

# 비축대칭 제품의 냉간단조 공정설계시스템에 관한 연구

이봉규\*, 조해용\*\*, 권혁홍\*\*\*

## A Study on the Automated Process Planning System for Cold Forging of Non-axisymmetric Parts

Bong Kyu Lee\*, Hae Yong Cho\*\*, and Hyuk Hong Kwon\*\*\*

### ABSTRACT

An automated 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 the AutoCAD using a personal computer and are composed of four main modules such as input module, shape cognition and shape expression module, material diameter determination module and process planning module. The design rules and knowledges for the system are extracted from the plasticity theories, handbook, relevant reference and empirical knowledge of field experts. Generally, in forging, only front view is needed for expression of axisymmetric parts, but non-axisymmetric parts need front and plane view. At the plane, this system cognizes the external shape of non-axisymmetric parts - number of sides of regular polygon and radius of a circle circumscribing the polygon of n sides. At the front view, the system perceives diameter of axisymmetric portions and height of primitive geometries such as polygon, cylinder, cone, concave, convex, etc.

**Key Words** : Cold Forging(냉간단조), Process Planning(공정설계), Non-axisymmetric parts(비축대칭 제품), Visual LISP(비주얼 리습), DCL(대화상자), Primitive Geometries(기본형상), Polygon(다각형)

### 1. 서론

냉간단조에서 공정설계의 목적은 현장전문가의 경험과 지식, 소성역학 이론, 그 동안 축적되어온 여러 가지 연구결과 등을 이용하여 지식베이스를 구축하고 이를 바탕으로 가장 적은 생산비용으로 현장경험이 없는 초보자라도 단점이 없는 공정을 결정할 수 있도록 하는 것이다.

그 동안 이 분야에 대한 연구는 주로 축대칭 제품에 대한 것이 주를 이루었는데, Lee<sup>(1)</sup>는 축대칭

부품에 대하여 냉간단조 공정설계 및 금형설계의 자동화시스템을 AutoLISP 언어를 이용하여 개발하였고, Kim<sup>(2)</sup>은 PROLOG 언어를 이용하여 축대칭 제품의 냉간단조 공정설계용 전문가 시스템을 개발하였다. 비축대칭에 대한 연구는, 준축대칭 또는 비축대칭 형상에 대해 마지막에 트리밍(trimming) 공정으로 성형하는 방법 등이 발표되고 있지만, 형상 표현의 어려움 등으로 인하여 그렇게 활발히 진행되고 있지는 않은 실정이다. 일반적으로 축대칭 형상은 정면도만 있어도 형상표현이 가능하지만, 비

1: 2001년 8월 28일 접수

\* 충북대학교 대학원 기계공학과

\*\* 충북대학교 기계공학부

\*\*\* 대전대학교 기계설계공학과

측대칭 형상은 정면도와 평면도가 필요하며, 평면도에서는 제품의 비축대칭 형상만을 인식하여 다각형의 개수, 각 다각형의 변의 개수, 다각형에 외접하는 원의 지름이 얼마인지를 알게되고, 정면도에서는 각 형상의 높이와 측대칭 형상의 지름을 인식하게 된다. 따라서 본 연구는 비축대칭 형상에 대한 냉간단조용 공정설계가 목적이며, 복잡한 형상보다는 현재 현장에서 생산되고 있는 특수형상의 볼트 등 비교적 간단한 형상의 제품에 대한 냉간단조 공정설계 자동화 시스템을 구축하고자 한다.

