

〈論 文〉

재설계 기능을 갖는 냉간단조 공정설계용 전문가시스템 개발

김홍석* · 임용택*

(1994년 2월 14일 접수)

Expert System for Process Design of Cold Forging with Redesigning Scheme

Hong-Seok Kim and Yong-Taek Im

Key Words : Expert System(전문가시스템), Cold Forging(냉간단조), Process Sequence Design(공정설계), Redesigning Scheme(재설계 기능)

Abstract

In this study, an expert system for multi-stage cold forging process design of axisymmetric parts is developed. The available geometries are axisymmetric shape and cylinder with a hole in one end. The overall system is composed of knowledge-based system for process sequence design, output module interfaced with CAD system and material data-base. In the developed system, designed process can be modified in order to reduce the number of processes and make the distribution of forming load be almost equal at various deforming stages within the machine capacity. After process sequence design is completed, results can be stored as a text file or a commercial CAD system file. The capabilities of the developed system are illustrated through various examples of process design.

1. 서 론

냉간단조공정은 비교적 가벼운 축대칭형 제품의 생산에 적합한 공정으로서 좋은 가공표면과 높은 치수정도를 갖는 제품을 대량으로 생산할 수 있으나 공정설계와 금형제작에 드는 비용 및 시간이 다른 공정에 비해 크다는 단점을 가지고 있다.^(1,2) 따라서 최근에는 공정설계시 수반되는 반복적인 작업을 컴퓨터를 사용하여 수행함으로써 보다 효율적인 설계를 하고자 하는 노력이 계속되고 있다.

냉간단조분야에서 컴퓨터의 사용은 도면의 작성

과 출력을 위한 CAD 시스템의 개발, 공정의 설계 및 평가를 위한 CAD/CAM 시스템의 개발 및 유한요소해석을 통한 공정의 모사 등 넓은 범위에서 활발하게 이루어지고 있다.⁽³⁻⁸⁾ 그러나 실제 공정설계에 이러한 CAE(computer-aided engineering) 시스템이 적용되기 위해서는 복잡한 제품 형상까지도 표현할 수 있는 CAD 시스템과 신뢰성있는 공정을 설계할 수 있는 공정설계 시스템 및 설계된 공정의 성형성을 평가할 수 있는 평가 시스템 등을 포괄하는 통합적 공정설계 시스템(integrated process designing system)의 개발이 요구된다.

따라서 본 연구에서는 통합적 공정설계 시스템의 주요 구성부로서 재설계를 통하여 다양한 공정을 설계하여 주는 공정설계 시스템을 개발하고자 한다. 개발된 시스템의 설계 대상은 축대칭 형상의

*한국과학기술원 정밀공학과

**정회원, 한국과학기술원 정밀공학과

중실형과 중공형으로서 중실형은 한쪽 단으로 지름이 감소하는 형상과 양단으로 모두 지름이 감소하는 형상이고 중공형은 한쪽단으로 지름이 감소하며 윗면에 지름의 변화가 없는 구멍을 가진 형상이다. 개발된 시스템은 설계된 공정을 초기소재 치수와 종류의 변화 및 업세팅과 전방압출순서의 변화를 통하여 재설계하는 기본적 재설계 기능과 기본적 설계작업을 통하여 설계된 공정을 성형 단계수 감소와 성형하중 균일화의 관점에서 재설계하는 응용 재설계 기능을 가지고 있다. 현재 개발되어 있는 냉간단조용 전문가시스템들은 중실형의 경우에 한하여 초기소재의 지름과 소재종류만을 변화시켜 공정설계를 수행하고 있으므로 본 연구를 통하여 개발된 설계기법과 재설계 알고리즘의 개발 및 AUTOCAD 시스템을 이용한 공정도면의 출력은 본 전문가시스템의 유용성을 더욱 늘려줄 것이다.

2. 공정설계 전문가시스템의 작동

개발된 시스템은 인공지능 언어인 PROLOG를 사용하여 486 PC에서 프로그래밍되었고, 설계규칙은 참고문헌^(1,2,9,10)을 통하여 수집된 후 공정설계 전문가와의 면담을 통하여 수정되어 규칙 베이스화되었다.⁽¹¹⁾ 개발된 시스템의 작동순서는 Fig. 1에 나타낸 흐름도와 같다.

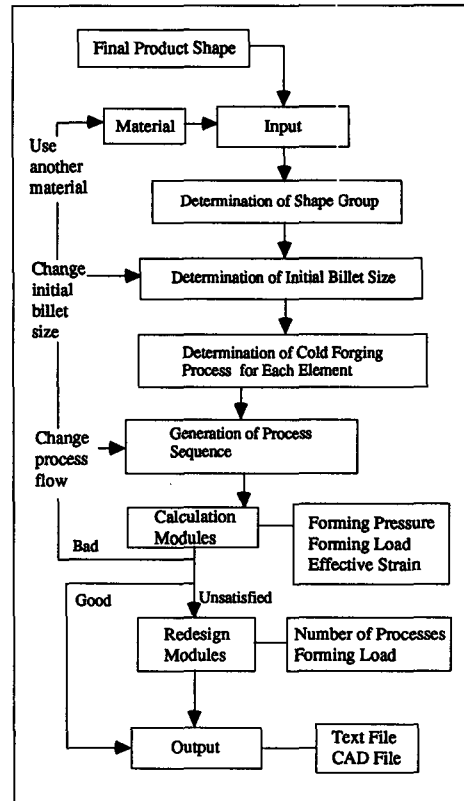


Fig. 1 Flow chart of developed expert system

2.1 제품형상과 소재종류 입력

시스템의 초기입력은 최종 제품형상과 소재의 종류이다. 최종 제품형상은 지름에 따라 Fig. 2와 같이 단면이 사다리꼴인 원추형요소로 나뉘는데 형상 입력자료는 요소 상면지름과 하면지름, 높이로 구성된다. 형상 입력이 수행된 후 소재의 종류가 입력된다. 현재 개발된 시스템의 소재 데이터베이스에는 강과 알루미늄, 구리계의 물성치와 성형한계값 등이 저장되어 있다. 소재 데이터베이스는 규칙 베이스와 독립적으로 운용되므로 시스템의 수정없이 데이터베이스만을 수정, 확장시킬 수 있다.

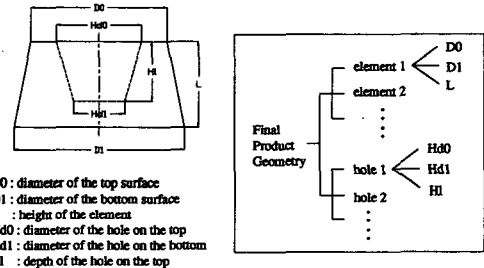


Fig. 2 Graphical representation of the input structure and schematic geometry of basic element

2.2 형상그룹 결정

형상그룹이란 성형의 관점에서 보았을 때 동일한 특징을 가지고 있어 같은 유형의 설계규칙을 적용시킬 수 있는 형상의 모임을 의미한다. 형상 특징에 의한 분류는 (i) 설계규칙을 저장한 규칙 베이스가 비대해지는 것을 방지하며 (ii) 설계규칙의

수정시 해당되는 형상그룹의 규칙 베이스만을 보완할 수 있고 (iii) 새로운 형상그룹을 추가해 줌으로써 용이하게 설계대상을 확장할 수 있다는 장점이 있다.

