

비축대칭 제품의 냉간단조 공정설계시스템의 개발

이봉규* · 권혁홍* · 조해용**

(2002년 1월 18일 접수)

Development of Process Planning System for Cold Forging of Non-axisymmetric Parts

B. K. Lee, H. H. Kwon and H. Y. Cho

Abstract

A process planning system for cold forging of non-axisymmetric parts of comparatively simple shape was developed in this study. Programs for the system have been written with Visual LISP in AutoCAD. Shape of the product must be drawn with the solid line and the hidden line, and with the plane and front view, as well. At the plane, the system recognizes the external shape of non-axisymmetric portions - the number of the sides of the regular polygons and the radii of circles inscribing and circumscribing the polygon. At the front view, the system cognizes the diameter of axisymmetric portions and the height of the primitive geometries such as polygon, cylinder, cone, concave, convex, etc. The system perceives that the list developed from the solid line must be formed by the operation of forward extrusion or upsetting, and that the list developed from the hidden line must be formed by the operation of backward extrusion. The system designs the intermediate geometries again by considering clearance between workpiece and die, and then finally the billet diameter, in reverse order from the finished product, on the basis of volume constancy and using the operations, the forming sequence, the number of operations and the intermediate geometries which were already designed. The design rules and knowledges for the system were extracted from the plasticity theories, handbook, relevant reference and empirical knowledge of field experts. Suitability of the process planning was analyzed using SuperForge of FVM simulation package. The results of analysis showed good formability.

Key Words : Cold Forging, Process Planning, Non-axisymmetric Parts, FVM, Visual LISP, AutoCAD, Primitive Geometries, SuperForge

1. 서론

그 동안 국내에서 냉간단조 공정설계에 대한 연구는 주로 축대칭 제품에 대한 것이 주를 이루었으며, 비축대

* 대전대학교 기계설계공학과

** 충북대학교 기계공학부

칭 형상의 냉간단조 공정설계에 대한 연구는 형상 인식 및 표현의 어려움, 그리고 성형하중, 응력, 변형률 등 공정변수 계산의 어려움 등으로 인하여 활발히 진행되고 있지는 않은 실정이다. 현재 비축대칭 분야에 대한 연구는 Cho⁽¹⁾ 등이 다단 비축대칭 부품의 단조 공정설계를 위한 단조품설계 자동화에 대한 연구를 하였으며, Kim⁽²⁾ 등은 비축대칭 형상을 가진 제품의 최종단계 평균형 압출에 관한 상해분석에 대한 논문을 발표하였다. 또한 Kim⁽³⁾ 등은 비축대칭 형상의 단조공정설계에 대해 연구하였으며, Lee⁽⁴⁾ 등은 6각 및 원추형 렌치 볼트의 전방 압출 및 후방압출에 대하여 UBET를 이용하여 해석하였다. 본 연구는 실제 현장에 적용하는 것을 목적으로 하여 현재 공장에서 생산되고 있는 특수형상의 볼트 등 비교적 형상의 비축대칭 제품에 대한 냉간단조 공정설계 시스템을 구축하고, FVM 시뮬레이션 패키지인 SuperForge를 이용하여 공정설계의 타당성을 검토하여, 재료의 유동, 성형성, 공정변수들을 예측하고 계산함으로써 결국은 다이설계에 적용하는 것을 목적으로 하고 있다. 금속 성형에 대하여 FVM 시뮬레이션을 이용한 공정해석의 신뢰성에 대한 연구⁽⁵⁾가 FEM 시뮬레이션 및 실험과의 비교분석을 통해 활발히 이루어지고 있다. FEM의 경우 소재가 변형하는 동안 요소의 뒤틀림으로 인하여 remeshing이 필요한 반면에 FVM의 경우는 불필요하며, 따라서 시간이 절약되는 특징을 지니고 있다.

2. 설계규칙⁽⁷⁻¹¹⁾

규칙1) 성형공정 단축을 위하여 [각 작업에서의 한계 변형률] > [부품요소의 변형률]이면 부품요소의 변형률 까지 성형한다.
 규칙2) 각 작업에서의 [한계변형률] ≤ [부품요소의 변형률]이면, 최대 성형 한계까지 성형한다.
 규칙3) 다단부품의 소재직경은 부품의 최대직경과 최소 직경 사이에 있다.
 규칙4) 중실부품에서 제일 작은 직경의 SS(유효변형률) > [LSTS(한계구속 주대수변형률) + 2 × LSOS(한계 비구속 주대수변형률)]이면 소재직경을 줄여야 한다.
 규칙5) 구속압출에서 제일 큰 직경의 SLDR(길이대 직경비) > LSLDR(한계 길이대 직경비)이면 소재직경을 늘려야 한다.
 규칙6) 중실부품에서 제일 큰 직경의 UDDR(업세팅 직경비) > LUDDR(한계업세팅 직경비)이면 소재직경을 늘려야 한다.

규칙7) 후방압출의 [소재 직경] ≤ [부품의 최대 직경]이다.

규칙8) 다각형 형상을 압출하거나 업세팅시 고려되는 지름은, 먼저 다각형의 면적을 계산하고 이를 원의 면적이라고 가정하여 구한 원의 지름이다. 그 값이 소재 직경보다 작으면 다각형기둥 전방압출이 되고, 소재직경보다 크면 다각형기둥 업세팅된다.

규칙9) 원형소재를 이용하여 다각형 기둥을 압출로 성형할 때는 소재의 단면적과 다각형 면적의 비율에는 상관없이 구속압출로 성형하여야 한다.

