

## 다단 냉간단조품의 자동공정설계시스템

최재찬\*, 김병민\*, 이연호\*\*, 김성원\*\*, 김호관\*\*

### Automated Forming Sequence Design System for Multistage Cold Forging Parts

J. C. Choi\*, B. M. Kim\*, E. H. Lee\*\*, S. W. Kim\*\*, H. K. Kim\*\*

#### ABSTRACT

This paper deals with an automated forming sequence design system by which designers can determine desirable operation sequences even if they have little experience in the design of cold forging process. The forming sequence design in the cold forging is very important and requires many kinds of technical and empirical knowledge. The system is proposed, which generates forming sequence plans for the multistage cold forging of axisymmetrical solid products.

Since the process of metal forming can be considered as a transformation of geometry, treatment of the geometry of the product is a key in planning process. To recognize the geometry of the product section, section entity representation and primitive geometries were used. Section entity representation can be used for the calculation of maximum diameter, maximum height, and volume. Forming sequence for the part can be determined by means of primitive geometries such as cylinder, cone, convex, and concave. By utilizing this geometrical characteristics(diameter, height, and radius), the product geometry is expressed by a list of the primitive geometries. Accordingly the forming sequence design is formulated as the search problem which starts with a billet geometry and finishes with a given product one.

Using the developed system, the sequence drawing with all dimensions, which includes the proper sequence of operations for the part, is generated under the environment of AutoCAD. Based on the results of forming sequence, process variables(strain, punch pressure, die inner pressure, and forming load) are determined.

**key words** : Forming sequence design(공정설계), Multistage cold forging(다단냉간단조), Axisymmetrical solid product(축대칭중실제품), Section entity representation(도면요소표현), Primitive geometry(기본형상), Sequence drawing(공정도), Process variable(공정변수)

기호설명

$d_0$  : 가공전의 직경 [mm](Fig.1 참조)

$d_1$  : 가공후의 직경[mm]

$l_0$  : 가공전의 길이[mm]

$l_1$  : 가공후의 길이[mm]

\* 부산대학교 기계설계공학과 (정회원), 정밀정형 및 금형가공연구센터

\*\* 부산대학교 기계설계공학과 대학원

- SS : 증실 주대수변형률 ( $= l_n d_0^2 / d_1^2$ )
- SLDR : 증실 길이대 직경비 ( $= l_o / d_0$ )
- $\varphi_u$  : 증실업세팅 변형률 ( $= l_n l_o / l_1$ )
- UDDR : 증실 업세팅 직경률 ( $= d_1 / d_0$ )
- ULDR : 증실 업세팅 길이대 직경비 ( $= l_o / d_0$ )
- LSOS : 한계증실 비구속 주대수변형률
- LSTS : 한계증실 구속 주대수변형률
- TRAP : 내부결함을 피하는 각도[°]
- LSLDR : 한계증실 길이대 직경비
- LULLR : 한계 업세팅 변형률
- LUDDR : 한계 업세팅 직경비
- LULDR : 한계 업세팅 길이대 직경비

### 1. 서론

간단한 기하학적 형상의 원소재료부터 표면이나 내부결함이 없이 보다 복잡한 형상의 제품으로 변환시키는 데에는 일반적으로 여러 단계의 중간공정을 필요로 한다. 과거에는 현장에서 축적된 기술과 경험만으로 제품을 생산했으나 최근에는 복잡한 공정에 대한 자동화의 요구 때문에 컴퓨터에 의한 공정설계는 필수적이다. 이것은 최적의 성형과정을 선택하고, 각 공정에 대한 적절한 공정변수 및 금형설계를 결정하는 데 용이하다. 더구나 단조품들의 생산방식이 소품종 대량 생산에서 다품종 소량생산으로 전환되면서 생산준비시간의 단축, 생산비용의 절감을 위한 컴퓨터 지원 기술의 이용이 크게 확대되고 있다. 특히, 광범위한 단조 기술을 지식베이스(knowledge base)로 구축하여 전문가 시스템(expert system)을 구축함으로써, 현장 경험이 적은 설계자라도 숙련된 기술자와 동등한 결과의 공정을 설계하는 것은 매우 중요하다.

최근 컴퓨터를 이용한 공정설계의 자동화를위하여 많은 연구가 이루어지고 있다. 냉간단조품의 공정설계에 컴퓨터를 응용한 최초의 연구발표는 Noack<sup>(1)</sup>이 1973년에 확대칭 냉간단조품의 공정설계 및 비용계산을 위한 프로그램을 개발하면서 시작되었다. 1977년 Lengyel<sup>(2)</sup>은 컴퓨터를 이용하여 여러가지 냉간단조 공정들중에서 최적의 공정을 선정해 내는 방법을 제안했다. 1980년대에 들어 Badawy<sup>(3)</sup> 등은 간단한 확대칭 냉간단조품에 대한 공정 설계 전문가 시스템인 FORMNG를, Altan<sup>(4)</sup> 등은 업세팅 및 전방압출을 고려한 공정설계용 전문가 시스템 FORMEX