현재 개발된 시스템의 형상그룹은 축대칭 형상의 중실형과 중공형으로 구성된다. 중실형은 한쪽 단으로 지름이 감소하는 형상과 양단으로 지름이 감소하는 형상으로 나뉘며 중공형은 한쪽 단으로 지

름이 감소하며 상면에 지름이 변화하지 않는 구멍을 가진 형상으로 제한된다. 입력된 제품의 형상그룹이 결정되면 해당되는 그룹의 규칙베이스를 가동시켜 공정설계를 수행하게 된다.

2.3 공정의 결정과 생성

최종 제품형상에서 초기소재의 지름이 결정되면 최종 형상의 요소지름과 초기소재의 지름을 비교하여 각 요소가 수행할 성형공정을 결정한다. 결정된 공정은 생성될 요소번호와 함께 작업 메모리에 저장되어 차례가 되면 해당 요소를 생성시킨다. 공정 생성순서는 시스템에서 자동적으로 결정하여 주지만 증실형과 한번의 후방압출로 구멍을 성형할 수 있는 증공형의 경우 업세팅과 전방압출의 순서는 사용자가 결정할 수 있다.

2.4 유효변형률과 성형하중의 계산

공정의 설계가 끝나면 설계된 각 공정에 대한 요소들의 형상을 비교하여 유효변형률을 계산한다. 유효변형률은 결합발생의 가능성을 예측할 수 있는 유용한 지표로서 현재 요소 단위의 균일한 변형률만을 계산할 수 있다. 계산에 사용된 유효변형률식은 다음과 같다.

$$\bar{\epsilon} = 1 \ln \frac{L_1}{L_0} \tag{1}$$

여기서, L_0 와 L_1 는 각각 요소의 성형전 길이와 성형후 길이를 나타내는 것으로 식(1)은 비압축성에 의해 각 공정에 맞는 지름의 식으로 바뀌어 증실형과 증공형에 따라 조금씩 다른 식이 되며 계산된 유효변형률은 해당 요소에 축적된다.

성형하중을 계산하기 위해 업세팅에 대해서는 슬랩해석식을 사용하였고 전후방 압출에 대해서는 P. E.R.A. 실험식⁽¹²⁾을 사용하였다. 밖으로 유동이 일어나는 원통형 업세팅의 경우 슬랩해석식은 상당히 근사한 결과를 제공하여 주며 P.E.R.A. 실험식 역시 강의 압출공정에 대해 유용한 결과를 주는 것으로 보고된 바 있다. 업세팅시 밖으로 유동이 일어나는 원통형의 슬랩해석식은 식(2)와 같고 전후방 압출의 P.E.R.A. 성형 하중식은 식(3)과 같다.

$$L = \frac{\pi r_f}{4H} \left(\frac{1}{2} D_0^3 + D_0 D_1^2 + \frac{2}{3} D_1^3 \right) + \frac{\pi}{4} (D_0^2 - D_1^2) p_0 \tag{2}$$

$$L = \bar{\sigma}_0 A_0 (3.45 \ln R + 1.15) \tag{3}$$

식(2)에서 r_f 는 일정한 전단 마찰상태에서의 전단 응력이고 D_0 는 원통의 외경, D_1 는 원통의 내경, H 는 높이이다. p_0 는 외경에서의 압력으로, 초기 변형을 받지 않은 상태에서는 소재의 항복응력을 사용하고 변형을 받은 후에는 평균 유동응력을 사용한다. 식(3)에서 $\bar{\sigma}_0$ 는 평균 유동응력이고 A_0 는 압출전 요소의 면적, R 은 압출전과 후의 면적비이다.

각 식에서 사용되는 평균 유동응력 $\bar{\sigma}_0$ 는 소재의 응력-변형률 관계가 식(4)와 같을 때 식(5)와 같은 관계를 갖는다.

$$\bar{\sigma} = K \bar{\epsilon}^n \tag{4}$$

$$\bar{\sigma}_0 = \frac{\int_{\bar{\epsilon}_1}^{\bar{\epsilon}_2} \bar{\sigma} d\bar{\epsilon}}{\bar{\epsilon}_2 - \bar{\epsilon}_1} = \frac{K}{n+1} \frac{\bar{\epsilon}_2^{n+1} - \bar{\epsilon}_1^{n+1}}{\bar{\epsilon}_2 - \bar{\epsilon}_1} \tag{5}$$

여기서, K 는 재료상수이고 n 은 변형 경화지수이다. 또한 $\bar{\epsilon}_1$ 은 변형전 요소의 유효변형률이고 $\bar{\epsilon}_2$ 는 변형후 요소의 유효변형률이다. 식(5)에 의하여 성형의 진행에 따른 소재의 가공경화 경향을 고려할 수 있다. 윤회조건은 모든 소재에 대해 동일하다고 가정하였고 냉간단조에서 널리 사용되는 강의 본데라이트 처리에서의 마찰계수가 0.03에서 0.08 정도임을 고려하여 마찰계수는 0.04로 하였다.

2.5 출력

설계된 성형공정과 계산된 공정변수들은 화면 상에서 확인이 가능하지만 텍스트화일과 상용 CAD 화일로 출력시킬 수 있다. 텍스트화일에서는 설계된 공정의 종류 및 치수, 성형하중을 출력할 수 있다. 화일은 AUTOCAD시스템을 통하여 설계된 공정의 모든 단계에 대하여 단조품의 도면을 생성할 수 있다.

3. 재설계 : 기본적 재설계와 응용 재설계

최적의 공정을 설계하기 위해서는 공정변수를 다양하게 변화시켜 전체 공정을 설계해 보아야 하지만, 공정변수를 변화시키며 설계과정을 되풀이하는 것을 반복적이고 시간이 많이 드는 작업이다. 또한 개발된 공정설계 시스템에서는 한 단계에 최대 한 개의 원통형 요소만을 생성하므로 지나치게 많은 단계수가 요구될 수 있고, 성형 한계값의 초과로 한 단계 이상의 변형이 요구될 경우 첫 단계에서 가능한 최대 성형비로 변형되므로 성형하중의 편차

가 심할 수 있다. 따라서 개발된 시스템에서는 초기소재의 종류와 치수, 공정순서 등을 변화시켜 전체 공정을 다시 설계할 수 있으며, 설계된 공정을 수정하여 공정수를 감소시키거나 성형하중을 균일화시킬 수 있도록 하였다. 초기소재의 종류나 치수 또는 공정순서를 변화시키면 시스템의 공정설계과정을 모두 되풀이하여야 하므로 기본적 재설계라 하였고, 공정수감소와 성형하중 균일화를 이루기 위한 재설계는 이미 설계된 공정을 수정하여 설계하는 과정이므로 응용 재설계라 하였다.

3.1 기본적 재설계 : 소재종류, 초기소재 치수, 공정순서

축대칭형 제품의 냉간단조공정은 전방압출과 후방압출, 업세팅공정의 조합으로 나타낼 수 있다. 이 세가지 공정의 데이터베이스화된 주요 설계규칙은 다음과 같다.