## 2. 시스템의 구성 및 작동원리

본 연구에서는 AutoCAD 환경에서 수행되는 Visual LISP 언어와, Kwon<sup>(3)</sup> 등이 저비용 고효율의 설계자동화 시스템을 AutoLISP 언어를 이용하여 구축할 때 그 편리함이 증명된 바 있는, 모든 데이터를 누구나 쉽게 입력할 수 있는 대화상자 기능(DCL : Dialog Control Language)을 이용하여<sup>(4,5)</sup> 비축대칭 형상의 공정설계 자동화시스템을 구축하였다. 시스템은 입력모듈, 부품의 형상인식 및 형상표현 모듈, 소재직경 결정모듈, 공정설계 모듈로 구성되어 있다. 단조품의 형상을 AutoCAD 화면상에 평면도와 정면도로 표현한 후 시스템을 작동시키면, 사용자가 대화상자(DCL)를 통해 재질 등을 입력하게 되고, 소재의 물성치와 공정설계 시 요구되는 성형한계치가 데이터베이스로부터 자동으로 추출되어 공정설계 모듈에 전달된다. 형상인식 및 형상표현 모듈에서는 평면도와 정면도의 레이어(layer) 분리를 통하여 평면도에서 부품의 형상을 인식하고 정면도에서 이를 바탕으로 하여 형상을 표현하게 된다. 소재직경 결정모듈에서는 형상표현 리스트를 이용하여 적절한 직경을 선택하게 된다. 공정설계 모듈에서는 표현된 형상을 근거로 여러 가지 공정 변수들을 고려하여 자동으로 공정설계를 한 후 도면을 창출한다. 시스템을 구성하는 각 모듈에 대한 자세한 설명은 아래에서 다루고자 한다.

### 2.1 입력모듈

입력모듈은 Fig. 1과 같이 소재의 재질, 다이 및 다이인서트의 재질, 편치의 재질, 마찰계수, 전단응력계수, 다이 형상 등을 사용자가 직접 선택하거나 입력하게 된다. 그림에서처럼 각각의 재질은 Popup\_list에서 선택하게 되고 선택된 재질은 바로

Popup\_list의 왼쪽에 표시가 된다. 소재가 선택되면 소재의 물성치와 성형 한계치가 데이터베이스로부터 자동적으로 입력된다.

## 2.2 형상인식 및 형상표현 모듈

### 2.2.1 Layer 분리

도면을 그릴 때에는, 비축대칭 형상이기 때문에 평면도와 정면도를 그려서 제품의 형태를 나타낸다(Fig.2). 그리고 정면도에서는 단면이 아닌 외형의 형상을 실선으로 나타내고, 내부의 보이지 않는 부분은 은선으로 표시하여 평면도에서 전체의 형상을 알 수 있도록 그린다. 프로그램이 실행되면 정면도의 중심선과 실선이 만나는 두 점 중에서 아래의 점이 전체 도면의 기준점이 되어 전체도면이 기준점을 중심으로 하여 원점으로 이동한다. 그리고, Fig.3의 대화상자가 지시하는 것처럼, 마우스를 이용하여 두 점을 클릭하여 평면도를 선택하게 되는 데, 평면도는 Layer1로, 정면도는 Layer2로 Layer가 분리된다<sup>(6)</sup>.

### 2.2.2 도면요소 표현

정면도의 형태는 실선부분과 은선부분으로 나누어져서, 다음과 같은 도면요소의 리스트(list)의 집합체로 각각 표현된다.

- 직선 : ("L" Sp Ep)
- 원호 : ("A" Sp Ep Cp)

L은 Line을, A는 Arc를, Sp는 시작점(xs ys zs)을, Ep는 끝점(xe ye ze)을, Cp는 Arc의 중심점(xc yc zc)를 각각 나타낸다. 즉,

```
bylayer_list = (("L" Sp1 Ep1)("L" Sp2 Ep2)("A" Sp3 Ep3 Cp3)· · · )
```

```
hidden_list = (("L" Sp1 Ep1)("L" Sp2 Ep2)("A" Sp3 Ep3 Cp3)· · · )
```

### 2.2.3 형상인식<sup>(6)</sup>

평면도에서는 다각형 형상들을 인식하게 된다. 하나의 다각형은 점 좌표 (xi, yi)들로 구성되어 리스트로 표현되는데, n각형의 경우는 n개의 점으로 이루어진다. 다각형이 여러 개인 경우는 각각의 다각형 리스트를 묶어서 전체를 하나의 리스트로 만든다(p\_list). 또한 각각의 다각형에 대해 수평 중심선과 다각형이 만나는 양(+의) x점과 다각형에 외

