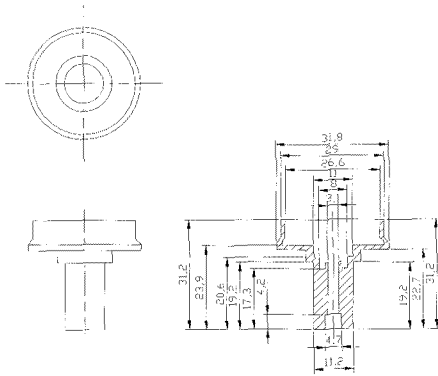


Fig. 3 A drawing of machined part

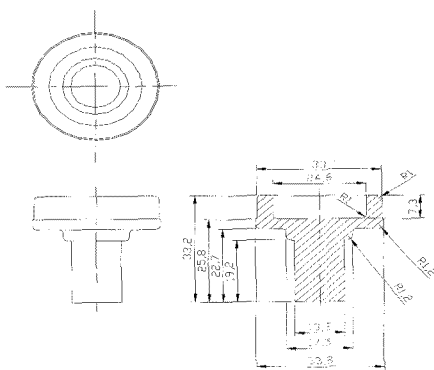


Fig. 4 A drawing of forged part

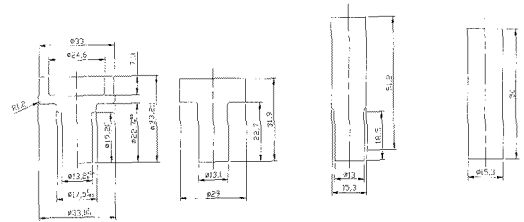
3.2 초기소재의 선정

일반적으로 냉간 단조에서 초기 소재의 직경은 단조 하중을 최소화하고 변형률 분포를 균일하게

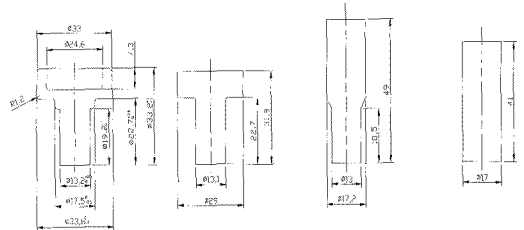
할 수 있도록 최종제품의 직경중의 하나를 선택한다⁽⁶⁾. 따라서 본 연구에서는 단조도면에서 작업성을 고려하여 초기 소재의 직경을 $\varnothing 15.3\text{mm}$, $\varnothing 17\text{mm}$, $\varnothing 19.7\text{mm}$ 로 결정하였다. 초기 소재의 직경은 단면감소를 30%, 50%, 80%를 기준으로 결정하였다.

3.3 공정설계 및 유한요소해석

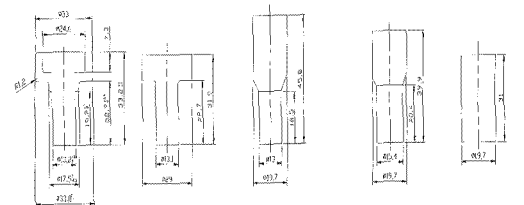
Fig. 5(a)는 제품의 가장 아랫단의 단면수축률 30%로써 이루어진 공정설계이다. Fig. 5(b)는 단면수축률 50%로 이루어진 공정설계이다. Fig. 5(c)는 단면수축률 80%로 이루어진 공정설계이다.



(a) In case of the billet diameter, 15.3mm



(b) In case of the billet diameter, 17mm



(c) In case of the billet diameter, 19.7mm

Fig. 5 Process Planning drawings generated according to the design rules

설계규칙에 의해서 결정되어진 소재 직경을 이용해서 공정설계를 수행하였다. 공정설계 되어진 도

면의 타당성을 검증하기 위해서 강의 소성가공 유한요소 해석 전용 소프트웨어 DEFORM/2D를 이용하였다. 재료의 재질은 STAINLESS STEEL [AISI-403]를 사용하였다. Shear 마찰계수 0.25를 사용하였다.

