

프레스 제품의 가공을 위한 통합적 CAPP 시스템 개발

최정일*, 김창봉**, 김철***, 김병민***, 최재찬***

Development of Integrated Computer-Aided Process Planning System for Press Working Products

Jung Il Choi*, Chang Bong Kim**, Chul Kim***, Byung Min Kim***, Jae Chan Choi***

ABSTRACT

This paper deals with automated computer-aided process planning by which designers can determine operation sequences even if they have little experience in the design of press working products. The computer-aided process planning in hot forging, cold forging, deep drawing and blanking requires many kinds of technical and empirical skills based on investigation and collection of the knowledge of their processes. An approach to the CAPP system is based on the knowledge-based rules and the process knowledge base consisting of process planning rules is built. The methodology adopted to develop the system is elaborated in this paper. This system has been written in AutoLISP on the AutoCAD with a personal computer and provides powerful capabilities for process planning of hot forging, cold forging, deep drawing and blanking products.

Key Words : Blanking(블랭킹), CAPP(컴퓨터원용공정설계), Cold forging(냉간단조), Deep Drawing(디프 드로잉), Hot forging(열간단조), Knowledge Based System(지식기반 시스템)

1. 서론

산업기계의 주요한 많은 부품들의 가공방법이 절삭가공에서 소성가공으로 이행되는 추세이며, 소성가공에 주로 사용되는 금형은 절삭가공에서의 공구에 해당되므로 제품의 형상이 바뀌면 금형을 새로 제작하여야 하는 일품일형의 다품종 소량 생산 품목으로 그 제작의 다양성이 날로 증가하고 있다. 또한 최근 공업 제품에 대한 고도화, 다양화, 제품의 life cycle의 단축화로 인하여 소성가공에 의해 생산되는 제품에 대한 요구도 더욱 엄격해지고 있

으며 이러한 요구와 생산성을 향상시키기 위하여 프레스의 고속화와 자동화가 추진되고 있으며, 공정 및 금형설계의 표준화 또한 절실히 요구되고 있다.^[1-5] 그런데 실제 생산현장에서는 냉·열간단조, 디프드로잉 및 블랭킹과 같은 소성가공에 의하여 제작되는 프레스 제품의 공정 및 금형설계가 숙련된 기술자의 경험과 직관적 판단에 의해 수행되어지므로, 공정 및 금형설계에 시간이 많이 소요되어 급변하는 소비시장에 공급시기를 놓치는 등 문제점을 지니고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 컴퓨터를 이용한 설계자동화의 연구가 진행되었다.^[6-9]

* 부산·울산지방 중소기업청 시험검사과

** 부산대학교 대학원

*** 부산대학교 기계공학과, 정밀정형 및 금형가공연구센터

본 연구에서는 냉·열간단조, 디프드로잉 및 블랭킹과 같은 소성가공에 의해 제작되는 프레스 제품에 대하여 숙련된 기술자의 경험, 축적되어온 연구결과, 소성가공 이론 등을 정식화시켜 기존의 Dos환경하에서 개별적으로 수행되어진 시스템을 다중작업, 쉬운 사용자 인터페이스, 안정된 작업조건을 지원하는 Windows 환경하에서 통합적으로 수행되어질 수 있는 CAPP시스템을 개발하였다. 개발된 시스템은 기존의 규칙을 수정·보완하여 데이터베이스를 업데이트시켰으며, 각 모듈에서 출력된 공정설계 결과의 유용성 및 타당성을 검증하기 위하여 유한요소해석검증 부모들을 추가하였고, 시스템의 유연성 및 다양성을 위하여 사용자와의 대화 방식으로 DCL(Dialog Control Language)를 이용함으로써 CAPP시스템의 효율성을 높이고자 하였다.