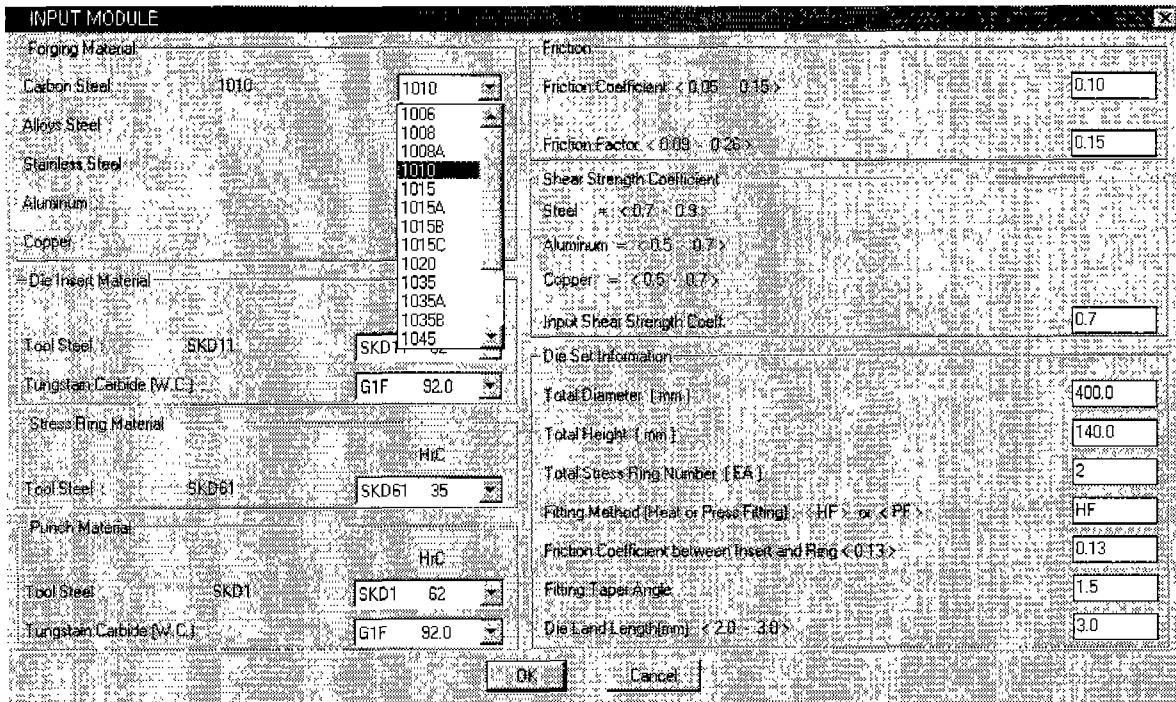


Fig. 1 DCL of input

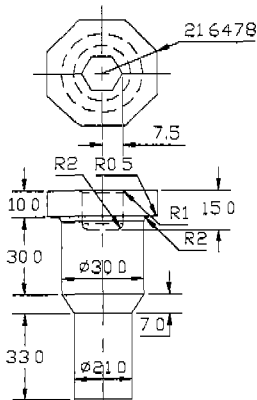


Fig. 2 Plane and front view of the product

접하는 원의 반경( $r$ )을 구하여 ( $x, r$ )로 나타내고 전체를 묶어서 하나의 리스트( $rl\_list$ )로 만든다. 즉,  
 $p\_list = (((x11\ y11)(x21\ y21)(x31\ y31) \cdot \cdot \cdot) ((x12\ y12)(x22\ y22)(x32\ y32) \cdot \cdot \cdot)) \cdot \cdot \cdot$   
 $= (((7.5\ 125.0)(3.75\ 118.505)(-3.75\ 118.505)(-7.5\ 125.0)(-3.75\ 131.495)(3.75\ 131.495)) ((20.0\ 133.284)(8.28427\ 145.0) (-8.28427\ 145.0) (-20.0\ 133.284) ($

$-20.0\ 116.716) (-8.28427\ 105.0) (8.28427\ 105.0) (20.0\ 116.716)))$   
 $rl\_list = ( (x1\ r1) (x2\ r2) \cdot \cdot \cdot )$   
 $= ((7.5\ 7.5) (20.0\ 21.6478))$

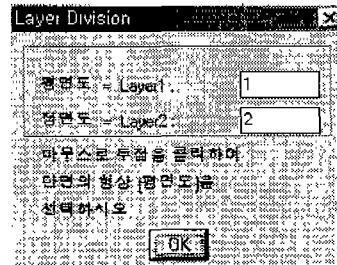


Fig. 3 Separation of layer between plane and front view

따라서, 다각형의 개수가 몇 개이며 각각이 몇 개의 변으로 구성되어 있는지를 알 수가 있다. 그리고 다각형의 외접원의 반지름과  $x$ 축과 만나는 점의 값을 인식하게 되는데, 이것으로써 평면도와 정면도의 상관관계를 알 수가 있게 되는 것이다.