(1) 전방압출비를 R_1 , 후방압출비를 R_2 , 업셋비를 R_3 라 하며 다음과 같이 정의한다.

$$R_1 = \ln\left(\frac{A_0}{A_1}\right)$$

$$R_2 = \frac{d^2}{D^2}$$

$$R_3 = \frac{L}{D}$$

R_1 에서 A_0 는 전방압출 전 소재의 단면적, A_1 은 전방압출 후 소재의 단면적이며 R_2 에서 D 는 후방압출되는 소재의 외경, d 는 후방압출되는 구멍의 지름을 말한다. 또한 R_3 에서 L 은 소재의 비구속 지지부의 길이, D 는 비구속 지지부의 직경을 의미한다.

(2) R_1 이 데이터베이스에 저장되어 있는 소재의 비구속압출 한계값보다 작으면 비구속압출로 성형된다.

(3) R_1 이 소재의 비구속압출 한계값보다 크고 구속압출 한계값보다 작으면 구속압출로 성형된다.

(4) R_1 이 소재의 구속압출 한계값보다 크고 비구속압출 한계값과 구속압출 한계값의 합보다 작으면 1회의 비구속 압출과 1회의 구속압출로 성형한다.

(5) R_1 이 소재의 비구속압출 한계값과 구속 압출 한계값의 합보다 크고 비구속압출 한계값과 구속압출 한계값의 2배의 합보다 작으면 1회의 비구속압출과 2회의 구속압출로 성형한다.

(6) R_2 가 0.2보다 크고 0.75보다 작으며 구멍의 깊이가 구멍 지름의 3배보다 작으면 1회의 후방압출로 구멍을 성형한다.

(7) 1회의 후방압출로 구멍의 성형이 불가능하면 우선 성형이 가능한 구멍을 생성시키고 중공압출을 수행한다.

(8) (7)의 경우 성형이 가능한 구멍의 지름은 최종 구멍지름의 4/3배로 한다.

(9) R_3 가 2.3보다 작으면 1회 업세팅으로 성형을 완료한다.

(10) R_3 가 2.3보다 크고 4.5보다 작으면 2회 업세팅으로 성형을 완료한다.

(11) 2회 업세팅을 수행할 경우 1차 업세팅에서 원추형 예비성형체를 성형한다.

(12) 업세팅 성형후의 지름은 성형전 지름의 2.2배를 초과하지 못한다.

위에 나타난 공정설계규칙을 적용하여 설계된 공정은 초기소재의 치수나 종류, 또는 전방압출과 업세팅순서를 변화시키므로써 다시 설계될 수 있다. 소재의 종류를 변화시키면 성형 한계값이 변하게 되므로 공정설계의 변화가 생기고, 물성치가 변함에 따라서 성형하중이 변하게 된다. 또한 초기소재 치수의 변화는 각 요소가 수행하게 될 공정 설계의 변화를 유발하며, 성형비의 변화로 인하여 전체 성형공정이 변하게 된다. 공정순서의 변화는 금형의 제작 및 성형의 용이성과 연관되는데 전방압출과 업세팅의 순서를 바꾸어 줌으로써 수행된다. 따라서 초기소재 치수와 공정순서의 변화로 인해 다양한 공정을 설계할 수 있어 보다 적절한 공정을 찾을 수 있다.

3.2 응용 재설계 : 공정수감소, 성형하중 균일화

3.2.1 공정수의 감소

개발된 시스템에서 초기의 설계는 한번의 공정에 최대 한 개의 원통형 요소만을 생성시키기 때문에 적어도 원통형 요소수만큼의 성형공정이 필요하게 된다. 그러나 다단 프레스의 경우 성형할 수 있는 단계수가 제한되어 있어 실제 공정에서는 여러단의 압출을 동시에 수행하거나 전방압출과 후방압출을 동시에 수행하는 것이 경제적이다. 따라서 개발된 시스템에서는 이미 설계된 공정을 수정하여 공정수를 최대한 줄일 수 있도록 설계 알고리즘을 개발하였다. 공정수감소에 관한 재설계 과정은 Fig. 3에

Process Name	Schematic Diagram
Double Operation	
Multiple Upsetting	
Combined Extrusion	

Fig. 3 Combined process of redesigned process sequence for reducing number of processes

주어진 바와 같이 2단 동시압출(double operation), 다단 업세팅(multiple upsetting), 복합압출(combined extrusion)과 같은 복합공정을 이용하여 이루어진다. 이 때 공정수감소에 관한 재설계 알고리즘은 다음의 설계규칙을 이용하여 개발하였다.

- (1) 두 단계의 연속된 전방압출 공정의 경우 하단의 전방압출이 비구속으로 수행될 때에 한하여 2단 동시압출을 사용한다.
- (2) 다단 업세팅은 업셋비가 2.3보다 작은 경우에 한하여 수행한다.
- (3) 업셋비가 2.3보다 크고 4.5보다 작은 경우 좌굴을 피하기 위해 2회의 업세팅을 사용하여 성형을 수행한다. 이때 1차 예비 업세팅에서는 다단 업세팅을 수행할 수 없다.
- (4) 전방압출과 후방압출이 연속으로 수행이 되며 두 공정이 모두 데이터베이스에 저장되어 있는 소재의 제한 압출비내에서 성형이 될 경우 복합압출을 사용하여 1회에 성형한다.
- (5) 병합되는 공정의 성형하중은 각 단계 성형하중의 합으로 한다.

이 때 기존의 설계공정에서 이와 같은 설계규칙을 만족하는 단계가 없을 경우 재설계는 수행되지 않는다.

3.2.2 성형하중의 균일화

각 단계의 성형하중 차이가 심할 경우, 전체 금형에 가해지는 응력이 불균일하게 되어 금형의 국부적인 파손 가능성이 커지게 된다. 냉간단조에서

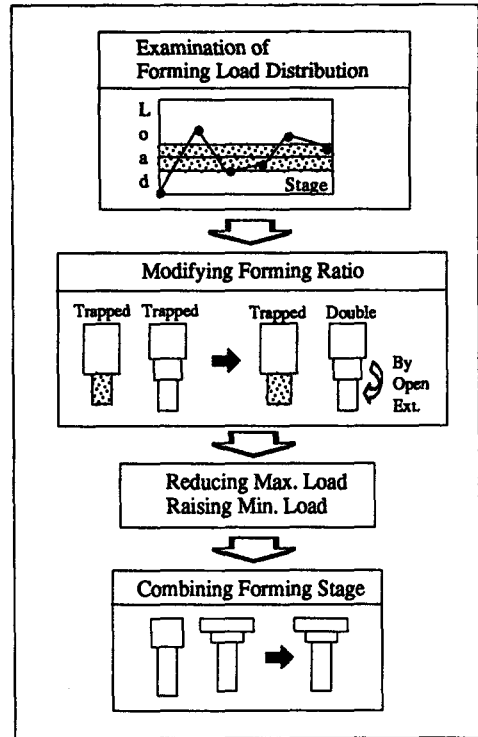


Fig. 4 Schematic diagram of algorithm for making load distributions approximately even

널리 사용되는 다단 프레스금형의 경우 한 단계라도 파손이 되면 전체 금형세트를 바꾸어야 하기 때문에 성형하중의 편차를 가능한 줄이는 것이 생산 유지비 측면에서 바람직하다. 따라서 개발된 시스템에서는 압출비나 업셋비의 조절, 공정의 병합 등을 통하여 성형하중을 균일화시키도록 알고리즘을 개발하였다. 이 때 성형 단계수를 증가시키면 전체 하중분포를 낮게할 수 있지만 금형비의 측면과 다단 성형기의 단계수 제한때문에 공정의 분할대신 복합성형공정을 사용하였다. 따라서 재설계 수행후의 전체 하중은 증가하는 경향을 갖는다. 전체 공정의 하중균일화 알고리즘은 Fig. 4와 같고 다음과 같이 수행된다.