2. 통합적 CAPP 시스템의 구조 및 작동원리

2.1 통합적 CAPP 시스템의 구조

본 연구에서는 냉·열간단조, 디프드로잉 및 블랭킹과 같은 소성가공에 의해 제작되는 프레스 제품의 자동화된 공정설계 시스템을 개발하였다. 통합적 CAPP 시스템은 냉·열간단조의 벌크성형(bulk forming) 공정설계와 디프드로잉 및 블랭킹의 판재성형(sheet forming) 공정설계로 나뉘어져 있다. 통합적 CAPP 시스템의 개발에 사용된 프로그래밍 언어는 범용 CAD시스템인 AutoCAD환경에서 수행되는 AutoLISP을 이용하였으며, 복잡한 형상의 제품을 대화식으로 혹은 자동적으로 스크린에 출력시켰다. 시스템은 하나의 환경에서 수행되며 구성된 각 모듈들이 규칙과 데이터 베이스를 공유하므로 수행 중에 시스템을 중단하지 않고서 모든 과정을 수행할 수 있는 장점이 있다. 프레스 제품의 가공을 위한 통합적 공정설계 시스템의 전체적인 구조는 Fig. 1에 나타내었다.

2.2 통합적 CAPP 시스템의 작동원리

2.2.1 냉·열간단조

가) 단면의 도면요소 표현

도면요소 데이터베이스를 도면요소 표현으로 재구성하기 위해서 각각의 도면요소를 검색하여 직선에 대해서는 시작점 및 끝점 그리고 원호인 경우

에는 시작점, 끝점 및 중심점 등으로 부품단면을 변환한다.

이 때 분할선을 기준으로 각각의 도면요소들은 편치부에 해당하는 상단면과 다이부와 녹아웃부에 해당하는 하단면으로 분할하여 저장되어진다.

- 단면의 상부 : 편치부

(0.0 ("L" Sp Ep) ("A" Sp Ep Cp) ("L" Sp Ep)

- 단면의 하부 : 다이부 및 녹아웃부

(0.0 ("L" Sp Ep) ("A" Sp Ep Cp) ("L" Sp Ep)

여기서 "L"은 도면요소가 직선이며, "A"는 원호이다. 그리고 Sp (시작점) : (xs ys zs), Ep (끝점) : (xe ye ze), Cp (중심점) : (xc yc zc)을 나타낸다.

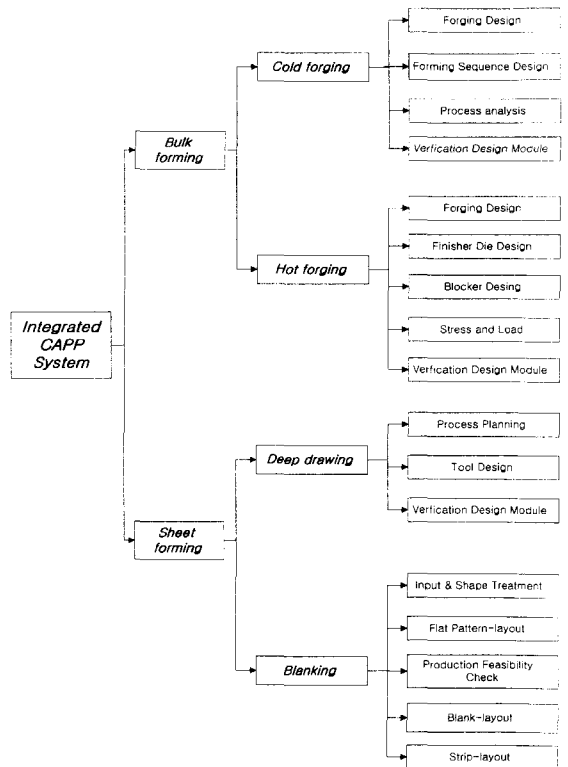


Fig. 1 Configuration of CAPP system for press working products

나) 단면의 좌표반경 표현

인접한 두 직선이 만나는 점의 좌표와 그 점에서의 반경으로 표현되는 단면의 좌표반경 표현은 필렛/코너반경을 부여하고 부분단면으로 분할하는 것도 쉽게 구현할 수 있다.

- 단면의 상부

(0.0 xyrU1 xyrU2 xyrU3 xyrU4 xyrU5)

- 단면의 하부

(0.0 xyrL1 xyrL2 xyrL3 xyrL4 xyrL5)

여기서 N 번째 절점을 나타내는 xyrN (xN yN zN)에서 xN, yN, zN은 단면의 각 절점(분할선과 만나는 점 또는 인접한 직선의 두 도면요소가 만나는 점)의 좌표를 나타내며, rN은 그 절점에서의 반경을 나타낸다.