**2.2.4 형상표현**

도면요소 표현 리스트(bylayer\_list, hidden\_list)에서 수평선을 배제한 후 중심선을 기준으로 오른쪽 부분(x>0)만 선택하여 y값의 크기에 따라 오름차순으로 정렬한다. 즉,

```
bylayer_list1 = (("L" (10.5 0.0 0.0) (10.5 33.0 0.0))
("L" (10.5 33.0 0.0) (15.0 40.0 0.0)) ("L" (15.0 40.0
0.0) (15.0 68.0 0.0)) ("A" (15.0 68.0 0.0) (17.0 70.0
0.0) (17.0 68.0 0.0)) ("A" (19.5 70.0 0.0) (20.0 70.5
0.0) (19.5 70.5 0.0)) ("L" (20.0 70.5 0.0) (20.0 80.0
0.0)))
hidden_list1 = (("A" (5.5 65.0 0.0) (7.5 67.0 0.0) (5.5
67.0 0.0)) ("L" (7.5 67.0 0.0) (7.5 79.0 0.0)) ("A"
(7.5 79.0 0.0) (8.5 80.0 0.0) (8.5 79.0 0.0)))
```

그리고, 형상인식 리스트(p\_list, r1\_list)를 이용하여 위의 리스트에서 다각형 리스트를 찾아낸다. 즉,  
 polygon\_list1 = ("L" (20.0 70.5 0.0) (20.0 80.0 0.0))  
 polygon\_list2 = ("L" (7.5 67.0 0.0) (7.5 79.0 0.0))

또한, 오름차순으로 정렬한 리스트를 기본형상으로 표현하게 된다. 기본형상(Shape)은 Cylinder(원통), Polygon(다각형 기둥), Cone(원추), Concave(오목원추), Convex(볼록원추), Pol\_convex(다각형 기둥의 끝 부분을 fillet 처리한 경우), Pol\_concave(다각형 기둥의 끝 부분이 다른 부분과 연결되어 있을 때 연결된 부분을 fillet 처리한 경우)등이다.

형상표현 리스트는 ("Shape" h d1 d2 m)으로써 나타내어진다. 여기서,

- Shape : 기본 형상
- h : 기본 형상의 높이
- d1 : 형상의 아래 끝 부분의 지름  
(Polygon의 경우는 수평중심선과 다각형이 만나는 점의 +의 x값의 2배)
- d2 : 형상의 위 끝 부분의 지름  
(Polygon의 경우는 다각형에 외접하는 원의 직경)
- m : Concave, Convex, Pol\_convex, Pol\_concave의 반경  
(Polygon의 경우는 다각형의 면의 개수)

기본형상으로 표현하면 다음과 같다. 즉,

```
FU_list = (FE_UP ("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))
BE_list = (BE ("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))
```

여기에서, 실선부분에서 전개되어 온 리스트인 FU\_list는 전방압출 및 업세팅 되는 부분이며, 은선 부분에서 전개되어 온 리스트인 BE\_list는 후방압출이나 can extrusion되는 부분을 나타낸다. 그리고 FE\_UP는 전방압출 및 업세팅을 BE는 후방압출 또는 Can extrusion을 의미한다.

**2.2.5 체적계산**

위의 형상표현 list들을 이용하여 적분을 통해 각각의 체적 volume1과 volume2를 구한 후 volume1에서 volume2를 뺀 후 전체 체적을 구한다.

**2.3 소재직경 결정모듈**

이 모듈에서는 자동적으로 제품의 최소직경과 최대직경이 제시되며 사용자가 원하는 직경을 입력하게 된다(Fig. 4). 원통이나 다각형 기둥의 지름 (다각형의 변적을 원의 변적이라 가정하고, 이것에 대하여 계산한 지름)의 리스트를 구하여 입력한 소재직경을 이용하여 유효변형률(SS)과 업세팅 직경비(UDDR)를 구한다. 그리고 각각을 LSTS(한계 구속 주대수 변형률) + 2 \* LSOS(한계 비구속 주대수 변형률)와 LUDDR(한계 업세팅 직경비) 값과 비교하여 성형조건을 만족시키는지 검토하고 만족시키지 못하면 다시 소재 직경을 선택하도록 한다(Fig. 5). 소재직경이 결정되면 위에서 구한 체적을 이용하여 소재의 길이를 구한다. 따라서 초기 소재 (Billet)의 크기가 결정된다.