규칙17) 단조 형상의 외경을 D라 하고 구멍의 지름을 d라 할 때 후방압출비는 다음 식과 같다.

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

규칙10) 계산된 R이 0.2보다 크고 0.75보다 작으며 구멍의 깊이가 구멍지름의 3배보다 작으면, 1회의 후방압출로 구멍을 성형한다.

규칙11) 1회의 후방압출로 구멍의 성형이 불가능하면 우선 성형이 가능한 구멍을 생성시킨 후 중공압출을 수행하며, 성형이 가능한 구멍의 지름은 최종구멍 지름의 4/3 배로 한다.

규칙12) 냉간단조품을 성형하려면 전방압출, 후방압출 및 업세팅의 조합에 의해 생산된다.

규칙13) [소재 직경] ≥ [변형영역의 부품직경]이면, 전방 압출로 성형한다.

규칙14) [소재 직경] < [변형영역의 부품직경]이면, 업세팅으로 성형한다.

규칙15) 부품의 내부에 구멍이 있으면 후방압출로 성형한다.

규칙16) 내부에 구멍이 있고 외부가 단이 있는 부품이면 중공전방압출로 성형한다.

규칙17) SS ≤ LSOS이면 비구속전방압출로 성형한다.

규칙18) 비구속압출로 성형되려면 [변형영역의 압출반각] ≤ [비구속압출의 압출반각]이다.

규칙19) LSOS < SS ≤ LSTS이면 구속전방압출로 성형한다.

규칙20) 구속전방압출로 성형되려면 [변형영역의 압출반각] ≤ [내부결함을 피하는 압출반각]이다.

규칙21) ULDR(업세팅 길이대 직경비) ≤ LULDR(한계 업세팅 길이대 직경비)이면 소재의 좌굴이 방지된다.

규칙22) UDDR ≤ LUDDR이면 부품표면의 크랙발생이 방지된다.

규칙23) 업세팅을 할 때, 소재의 퍼짐을 고려하여 성형 후 지름은 성형 전 지름의 2.2배를 초과하지 못한다.

규칙24) 중실부품의 공정순서는 먼저 압출공정을 하고 업세팅 공정을 한다.

규칙25) 전방압출에서 [최대성형한계] < [LSTS + 2 × LSOS]이다.

규칙26) 동시 2단 구속압출은 다이의 마모를 고려하여 한번에 성형하지 않는다.

규칙27) 다단 압출에서 $SS \leq LSTS$ 이면 제일 작은 직경부터 순차적으로 압출한다.

규칙28) $SS > LSTS$ 이면 처음 압출공정은 [내부결함을 피하는 압출반각]으로 압출하고, 다음 작업에서 최종부품의 각도를 맞춘다.

규칙29) $SS \leq [LSTS + LSOS]$ 이면 먼저 LSTS까지 구속압출을 한 후 비구속압출을 한다.

규칙30) $SS \leq [LSTS + 2 \times LSOS]$ 이면 먼저 LSTS까지 구속압출을 한 후 비구속압출과 비구속압출로 작업을 완성한다.

규칙31) 한번 구속압출이나 비구속압출을 받은 부분은 다음에 구속압출로 성형할 수 없다.

규칙32) 중공전방압출이면 중간에 풀림처리나 소재면에 윤활처리를 하지 않더라도 내부 결함이 발생하지 않는다.

규칙33) 플랜지부가 있는 후방압출품이면 먼저 중공압출한 다음 업세팅에 의해 생산한다.

규칙34) 내부의 구멍과 중실부분을 갖는 부품이면 먼저 중실전방압출한 다음 후방압출한다.

규칙35) 구속전방압출에서 다이 벽면과 소재 사이의 간극은 0.1~0.5mm이다.

규칙36) $ULDR \leq 2.25$ 이면 한번에 업세팅 한다.

규칙37) $2.25 < ULDR \leq 4.5$ 이고 $UDDR \leq 1.3$ 이면 한번에 업세팅한다.

규칙38) $2.25 < ULDR \leq 4.5$ 이고 $UDDR > 1.3$ 이면 예비 업세팅을 한 후에 업세팅을 한다.

규칙38) 예비 업세팅이 필요하면 다이형상은 원추형이다.

규칙40) $4.5 < ULDR \leq 6.5$ 이고 $UDDR \leq 1.3$ 이면 한번에 업세팅한다.

규칙41) $4.5 < ULDR \leq 6.5$ 이고 $UDDR > 1.3$ 이면 2회 예비 업세팅과 원통 업세팅이 필요하다. 즉, 첫 번째 예비 업세팅에서 [업세팅되는 길이] = $[2 \times d_o]$ 이고, 두

번째 예비 업세팅에서 [업세팅되는 길이] = $[2 \times d_m]$ 가 되도록 한다.

$$d_m = \sqrt[4]{\frac{d_o^4 + d_1^4}{2}}$$

규칙42) $4.5 < ULDR \leq 6.5$ 이고 $UDDR > 1.3$ 이고 [업세팅 직경] $\leq [1.3 \times d_m]$ 이면, 한번에 원통 업세팅한다.

규칙43) 구속전방압출과 업세팅은 복합가공할 수 없다.

규칙44) 예비 업세팅과 원통 업세팅은 복합가공할 수 없다.

규칙45) 동시에 양끝단의 구속전방압출은 복합가공할 수 없다.

규칙46) 비구속전방압출과 업세팅이 복합가공이면 금형 내 일정길이의 소재 구속부가 필요하다.