를, Bariani<sup>(5)</sup> 등은 공정설계, 비용계산 및 다단계공시 작업시간을 예측하는 냉간단조 공정설계 전문가 시스템을 개발하였다. Lange<sup>(6)</sup> 등은 성형전의 제품형상이 성형후의 제품 형상보다 단순하다는 원칙에 기초하여 공정을 설계하는 방법을 제시하였지만, 업세팅 가공에서는 이 원칙에 따르지 않는 경우가 많기 때문에 적용범위가 제한된다. Osakada<sup>(7)</sup> 등은 패턴인식을 통한 제품모델(product model)을 이용하여 공정을 설계할 수 있는 원형시스템(prototype system)을, Nakanishi<sup>(8)</sup> 등은 확대칭 증실·중공 냉간단조품에 대하여 기본요소(primitive element)와 가공요소(formed element)를 고려한 형상 변환지식을 데이터베이스화하여 공정을 생성·평가하는 지식베이스 시스템인 FOREST-D를 개발하였다. 국내에서는 Choi<sup>(9-13)</sup> 등이 확대칭제품의 냉간단조, 열간단조, 디이프 드로잉 및 열간압출 등에 대하여 대화식으로 설계가 가능한 공정설계 및 금형설계 시스템을 개발하였다.

본 연구에서는 이전에 제안된 기술과 경험지식 및 설계방법을 활용하여, 확대칭 증실 단조 냉간단조품에 대한 자동공정설계시스템을 AutoCAD 환경하에서 개발하고자 한다. 지금까지 제시된 대부분의 설계방법들은 단면의 형상을 펠렛/코너반경을 고려하지 않고 원통, 원추, 오목원추 및 볼록원추 등의 간단한 단면으로 나누어 설계하였으나, 본 논문에서는 제품단면의 형상을 펠렛/코너반경을 포함하는 기본형상(원통, 원추, 오목원추, 볼록원추)의 합성으로 표현하여 인식시킴으로써 기하학적 특성(직경, 높이, 반경 등)을 고려한 설계가 가능하도록 하였으며, 제품단면에 대해 성형성을 검토한 후 단조하기 어려운 깊은 홈이나 구멍, 언더컷 등의 결함이 존재하면, 이것을 자동으로 단조가능한 단면으로 형상수정하였다. 또한 공정설계에 필요한 설계규칙과 경험을 지식베이스 및 데이터베이스로 정량화하여 체계화하였다. 따라서 본 시스템을 실행시킴으로써 소재료부터 최종제품까지 결함이 없는 공정순서, 공정수, 작업방법 및 성형하중 등이 자동적으로 창출되며, AutoCAD 환경하에서 구성하였기 때문에 설계자는 출력된 공정도에 작업도면에 맞도록 화면에서 공차 및 주기 등을 쉽게 기입할 수 있다.

### 2. 공정설계 규칙 및 데이터베이스

일반적으로 알려져 있는 "IF[조건부] THEN[결과부]"

형태의 규칙베이스(rule base 또는 production rule)를 사용하여 설계규칙을 구성하였기 때문에, 조건부의 정보에 따라서 결과부의 정보를 계산하며, 결과부의 출력정보는 다음 조건부의 입력정보가 된다.

본 시스템에 적용된 중요 규칙들은 다음과 같다.

### 2. 1 일반 규칙

- 규칙 1) 최종제품이 단이 진 부품이면 압출 혹은 업세팅 등의 작업순서에 의하여 생산되어야 하며, 각 작업은 하나의 변형영역으로 이루어진다.
- 규칙 2) 다음 단계의 형상이 성형되려면 예비 성형품은 변형영역(deformation zone)과 비변형영역(no deformation zone)으로 구성된다.
- 규칙 3) 중간단계의 예비성형품의 치수 결정은 체적일정조건을 사용한다.
- 규칙 4) 중실제품의 소재형상은 원형선재 혹은 봉재이다.
- 규칙 5) 성형공정 단축을 위해서 각 작업에서 한계 변형률이 부품요소의 변형률보다 크면 부품요소의 변형률까지, 한계 변형률이 부품요소의 변형률보다 작으면 가능한 최대 성형한계까지 성형한다.

### 2. 2 성형성 및 결함 판정조건에 대한 규칙

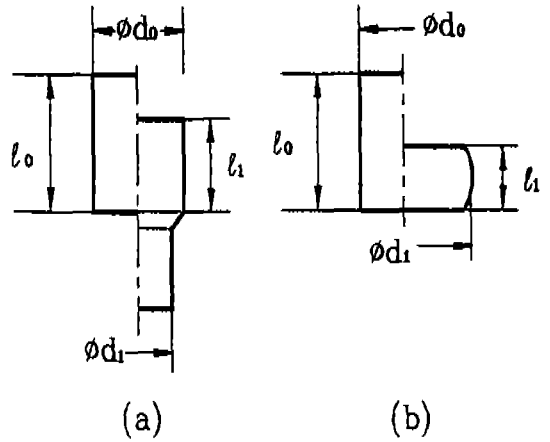


Fig. 1 Dimensions of parts before and after cold forging process.