- (1) 하중-영역 $[x, y]$ 를 식(6)과 같이 정의한다.

$$\begin{aligned}
 x &= \left(\sum_{i=1}^N L_i \right) / N - \max(L_i) / 4 \\
 y &= \left(\sum_{i=1}^N L_i \right) / N + \max(L_i) / 4
 \end{aligned} \tag{6}$$

여기서, L_i 는 i 번째 공정의 성형하중치를 의미하며 N 은 설계된 전체 공정수를 의미한다. $[y-x]$ 값

은 설계된 최대 성형하중치의 1/2에 해당하며 $[x, y]$ 의 산술평균은 설계된 공정의 모든 단계에서의 성형하중치의 산술평균과 동일하다.

(2) 각 공정의 성형하중치가 하중영역 $[x, y]$ 에 포함되지 않는 공정단계를 찾는다. 재설계는 성형비 조절과 공정병합의 두 경우로 나뉘어 수행되는데 $L_i \subset [x, y]$ 인 조건을 만족하는 경우에는 성형비 조절을 통하여 재설계를 수행하게 되고 L_i 와 L_{i+1} 이 동시에 x 보다 작고 $L_i + L_{i+1} \subset [x, y]$ 인 경우에는 공정병합을 통하여 재설계가 수행된다.

(3) 성형비조절을 통한 재설계과정에서는 성형이 되는 요소지름을 다음과 같이 변화시켜 재설계를 수행한다. 하중편차를 줄이기 위한 성형지름은 식 (7)에 정의된 함수 $F(D_i)$ 를 최소화시켜 결정하는데 여기에서 D_i 는 i 번째 공정의 성형요소 지름이고 함수 $F(D_i)$ 는 연속되는 성형단계의 하중 편차이다.

$$F(D_i) = L_i(D_i) - L_{i+1}(D_i)$$

$$F(D_i) = L_{i-1}(D_i) - L_i(D_i) \quad (7)$$

이때 $L_i(D_i)$ 는 성형요소 지름이 D_i 일 때 i 번째 공정의 성형하중을 의미한다. 계산에 사용된 성형하

중 식은 식 (2), (3)과 같고 $F(D_i)$ 가 최소가 될 때의 D_i 는 등간격 탐색법(equal interval search)⁽¹³⁾을 사용하여 구하였다.

(4) 병합될 단계의 성형하중의 합이 성형하중 영역 $[x, y]$ 에 포함되고 3.2.1에 주어진 공정수감소 설계규칙을 만족시키는 경우에 Fig. 3에 주어진 바와 같은 공정병합에 의해 재설계가 수행된다.

본 재설계 알고리즘은 공정수를 증가시키지 않는 범위 내에서 각 공정의 하중편차를 줄이도록 개발되었다.

4. 시스템의 적용

4.1 기본적 재설계

Fig. 5는 한쪽 단으로 지름이 감소하는 중실형의 성형공정이다. 초기소재의 지름은 초기소재 직경결정법⁽¹⁴⁾에 의해 10 mm로 계산되었고, 소재로 AISI 1010을 사용하였다. 동일한 제품형상에 대하여 초기소재의 지름과 소재의 종류를 바꾸어 기본적 재설계를 수행하였을 때의 성형공정을 Fig. 6과 Fig. 7에 나타내었다. Fig.6은 초기소재의 지름을 12 mm로 하였을 경우인데 초기소재 지름의 변화로

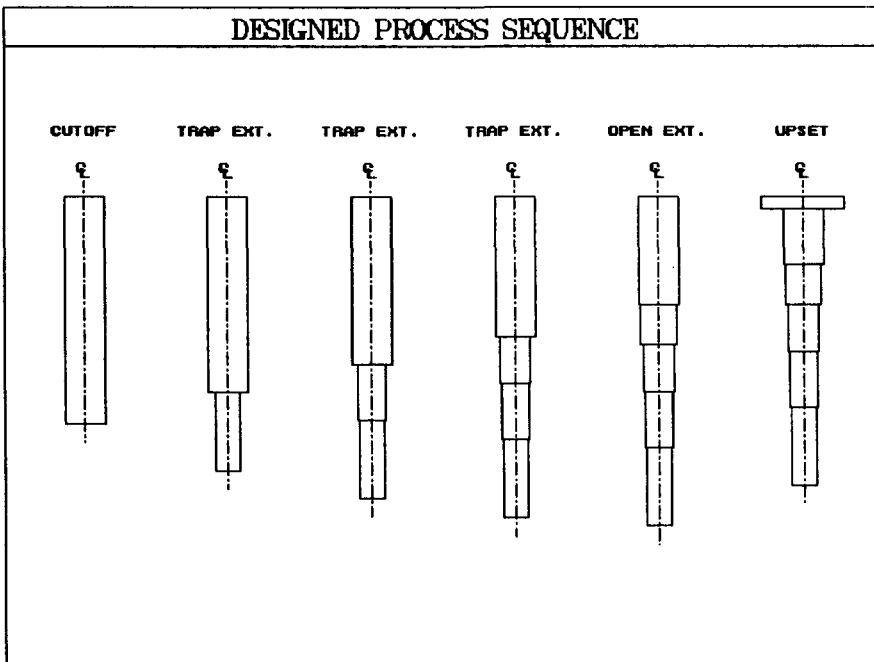


Fig. 5 Designed sequence for the solid part with decreasing diameter in one end(billet diameter =10 mm, AISI 1010)

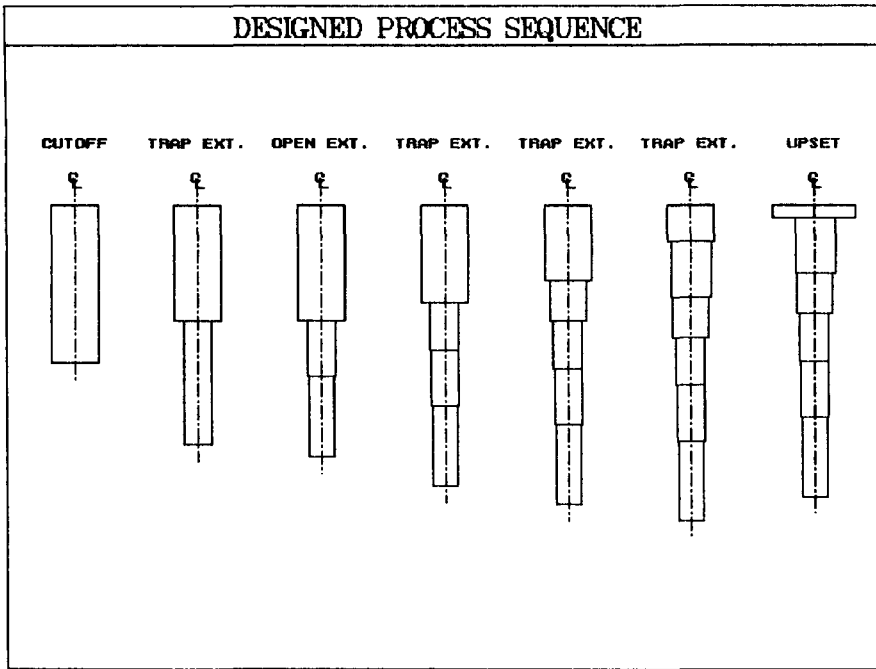


Fig. 6 Designed sequence using different billet size for the same geometry of Fig.5(billet diameter = 12 mm, AISI 1010)