3. 시스템의 구성

시스템은 AutoCAD 환경에서 구동되는 Visual LISP 언어와 대화상자(DCL : Dialog Control Language) 기능을 이용하여 구축하였으며, 입력모듈, 형상인식 및 형상표현 모듈, 소재직경 결정모듈, 공정설계 모듈로 구성되어 있다. 그리고 FVM 시뮬레이션 패키지인 SuperForge를 이용하여 공정설계 모듈에서 출력된 공정순서도에 대한 성형성과 설계의 타당성을 검토하고 성형하중, 유효응력, 유효변형률 등의 공정변수에 대한 데이터를 구하는 형태로 구성되어 있다.(Fig. 1) 입력모듈에서는 Fig. 2와 같이 소재와 다이의 재질을 선택하게 되고, 물성치와 성형 한계치 등이 데이터 베이스로부터 자동적으로 입력된다.

형상인식 및 형상표현 모듈에서는 제품을 인식하여 표현하게 되는데, 먼저 제품의 형상을 도면으로 나타낼 때에는 비축대칭 형상이기 때문에 평면도와 정면도로써 제품의 형태를 나타내며(Fig. 3), 외형의 형상은 실선으로, 내부의 보이지 않는 부분은 은선으로 표현한다. Fig. 4의 대화상자의 지시를 받아서 마우스를 이용하여 평면도를 선택하게 되면 평면도는 Layer1로, 정면도는 Layer2로 Layer가 분리된다. 정면도의 형태는 실선부분과 은선부분으로 나누어져서 각각 직선("L" Sp Ep)과 원호("A" Sp Ep Cp)의 도면요소 리스트(list)의 집합체로 구성되어 표현되는데, L은 Line을, A는 Arc를, Sp는 시작점(xs ys zs)을, Ep는 끝점(xe ye ze)을, Cp는 Arc의 중심점(xc yc zc)를 나타낸다. 평면도에서는 비축대칭 형상, 즉

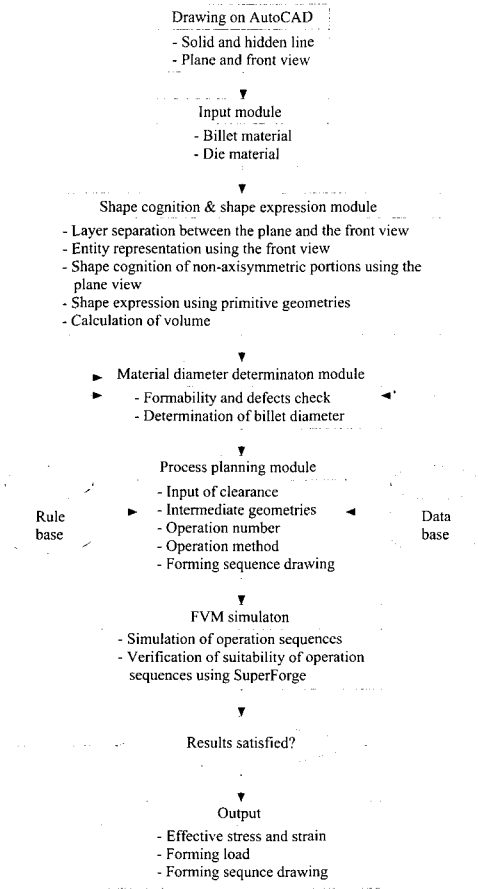


Fig. 1 Structure of process planning system of non-axisymmetric parts

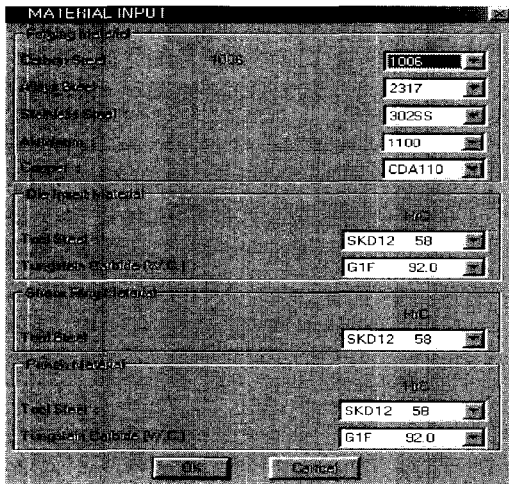


Fig. 2 DCL of input

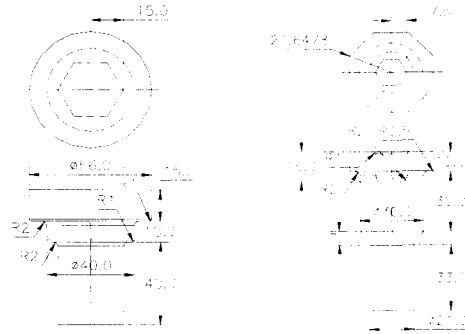


Fig. 3 Plane and front view of the products

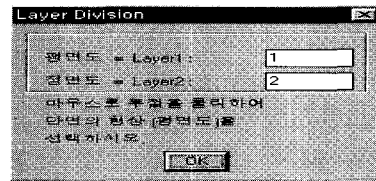


Fig. 4 Separation of layer between plane and front view

다각형 형상들을 인식하게 되는데, 하나의 다각형은 점 좌표 (x_i, y_i) 들의 리스트로 표현되며, n 각형의 경우는 n 개의 점으로 이루어진다. 다각형이 여러 개인 경우는 각각의 다각형 리스트를 묶어서 (1)식과 같이 나타낸다. 또한 각각의 다각형에 대해 수평 중심선과 다각형이 만나는 양(+)의 x 점과 다각형에 외접하는 원의 반경(r)을 구하여 (x, r) 로 나타내고 전체를 묶어서 (2)와 같이 하나의 리스트로 만든다.⁽⁶⁾