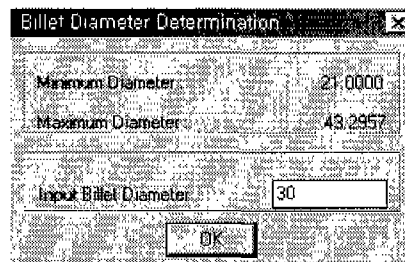


Fig. 4 Input of billet diameter



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



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

Fig. 5 Error message for billet diameter inputted

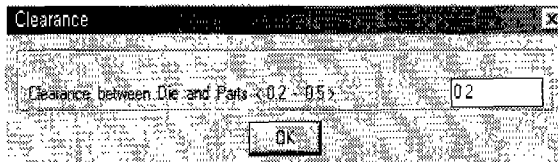


Fig. 6 Input of clearance between die and part

## 2.4 공정설계 모듈

공정설계 모듈은 공정순서를 결정하는 모듈로써, 기본형상 표현에 의한 기하학적 특성과 공정설계규칙을 이용하여 소재로부터 최종제품까지의 공정을 결정하게 된다. 이 시스템에서 먼저 소재의 직경을 결정하게 되면 다이와 소재 사이의 틈새(clearance)가 고려되지 않은 최적의 공정을 설계하게 된다. 그 다음에 Fig. 6과 같이 다이와 소재 사이의 틈새를 입력하게 되면 시스템은 이미 설계된 공정의 공정순서, 공정 수, 중간단계의 기하학적 형상과 작업방법을 기초로 하여 공정을 재설계하게 된다. 즉, 최종부품에서 소재의 직경을 선택하여 중간단계의 공정을 결정한 후, 다이와 부품사이의 틈새를 고려하여 체적일정조건을 기본으로 다시 최종부품으로부터 중간 단계의 부품들을 결정하고 최종적으로 초기소재를 결정하게 되는 것이다. 이렇게 하여 결국 현장에서 적용 가능한 공정설계가 가능하며, 공정의 결과를 도면으로 창출한다.

## 3. 설계규칙<sup>(1,7,8,9)</sup>

### 3.1 일반규칙

- 규칙1) 재료가 변형을 받으면, 체적의 변화는 없다 (체적일정조건).
- 규칙2) 다음 단계의 부품형상이 성형되려면, 현 단계의 부품형상은 변형영역(deformation zone)과 비변형영역(no-deformation zone)으로 구성된다.
- 규칙3) 최종제품이 단이 있으면 일련의 작업순서에 의하여 생산되며, 각 작업은 하나의 변형영역으로 이루어진다.
- 규칙4) 다음 단계의 변형영역이 설계되려면 현재의 변형영역은 한 공정으로 생산할 수 있는 변형영역이 되어야 한다.
- 규칙5) 소재형상은 선재(wire rods) 혹은 원형 봉재(circular bars)이다.
- 규칙6) 성형공정 단축을 위하여 [각 작업에서의 한계변형률] > [부품요소의 변형률] 이면 부품요소의 변형률까지 성형한다.
- 규칙7) 각 작업에서의 한계변형률 ≤ [부품요소의 변형률] 이면, 최대 성형한계까지 성형한다.

### 3.2 소재직경 결정

- 규칙8) 다단부품의 소재직경은 부품의 최대직경과 최소직경 사이에 있다.
- 규칙9) 중실부품에서 제일 작은 직경의  $SS > LSTS + 2 * LSOS$  이면 소재직경을 줄여야 한다.
- 규칙10) 구속압출에서 제일 큰 직경의  $SLDR(\text{길이대 직경비}) > LSLDR(\text{한계 길이대 직경비})$  이면 소재직경을 늘여야 한다.
- 규칙11) 중실부품에서 제일 큰 직경의  $UDDR > LUDDR$  이면 소재직경을 늘여야 한다.
- 규칙12) 캔 후방압출의 [소재 직경] ≤ [부품의 최대 직경] 이다.

