

〈論 文〉

## 퍼스널 컴퓨터에 의한 냉간단조 공정 및 금형설계의 자동화에 관한 연구(I)

최재찬\*·김병민\*·진인태\*\*·김형섭\*\*

(1988년 2월 27일 접수)

### A Study on the Process Planning and Die Design of Cold-Forging Using Personal Computer (I)

Jae Chan Choi, Byung Min Kim, In Tae Jin and Hyung Sub Kim

**Key Words :** Cold Forging(냉간 단조), CAPP(Computer Aided Process Planning), Forming Sequence(성형 순서), Rule Based System(규칙베이스 시스템), Die Design(금형 설계)

#### Abstract

This paper describes some development of computer-aided system called "COLD-FORMING" and "DESIGN-DIE". "COLD-FORMING" is designed for the forming sequence and "DESIGN-DIE" for the die design of press forming of rotationally symmetric parts. The computer program developed is used in interactive and written in BASIC. Design rules for process planning and die design are formulated from process limitations, plasticity theory and know-how of experience of the field. "COLD-FORMING" capabilities include (1) analysis of forming sequence and recognition of individual operation involved each step, (2) determination of intermediate shape and dimensions, (3) calculation of forming loads to perform each forming operation and (4) graphic output for the operation sheet. "DESIGN-DIE" capabilities include (1) optimum die design corresponding to the output of "COLD-FORMING" and (2) graphic output for the die design.

#### 1. 서 론

냉간단조에 의해 성형되는 부품은 원소재로부터 최종형상이 되기까지 연속된 작업에 의해서 완성되며 각 작업에는 이에 상응되는 공구가 필요하다. 따라서 냉간성형의 기술적 및 경제적 성공은 적절한 작업순서의 설계 즉 공정설계와 각 작업에 필요한 금형(다이셀) 설계에 크게 좌우된다.

전산화된 공정설계(CAPP : computer aided pro-

cess planning)의 선구적인 연구는 1960년대 중반 Niebel<sup>(1)</sup>에 의해 수행되었다. 그 후 1960년대 말에 노르웨이의 NAKK 프로젝트팀<sup>(2)</sup>에 의해서 AUTOPR01, AUTOPR02로 명명된 CAPP시스템이 개발되었으며 그 후 많은 CAPP시스템이 개발되었다. 즉 GARI<sup>(3)</sup>, TOM<sup>(4)</sup>, SIPP<sup>(5)</sup>, AUTAP<sup>(6)</sup>, APPAS<sup>(7)</sup> 등이 그 예이며 주로 절삭가공에 관한 것이다.

자동공정설계가 지금까지는 거의 절삭 가공에만 적용되어 왔는데 이는 냉간성형에 대한 공정설계가 필요하지 않았다고 보다는 오히려 기술적 능력이 부족했기 때문이다. 즉 절삭가공에서는 거의가 단

\*정회원, 부산대학교 공과대학 기계설계공학과

\*\*정회원, 부산대학교 대학원

순한 기하학적 형상조작인데 반하여 성형가공공정의 자동창출은 불완전한 지식을 가지고 복잡한 기하학적 형상조작을 해야 되는데, 이것은 소재의 성질이 작업에 연관되어 변화하기 때문이다.

성형가공에 대한 자동공정설계의 출발은 공정개요의 자동창출로부터 시작된다. 완전한 냉간성형자동공정설계시스템은 개발되지 않았지만 냉간성형공정설계의 몇몇 예는 제시되었다. 다단성형기를 사용할 경우에 적용되는 FORMNG시스템<sup>(8)</sup>은 미리 정의된 소재에서 다단 축대칭부품의 압축성형공정의 순서를 자동창출하며 Perrotti<sup>(9)</sup> 등은 디이프드로우잉에 대하여 퍼스널 컴퓨터를 이용하여 공정설계 프로그램을 개발하였다. AGFPO시스템<sup>(1)</sup>은 축대칭 회전형상 디이프드로우잉 공정설계에 적용한 것으로서 디이프드로우잉의 열처리작업 및 기계가공과 같은 중간 보조작업을 시스템에 구체화시켰다.

부품을 생산하기 위한 기술계획이 기초가 되는 것은 원 소재로부터 최종 부품을 만들기까지의 작업의 순서를 결정하는 공정설계(Process Planning: P.P)이며 각각의 작업은 다음 4가지 요소에 의해서 명시된다.

- (1) 작업 순서
- (2) 작업 명칭
- (3) 소재의 최종, 중간 및 최종상태의 설명(각 단계의 기하학적 형상과 치수)
- (4) 장치 (주 가공기계와 금형)

본 논문은 프레스에 의한 축대칭 냉간단조품의 자동공정설계 및 금형설계를 위한 대화식 프로그램인 "COLD-FORMING"과 "DESIGN-DIE"의 개발에 대하여 설명한다. 프로그램의 능력은 "COLD-

FORMING"에서는

- (1) 중실부품의 냉간단조에 있어서 작업 순서의 해석과 각 단계에 포함된 개별작업의 인식
- (2) 중간 예비성형단계의 형상 및 치수 결정
- (3) 각각의 성형단계에서의 성형하중계산
- (4) 작업지시서를 위한 그래픽 출력

이며, "DESIGN-DIE"에서는 앞의 공정설계에서 구해진 결과를 이용하여

- (1) 성형에 필요한 다이셀의 형상, 재질 및 최적 치수를 결정
- (2) 다이셀의 그래픽 출력 등을 할 수 있다.