$$p_list = (((x_{11} \ y_{11})(x_{21} \ y_{21})(x_{31} \ y_{31}) \dots \dots) \\ ((x_{12} \ y_{12})(x_{22} \ y_{22})(x_{32} \ y_{32}) \dots \dots)) \quad (1)$$

$$r_list = ((x_1 \ r_1) (x_2 \ r_2) \dots) \quad (2)$$

따라서, 다각형의 수와 각각이 몇 개의 면으로 구성되어 있는지를 알 수가 있으며, 다각형의 외접원의 반지름과 x 축과 만나는 점의 값을 인식함으로써 평면도와 정면도의 상관관계를 시스템이 인식한다. 그리고 도면요소 표현 리스트에서 수평선을 배제한 후 중심선을 기준으로 오른쪽 부분만 선택하여 y 값의 크기에 따라 오름차순으로 정렬하고, 형상인식 리스트인 (1), (2)를 이용하여 다각형 리스트를 찾아낸 후 전체를 기본형상으로 표현한다. 기본형상은 Cylinder(원통), Polygon(다각형), Cone(원추), Concave(오목원추), Convex(볼록원추), 다각형기

등의 끝 부분 또는 구멍 바닥 부분을 fillet 처리한 Pol-convex, 다각형 기둥의 끝 부분이 다른 부분과 연결되어 있을 때 연결된 부위 또는 다각형 구멍 윗 부분을 fillet 처리한 Pol-concave 등이다. 형상표현 리스트는 (“Shape” h d1 d2 m)으로써 나타내어지는데, Shape는 기본 형상을, h는 기본 형상의 높이를, d1은 형상의 아래 끝 부분의 지름(다각형의 경우는 수평중심선과 다각형이 만나는 점의 +의 x값의 2배)을, d2는 형상의 위 끝 부분의 지름(다각형의 경우는 다각형에 외접하는 원의 직경)을, m은 Concave, Convex, Pol-convex, Pol-concave의 반경(다각형의 경우는 면의 개수)을 나타낸다. 기본형상으로 표현하면 다음과 같다.

```
FU_list = (("Cylinder" 33.0 21.0 21.0 0.0)
           ("Cone" 7.0 21.0 30.0 0.0)
           ("Cylinder" 28.0 30.0 30.0 0.0)
           ("Concave" 2.0 30.0 34.0 2.0)
           ("Pol-convex" 0.5 39.0 40.0 0.5)
           ("Polygon" 9.5 40.0 43.2957 8)) (3)
```

```
BE_list = (("Pol-convex" 2.0 11.0 15.0 2.0)
           ("Polygon" 12.0 15.0 15.0 6)
           ("Pol-concave" 1.0 15.0 17.0 1.0)) (4)
```

여기에서, 실선부분에서 전개되어온 리스트인 (3)식은 전방압출 및 업세팅 공정에 의해 성형되어지는 부분이며, 은선 부분에서 전개되어온 리스트인 (4)식은 후방압출공정에 의해서 성형되어지는 부분임을 나타낸다.

소재직경 결정모듈에서는 자동적으로 제품의 최소직경과 최대직경이 제시되며 사용자가 Fig. 5의 대화상자를 통해서 원하는 직경을 입력하게 되는데, 규칙베이스를 이용하여 성형조건을 만족시키는지 검토하고, 만족시키지 못하면 다시 소재 직경을 선택하도록 한다.(Fig. 6)

공정설계모듈은 공정순서를 결정하는 모듈로써, 기본형상 표현에 의한 기하학적 형상과 각종 공정설계규칙을 이용하여 소재로부터 최종제품까지의 공정을 결정하게 되는데, 먼저 소재의 직경을 결정하여 다이와 소재 사이

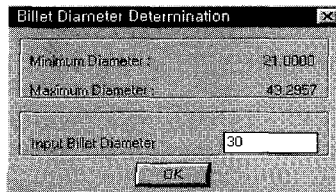
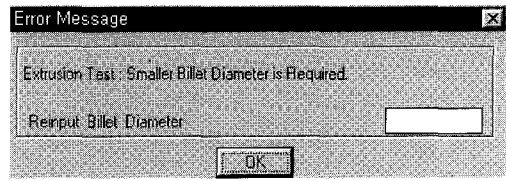
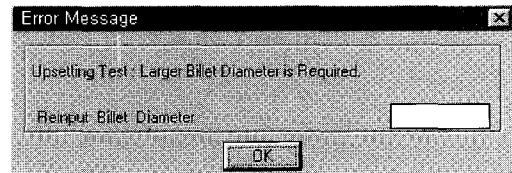


Fig. 5 Input of billet diameter



(a) Reinput message of diameter as the result of applying extrusion rules to the system



(b) Reinput message of diameter as the result of applying upsetting rules to the system

Fig. 6 Error message for billet diameter inputted

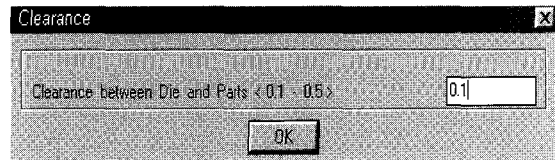
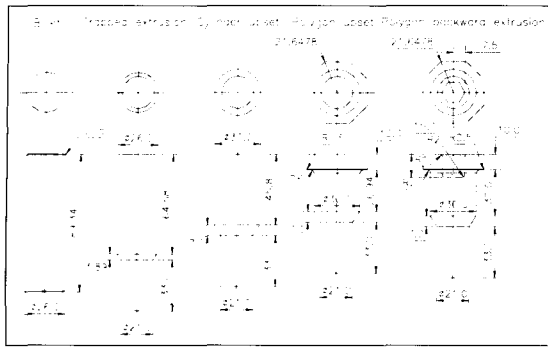