다) 단면의 기본형상 표현

단면의 도면요소 표현이나 좌표반경 표현은 단지 단면의 윤곽형상만을 나타내므로 단면의 기하학적 특성을 표현할 수 있도록 나타내어야 한다.

- 단면의 기본형상 표현의 형식

(FBsType (PrG1 Hei1 DaU1 DaL1 Ri1 Ro1 Rcv1)
(PrG2 Hei2 DaU2 DaL2 Ri2 Ro2 Rcv2)
.....
)

여기서 FBsType는 내부에 단이 있는 형상인지 외부에 단이 있는 형상인지를 나타내는 단면형상이며, PrG는 기본형상의 리스트이다. 그리고 Hei, DaU, DaL, Ri, Ro와 Rcv는 각각 높이, 상부 직경, 하부 직경, 필렛/코너반경 및 오목/볼록원추의 반경등을 나타낸다.

2.1.2 디프 드로잉

단면의 도면요소 표현과 단면의 좌표반경 표현 방법은 냉·열간단조와 동일하나 단면의 기본형상 표현은 디프 드로잉 공정설계에 있어서 성공적으로 적용된 G&TR 기법을 활용한 Name_List의 개념을 도입하였다. 본 연구에서는 직선의 형태 4가지, 원호의 형태 4가지에 대한 엔티티 형상을 정의하고, 요소의 이름, 재료의 두께, 요소의 외경, 요소의 내경, 요소의 높이, 요소의 필렛 반경 등 7개의 정보와 역드로잉을 위한 1개의 정보를 포함하여 모두 8개의 정보로 Name_List를 확정하였다.

- Name_List 의 형태

(
("bottom" H1 A1 B1 C1 D1 E1 F1)
("flange" V1 A2 B2 C2 D2 E2 F2)
.....
)

1개의 행은 1개의 직선과 1개의 원호에 대한 정보를 나타낸다. 각 행에서 첫째 자리는 요소의 이름으로 "bottom"은 바닥 요소를, "wall"(n은 1,2,3,.....)은 벽 요소이며, "flange"는 플랜지 요소를 나타낸다. 둘째 자리는 요소의 형태를 나타내며 H1은 수평, V1은 수직, T1은 테이퍼 형태를 나타낸다. 또한 An은 요소의 두께, Bn은 요소의 외경, Cn은 요소의 내경, Dn은 요소의 높이, En은 제품의 단면적 계산이나 요소의 역드로잉 기법을 표현할 때 필요의 정보를 표시하는 데이터를 나타내며 Fn은 원호의 반경을 나타낸다.

2.1.3 블랭킹 및 피어싱

제품의 형상을 사용자가 직접 AutoCAD환경에서 도면화하거나 혹은 도면화된 파일을 스크린 상에 나타냄으로써 입력되며, 입력된 형상의 데이터를 프로그램에서 취급하기 위하여 수치형태의 리스트로 변환하는 방식은 다음과 같다.

- 직선과 원호로만 구성된 리스트의 표현형식
(0.0 (Sp Ep) (Sp Ep) (Sp Ep) (Sp Ep Cp) (Sp Ep Cp))

- 원호로만 구성된 리스트의 표현형식

(0.0 (Cp R) (Cp R) (Cp R))

여기서 (Sp Ep)는 도면요소가 직선, (Sp Ep Cp)는 원호이며, (Cp R)은 도면요소가 원이다. 그리고 Sp(xs ys zs)는 시작점이며 Ep(xe ye ze), Cp(xc yc zc)는 끝점 및 원호와 원인 경우에 중심점을 나타내며, R은 원의 반지름을 나타낸다.

직선과 원호로 구성된 리스트는 설계에 용이하게 이용할 수 있도록 도면 요소들을 시계방향의 폐루프 단위로 다시 리스트를 구성한다. 그 형식은 다음과 같다.