Fig. 6는 단면수축률 30%에 대한 공정설계의 유한요소해석이다. 전방압출 이후에 업세팅 작업에서 재료의 폴딩(folding)이 발생하고 있다. Fig. 7는 단면수축률 50%에 대한 공정설계의 유한요소해석을 나타내고 있다. 윗부분에서 재료의 폴딩이 발생하고 있다. Fig. 8은 단면수축률 80%에 대한 공정설계의 유한요소해석을 나타내고 있다. Fig. 5의 (a), (b), (c)의 공정설계는 재료의 폴딩이 발생하고 있다. 윗부분의 성형에서 가장 많은 성형하중이 작용하고 있다. Fig. 9는 단면감소율 80%에 대한 성형하중을 나타내고 있다. 윗부분의 성형하중을 분산시킬 수 있는 공정설계가 창출되어야 한다.(step1=136KN, Step2 = 201KN, Step3 = 375KN, Step4 = 611KN)

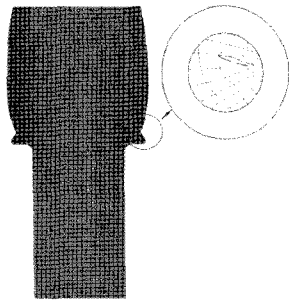


Fig. 6 Simulation of folding with the preform, extrusion with ration 30%

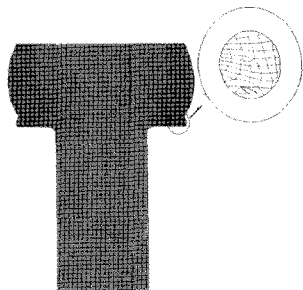


Fig. 7 Simulation of folding with the preform, extrusion with ration 50%

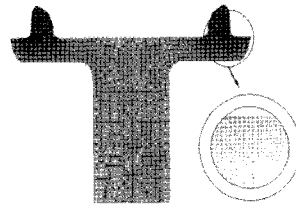


Fig. 8 Simulation of folding with the preform, extrusion with ration 80%

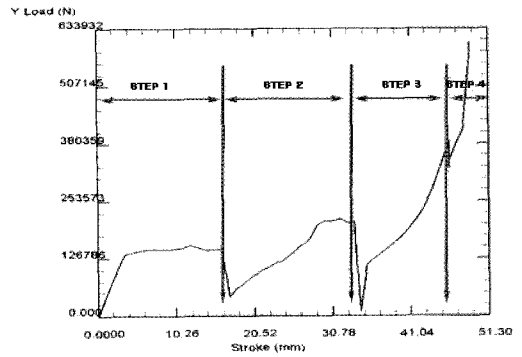


Fig. 9 Load-stroke diagram of the extrusion with ratio, 80%

3.4 수정 공정설계



Fig. 10 Modification Process Planning drawings generated of the extrusion with ratio, 80%

수정 공정설계에서는 단면수축률 80%의 공정설계를 성형하중과 공정설계의 마지막 단계인 윗부분의 성형 미완성을 보완하기 위해서 업세팅 공정에서 윗부분을 점진적으로 가공을 할 수 있도록 하였다. 수정공정설계의 공정순서를 Fig. 10에 나타내었다. Fig. 11은 성형공정순서별 유한요소해석을 나타내고 있다. 위부분의 예비성형단계를 가짐으로써 균일한 응력분포를 나타내고 있다. 성형단계가 진행할 수록 성형하중이 급격하게 증가 하고 있다. Fig. 12은 수정 공정설계의 성형하중을 나타

내고 있다(step1=136KN, Step2=150KN, Step3=231KN, Step4= 590KN). Fig. 13는 다단 포머 장비를 나타내고 있다.