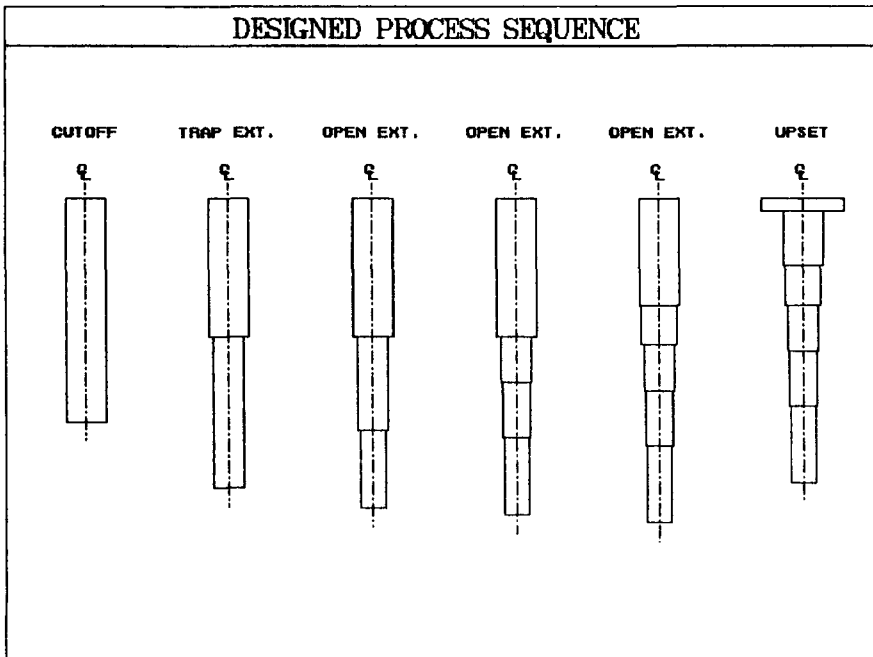


Fig. 7 Designed sequence using different material for the same geometry of Fig.5(billet diameter = 10 mm, AISI 1045)

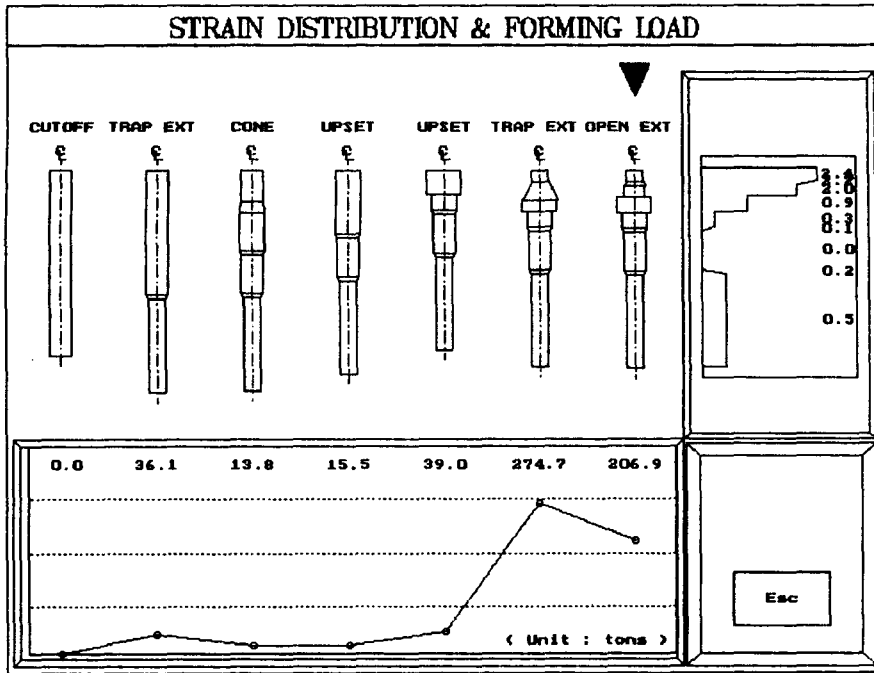


Fig. 8 Designed sequence for the solid part with decreasing diameter in both end(billet diameter=14 mm,AISI 1010)

성형단계가 하나 더 추가되어 7단계의 성형이 필요함을 알 수 있다. Fig. 7은 AISI 1045를 사용하여 설계한 경우인데 성형 한계값의 변화로 중간 성형 단계의 치수가 변화한 것을 볼 수 있다.

양단으로 지름이 감소하는 중실형에 대하여 전방 압출과 업세팅순서를 변화시켜 설계된 공정을 Fig. 8과 Fig. 9에 나타내었다. Fig. 8은 하단으로의 전방압출, 상단의 업세팅, 상단으로의 전방압출순서로 성형을 수행한 경우로서 그림의 하단은 성형하중 분포를 우측 상단은 변형률분포를 나타낸다. Fig. 9는 업세팅을 마지막에 수행한 경우로서 상단부의 가공경화가 줄어들어 보다 균일한 유효변형률 분포와 보다 낮고 균일한 성형하중을 얻을 수 있었다. 중공형의 경우 Fig. 10과 같이 한번의 후방압출로 구멍을 성형할 수 있는 경우에는 후방압출 전의 성형순서를 변화시킬 수 있다.

설계된 공정은 Fig. 8, Fig. 9와 같이 화면상에서 성형하중과 유효변형률 분포의 확인이 가능하고 Fig. 10과 같이 설계 치수도 확인할 수 있다.

4.2 응용 재설계

중실형의 경우 공정수를 감소시키기 위하여 수행

된 공정병합을 이용한 재설계 예를 Fig. 11에 나타내었다. Fig. 11은 Fig. 9에 나타낸 중실형의 성형 공정을 재설계한 것인데 Fig. 9에 주어진 기본 공정설계 결과에서 3, 4단계에 수행되었던 두 단계의 전방 압출을 한 단계의 2단 동시압출로 병합시키고, 마지막 두 단계에서 수행되었던 업세팅을 한 단계로 병합시켜 공정수를 감소시킨 것이다. 또한 Fig. 12는 한번의 후방압출로서 구멍을 성형할 수 없는 중공형을 전방압출, 후방압출, 중공압출, 중공업세팅의 순서로 성형한 예인데 이 경우에는 성형순서를 변화시킬 수 없다. Fig. 12에 주어진 성형공정을 재설계하여 Fig. 13에 나타낸 성형공정을 얻을 수 있었다. 이 그림을 살펴보면 양단으로의 복합압출과 중공 2단 동시압출을 사용하여 기존의 7단계에 이르던 공정을 4단계로 줄일 수 있었음을 알 수 있다.