Fig. 7 Input of clearance between die and part

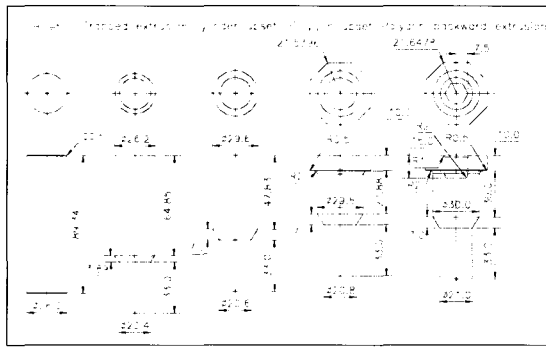
의 틈새(clearance)가 고려되지 않은 최적의 공정을 설계한 후, Fig. 7의 대화상자를 이용하여 다이와 소재 사이의 틈새를 입력하게 되면 시스템은 이미 설계된 공정의 공정순서, 공정수, 중간단계의 기하학적 형상과 중간단계의 작업방법을 기초로 하여 공정을 재설계하게 된다. 즉, 최종부품에서 소재의 직경을 선택하여공정을 결정한 후, 다이와 부품사이의 틈새를 고려하여 체적일정조건을 기본으로 다시 최종 부품으로부터 중간단계 부품들의 형상을 결정하고 최종적으로 초기소재를 결정하게 되는 것이다. 이렇게 하여 결국 현장에서도 적용 가능한 공정설계가 가능하며, 공정의 결과를 도면으로 창출한다.

4. 시스템의 적용 및 고찰

Fig. 8(a)는 소재의 직경을 26.0mm로 하였을 경우 최종제품이 성형되기까지는 4단계를 거치며, Fig. 9(a)는 소재의 직경을 30.0mm로 하였을 경우 3단계를 거쳐 최종제품이 성형되는 과정을 나타낸다. 하지만, 이 공정설계는 다이와 소재사이의 틈새가 전혀 고려되지 않은 것



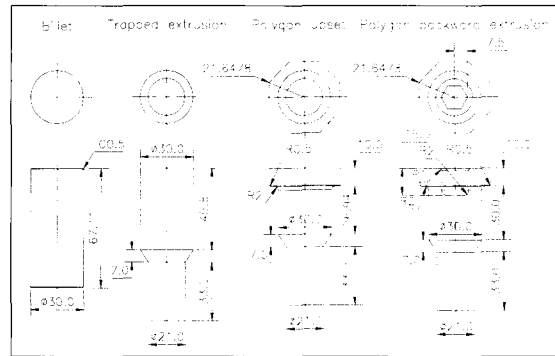
(a) not considering clearance



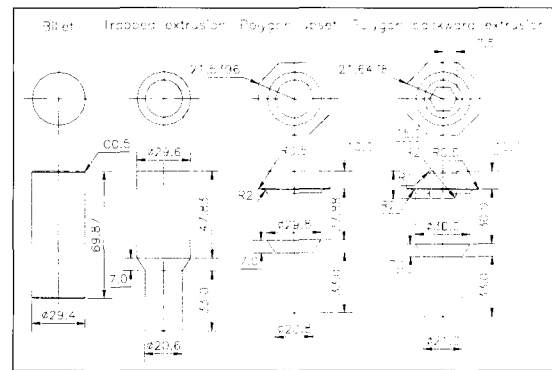
(b) considering clearance

Fig. 8 Examples of process planning - billet diameter 26.0mm, material AISI 1006

이므로 현장에서는 활용할 수가 없다. 따라서 이 시스템에서는 Fig. 8(a), 9(a)에서 주어진 공정순서, 공정 수, 중간단계의 기하학적 형상과 작업방법을 기초로 하여 Fig. 7에서 입력된 다이와 부품사이의 틈새를 고려하여 공정을 재설계하도록 명한다 즉, Fig. 8(a), 9(a)의 틈새가 고려하지 않은 공정을 근거로 하여 공정 수와 공정순서, 중간단계의 기하학적 형상, 작업방법 등은 그대로이지만 중간단계에 있어서 형상의 치수가 현장에서 적용 가능하도록 체적일정조건을 바탕으로 하여 변하게 되는 것이다. Fig. 8(b)는, Fig. 8(a)의 공정설계를 기초로 하여 각각의 중간단계에 다이와 부품 사이의 틈새 0.1mm를 적용시킨 결과로써, 바람직한 초기 소재의 직경은 26.0mm로 같지만, 중간단계의 형상에서 치수에 변화가 있음을 알 수가 있다. 또한 Fig. 9(b)는 Fig. 9(a)의 공정설계를 기초로 하여 각각의 중간 단계에 틈새 0.1mm를 적용시킨 결과이다. 바람직한 초기 소재의 직경은 29.4mm이며, 중간단계의 형상에서 치수에 변화가 있음을 알 수가 있다. Fig. 10은 공정설계 규칙을 변경함으로써 Fig. 9(b)의 공정순서에 변화를 준 공정도이다. 즉, Fig. 9(b)에서