- 규칙 6) 재질에 따른 성형한계값에 대한 데이터베이스는 Table. 1과 같다.
- 규칙 7) 중실 변형률(SS)이 한계 비구속 변형률(LSOS)보다 작으면 비구속압출로 성형한다.
- 규칙 8) 중실 변형률이 한계 비구속 변형률보다 크고 한계 구속 변형률(LSTS)보다 작으면, 구속 압출로 성형한다.
- 규칙 9) 이젝션 곤란을 방지하기 위해 구속압출시 중실 길이대 직경비(SLDR)가 한계 중실 길이대 직경비(LSLDR)보다 작아야 한다.
- 규칙 10) 펀치파손을 방지하기 위해 중실 업세팅 변형률( $\phi_u$ )이 한계 업세팅 변형률(LULLR)보다 작아야 한다.
- 규칙 11) 제품표면의 크랙발생을 방지하기 위해 중실 업세팅 직경비(UDDR)가 한계 업세팅 직경비(LUDDR)보다 작아야 한다.
- 규칙 12) 소재 좌굴을 방지하기 위해 중실 업세팅 길이대 직경비(ULDR)가 한계 업세팅 길이대 직경비(LULDR)보다 작아야 한다.
- 규칙 13) 제품단면에 대하여 단조하기 어려운 깊은 홈이나 구멍, 언더컷 등이 존재하면, 이것을 단조가능한 단면으로 수정한다.

		[AISI]						
Limit		LSOS	LSTS	TRAP	LSLDR	LULLR	LUDDR	LULDR
Material								
	Steel (A)	0.357	1.194	50.0	8.0	1.61	2.237	2.25
	Steel (B)	0.357	0.789	30.0	6.0	0.99	1.64	1.64
	Steel (C)	0.357	0.693	25.0	4.0	0.92	1.58	1.58
	Aluminum	0.288	3.912	80.0	10.0	3.22	5.0	5.0
	Copper	0.357	1.009	65.0	10.0	1.77	2.423	2.423
	Brass	0.357	1.386	55.0	10.0	1.61	2.237	2.237

Steel (A) : Good deformability → 1006, 1008, 1010, 1015, 5115  
 Steel (B) : Medium deformability → 1018, 1020, 1025, 5120, 5140  
 Steel (C) : Difficult to form → 1045, 1050, 1060, 2317, E7 tool, L6 tool, W1-1.0C, 307 SS, 304 SS, 316 SS, 410 SS, 431 SS  
 Aluminum : 1100, EC, 2017, 2024, 5052, 5056, 5083, 5454, 6062  
 Copper : CDA110  
 Brass : CDA230, CDA260, CDA274, CDA377, CDA521, CDA647, CDA757, CDA794

Table. 1 Forming limit in solid extrusion & upsetting.

2. 3 소재직경의 결정에 대한 규칙

- 규칙 14) 소재직경은 제품의 최대직경과 최소직경사이에 있다.
- 규칙 15) 중실제품에서 제일 작은 직경의 중실 변형률이  $LSTS+2 \times LSOS$  보다 크면, 소재직경을 줄여야 한다.
- 규칙 16) 구속압출시 규칙 9를 만족하지 않으면, 소재직경을 높여야 한다.
- 규칙 17) 구속압출시 Fig.1(a)와 같이 제일 큰 직경의 중실 길이대 직경비 ( $= l_1/d_0$ ) 가 한계 중실길이대 직경비(LSLDR)보다 크면, 소재 직경을 높여야 한다.
- 규칙 18) 중실업세팅에서 제일 큰 직경의 중실 업세팅 직경비가 한계 업세팅 직경비 (LUDDR)보다 크면, 소재직경을 높여야 한다.
- 규칙 19) 중실업세팅에서 규칙10~12를 만족하지 않으면, 소재직경을 높여야 한다.

2. 4 공정순서 결정에 대한 규칙

- 규칙 20) 규칙14~17에 의해 결정된 소재직경으로부터 최종제품을 만들기 위해서는 소재직경보다 작은 제품직경은 압출공정을 한다.
- 규칙 21) 중실제품의 성형순서는 압출공정, 업세팅공정이다.
- 규칙 22) 다단 압출이 요구될 때 1회 가공한계를 만족하면, 즉  $SS \leq LSOS$  혹은  $LSTS$ 제일 작은 직경부터 순차적으로 입출한다.
- 규칙 23) 중실압출시 한 부분의 최대 성형한계는  $LSTS + 2 \times LSOS$ 를 초과할 수 없다.
- 규칙 24) 구속압출로 성형되는 부분의 형상은 최종제품의 형상에 맞추어 성형한다.
- 규칙 25)  $SS$ 가  $LSTS$ 보다 크면, 처음 압출공정은 내부 결합을 피하는 각도(TRAP)로 압출하고, 다음 작업에서 최종제품의 각도를 맞춘다.
- 규칙 26)  $SS$ 가  $LSTS+LSOS$ 보다 작으면, 먼저  $LSTS$ 까지 예비성형하고 그 다음 비구속압출한다.
- 규칙 27)  $SS$ 가  $LSTS+2 \times LSOS$ 보다 작으면, 먼저  $LST$   $S$ 까지 예비성형하고 그 다음 비구속압출과 비구속압출로 작업을 완성한다.
- 규칙 28) 한 부분이 두번의 구속압출을 받을 수 없다.