Fig. 14는 Fig. 11에 나타낸 중공형 공정의 성형 하중을 균일화시키기 위하여 재설계 알고리즘을 적용시킨 결과로 전체 성형하중분포가 Fig. 11에 비하여 균일함을 알 수 있다. 이 때 재설계 알고리즘에서 사용된 하중영역은 [34.7, 68.9]로 Fig. 14에서의 하중분포가 이 영역에 포함되므로 최대 성형

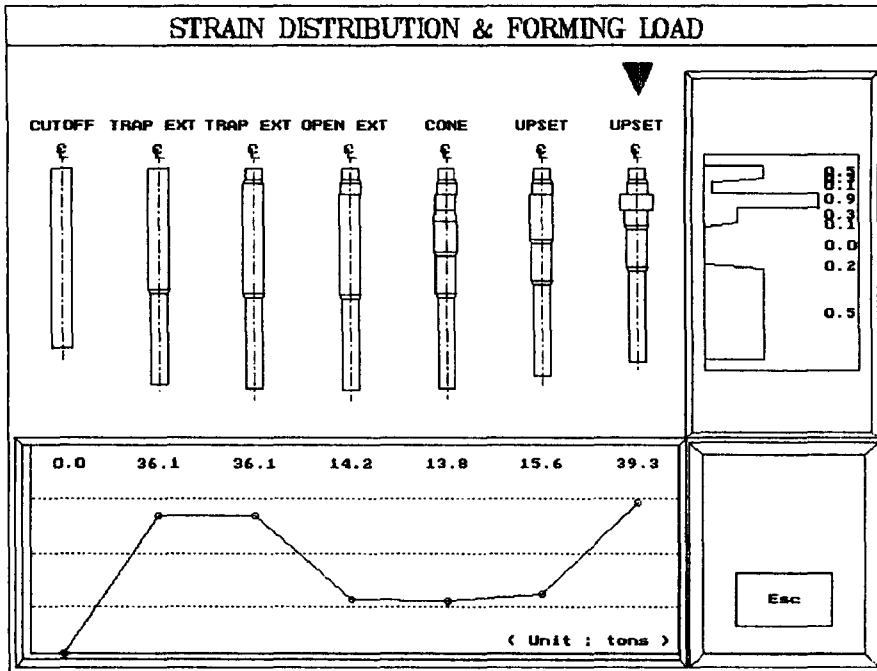


Fig. 9 Designed sequence for the same geometry of Fig.8 When forward extrusion in both end was applied before upsetting

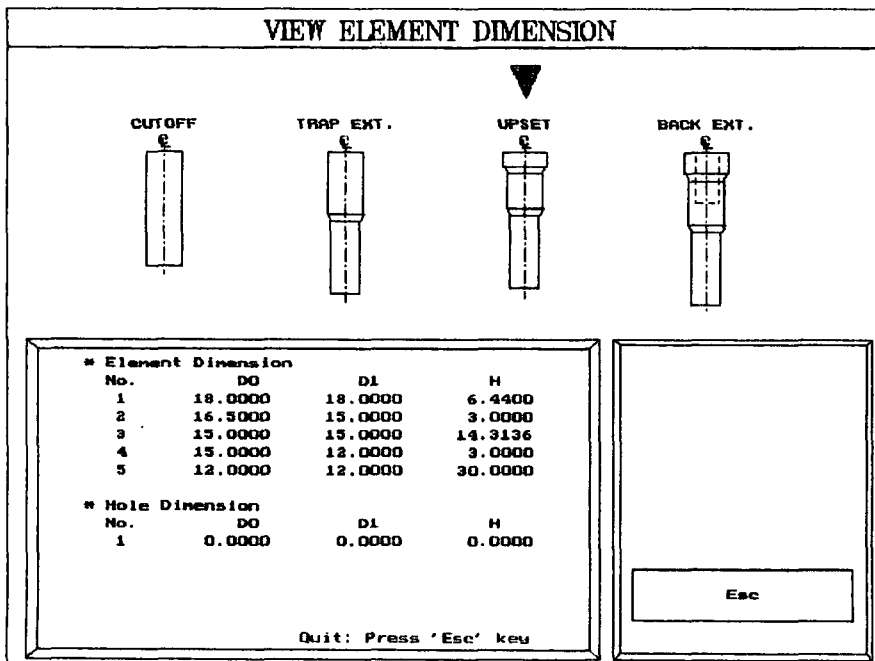


Fig. 10 Designed sequence for the hollow part when hole can be forged by one step backward extrusion(billet diameter=15 mm, Al 1100)