### 3.3 시험규칙

- 규칙13) 다각형기둥을 압출하거나 업세팅시 고려되는 지름은, 먼저 다각형의 면적을 계산하고 이를 원의 면적이라고 가정하여 구한 원의 지름으로써, 소재 직경보다 작으면 다각형

- 기둥 전방압출이 되고, 소재 직경보다 크면 다각형기둥 업세팅된다.
- 규칙14)  $SS \leq LSOS$ 이면 비구속 전방압출로 성형한다.
- 규칙15) 비구속압출로 성형되려면 [변형영역의 압출반각]  $\leq$  [비구속압출의 압출반각] 이다.
- 규칙16)  $LSOS < SS \leq LSTS$ 이면 구속 전방압출로 성형한다.
- 규칙17) 구속전방압출로 성형되려면 [변형영역의 압출반각]  $\leq$  [내부결함을 피하는 압출반각] 이다.
- 규칙18)  $TS(\text{중공 주대수 변형율}) \leq LTTS(\text{한계 중공 구속 주대수 변형률})$ 이면 중공 전방압출로 성형한다.
- 규칙19)  $LCLS(\text{한계 켄 최소 주대수 변형률}) < CS(\text{켄 주대수 변형률}) \leq LCUS(\text{한계 켄 최대 주대수 변형률})$  이면 켄 후방압출로 성형한다.
- 규칙20)  $ULDR(\text{업세팅 길이대 직경비}) \leq LULDR(\text{한계 업세팅 길이대 직경비})$ 이면 소재의 좌굴이 방지된다.

### 3.4 공정순서 결정

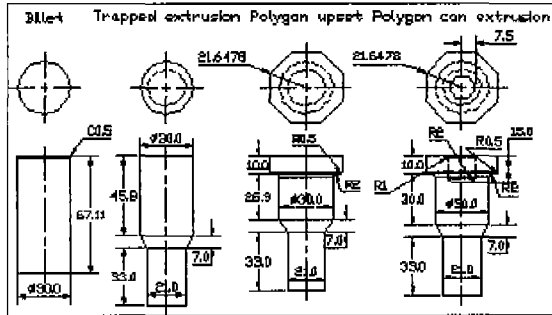
- 규칙21) 중실부품의 공정순서는 먼저 압출공정을 하고 업세팅공정을 한다.
- 규칙22) 전방압출에서 [최대성형한계]  $< [LSTS + 2 * LSOS]$  이다.
- 규칙23) 동시에 2단 구속압출은 다이의 마모를 고려하여 한번에 성형하지 않는다.
- 규칙24) 다단 압출에서  $SS \leq LSTS$ 이면 제일 작은 직경부터 순차적으로 압출한다.
- 규칙25)  $SS > LSTS$ 이면 처음 압출공정은 [내부 결함을 피하는 압출반각] 으로 압출하고 다음 작업에서 최종부품의 각도를 맞춘다.
- 규칙26)  $SS \leq [LSTS + LSOS]$  이면, 먼저 LSTS까지 구속압출을 한 후 비구속압출을 한다.
- 규칙27)  $SS \leq [LSTS + 2 * LSOS]$  이면 먼저 LSTS까지 구속압출을 한 후 비구속 압출과 비구속 압출로 작업을 완성한다.
- 규칙28) 한번 구속압출이나 비구속압출을 받은 부분은 다음에 구속압출로 성형할 수 없다.
- 규칙29) 내부 구멍과 중실부분을 갖는 부품이면 먼

- 저 중실전방압출한 다음 켄 후방압출한다.
- 규칙30) 복합압출로 성형하려면 전방압출과 후방압출의 성형한계를 모두 만족하여야 한다.
- 규칙31) 여러 단이 업세팅되려면 제일 작은 직경부터 순차적으로 업세팅한다.
- 규칙32)  $ULDR \leq 2.25$ 이면 한번에 자유업세팅 한다.
- 규칙33)  $2.25 < ULDR \leq 4.5$ 이고  $UDDR \leq 1.3$ 이면 한번에 업세팅한다.
- 규칙34)  $2.25 < ULDR \leq 4.5$ 이고  $UDDR > 1.3$ 이면 예비업세팅을 한 다음 업세팅된다.
- 규칙35) 예비업세팅이 필요하다면 다이형상은 원추형이다.
- 규칙36)  $4.5 < ULDR \leq 6.5$ 이고  $UDDR \leq 1.3$ 이면 한번에 업세팅한다.