- 규칙 29) 규칙14, 18, 19를 만족한 소재로부터 최종제품을 만들기 위해서 소재직경보다 큰 제품직경은 업세팅공정을 한다.
- 규칙 30) 여러 단이 업세팅되려면, 제일 작은 직경부터 순차적으로 업세팅한다.
- 규칙 31) 강(steel)에서  $ULDR \leq 2.25$ 이면 한번에 업세팅한다.
- 규칙 32) 강에서  $2.25 < ULDR \leq 4.5$ 이면 한번에 업세팅되어서 만들어 질 직경이 소재 직경의 1.3배를 초과하지 않으면 한번에 가공이 되며, 그렇지 않으면 예비 업세팅공정이 필요하다.
- 규칙 33) 예비 업세팅공정이 필요하면 그 형상은 끝부분에 원추형이 있는 형상이다.
- 규칙 34) 강에서  $4.5 < ULDR \leq 6.5$ 일 경우 업세팅되어서 만들어 질 직경이 소재직경의 1.3배를 초과하지 않으면 한번에 가공이 되며, 그렇지 않으면 예비 업세팅공정이 필요하며 업세팅되는 길이가 직경의 2배가 되도록 한다. 예비 업세팅공정시 등가직경을 사용하며, 등가직경(ED)은 다음과 같이 계산된다.

$$ED = 4 \sqrt{\frac{d_0^4 + d_1^4}{2}}$$

2. 5 흐름응력에 대한 규칙

- 규칙 35) 소재가 인발된 후에 절단되어서 업세팅된다면 업세팅시 인발에 의한 예비변형률은 더하지 않고 흐름응력을 계산한다.
- 규칙 36) 소재가 인발된 후에 절단되어서 압출된다면 예비 변형률을 그대로 더하여 흐름응력을 계산한다.
- 규칙 37) 업세팅시의 흐름응력은 최종상태의 변형률일 때의 흐름응력이며, 압출시의 흐름응력은 평균상태의 변형률일 때의 흐름응력이다.
- 규칙 38) 중간 단계의 열처리가 수행되면 변형률 이력이 무시된다.

3. 시스템의 구성 및 형상표현

3.1 시스템의 구성

본 연구에서 개발된 축대칭 냉간단조품에 대한 자동공정설계시스템의 구성은 Fig. 2와 같이 크게 5개의 모듈, 즉

입력모듈, 성형성과 결합 검토모듈, 공정순서 결정모듈, 공정해석모듈 및 출력모듈 등으로 구성되었다.

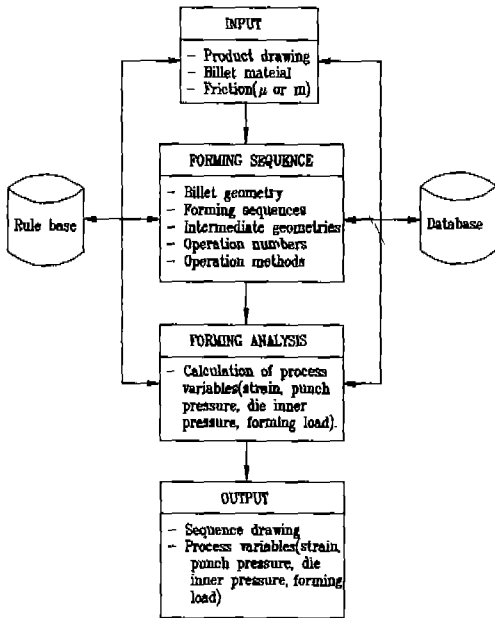


Fig. 2 Structure of an automated forming sequence design system.

입력모듈에서는 AutoCAD 환경하에서 도면화된 제품 도면, 소재재질 및 접촉면의 마찰( $\mu$ ,  $m$ ) 등을 입력하며, 만약 재질이 데이터베이스에 없으면 사용자가 등가탄소량 및 성형한계 등을 대화식으로 입력한다.

성형성과 결합 검토모듈에서는 최종제품을 단조가능한 제품으로 변환하기 위한 전처리과정으로서 먼저 다이, 펀치 및 녹아웃에 해당하는 단면을 상부와 하부로 나눈 후 성형성을 검토하고, 언더컷의 유무를 확인하여 결합이 발생하면 시스템내에서 자동적으로 단면을 수정한다. 이것은 도면요소(entity)로 표현함으로써 쉽게 처리할 수 있다.

예를 들면 Fig. 3(a)와 같은 단면은 Fig. 3(b)를 이용하여 각 도면요소에 방향을 나타내고 그것들을 조합한 문자열중에서 언더컷이 있는 부분단면을 수정함으로써 언더컷을 방지할 수 있다.

공정순서 결정모듈에서는 시스템내에서 자동적으로 소재직경 결정규칙(규칙 1~19)을 만족하도록 소재직경을 결정하거나 혹은 사용자가 직접 입력한다. 이때 제품의 형상

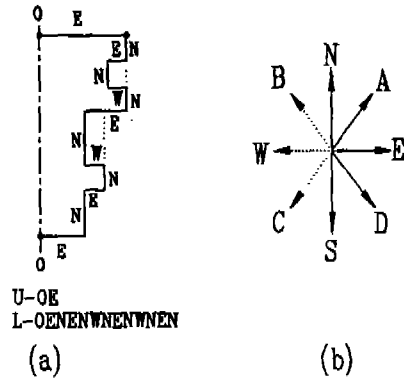


Fig. 3 An example of undercut check.