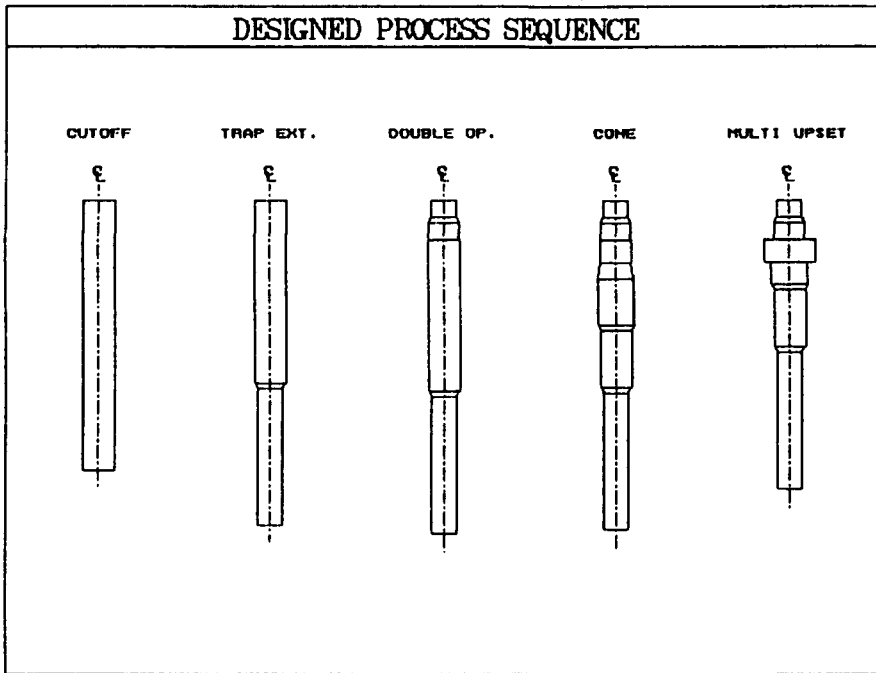


Fig. 11 Redesigned sequence by reducing number of processes of Fig. 9

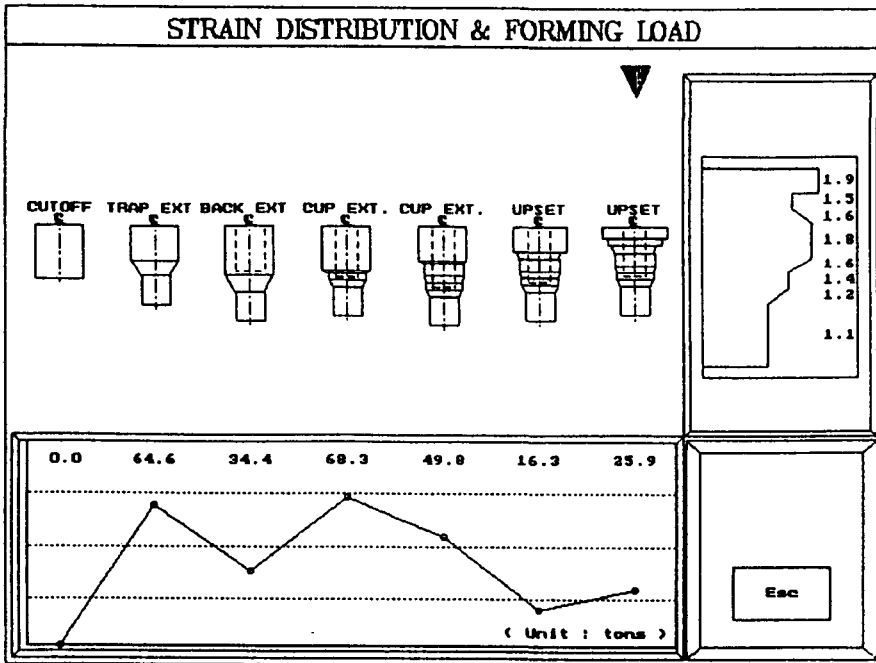


Fig. 12 Designed sequence for the hollow part when hole can not be forged by one step backward extrusion (billet diameter = 13.58 mm, AISI 1010)

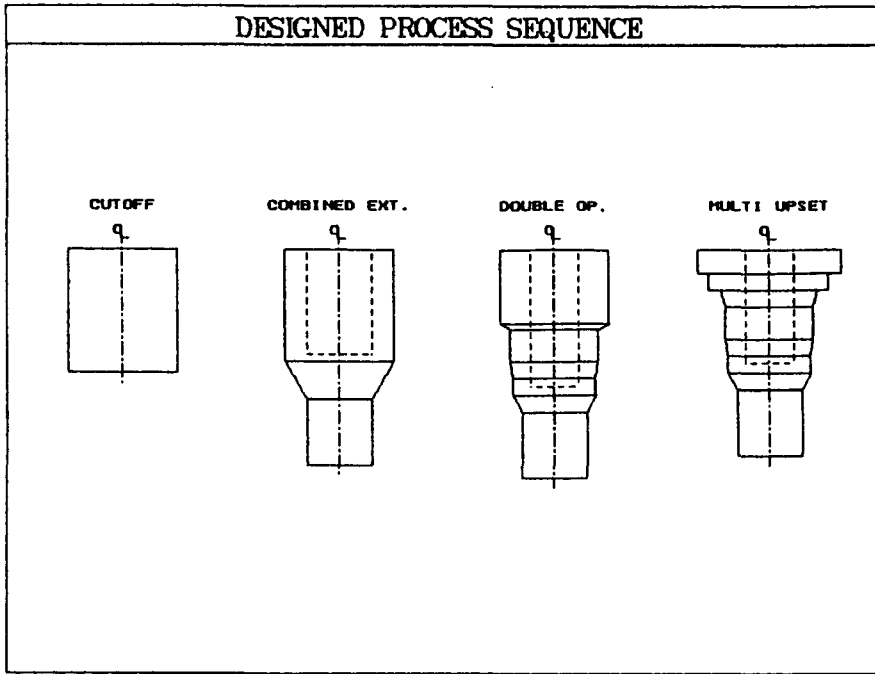


Fig. 13 Redesigned sequence by reducing number of processes of Fig. 12

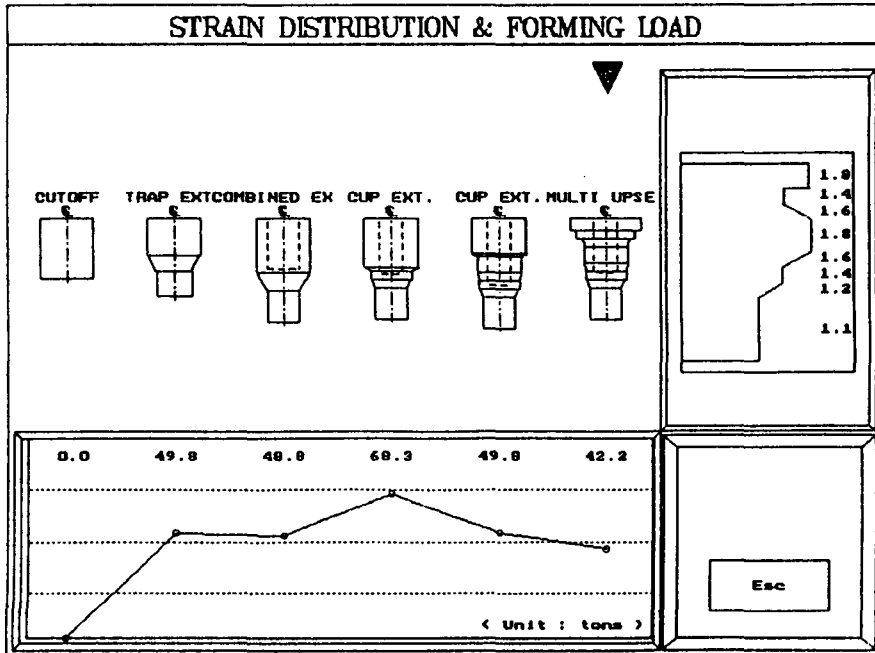


Fig. 14 Redesigned sequence for the same process of Fig. 12 using load limits of [34.7, 68.9] to make load distributions approximately even

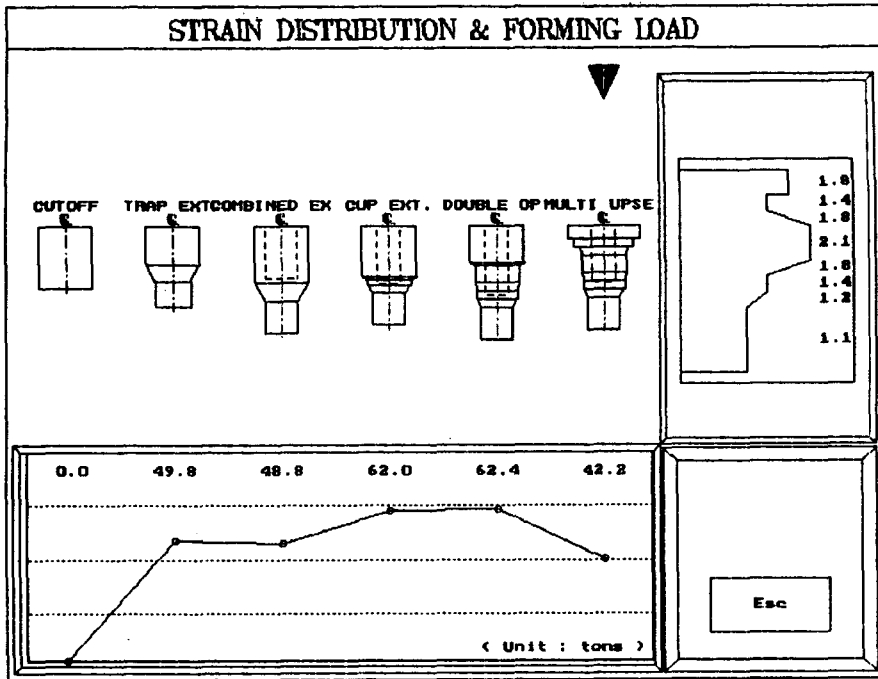


Fig. 15 Redesigned sequence for the same process of Fig. 12 using load limits of [40.4, 63.2] to make load distributions approximately even