(a) not considering clearance



(b) considering clearance

Fig. 9 Examples of process planning - billet diameter 30.0mm, material AISI 1006

는 8각형의 플랜지 부분을 먼저 업세팅한 후 6각형 형상의 구멍부분을 후방압출로 성형하였으나, Fig. 10에서는 6각형 형상의 구멍부분을 먼저 후방압출로 성형한 다음 마지막 공정에서 업세팅으로 8각형 플랜지 부분을 성형하였다. 최초에 사용자가 입력한 빌렛의 직경은 30.0mm이며, 적용시킨 틈새는 0.1mm이다. Fig. 11은 원형의 소재를 압출하여 다각형 기둥을 성형한 후 업세팅으로 임의 형상의 최종 제품을 성형하는 공정도이며, 초기 빌렛 직경을 40.0mm로 하여 틈새 0.1mm를 적용시킨 결과로써, 바람직한 초기 소재의 직경이 39.8mm로 변하며, 최종 형상이 2단계의 공정을 거쳐 성형되는 것을 알 수가 있다. 이 논문에서 적용시킨 제품의 형상은 특수 형상의 볼트를 임의로 형상화한 것이며, 재질은 AISI 1006 탄소강으로 가정하였다. 그리고, 틈새의 크기는 사용자가 현장의 작업환경이나 기술력, 또는 제품의 용도에 따라서 원하는 값을 줄 수가 있으며, 여기서는 편의상 0.1mm로 하였다. 결국 시스템은 현장전문가의 경험과 지식, 소성역학이론, 그 동안 축적되어온 여러 가지 연구결과 등을

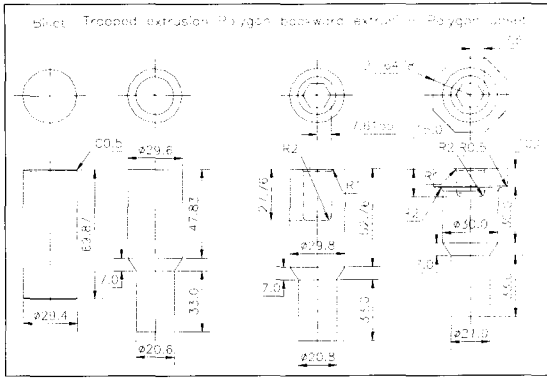


Fig. 10 Sequence drawing of having been changed in forming sequence in comparison with Fig. 9(b) by means of a modification of process planning rules

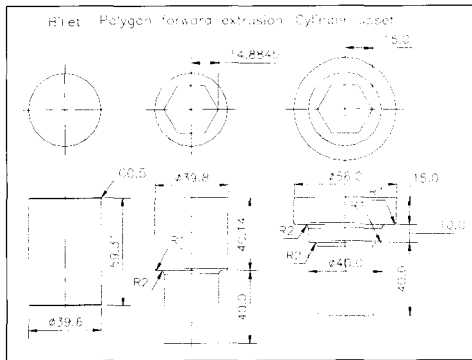


Fig. 11 Examples of process planning considering clearance - billet diameter 40.0mm, material AISI 1006

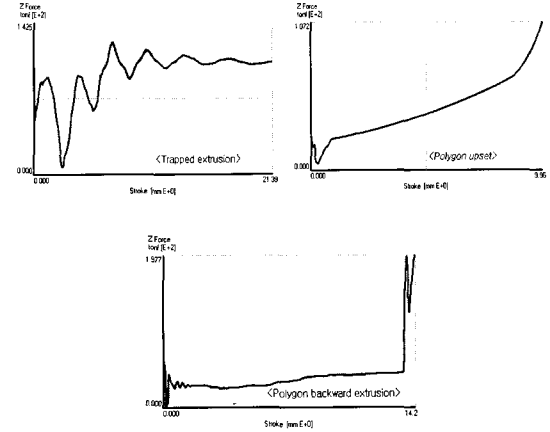
이용하여 구축한 지식베이스를 바탕으로 단점이 없는 공정을결정한 후 다시 중간단계의 공정에 틸새를 적용시키고, 따라서 초기소재의 직경도 다시 결정하여 현장에서 쉽게 적용할 수 있는 최종적인 공정을 재설계하여 공정도면을 Fig. 8(b), 9(b), 10, 11과 같이 자동적으로 창출하게 되는 것이다.

5. FVM 시뮬레이션에 의한 검증

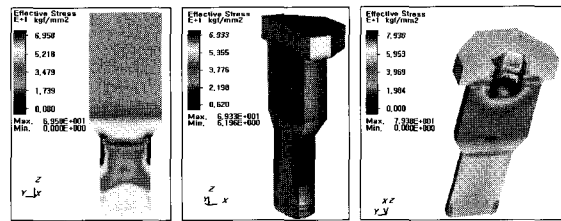
이 시스템에서 출력된 공정설계도에 대해 FVM 시뮬레이션 패키지인 SuperForge를 이용하여 공정해석을 함으로써 설계의 적절성을 검토하였다. 유한체적법은 일정 체적의 요소들을 통과하는 소재의 움직임을 계산함으로써 금속유동을 해석하는 방법이다. 즉, 유한체적법(FVM)에 있어서 grid points는 공간에 고정되어 있으며, 요소들은 공간의 부분이며, 유한체적 메시(finite volume mesh)

는 일종의 고정된 좌표계이다.⁽¹²⁾

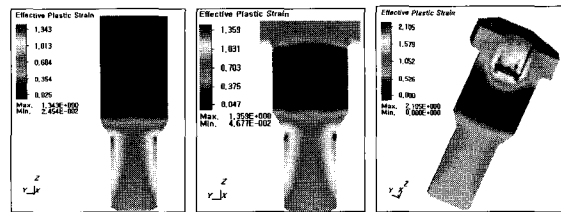
Fig. 12는 Fig. 9(b)의 공정설계에 대하여 해석한 결과이다. 최대성형하중은 다각형 구멍 후방압출 공정에서 약 197.7[tonf]로 나타났다.