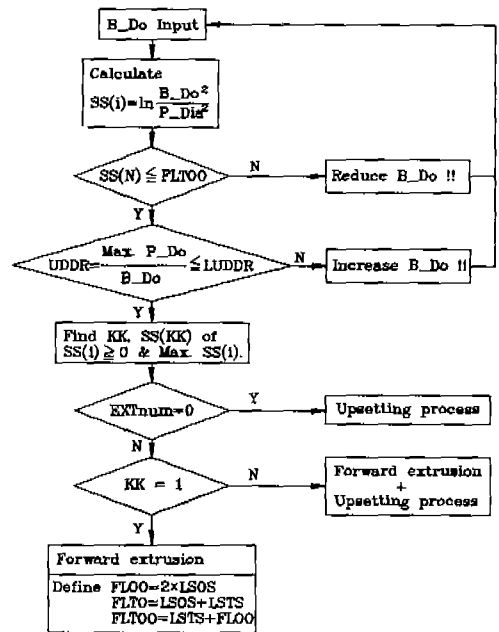


Fig. 4 Flow chart of forming sequence design.

은 결정된 소재직경에 따라 Fig. 4와 같이 압출공정 혹은 업세팅공정으로 나누어 진다. 먼저 압출공정에서는 압출이 시작되는 영역의 직경을 KK, 성형한계(LSOS 또는 LSTS)를 넘지 않는 영역의 직경을 MK, 그리고 MK중에서 LSOS를 넘지 않는 영역의 직경을 MKK라고 할 때, 공정순서 결정규칙(규칙 20~28) 및 데이터베이스에 따른 압출공정의 흐름도는 Fig. 5와 같이 8가지 경우(CASE 1

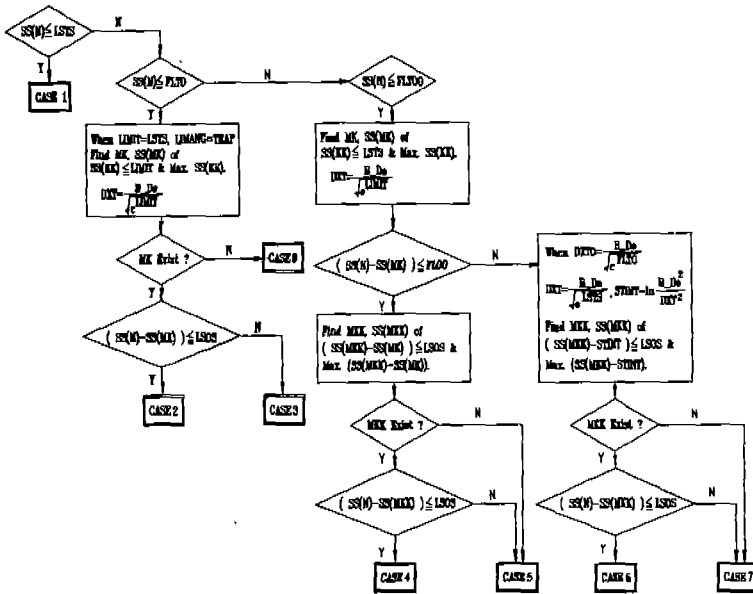


Fig. 5 Flow chart of forward extrusion process.

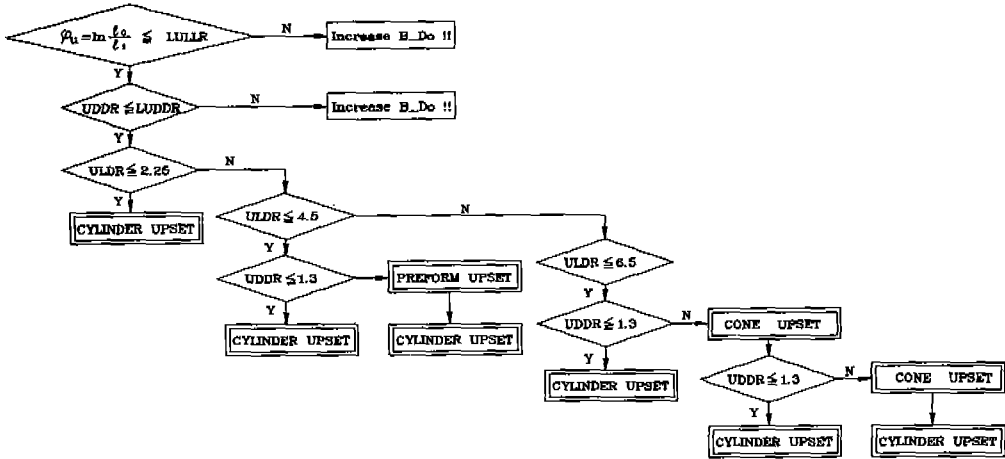


Fig. 6 Flow chart of upsetting process.

~8)가 생긴다. 다음으로 압출공정을 행한 후 공정순서 결정규칙(규칙 29~34) 및 데이터베이스에 따른 업세팅공정에 대한 흐름도는 Fig. 6과 같다. 따라서 기본형상표현에 의한 기하학적 특성을 이용하여 소재로부터 최종제품까지 결함이 없는 공정순서, 공정수, 중간단계의 기하학적 형상 및 작업방법(절단, 압출, 업세팅 등) 등이 자동적으로 창출된다.