## 2. 프로그램의 개요 및 작동원리

냉간성형공정의 자동공정설계시스템 및 자동금형설계시스템을 만들기 위하여 소성역학 및 금속성형공정의 여러가지 공정변수에 대한 전문적인 지식을 추출하여 규칙베이스(rule-base)로 종합한 후에 합리적인 순서로 나열된 규칙에 따라 계층적으로 프로그램하였다. 본 연구에서 개발한 "COLD-FORMING"과 "DESIGN-DIE"는 16bit 마이크로 컴퓨터 (IBM/PC)를 사용하였으며 개발언어로는 BASIC를 사용하였다.

### 2.1 "COLD-FORMING"

"COLD-FORMING"의 개괄적인 블록다이어그램은 Fig. 1과 같으며 다음과 같은 단계로 구성된다.

- (1) 최종제품의 기하학적 형상 및 소재의 재질, 마찰조건 데이터, 초기소재의 직경등을 입력

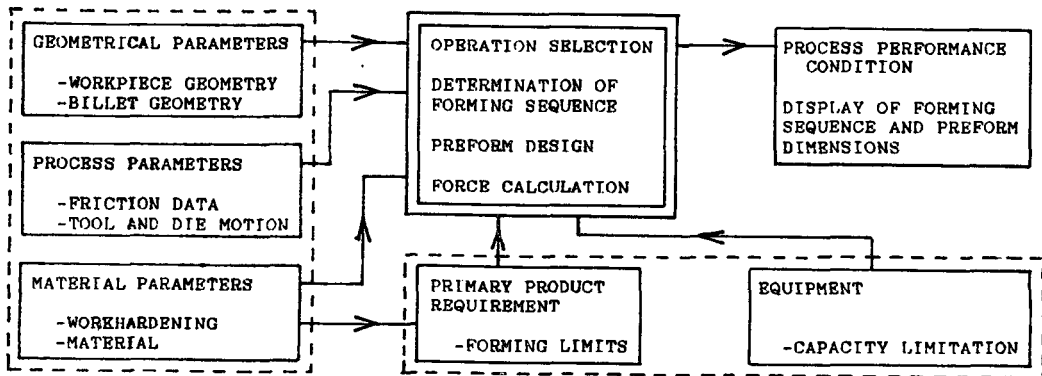
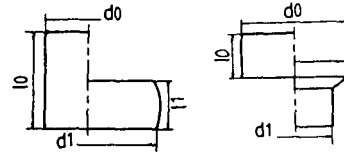


Fig. 1 Blockdiagram for "COLD-FORMING"

Table 1 Guidance values for workpiece dimensions and reduction of area<sup>(11)</sup>

	MAT. A	MAT. B	MAT. C
(A <sub>0</sub> /A <sub>1</sub> )	3.3	2.2	2.0
ε	70	55	50
FLT(φ)	120.3	79.8	69.3
FLO(φ)	35.6	35.6	35.6
UL	160	160	160
BL	2.25	2.25	2.25



Where A<sub>0</sub>/A<sub>1</sub>=Forward Extrusion Ratio, ε=Area Reduction

UL=Upsetting Limit, BL=Buckling Limit(l<sub>0</sub>/d<sub>0</sub>)

FLT=Trapped Forward Extrusion Limit

FLO=Open Forward Extrusion Limit

ε=(1-A<sub>1</sub>/A<sub>0</sub>)\*100, φ=ln(A<sub>0</sub>/A<sub>1</sub>)\*100, UL=ln(l<sub>0</sub>/l<sub>1</sub>)\*100

MAT. A: AISI-1008, 1010, 1013, 1016, 3115, 5015, 5115

MAT. B: AISI-1018, 1020, 1022, 1024, 1035, 1038, 1040

MAT. C: AISI-1045, 1050, 1060, 1070, 1080, 4340, 4640

(2) 개별작업의 인식, 예비성형설계 및 성형하중의 계산

(3) 위 결과의 보고서 출력

최초 단계에서 "COLD-FORMING"은 최종제품의 기하학적형상, 치수, 마찰조건 데이터, 소재재질 및 초기소재직경등을 대화식으로 입력한다. 그러면 소재의 최초 기하학적 치수는 체적일정법칙으로부터 산출된다.

두번째 단계에서는 주어진 입력데이터로부터 각각 수행되어야 할 작업을 인식한다. 즉 초기의 소재에서 최종제품형상으로의 변환은 최소한 1회 이상의 성형공정이 필요하다. "COLD-FORMING"은 소재직경이 제품보다 작은 경우에는 업셋팅(upsetting), 큰 경우에는 압출(extrusion) 공정을 인식한다. 요구되는 공정의 결정과정에서 프로그램은 실행가능성을 설계 규칙을 사용하여 검토한다. 예를 들어 주어진 직경으로 업셋팅 공정이 수행된다면 좌굴(buckling)의 발생여부를 검토하여야 하며, 좌굴발생이 예견되면 프로그램은 자동적으로 테이퍼진 다이에 의한 구속업셋팅을 실행한다. 그럼에도 불구하고 업셋팅이 될 수 없으면 프로그램은 직경이 보다 큰 소재를 요구한다.