(a) forming load



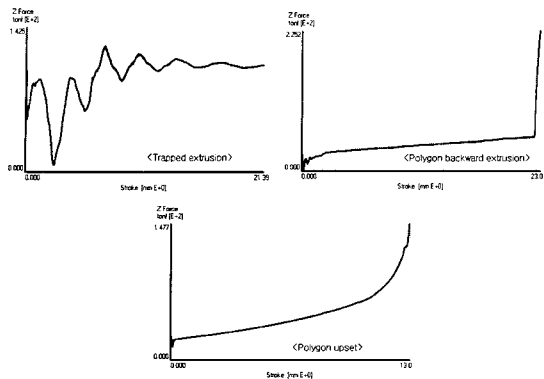
(b) effective stress



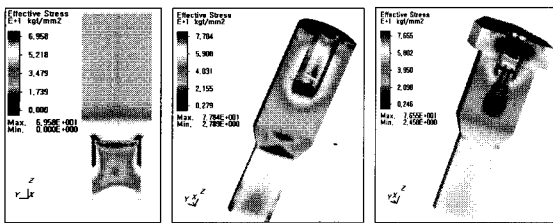
(c) effective plastic strain

Fig. 12 Results of FVM simulation about operations of Fig. 9(b)

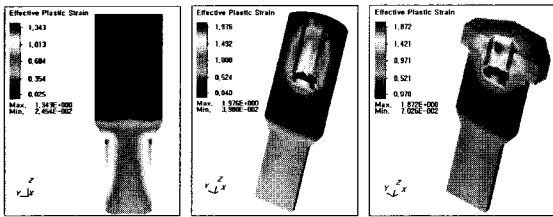
Fig. 13은 Fig. 10의 공정순서에 대하여 해석한 결과로서 최대 성형하중은 약 225.2[tonf]이다. 두 공정을 비교하면 최대성형하중에서는 큰 차이가 없으나 각 공정별 성형하중의 분포를 비교하면 후자가 비교적 더 고른 분포를 보이고 있다. 유효 응력의 경우 공정에 따라서 부위별로 서로 다른 분포를 보이고 있으나, 최종 제품의 플랜지 부분을 비교하면 큰 차이가 없다. 유효소성변형률을 살펴보면 Fig. 10의 경우가 Fig. 9(b)의 경우에 비



(a) forming load



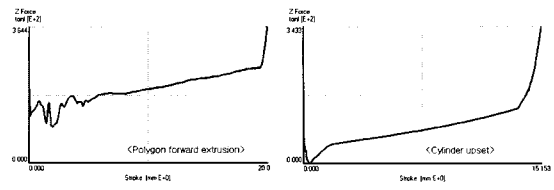
(b) effective stress



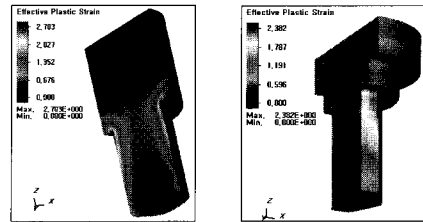
(c) effective plastic strain

Fig. 13 Results of FVM simulation about operations of Fig. 10

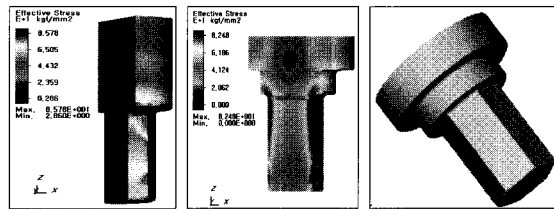
해서 보다 균일한 분포를 보여주고 있다. 따라서 플랜지 부분에 구멍이 있는 비축대칭 제품을 성형할 때는 Fig. 10의 경우에서처럼 구멍부분을 먼저 성형한 후 플랜지 부분을 성형하는 것이 기계적으로 성질이 더 우수한 부품을 얻을 수 있음을 알 수가 있다. Fig. 14는 Fig. 11의 공정에 대하여 해석한 결과이며, 원형 소재를 이용하여 다각형 기둥을 압출로 성형할 때는 소재의 단면적과 다각형의 면적의 비율에는 상관없이 구속압출로 성형하여야 함을 알 수가 있었다. Fig. 9(b)의 공정을 해석하는데 소요된 시간은 약 84시간 정도이며, Fig. 10의 경우도 역시 비슷한 시간이 소요되었으며, Fig. 11의 경우는 56시간 정도가 소요되었다. Pentium 4, 2.0 GHz의 CPU, 2.0GB 램을 장착한 컴퓨터를 사용하였으며, 다이와 부품 사이의 마찰계수는 0.05로 가정하였다. SuperForge의 경



(a) forming load



(b) effective plastic strain



(c) effective stress

(d) finished product

Fig. 14 Results of FVM simulation about operations of Fig. 11

우 다이와 펀치를 강체로 간주하기 때문에, 다이와 펀치의 형상은 각 공정에 해당하는 기하학적 형상에 맞추어서 간단하게 설계하였다. 유한체적 메시의 요소 사이즈에 따라서 계산의 결과에 약간씩 차이가 발생하지만, 여기서는 요소 사이즈의 크기를 0.7mm ~ 1.6mm로 하여 계산하였다.