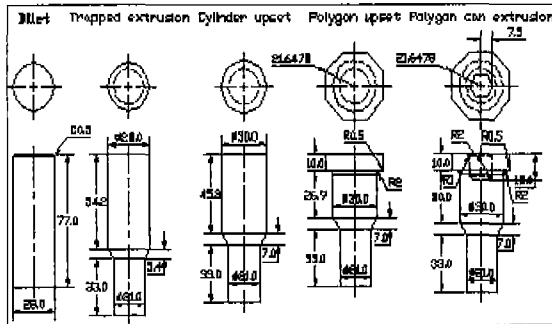
## 4. 시스템의 적용 및 고찰

사용자는 AutoCAD상에 Fig. 2와 같이 제품의 정보를 정면도와 평면도를 그려서 표현하여 프로그램을 실행하게 된다. Fig. 1의 대화상자를 통해 재질과 각종 데이터를 입력하며, Fig. 3의 지시를 받아 정면도와 평면도의 레이어를 분리하고, Fig. 3을 통해 소재의 직경을 입력하게 된다. 그리고 소재 직경의 선택에 문제가 없으면 구축된 지식베이스를 이용하여 공정을 설계하게 된다(Fig.7). 여기에서, Fig. 7(a)는 소재의 직경을 30.0mm로 하였을 경우 최종제품이 성형되기까지는 3단계를 거치며, Fig. 7(b)는 소재의 직경을 28.0mm로 하였을 경우 4단계를 거쳐 최종제품이 성형되는 과정을 나타낸다. 하지만, 이 공정 설계는 다이와 소재사이의 틈새가 전혀 고려되지 않은 것이므로 현장에서는 활용할 수가 없다. 따라서 이 시스템에서는 Fig. 7에서 주어진 공정순서, 공정 수, 중간단계의 기하학적 형상과 작업방법을 기초로 하여 Fig. 6에서 입력된 다이와 부품사이의 틈새를 고려하여 공정을 재 설계하도록 명한다. 즉, Fig. 7의 틈새를 고려하지 않은 공정을 근거로 하여 공정수와 공정순서, 중간단계의 기하학적 형상, 작업방법 등은 그대로이지만 중간단계의 형상의 치수가 현장에서 적용 가능하도록 제척일정조건을 바탕으로 하여 변하게 되는 것이다. Fig. 8(a)는, 초기 소재의 직경을 30.0mm로 하였을 경우의 공정순서를 기초로 하여 각각의 중간단계에 다이와

부품 사이의 틈새를 적용시킨 결과로써, 바람직한 초기 소재의 직경은 28.8mm이며, 따라서 중간단계의 형상에서도 치수에 변화가 있음을 알 수가 있다.



(a) billet diameter 30.0mm, material AISI 1006

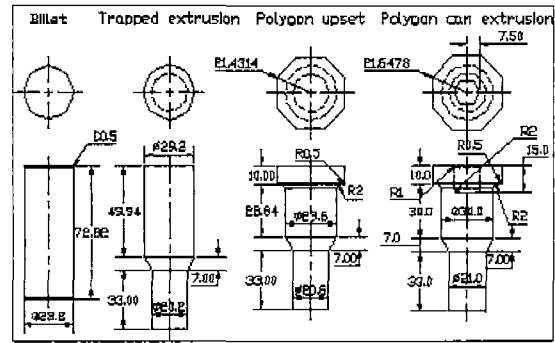


(b) billet diameter 28.0mm, material AISI 1006

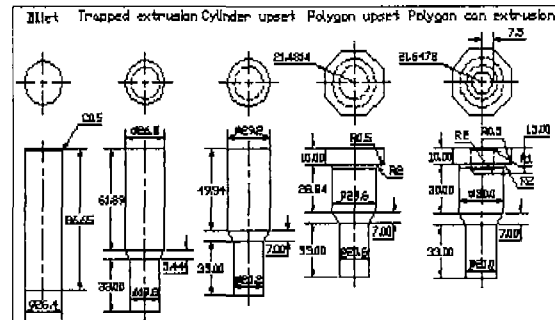
Fig. 7 Examples of process planning without considering clearance

또한 Fig. 8(b)는 초기 소재의 직경을 28.0mm로 하였을 경우의 공정과정을 기초로 하여 각각의 중간단계에 틈새를 적용시킨 결과이다. 바람직한 초기 소재의 직경은 26.4mm이며, 중간단계의 형상에서 치수에 변화가 있음을 알 수가 있다. 여기에 적용시킨 다이와 부품사이의 틈새는 0.2mm이며, 틈새의 유·무에 따른 공정설계의 결과를 Table 1에 나타내었다.