중간 예비성형단계의 기하학적 형상과 치수는 소재재질에 따른 가공한계 즉 좌굴발생한계, 업셋팅 변형한계, 압출한계 등(Table 1 참조)으로부터 결정되는데 이러한 값들은 데이터베이스에 저장되어 있다.

각 성형작업에 소요되는 성형하중은 상계해법 또는 초등해석법을 적용하여 재료의 흐름응력과 마찰계수 및 기하학적 형상에 관련된 데이터에 기초하여 계산되며 이것은 사용될 프레스의 가공 능력을

결정한다. 즉 사용될 프레스는 계산된 성형하중보다 용량이 커야 한다.

세번째 단계에서는 공정설계의 결과를 알기 쉬운 형태로 전달하기 위한 보고서를 창출한다. 이 보고서에는 기본적인 데이터 즉 작업순서, 작업명칭, 성형하중, 중간 및 최종부품의 형상과 치수가 일목요연하게 그래픽으로 출력된다.

## 2.2 "DESIGN-DIE"

"DESIGN-DIE"의 개괄적인 블록다이아그램은 Fig. 2와 같으며 다음과 같은 단계로 구성된다.

(1) 다이인서트의 기하학적 형상 및 공정변수들의 입력

(2) 최적금형설계를 위한 다이셀 분할형태의 선정, 최적분할직경, 끼워맞춤공차, 최대 한계 내압 및 끼워맞춤온도 등의 계산

(3) 위 결과의 보고서 출력

최초 단계에서 "DESIGN-DIE"는 다이인서트의 기하학적 형상 및 작업압력, 생산수량, 역지끼워맞춤방식, 마찰조건 데이터 및 테이퍼등을 대화식으로 입력한다. 여기서 다이인서트의 기하학적 형상과 작업압력은 공정설계 프로그램인 "COLD-FORMING"의 결과를 이용한다.

두번째 단계에서는 주어진 입력데이터로부터 최적의 다이셀을 설계한다. 다이인서트의 재질의 선택은 생산수량에 따라서 정해지며 다이셀의 분할형태는 주대수변형률에 따라서 나뉘어진다. 다이셀의 재질은 사용자가 원하면 바꿀 수 있다. 다이셀은 완전하게 탄성범위내에서 취급되어야 하므로 각각 외압 및 내압이 작용하는 두꺼운 원통의 계산식을 응용하여 응력해석을하며 다이셀 설계 규칙을

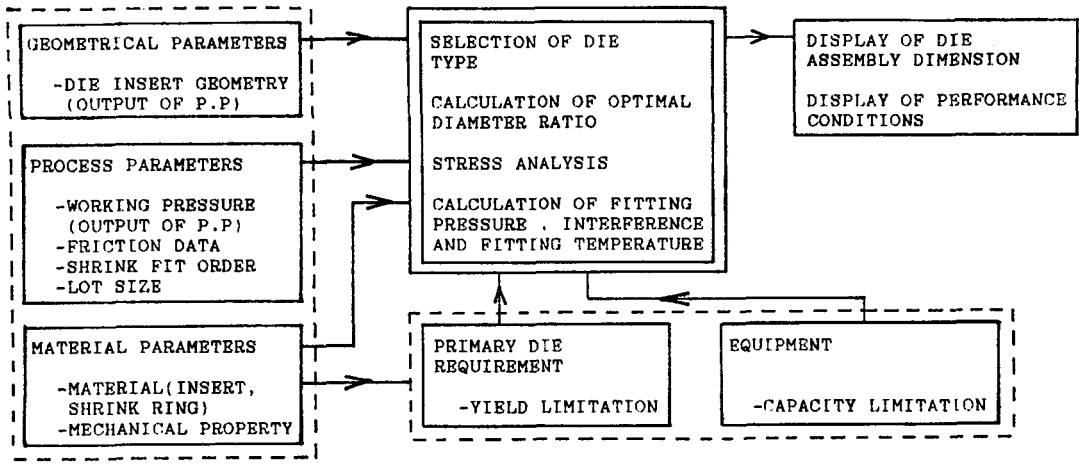


Fig. 2 Blockdiagram for "DESIGN-DIE"

사용하여 설계가능성을 검토한다. 예를 들어 다이셀에서 다이인서트의 강도가 작업압력에 견딜 수 없는 경우, 프로그램은 보강링의 갯수를 늘리도록 제안하거나 다이인서트 및 보강링 재질의 변경을 요구한다. 최적 다이분할직경, 끼워맞춤공차, 역지 끼워맞춤력 및 끼워맞춤온도 등은 프로그램내에서 자동적으로 계산된다.

세번째 단계에서는 위의 다이셀설계의 결과를 그래픽으로 출력한다. 이 출력에는 다이셀의 분할형태, 다이셀의 기하학적 형상과 치수, 재질 및 끼워맞춤온도와 끼워맞춤공차 등이 나타난다.