(0.0 ((P1 P2) (P2 P3 Pc1) (P3 P4) (Pn-1 Pn Pcn) (Pn P1))
((q1 q2) (q2 q3) (q3 q4 qc1) (qn-1 qn qcn) (qn q1))
.....
)

여기서, 페루프 P의 (Pn-1 Pn Pcn) (Pn PI)에서 Pn은 (Pn-1 Pn Pcn)의 끝점인 동시에 (Pn PI)의 시작점이고 Pcn은 원호의 중심점이다. 또한 엔터티로 구성되어진 임의의 페루프 시작점(start point) PI은 PI(x1,y1,z1) 형식으로 표현되며, 여기서 x1은 임의의 페루프에서 최소의 x 좌표값을 나타내며, 이 x1을 가지는 엔터티를 기준으로 설계자동화를 위하여 시계방향으로 임의의 페루프를 구성한다.

3. 통합적 CAPP 시스템의 규칙 및 데이터 베이스

본 시스템에서 규칙베이스는 의사결정에 기초한 "IF[conditions] THEN[action]" 형태의 생성규칙을 사용하여 구축되어졌으며, 조건부의 정보에 따라서 결과부의 정보를 계산하고 결과부의 출력 정보는 다음 조건부의 입력정보가 된다. 또한 규칙을 구성하고 있는 시스템 및 데이터베이스는 축적된 연구결과, 경험적인 설계지침들과 노하우를 정식화 및 정량화시켜 구축되었으며, 정량화된 경험 데이터는 시스템 내의 추가적인 구축을 용이하게 할 수 있도록 하였다. 시스템을 구성하고 있는 냉·열간단조, 디프드로잉 및 블랭킹가공에 대한 공정 설계규칙을 아래에서 간략히 다루었다.

3.1 냉간단조 공정설계 규칙

규칙 1) 다단압출이 요구될 때 1회 가공한계를 만족하면, 즉 $SS \leq LSOS$ 혹은 $LSTS$ 가 제일 작은 직경부터 순차적으로 압출한다.

여기서,

SS : 중실주대수변형률 ($= l_n (d_0^2 / d_1^2)$)

$LSOS$: 한계중실 비구속 주대수변형률

$LSTS$: 한계중실 구속 주대수변형률

d_0 : 가공전의 직경 (mm)

d_1 : 가공후의 직경 (mm)

규칙 2) 중실압출시 한 부분의 최대 성형한계는 $LSTS + 2 \times LSOS$ 를 초과할 수 없다.

규칙 3) SS 가 $LSTS$ 보다 크면, 처음 압출공정은 내부 결함을 피하는 각도(TRAP)로 압출하고, 다음 작업에서 최종제품의 각도를

맞춘다.

여기서, $TRAP$: 내부결함을 피하는 각도
 규칙 4) SS 가 $LSTS + LSOS$ 보다 작으면, 먼저 $LSTS$ 까지 예비성형하고 그 다음 비구속 압출한다.

규칙 5) SS 가 $LSTS + 2 \times LSOS$ 보다 작으면, 먼저 $LSTS$ 까지 예비성형하고 그 다음 비구속압출로 작업을 완성한다.

규칙 6) 강(steel)에서 $ULDR \leq 2.25$ 이면 한번에 업세팅한다.

여기서, l_0 : 가공전의 길이 (mm)

$ULDR$: 중실 업세팅 길이대 직경비 ($= l_0 / d_0$)

규칙 7) 강에서 $2.25 < ULDR \leq 4.5$ 이면 한번에 업세팅되어서 만들어질 직경이 소재 직경의 1.3배를 초과하지 않으면 한번에 가공이 되며, 그렇지 않으면 예비 업세팅공정이 필요하다.

규칙 8) 강에서 $4.5 < ULDR \leq 6.5$ 일 경우 업세팅되어서 만들어 질 직경이 소재직경이 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.

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

3.2 열간단조 공정설계 규칙

규칙 1) 빌렛의 직경(혹은 폭)과 높이는 단면 감소율, 소재비(높이 대 직경) 및 사용자 입력으로 결정하고, 소재비 한계값은 성형재료가 강이면 2.25이며 알루미늄합금이면 1.8이고 구리합금이면 2.1이다.

규칙 2) 생산갯수가 10,000개 이상이면 최종다이의 마모를 줄이기 위하여 블라커가 필요하다.