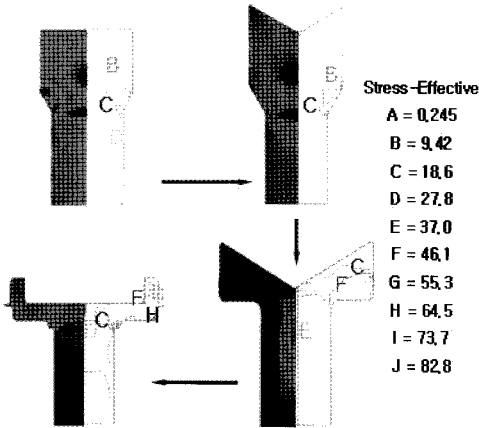


Fig. 11 Effective stress for the modification process planning

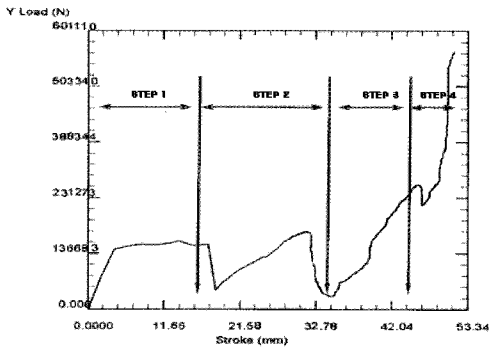


Fig. 12 Load-stroke diagram of modification process planning the extrusion with ratio, 80%



Fig. 13 Machine with multi former die set

5. 결 론

본 논문에서는 소성가공이론, FEM Simulation을 통한 최적의 공정변수를 토대로 자동차 오토트랜스 미션용 슬레노이드 밸브 부품의 제작을 위한 공정설계를 창출하였다.

1. 설계규칙에 따른 재료의 지름을 결정하였으며, 공정설계를 창출하였다.
2. 창출되어진 공정설계의 검증은 위해서 강의 소성가공 유한요소해석 전용 프로그램인 DEFORM/2D를 활용해서 제품의 성형성을 검증했다.
3. 폴딩이 발생하지 않는 수정공정설계 창출함으로써 제품의 균일한 응력분포를 보여주고 있다.

참고문헌

- [1] P. Noack, "Computer-Aided Determination of Operation Sequence and Costs in Cold Forging of Rotation-Symmetric Workpieces", SME Technical Paper (MF 73-141), 1973.
- [2] B. Lengyel and T. V. Venkatasubramanian, "Optimization in the Cold Forging of Steel", Proc. 18th MTDR Conf., pp. 153-157, 1977.
- [3] Victor Vazquez, Daniel Hannan and Taylan Altan, "Tool life in cold forging - an example of design improvement to increase service life", Journal of Materials Processing Technology 98, pp. 90-96, 2000.
- [4] P. Bariani, W. A. Knight, "Computer Aided Cold forging process design a Knowledge-Based system approach for forming sequence generation", CIRP, 37, pp. 243~246, 1977.
- [5] Chul Woo Park, Jung Hun Knag, Joon Ho Lee, Chul Kim, Moon Saeng Kim, Jae Chan Choi, "A study of automated

process planning and die design for multi former-bolt products”, KSPE Vol. 20, No. 4, pp. 29-38, 2003.

- [6] Sevenler. K., Raghupati. P. S. and Altan. T., “Forging sequence design for multistage cold forging”, J. of Mech. Work. Tech., Vol. 14, pp. 121-135, 1987
- [7] KURT LANGE “HANDBOOK OF METAL FORMING”, McGraw-Hill Book Company, N.Y., 1967.
- [8] Howard H. Kuhn, “Optimum Die Design for Powder Compaction”, The International Journal of Powder Technology, Vol.14, pp. 259-275, 1978.
- [9] Jong Ho Song, Young Taek Lm, “Development of the Process Design system for a Ball Stud”, KSME Vol.23, No. 10, pp. 1646-1657, 1999.
- [10] G S. Min, J. Choi, J. C. Choi, B. M. Kim, and H. Y. Cho, “Process Design in cold forging of the backward and forward extruded part”, KSPE, Vol. 14, No. 8, pp. 57-64, 1997.
- [11] Kwan-Woo Kim, Yi-Tae Kim, Wan-Jong Kim and Hae-Young Cho, “Finite Element Analysis for Multi-stage Forging Process Design of Bolt with Nonaxisymmetric Washer Cam”, Journal of the Korean Society of Marine Engineering, Vol. 32, No. 4, pp. 585-595, 2008.

저 자 소 개



박철우(朴哲雨)

1974년 4월생, 2006년 부산대학교 정밀 기계공학과(공학박사), 2007년 부산대학교 기계공학부 NURI BAEM 사업단 교수