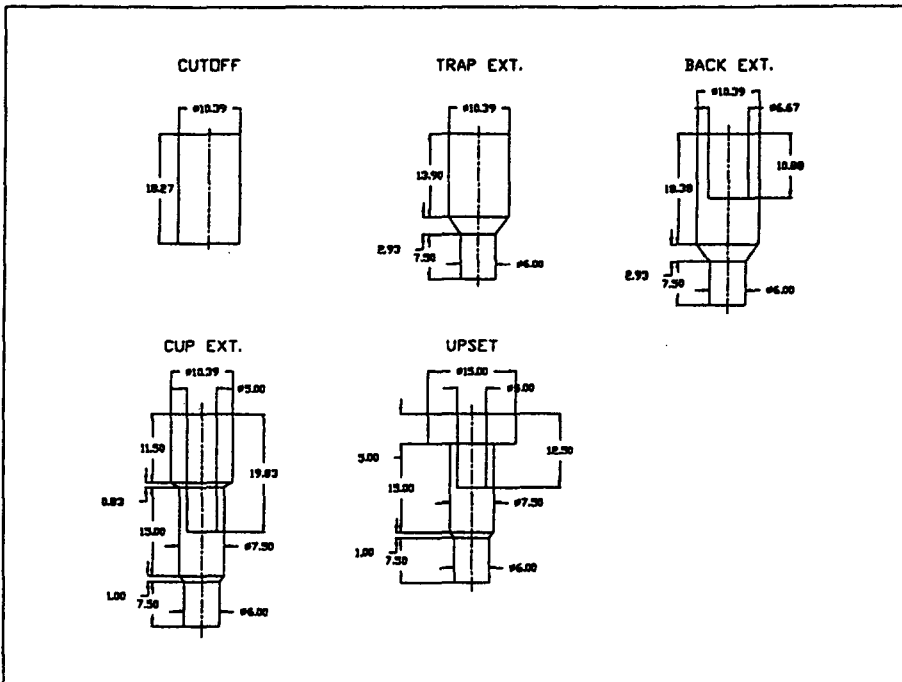


Fig. 16 Output CAD drawing for designed process sequence

하중을 줄이지 않고 재설계를 완료하였다. 최대 하중을 감소시키고 보다 균일한 하중분포를 얻기 위하여 하중영역을 [40.4, 63.2]로 하였을 때의 재설계 결과를 Fig. 15에 나타내었는데 이 때 Fig. 14에서의 최대 성형하중 68.3(tons)이 주어진 하중영역을 벗어나 성형비가 조절되어 재설계되었음을 알 수 있다. Fig. 11과 Fig. 14, 15를 비교하여 보면 성형수를 증가시키지 않고 성형하중을 보다 균일화시키면 평균 성형하중과 최대 유효변형률이 증가하므로 적절한 하중영역 $[x, y]$ 의 설정이 중요함을 알 수 있다.

설계된 공정은 텍스트파일로 저장되거나 AUTO-CAD 시스템에서 사용이 가능한 파일로 변환되어 Fig. 16과 같이 설계공정을 도면으로 출력할 수 있도록 하였다.

5. 결 론

본 연구에서는 규칙베이스 시스템을 이용하여 축대칭 증실형과 증공형 제품의 냉간단조공정을 설계하여 주는 전문가시스템을 개발하였다. 개발된 시스템은 설계된 성형공정을 초기소재의 치수와 종류, 성형순서를 변화시켜 공정을 다시 설계하는 기본적인 재설계 기능과 설계된 공정을 수정하여 성형수를 감소시키거나 성형하중을 균일화시키는 응용 재설계 기능을 가지고 있다. 일련의 개발과정에서 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 개발된 시스템을 다양한 공정설계에 적용한 결과 전문가시스템 기법은 냉간단조 공정설계에 적합한 접근법임을 알 수 있었다. 그러나 구축된 규칙베이스를 계속 수정, 보완하여 설계된 공정의 신뢰성을 높여야 한다.

(2) 기본적인 재설계 기능과 응용 재설계 기능을 통하여 설계공정의 폭을 넓혔으며, 더욱 실용적인 공정을 설계할 수 있었다.

(3) 보다 실용적인 공정설계를 하기 위해서는 보다 복잡한 형상을 갖는 제품의 입력이 가능해야 하고 이를 위해선 CAD기법의 개발이 이루어져야 한다.

후 기

본 연구는 과학기술처와 진합정공 주식회사의 지원을 통하여 수행된 것으로 관계되시는 분들께 깊

은 감사를 드립니다.

참고문헌

- (1) Lange, K., 1985 *Handbook of Metal Forming*, McGraw-Hill, New York.
- (2) ASM Handbook Committee, 1970, "Metals Handbook, Vol.5, Forging and Casting," ASM, Metals Park, Ohio.
- (3) Kobayashi, S., Oh, S. I. and Altan, T., 1989, *Metal Forming and the Finite-Element Method*, Oxford University Press, New York.
- (4) Makosch, W. and Lange, K., 1988, "Application-Oriented CAD System for Multi-stage Tooling Design for Cold Forging," *Proc. of 16th NAMRC*, pp. 63~70.
- (5) Sevenler, K., Raghupathi, P. S. and Altan, T., 1987, "Forming-Sequence Design for Multistage Cold Forging," *J. Mech. Working Tech.*, Vol.14, pp. 121~135.
- (6) Yang, G. and Osakada, K., 1990, "An Expert System for Process Planning of Cold Forging," *Advanced Technology of Plasticity*, Vol. 1, pp. 109~114
- (7) Kim, H. K. and Altan, T., 1992, "Computer-Aided Part and Processing-Sequence Design in Cold Forging," *J. Mater. Process. Technol.*, Vol. 33, pp. 57~74.
- (8) 최재찬, 김병민, 김형섭, 허만조, 1989, "PC에 의한 냉간단조공정 및 금형설계의 자동화에 관한 연구(II)," 대한기계학회논문집, 제13권 제1호, pp. 190~198.
- (9) *National Forging Talks*, 1981, National Machinery Co., Tiffin, Ohio.
- (10) *Part Shape Development and Tool Design for Multidie Cold Forming*, National Machinery, Tiffin, Ohio.
- (11) 김홍석, 1994, "축대칭형 제품의 냉간단조 공정설계용 전문가시스템 개발," 한국과학기술원 석사학위논문, pp. 54~58.
- (12) Altan, T., Oh, S. I. and Gegel, H. L., 1983, "Metal Forming: Fundamentals and Applications," *American Society for Metals*, Metals Park, Ohio.

- (13) J. S. Arora, 1989, *Optimum Design*, McGraw-Hill, Singapore. 정 설계용 전문가시스템 개발,” 대한기계학회 추계학술대회 논문집(1), pp. 589~592.
- (14) 김홍석, 임용택, 윤성만, 1993, “냉간단조공