### 3. 설계규칙

성형공정의 기술지식은 소성 역학, 재료 성질과 같이 어떤 성형공정에서나 적용되는 일반적 지식과 어떤 특수 작업장에서만 유용한 국부적 지식으로 되어 있으며 국부적인 지식은 주로 현상학적이며 부분적이다.

성형에 있어서 물리적 현상의 기본인 금속유동은 아직 완전하게 알려져 있지 않으며 더구나 수식화하기까지에는 어려움이 많다. 이론적인 해석결과들은 상당히 이상적인 조건아래에서만 얻어질 수 있는데 이러한 변형모델의 이상화는 작업에 대한 이해를 용이하게는 하지만 항상 가치있는 해를 제공하는 것은 아니다. 따라서 어떤 성형공정에 대한 기술지식의 현 수준이 그 작업을 이론적으로 취급할 수 있는 경우라 할지라도 경험법칙을 사용할 필요가 가끔 있다.

금속성형 공정에서 유용하게 적용되는 기술지식은 다음과 같다.

(1) 일련의 관찰과 해석의 결과로부터 조사된 공정변수 사이의 관계를 유도할 때 나머지 다른 공정변수 및 공정조건은 다른 세부적인 설계 규칙을 만족하는 상태로 유지되어야 한다.

(2) 재료의 성질은 강성체 형태의 변위에 속하는 것보다는 변형(인장, 압축) 형태에 속하는 것이어야 한다.

(3) 금속유동법칙 및 작업특성은 변형하는 동안 재료의 성질이 변하고 있을 때라도 여전히 유효하다.

(4) 변형된 가공물의 성질은 변형작업이나 선택된 재료에 의해서 결정된다.

(5) 해석적인 계산은 다음에 계속되는 공정조정 및 개선의 기초가 된다.

냉간단조 기술지식법칙은 대개 수많은 냉간단조 제품을 관찰하고 분석하므로써 설정될 수 있다. 각종 금속성형편람 및 관련데이터등과 같은 자료<sup>(11,12)</sup>로부터 성형한계들이 수식화되고 성형하중 및 공구형상과 가공방법이 결정된다.

### 3.1 "COLD-FORMING"의 규칙

(1) 공동 규칙

규칙 1 : 금속이 변형할 때 체적변화는 없다.

규칙 2 : 재료가 변형할 때 흐름응력은  $\bar{\sigma} = K(\epsilon)^n$ 에 따라 변하고 재질에 따른  $k, n$ 값은 기존 데이터<sup>(12)</sup>를 활용한다.

규칙 3 : 소재의 한 부분이 계속 변형하는 경우에

는 다음 공정을 행하기 전에 풀림처리를 한다.

규칙 4: 소재의 한 부분이 계속 변형하는 경우에는 다음 공정을 행하기 전에 윤활처리를 한다.

규칙 5: 다이인서트 내경과 소재의 직경차이는 0.5mm로 한다.

### (2) 전방압출규칙

규칙 6: 압출에 소요되는 근사성형하중이 프레스 가용능력보다 작을 때 압출이 시작된다.

규칙 7: 공구와 소재사이의 마찰은 쿨롱마찰을 적용한다.

규칙 8: 압출제품은 정해진 작업순서에 의해 생산되며 각 작업은 하나의 새로운 변형영역을 형성한다.

규칙 9: 구속압출(Trapped Extrusion)이 가능한 주대수변형률은 기존데이터<sup>(11)</sup>에 주어진 한계주대수 변형률보다 작다(Table 1 참조).

규칙 10: 비구속압출(Open Extrusion)이 가능한 최대주대수변형률은 압출각  $2\alpha=30^\circ$ 일때 35.6%이다(Table 1 참조).

규칙 11: 전방압출은 소재직경이 부품 직경보다 큰 경우에 적용된다.

규칙 12: 소재에서 1회 구속압출이나 비구속압출을 받은 부분은 두번째의 구속압출을 받을 수 없다.

규칙 13: 직경이 다른 다단제품의 구속압출은 직경이 작은 부분부터 순차적으로 수행된다.

규칙 14: 다단 동시 압출시의 압출압력은 단이진 각 부분을 압출할 때 소요된 압출압력의 합으로 한다.

### (3) 업셋팅규칙

규칙 15: 업셋팅에 소요되는 근사성형하중이 프레스의 가용능력보다 작을 때 업셋팅이 시작된다.

규칙 16: 공구와 소재사이의 마찰은 쿨롱마찰을 적용한다.

규칙 17: 구속업셋팅시 구속단의 마찰응력은  $\sigma/\sqrt{3}$ 으로 한다.

규칙 18: 업셋팅을 위한 주대수변형률은 기존데이터<sup>(11)</sup>에 주어진 한계주대수변형률보다 작다(Table 1 참조).

규칙 19: 업셋팅에서 소재의 직경대 높이의 비가 2.25이하이면 1회 업셋팅, 2.25~4.5이면 2회 업셋팅으로 가공한다<sup>(13)</sup>.