결국 시스템은 각각의 중간단계의 공정에 틈새를 적용시키고, 따라서 초기소재의 직경도 다시 결정하여 현장에서 쉽게 적용할 수 있는 최종적인 공정을 재 설계하여 공정도를 Fig. 8(a), (b)와 같이 자동적으로 창출하게 되는 것이다.



(a) billet diameter 28.8mm, material AISI 1006



(b) billet diameter 26.4mm, material AISI 1006

Fig. 8 Examples of process planning considering clearance

Table 1 Comparison of process planning considering the existent and the non-existent of clearance

Apply of clearance	Diameter of billet	number of process	Clearance between die and parts	Possibility of adaption in field
no	30.0mm	3	0	no
yes	28.8mm	3	0.2mm	yes
no	28.0mm	4	0	no
yes	26.4mm	4	0.2mm	yes

### 5. 결론

본 연구에서는 비축대칭 제품에 대하여 쉽게 공정설계를 할 수 있도록 컴퓨터를 이용한 냉간단조 공정설계 시스템을 개발하였으며, 연구의 결과로써 얻은 결론은 다음과 같다.

- 1) 비축대칭 제품의 냉간단조 공정설계에 있어서 제품을 평면도와 정면도로 표현한 후 레이어를 분리함으로써, 평면도에서는 제품의 비축대칭 형상을, 정면도에서는 각 형상의 높이와 축대칭 형상을 인식하게 되어, 적절하게 형상을 표현할 수 있음을 알 수 있었다.
- 2) AutoCAD 환경에서 실선과 은선으로 도면화된 부품을 실선과 은선을 분리하여 각각을 기본형상으로 표현하여 실선은 전방압출·업세팅으로, 은선은 후방압출·Can extrusion 되는 부분으로 인식함으로써 프로그래밍이 간단·명료해짐을 알 수 있었다.
- 3) 다각형기둥의 압출 및 업세팅 시 고려되는 지름은, 먼저 다각형의 면적을 계산하고 이를 원의 면적이라 가정하여 구한 원의 지름으로써, 소재 직경보다 작으면 다각형기둥 전방 압출이 되고, 소재 직경보다 크면 다각형기둥 업세팅이 된다.
- 4) 먼저 초기소재의 직경을 결정한 후, 구축된 지식 베이스를 이용하여 다이와 부품간의 틈새가 고려되지 않은 결함이 없는 공정을 설계하고, 이를 기초로 하여 다시 다이와 부품사이의 틈새를 고려하여 공정을 재설계하여 공정도면을 창출함으로써, 비축대칭 형상에 대해서 현장에서도 적용 가능한 냉간단조 공정설계가 이루어졌다.
7. Lange, K., "Handbook of Metal Forming," McGraw Hill, New York, 1985.
8. M.P.Groover and E.W.Zimmers, "CAD/CAM Computer-Aided Design and Manufacturing," Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, 1984.
9. Bariani, P. and Knight, W.A., "Computer Aided Cold Forging Process Design : A Knowledge-Based System Approach for Forming Sequence Generation," Ann. CIRP, 37, pp. 243~246, 1988.

### 참고문헌

1. 이연호, "냉간단조 공정설계 및 금형설계의 자동화시스템에 관한 연구," 부산대학교 박사학위논문, 1995.
2. 김홍석, "축대칭형 제품의 냉간 단조 공정 설계용 전문가 시스템 개발," 한국과학기술원 석사학위논문, 1994.
3. 권혁홍, 박용일, 조동현, "Oil Cooler Design Automation on the Cooling of Machine Tool Cutting Oil," 한국공작기계학회지, 제8권, 제1호, pp. 42-52, 1999.
4. 김찬우, "Visual LISP for AutoCAD 2000," 크라운출판사, 2000.
5. 구분훈, "AutoCAD에서의 DCL 활용," 성안당, 1995.
6. 허종행, "비축대칭 형상품의 냉간단조를 위한 설계자동화시스템 개발에 관한 연구," 충북대학교 석사학위논문, 1999.