공정해석모듈에서는 먼저 공정순서에 의해 구해진 각 작업의 기하학적 형상 및 흐름응력 규칙(규칙 35~38) 등을 이용하여 상계법 및 슬래브법 등으로 해석하여 성형순서에 따른 공정변수, 즉 변형률, 편치압력, 다이내압 및 성형하중 등을 계산한다.

마지막으로 출력모듈에서는 공정도 및 공정변수 등이 자동적으로 출력된다. 여기서 출력된 공정도는 AutoCAD

환경하에서 구성하였기 때문에 설계자는 작업도면에 맞게 화면에서 공차 및 주기 등을 쉽게 수정기입할 수 있다. 또한 이 공정변수들에 기초하여 프레스의 가용하중을 결정하며, 작업방법, 펀치압력 및 다이내압 등은 금형설계시 입력 사항으로 사용된다.

3. 2 시스템내의 형상표현

3. 2.1 형상입력 및 도면요소표현

본 연구에서 개발된 시스템은 AutoCAD 환경하에서 수행되는 AutoLISP을 이용하여 구축되었으며, 따라서 AutoCAD의 도면 표현방법을 이용하였다. 형상의 입력방법으로서는 2가지 방법을 이용하였는데, 첫번째는 AutoCAD에 의해 도면화된 파일을 화면상에 적재하거나 혹은 사용자가 직접 도면화하여 입력함으로써, 또다른 방법은 geometry data file로부터 직접 입력할 수 있다.

입력된 제품단면의 외곽형상은 직선(line)과 원호(arc)로 구성된다. 제품에서 다이, 펀치 및 녹아웃에 해당하는 점을 기준으로 단면을 상부와 하부로 분리한 후 AutoCAD drawing data base<sup>(14)</sup>로부터 각각의 도면요소를 검색하여 직선에 대하여 시작점 및 끝점, 그리고 원호인 경우에는 시작점, 끝점 및 중심점 등으로 단면의 형상을 다음과 같은 도면요소표현으로 변환할 수 있다. 단면을 도면요소표현으로 변환하면 쉽게 체적, 직경 및 높이 등을 계산할 수 있다.

- 1) 제품의 상부 : 펀치부(punch part)  
(0.0 ("LINE" Sp Ep) ("ARC" Sp Ep Cp) ("LINE" Sp Ep)...)
  - 2) 제품의 하부 : 다이부(die part) 및 녹아웃부(knockout part)  
(0.0 ("LINE" Sp Ep) ("ARC" Sp Ep Cp) ("LINE" Sp Ep)...)
- 여기서 Sp(시작점) : (xs ys zs),  
Ep(끝 점) : (xe ye ze),  
Cp(중심점) : (xc yc zc)을 나타낸다. 단, 중심점은 도면요소가 원호인 경우이다.

3. 2.2 단면의 기본형상(primitive geometry)표현

시스템내에서 공정설계를 자동적으로 수행하기 위해서는 입력된 단면형상의 특성에 따라 설계하도록 기본형상으로 인식해야 한다. 따라서 본 연구에서는 제품의 형상에 대한 다른 표현방법으로써 단면의 도면요소표현으로부터 제품단면의 기하학적 특성을 고려하므로 기본형상표현으로 변환한다. 단면의 기본형상표현은 제품의 하부를 다시 펀치부와 녹아웃부로 분리한 후 인접한 도면요소가 만나는 점을 이용하여 단조품을 원통(cylinder), 원추(cone), 오목원추(concave) 및 볼록원추(convex) 등과 같은 간단한 형상의 리스트로 변환하는 것이며, 각 기본형상은 높이, 상부 직경, 하부 직경, 펠렛/코너반경 및 오목/볼록원추의 반경 등의 기하학적 특성을 가진다. Fig.7(a)와 같은 중실 2 단계품에 대해 도면요소표현을 통해 기본형상표현으로 변환하면 다음과 같다.

- 기본형상표현 (Fig. 7(c) 참조)

	높이	상부직경	하부직경
(0.0 ("CYLINDER"	45.0	50.0	50.0
("CONVEX"	10.0	50.0	36.0
("CYLINDER"	35.0	36.0	36.0
("CONE"	5.0	36.0	30.0
("CYLINDER"	40.0	30.0	30.0

펠렛/코너반경	오목/볼록원추의 반경
0.0 0.0	0.0)
0.0 0.0	10.0)
0.0 5.0	0.0)
5.0 5.0	0.0)
5.0 0.0	0.0)

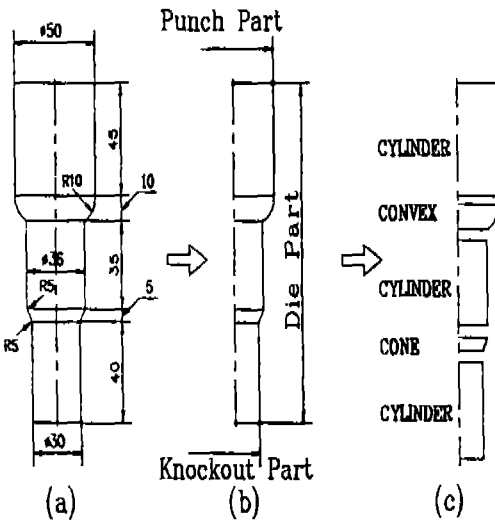


Fig. 7 Examples of geometry representation.  
- 도면요소표현 (Fig. 7(b) 참조)

여기서 원통과 원추인 경우는 오목/볼록원추의 반경이 0.0이다.