규칙 20: 빌렛의 준비 작업에서 절단 공정 후 빌렛의 평탄면을 만들기 위한 자유업셋팅에서 배볼링

(barrelling) 상태의 곡률반경( $R_c$ )은 높이 감소율( $R_e$ )과 업셋팅 후의 높이( $H_f$ )와의 관계인  $R_c = (H_f/R_e)/0.02$ 로부터 결정된다<sup>(14)</sup>.

## 3.2 "DESIGN-DIE"의 규칙

규칙 21: 다이인서트의 재질은 생산수량에 따라 결정된다.

규칙 22: 다이인서트와 보강링의 항복조건은 Tresca의 식을 적용한다.

규칙 23: 다이인서트와 보강링의 재질이 동일한 공구강인 경우에는 압축응력이나 인장응력에 대하여 동일한 항복응력을 가지므로 다이인서트에 인장응력을 허용한다<sup>(15)</sup>.

규칙 24: 다이인서트와 보강링의 재질이 다른 경우, 즉 다이인서트가 초경합금인 경우에는 다이인서트가 인장력에 취약하므로 작업중 다이인서트에 인장응력의 발생을 허용하지 않는다<sup>(15)</sup>.

규칙 25: 다이인서트와 보강링의 설계는 최대의 허용내압이 발생할 수 있도록 (이것이 다이의 최적 설계이다) 직경을 분할하고 최대허용내압이 작용할 때에는 다이인서트와 보강링이 동시에 항복되도록 끼워맞춤공차를 준다.

규칙 26: 전방압출용 다이셋의 분할형태는 주대수변형률의 크기에 따라 비분할, 수평분할, 수직분할로 나눈다(Fig. 3 참조).

규칙 27: 보강링의 조립은 최외곽 링부터 순차적으로 한다.

규칙 28: 보강링의 열박음시 가열온도는 소려(tempering) 온도( $400^\circ\text{C}$ )이하라야 한다.

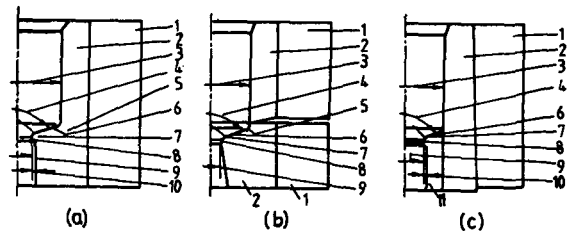


Fig. 3 Die designs for forward extrusion<sup>(11)</sup>.

1-shrink ring, 2-die insert, 3-die insert inner diameters, 4-die opening angle  $2\alpha$ , 5-shoulder entry radius, 6-shoulder, 7-shoulder exit radius, 8-die land, 9-exit radius, 10-die relief, 11-die insert(a) Unsplit. (b) Horizontally split. (c) Longitudinally split

4. 프로그램의 적용범위

“COLD-FORMING”은 다음과 같은 공정들의 조합을 통한 축대칭제품의 작업순서 성형하중 및 예비성형의 기하학적 형상과 치수를 예견하는데 적용할 수 있다.

- (1) 전방압출-구속압출, 비구속압출
- (2) 업셋팅-구속업셋팅, 자유업셋팅

현재의 연구에서는 1, 2단 형상의 제품에만 적용되며 후방압출, 피어싱이 포함된 성형공정의 순서의 예측은 실행할 수 없다.

“DESIGN-DIE”는 앞의 “COLD-FORMING”의 결과를 이용하여 적합한 다이설을 설계한다. 현재로서는 1단 형상의 전방압출용 다이설설계만이 가능하다.

5. 프로그램의 응용

“COLD-FORMING”의 능력을 설명하기 위하여 1, 2단 제품의 성형공정을 예로 들었다.

Fig. 4, 5는 1단 중실제품의 적용예이다. Fig. 4는 최종제품의 기하학적 형상, 마찰조건 데이터, 초기소재 재질 및 직경 등을 입력한 결과를 보여준다. 여기서 소재직경은 다음 작업에 대한 다이설설계에 사용될 수 있도록 다이인서트와의 틈새가 고려된 직경이다. 사용자가 입력사항을 대화식으로 입력하면 Fig. 5와 같이 최종제품까지의 성형순서, 예비성형단계의 기하학적 형상과 치수, 각 단계별 펀치압력( $P_p$ ), 다이내압( $P_d$ ), 성형하중( $F_u$ ) 및 주대수변형률등이 자동적으로 결정된다. Fig. 6은 “COLD-FORMING”으로부터 출력될 수 있는 1단 제품의 가공에서 가능한 6가지 경우의 공정들을 나타낸 것으로 Fig. 5의 예는 “F”경우의 공정에 해당함을 알 수 있고, “C”, “E”, “F”의 중간단계 치수는 체적일정법칙으로부터 프로그램내에서 구해진다. 여기서 직경  $d$ 의 상첨자는 다이인서트와의 틈새가 고려된 소재의 직경을 나타낸다.