전체적으로 이 프로그램을 이용한 비축대칭 형상에 대한 공정설계가, FVM 시뮬레이션을 이용한 해석한 결과를 살펴보면, 비교적 양호한 성형성, 기계적 성질 등을 보여줄 수 있을 것으로 예상되고, 이러한 패키지를 이용하여 공정변수를 구하고, 성형성 등을 검토하여 공정설계의 타당성을 검증하는 방법 역시 좋은 공정설계의 예라는 결론을 내릴 수 있었다. 향후 과제로서는 이러한 해석결과를 실험을 통해서 비교분석하고, 비축대칭 형상의 금형설계에 적용하여 금형설계 프로그램을 개발하는 것이다.

6. 결론

본 연구에서는 AutoCAD 환경에서 구동되는 Visual

LISP 언어와 대화상자 기능을 이용하여 초보자라도 쉽게 공정설계를 할 수 있는 비축대칭 제품에 대한 냉간단조 공정설계 시스템을 개발하였으며, 연구의 결과 얻은 결론은 다음과 같다.

(1) 비축대칭 제품을 평면도와 정면도로 표현한 후 레이어를 분리하여 평면도에서는 제품의 비축대칭 형상을, 정면도에서는 각 기본형상의 높이와 축대칭 형상을 인식하고, 또한, 실선과 은선으로 도면화된 부품을 실선과 은선을 각각 분리한 후 실선 부분은 전방압출 또는 업세팅 공정으로, 은선 부분은 후방압출 공정으로 성형되어지는 부분으로 인식함으로써, 제품의 적절한 형상 표현이 가능하였다. 따라서, 본 연구는 비축대칭 형상에 대한 공정설계 자동화 시스템 구축의 근거를 마련하였다.

(2) 원형 소재를 이용하여 다각형 기둥을 전방압출 공정으로 성형할 경우에는 소재의 단면적과 다각형의 면적의 비율에는 상관없이 반드시 구속압출로 성형되며, 비축대칭 형상이 한번의 공정으로도 성형될 수 있음을 확인하였다. 따라서, 적절한 소재를 선택함으로써 대부분의 산업현장에서 적용하고 있는 비축대칭 형상에 대한 예비성형공정 단계를 줄여서 생산단가를 낮출 수 있는 근거를 제공하였다.

(3) 구축한 지식베이스와 데이터 베이스를 바탕으로 단점이 없는 성형방법, 공정순서, 공정수, 중간단계의 기하학적 형상에 대한 공정설계를 한 후, 다이와 부품사이의 틈새를 고려하여 공정을 재설계하여 최종 공정도면을 자동적으로 출력함으로써, 본 연구에서 개발된 비축대칭 제품의 냉간단조 공정설계 시스템의 현장적용이 가능하며, 편리하다.

(4) FVM 시뮬레이션의 결과로써, 원형소재로부터 비축대칭 형상(6각형 구멍 및 기둥, 8각형 플랜지 등)이 아주 양호하게 성형되어짐을 알 수 있었으며, FVM 시뮬레이션을 이용한 공정설계가 공정설계의 타당성과 각 공정의 성형성을 검토하고, 공정변수 등을 구할 수 있는 아주 유용한 방법이라 하겠다.

참 고 문 헌

- (1) 조해용, 허종행, 민규식, 2000, “다단 비축대칭 부품의 단조 공정설계를 위한 단조품설계 자동화”, 한국정밀공학회지, 제17권, 제3호, pp. 102~107.
- (2) 김동권, 배원병, 김영호, 1995, “비축대칭 형상을 가진 제품의 최종 단계 평금형 압출에 관한 상계 해석”, 소성가공, 제4권, 제4호, pp. 390~397.
- (3) 김영호, 배원병, 이종현, 박재훈, 1995, “비축대칭 형상의 단조공정설계”, 한국정밀공학회지, 제12권, 제10호, pp. 57~68.
- (4) Lee HI, Hwang BC, Bae WB, 2001, “A UBET analysis of non-axisymmetric forward and backward extrusion”, J. Mater. Proc. Technol., Vol. 113, pp. 103~108.
- (5) Bhavin V. Mehta, Ibrahim Al-Zkeri, Jay S. Gunasekera, Arjaan Buijk, 2001, “3D flow analysis inside shear and streamlined extrusion dies for feeder plate design”, J. Mater. Proc. Technol., Vol. 113, pp. 93~97.
- (6) 허종행, 1999, “비축대칭 형상품의 냉간단조를 위한 설계자동화시스템 개발에 관한 연구”, 충북대학교 석사학위논문.
- (7) 이연호, 1995, “냉간단조 공정설계 및 금형설계의 자동화시스템에 관한 연구”, 부산대학교 박사학위논문.
- (8) 김홍석, 1994, “축대칭형 제품의 냉간 단조 공정설계용 전문가 시스템 개발”, 한국과학기술원 석사학위논문.
- (9) Lange, K., 1995, “Handbook of Metal Forming”, McGraw Hill, New York.
- (10) M.P.Groover and E.W.Zimmers, 1984, “CAD/CAM Computer-Aided Design and Manufacturing”, Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs.
- (11) Bariani, P. and Knight, W.A., 1988, “Computer Aided Cold Forging Process Design : A Knowledge-Based System Approach for Forming Sequence Generation”, Ann. CIRP, 37, pp. 243~246.
- (12) The MacNeal-Schwendler Corporation, 2000, “MSC SuperForge 2000 User’s Manual”.