#### 4. 시스템의 적용 및 결과

본 연구에서 개발한 자동공정설계시스템을 축대칭 중실 다단계제품들에 대하여 적용하여 그 출력 결과를 고찰하고자 한다.

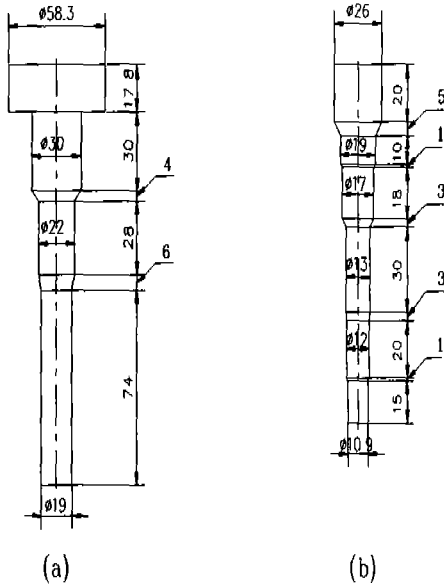


Fig. 8 Examples of multistage cold forging product.

Fig. 8(a)와 (b)의 제품(재질은 AISI 1010)에 대해서 소재직경 결정 규칙으로부터 구한 직경을 사용하여 실행한 결과는 다음과 같다.

Variables	Process			Forming load [tons]
	Strain	Punch pressure [kg/mm <sup>2</sup> ]	Die pressure [kg/mm <sup>2</sup> ]	
Cropping				27.73
Trap extrusion	0.91	133.95	112.29	94.68
Trap extrusion	0.62	112.49	90.83	79.51
Cylinder upset	1.33	104.28	104.28	278.37

Table. 2 Output of process variables (part 1-1)

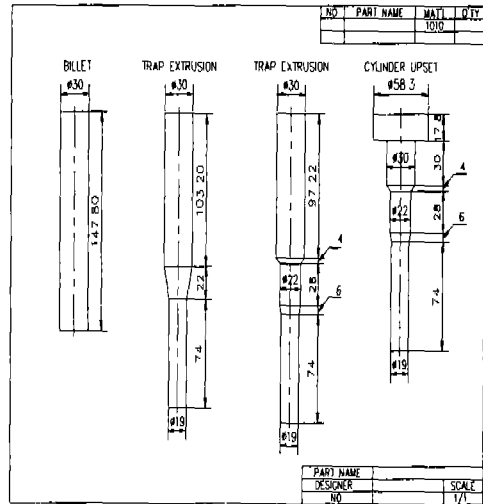


Fig. 9 Sequence drawing for part 1-1.

Fig.9와 Table.2는 Fig.8(a)의 플랜지가 있는 중실 3단 제품에 대한 공정도 및 출력결과이다. Fig. 9는 소재직경 (B\_Do)을  $\phi 30$ 으로 할 때 규칙 22에 의해 직경 19부분이 먼저 성형되는 압출공정의 경우 1(CASE 1 : LIMIT  $\leq$  LSTS, KK=3)이고, 업세팅공정은 규칙 31에 의해 한번에 업세팅된 공정도이다. 이때의 공정변수들이 Table.2와 같이 출력된다.

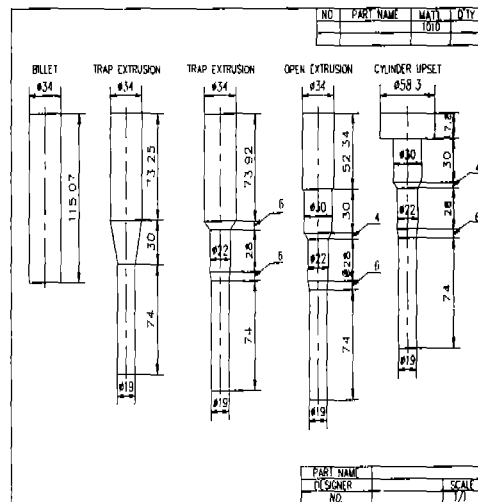


Fig. 10 Sequence drawing for part 1-2.