Fig. 7, 8, 9는 2단 중실제품의 적용예이다. Fig. 7은 최종제품에 대한 입력의 결과를 나타내며 Fig. 8은 최종제품을 생산하기 위한 공정설계의 결과를 나타낸다. Fig. 9는 동일한 최종제품에 대하여 초기 소재직경을 다르게 했을 때의 공정설계 결과를 나타낸다. Fig. 8, 9에서 작업순서는 선택된 초기

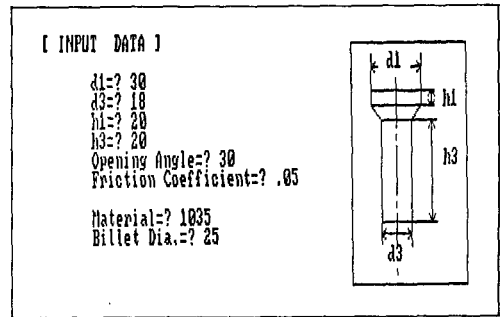


Fig. 4 Typical input of “COLD-FORMING” (one-stage)

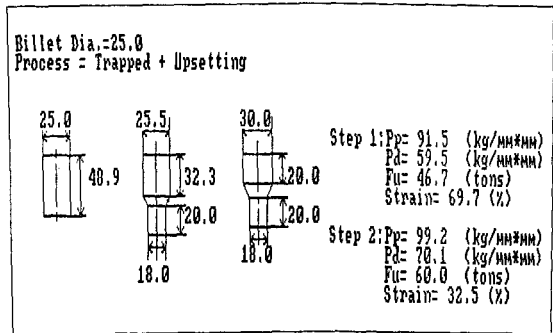


Fig. 5 Forming sequence output of “COLD-FORMING”

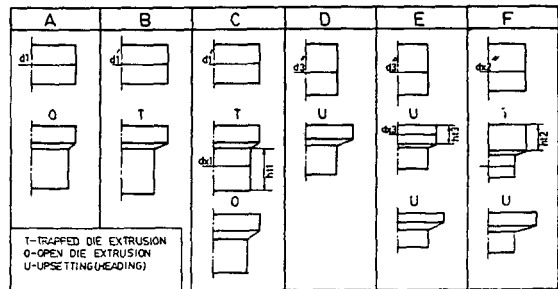


Fig. 6 Display of forming sequence of “COLD-FORMING” (one stage)

소재의 직경에 좌우됨을 알 수 있다. Fig. 10은 “COLD-FORMING”에서 출력될 수 있는 2단 중실 제품에 대한 가능한 12가지 경우의 공정들의 조합을 나타낸 것으로 Fig. 8, 9의 예는 각각 “E”와 “I”의 경우의 공정에 해당함을 알 수 있고 중간단계 치수들은 체적일정 법칙으로부터 구해진다.

사용자는 “COLD-FORMING”의 적용결과로부터

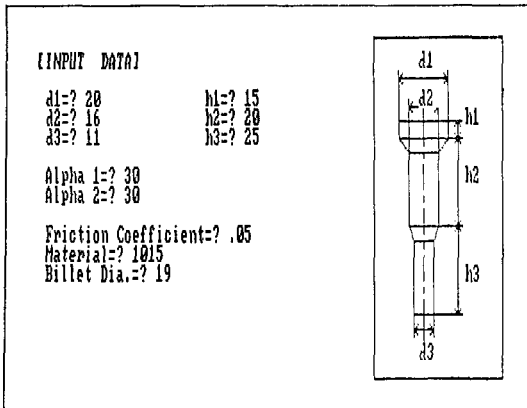


Fig. 7 Typical input of "COLD-FORMING" (two stage)

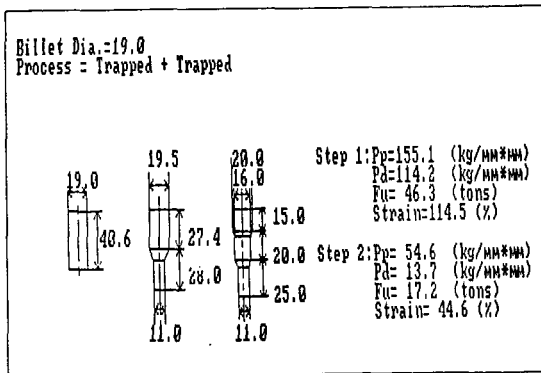


Fig. 8 Forming sequence output of "COLD-FORMING" (1)

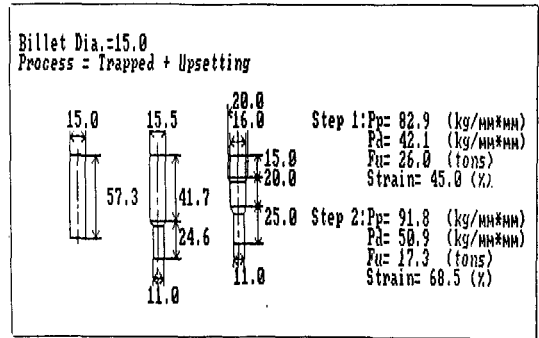


Fig. 9 Forming sequence output of "COLD-FORMING" (2)

자기회사의 기술수준 및 성형기계능력, 자재재고현황 등을 고려하여 최종제품의 기계적 성질을 만족하는 적절한 공정설계를 선택할 수 있다.

Fig. 11, 12, 13, 14는 공정설계 결과를 이용하여 적합한 다이셀을 설계하기 위해 "DESIGN-DIE"를 적용시킨 예이다. Fig. 11은 다이셀을 설계하기 위해 다이인서트의 기하학적 치수와 공정변수들을 입력한 결과이며 Fig. 12는 다이셀설계의 결과로서 보강링이 1개인 경우이며 Fig. 13은 동일한 조건에 대하여 보강링이 2개인 경우이다. Fig. 14는 동일한 조건에 대하여 최외경을 변화시켰을 때의 경우이다. 이것은 다이셀의 프레스에 장착될때 크기의 제한에 따른 다이셀설계의 예이다.

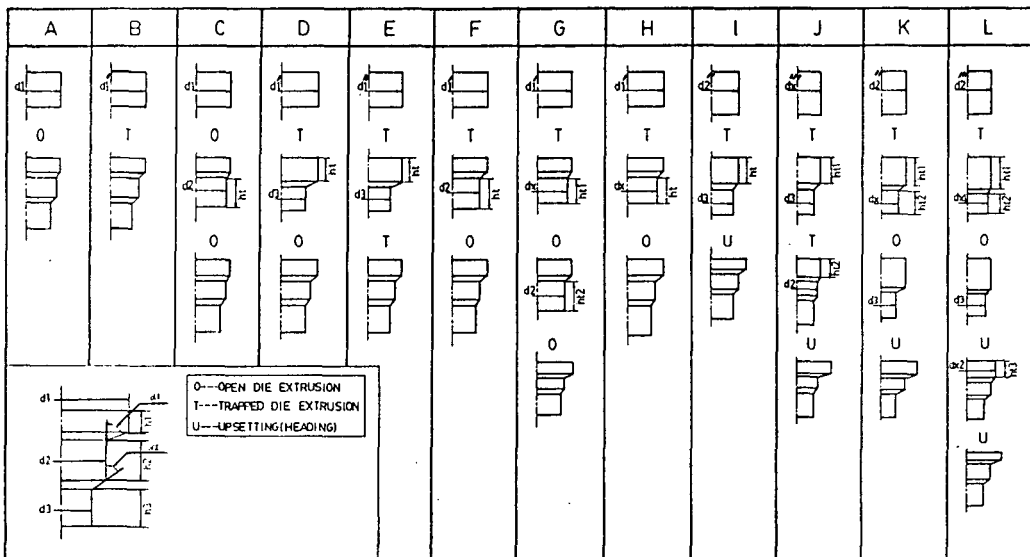


Fig. 10 Display of forming sequence of "COLD-FORMING" (two stage)

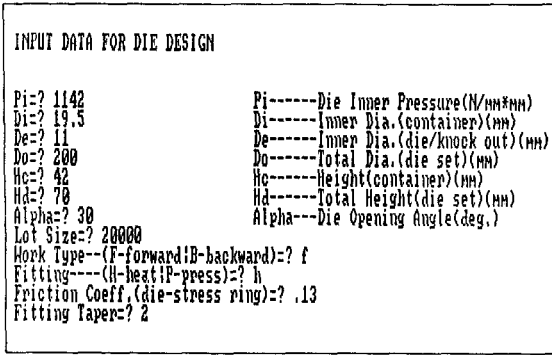


Fig. 11 Typical input of "DESIGN-DIE"

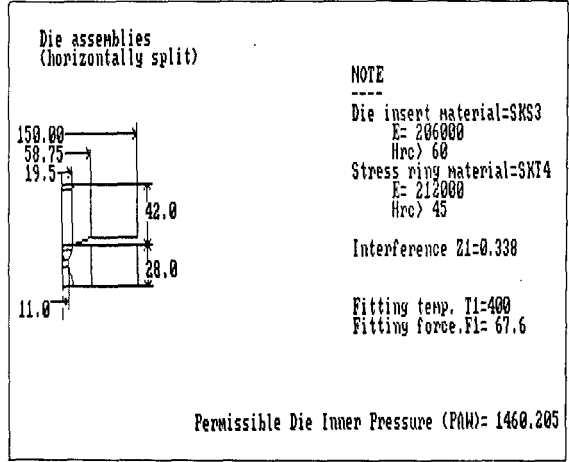


Fig. 14 Output of "DESIGN-DIE" (3)

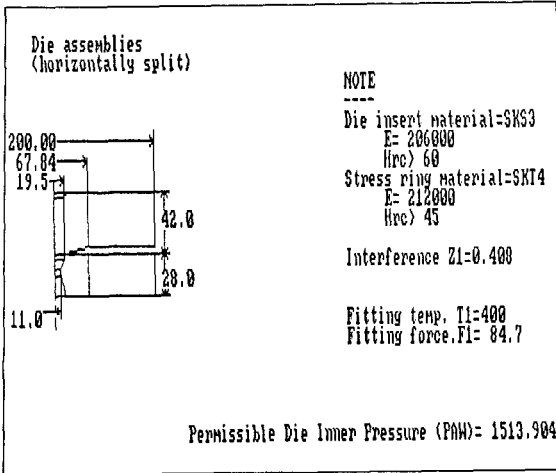


Fig. 12 Output of "DESIGN-DIE" (1)