5. 결 론

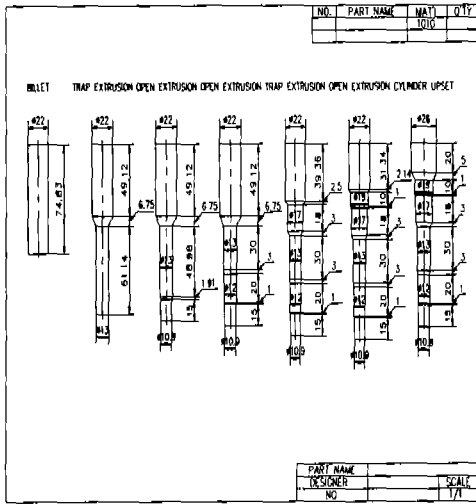


Fig. 12 Sequence drawing for part 2-2

Process \ Variables	Strain	Punch pressure [kg/mm <sup>2</sup> ]	Die pressure [kg/mm <sup>2</sup> ]	Forming load [tons]
Cropping				14.91
Trap extrusion	1.05	141.62	119.96	53.83
Open extrusion	0.35	46.17	24.51	6.13
Open extrusion	0.16	30.86	9.20	4.10
Trap extrusion	0.52	88.01	66.35	33.46
Open extrusion	0.29	46.30	24.64	17.60
Cylinder upset	0.45	69.51	69.51	36.91

Table. 5 Output of process variables (part 2-2)

이와 같이 여러 경우를 다양하게 검토하여 설계자는 최종제품의 기계적 성질, 성형기계의 능력 및 제조설비 등을 고려하여 비용을 최소화 하는 공정설계를 할 수 있다. AutoCAD에 의해 출력된 공정도는 효율적인 도면 관리를 위해 공차, 기호 등을 기입함으로써 현장에 바로 사용할 수 있는 설계 도면으로 사용할 수 있다. 따라서 공정도 및 공정변수들은 바로 시스템내에 저장되므로 금형설계 및 펀치설계에 이용할 수 있다.

본 연구에서는 프레스나 다단 포머로 성형되는 축대칭 냉간단조품에 대한 자동공정설계시스템을 개발함으로써 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 다단 냉간단조품의 공정설계에 필요한 설계규칙과 경험을 체계적으로 규칙베이스 및 데이터 베이스로 정량화 하였다.
- 2) 본 시스템은 AutoCAD환경하에서 도면화된 제품단면의 도면요소표현으로부터 변환된 기본형상을 이용하여 형상인식시킴으로써 기하학적 특성이 고려된 설계가 가능하게 되었다. 이는 다른 중공 및 캔 제품 등에도 쉽게 적용할 수 있다.
- 3) 필렛/코너반경을 포함하는 단면의 기본형상에 의해서 구해진 기하학적 특성을 이용하여 소재로부터 최종제품까지 결함이 없는 공정순서, 공정수, 중간단계의 기하학적 형상 및 작업방법 등이 공정도로 자동 창출된다.
- 4) 결정된 성형순서에 따른 공정변수들(변형률, 펀치압력, 다이내압 및 성형하중)과 출력된 공정도는 바로 시스템 내에 저장되므로, 금형설계 및 펀치설계에 이용할 수 있다.

참 고 문 헌

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, T.V.Venkatasubramanian, "Optimization in the Cold Forging of Steel", Proc. 18th MTDR Conf, pp 153-157, 1977.
3. A.A.Badawy, D.J.Kuhlmann, P.S.Raghupathi and T. Altan, "Computer-Aided Design of Multi-stage Forging Operations for Round Parts", J.Mech. Work. Technology, 11, pp 259-274, 1985.
4. K. Sevenler, P.S.Raghupathi and T. Altan, "Forming-Sequence Design for Multistage Cold Forging", J. Mech. Work. Technology, 14-2, pp 121-136, 1987.
5. P.Bariani, W.A.Knight, "Computer Aided Cold

- Forging Process Design : A Knowledge-Based System Approach for Forming sequence Generation”, Ann, CIRP, 37, pp 243-246, 1988.
6. K. Lange, G. H. Du, “A Formal Approach to Designing Forming Sequences for Cold Forging”, Proc. 17th NAMRC, pp 17-22, 1989.
  7. K.Osakada, T.Kado and G. B. Yang, “Application of AI-Technique to Process Planning of Cold Forging”, Ann. CIRP, Vol.37-1, pp 239-242, 1988.
  8. K. Nakanishi, O. Takata, T. Yamazaki, A.Danno, T.Shirai, T.Imai and Y.Mure, “Knowledge Based System for Forming-Sequence Design of Multistage Cold Forging”, J.of the JSTP, vol. 43 No. 387, pp 416-421, 1993.
  9. 최재찬, 김병민, 진인태, 김형섭, “퍼스널 컴퓨터에 의한 냉간 단조공정 및 금형설계의 자동화에 관한 연구(1)”, 대한기계학회 논문집, 제12권 제4호, pp712-720, 1988.
  10. 최재찬, 김병민, 김형섭, 허만조, “PC에 의한 냉간단조 공정 및 금형설계의 전산화에 관한 연구(11)”, 대한기계학회 논문집, 제13권 제1호, pp 190-198, 1989.
  11. 최재찬, 김병민, 이종수 등, “축대칭 부품에 대한 열간 단조의 공정 및 금형설계에 관한 연구(1)”, 한국소성가공학회지, 제1권 제1호, pp 20-32, 1992.
  12. 최재찬, 진인태, “퍼스널 컴퓨터에 의한 디이프드로잉 공정설계의 전산화에 관한 연구”, 한국정밀공학회지, 제5권 제3호, pp 31-42, 1988.
  13. 최재찬, 김병민, 이종수 등, “알루미늄합금 형재의 열간 압출 금형설계 자동화에 관한 연구”, 한국정밀공학회지, 제7권 제3호, pp 26-36, 1989.
  14. 김용성, 서재철 譯, AutoCAD와 DATABASE, 영진출판사, 1989.