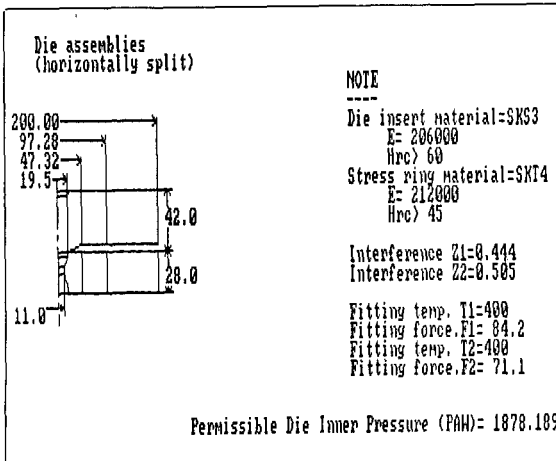


Fig. 13 Output of "DESIGN-DIE" (2)

### 6. 결 론

본 연구는 냉간단조에 대하여 시스템적으로 연구하기 위한 초보적인 시도로서 냉간단조 프레스에 의해 생산되는 증실 1, 2단 제품에 대한 자동공정 설계 프로그램인 "COLD-FORMING"과 이에 상응하는 금형설계 프로그램인 "DESIGN-DIE"를 개발하였다.

본 연구에서 개발된 시스템은 소성역학 및 금속 성형공정의 여러가지 공정변수에 대하여 전문적인 지식을 추출하여 규칙베이스로 종합한 후에 합리적인 순서로 나열된 규칙에 따라 프로그램되었다.

개발된 본 프로그램은 결함이 없는 완전한 부품의 생산가능성에 대한 적합성 판정과 적절한 성형 순서 확인 및 이에 상응하는 금형의 자동설계를 위한 적합한 도구로서 활용할 수 있다. 또한 냉간단조 기초성형법의 데이터베이스를 마련하여 다단계 자동 성형공정계획 및 금형설계의 기초를 구축했다.

### 후 기

이 연구는 1987년도 문교부 학술진흥재단의 지원으로 수행되었으며 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

### 참 고 문 헌

(1) Niebel, B. W., 1966, "An Analytical Technique for



- the Solution of Manufacturing Operations", Journal of IE.
- (2) Colwell, L. V., 1970, "International Development in the Application of Computer to Manufacturing", Institute of Science and Technology, University of Michigan.
  - (3) Descotte, Y. and Latambe, J. C., 1981, "GARI: A Problem Solver that plans how to Machine Mechanical Parts", ISCAI 7, Vancouver Canada, pp. 766~772.
  - (4) Matsushima, K., Okada, N. and Sata, T., 1985, "The Intergration of CAD and CAM by Application of Artificial Intelligence Technique", Annals of CIRP, Vol. 34, No. 1, pp. 329~332.
  - (5) Nau, D. S. and Chang, T. C., 1985, "A Knowledge Based Approach to Generative Process Planning", Bound volume, Symposium of Computer-Aided Intelligent Process Planning, ASME, Winter Meeting, Miami Beach.
  - (6) Eversheim, W., Holtz and Zons, K. H., 1980, "Application of Automatic Process Planning and NC-Programming", Proc. AUTOFACT, WEST Society of Manufacturing Engineers, Anaheim, Calif., Nov., pp. 779~800.
  - (7) Wysk, R. A., 1977, "An Automated Process Planning and Selection Program: APPAS; ", Ph. D. Thesis, Purdue University, West Lafayette, Ind.
  - (8) Badawy, A. A., Kuhlmann, D. P., Raghupatic, P. S. and Altan, T., 1985, "Computer Aided Design of Multistage Forming Operations for Round Parts", J. of Mechanical Working Technology, pp. 249~274.
  - (9) Perotti, G., Maggiorano, E., 1985, "A Calculation Program for Deep Drawing Forms", Annals of CIRP, Vol. 34/1, pp. 237~240.
  - (10) Eshel, G., Barash, M. and Chang, T. C., 1985, "A Rule Based System for Automatic Generation of Deep-Drawing Process Outlines", Computer Aided Intelligent Process Planning, Vol. 19, pp. 1~18.
  - (11) Lange, K., 1985, "Handbook of Metal Forming", McGraw-Hill.
  - (12) T. Altan, S. I. Oh, H. L. Gegel, 1983, "Metal Forming: Fundamental and Applications", American Society for Metals.
  - (13) Wick, C., 1984, "TOOL AND MANUFACTURING ENGINEERS HAND BOOK", 4th Ed, Vol. II, SME, Dearborn, pp. 13~43.
  - (14) Kulkarni, K. M., Kalpakjin, S., 1969, "A Study of Barrelling as an Example of Free Deformation in Plastic Working", J. of Eng. for Industry, pp. 743~753.
  - (15) Adler, G., Walter, K., 1967, "Berechnung von einfachen und mehrfachen Preßpassungen", Ind-Anz. 89, Jg. Nr. 39 v. 16.5.
  - (16) Feldmann, H. D., 1961, "COLD-FORMING OF STEEL", Hutchinson, London.