규칙 3) 종방향 형상난이도인자 (α)는 다음과 같다.

$$\alpha = \frac{P_f^2 / A_f}{P_c^2 / A_c}$$

여기서,

P_f : 단조품의 축방향 단면의 원주 (mm)

P_c : 단조품을 둘러싼 원통의 축방향 단면의 원주 (mm)

A_f : 단조품의 축방향단면의 단면적 (mm²)

A_c : 단조품을 둘러싼 원통의 축방향 단면의 단면적 (mm²)

규칙 4) 횡방향 형상난이도 인자 (β)는 다음과 같다.

$$\beta = \frac{2R_g}{R_c}$$

여기서,

R_c : 단조품을 둘러싼 원통의 반경

R_g : 단조품의 중심에서 도심까지의 거리

규칙 5) 형상난이도인자 (S_f)는 다음과 같다.

$$S_f = \alpha \cdot \beta$$

규칙 6) 생산갯수가 10,000개 이하이고 형상난이도 인자가 2.5이상이면 블락커가 필요하다.

규칙 7) 생산갯수가 10,000개 이하이고 형상난이도 인자가 2.5이하이면 블락커를 필요로하지 않는다.

규칙 8) 블락커의 형상난이도인자가 2.5이상이면 블락커공정의 전단계인 예비성형공정을 추가한다.

규칙 9) 블락커의 형상난이도인자가 2.5이하이면 블락커공정의 전단계인 예비 성형공정을 추가하지 않는다.

규칙 10) 성형중 결함 혹은 공구의 파손이 예상되거나 장비의 유효하중이 최대 단조하중보다 크면 블락커가 필요하다.

3.3 디프 드로잉 공정설계 규칙

규칙 1) 등가표면의 블랭크 직경이 계산되면, 트리밍 여유를 고려하여 실제 블랭크 크기를 결정한다.

규칙 2) 이전 변형영역의 표면적은 현재의 변형영역의 표면적과 동일하다.

규칙 3) 컵요소의 표면적의 총합은 블랭크의 표면적의 총합과 동일하다.

규칙 4) 컵요소의 체적의 합은 블랭크의 체적과 동일하다.

규칙 5) 판재가 연강판, 비철금속이면 블랭크 직경대 판재두께 비에 따라서 드로잉률을 데이터베이스로부터 선정한다.

규칙 6) 한계 드로잉비를 계산하려면, 최적 드로잉비 (LDR_{OPT})에 두께, 다이 형상반경, 펀치형상 반경에 대한 보정계수를 고려한 다음식을 이용한다.

$$LDR = LDR_{OPT} \cdot FOT \cdot FORD \cdot FORP$$

여기서, FOT: 재료두께에 대한 보정계수

FORD: 다이 형상반경에 대한 보정계수

FORP: 펀치 형상반경에 대한 보정계수

규칙 7) 재질에 따른 초드로잉비와 재료 두께에 따른 재드로잉비의 최적값은 데이터베이스로부터 선정한다.

규칙 8) 한계 초드로잉비는 드로잉 응력이 소재의 최대인장강도 S_u 에 도달할 때까지 드로잉할 수 있는 한계값으로 정의하며 다음 식으로부터 구한다.

$$F_d \leq \pi d_1 t S_u$$

여기서, F_d : 변형영역의 가공력

d_1 : 초드로잉 되는 컵의 직경

t : 재료의 두께, S_u : 극한 인장강도값

규칙 9) 한계 재드로잉비는 드로잉 응력이 소재의 최대인장강도 S_u 에 도달할 때까지 드로잉할 수 있는 한계값으로 정의하며 다음 식으로부터 구한다.

$$F_{dr} \leq \pi d_2 t S_u$$

여기서,

F_{dr} : 변형영역의 가공력

d_2 : 재드로잉 되는 컵의 직경

t : 재료 두께, S_u : 극한 인장강도 값

규칙 10) 원형블랭크의 블랭킹력은 아래의 식으로 계산한다.

$$P = \pi \times d \times t \times \tau$$

여기서, d : 원형블랭크 직경

t : 판재 두께, τ : 전단강도

규칙 11) 다이 두께는 아래의 식으로 결정된다.

$$H_0 = K \sqrt[3]{P}$$

여기서, P : 블랭킹력, K : 보정계수

규칙 12) 펀치 길이는 작업가능길이 + 재연마량 (5-8mm)이 가산되어 결정된다.

규칙 13) 원형 펀치의 직경은 다이 직경에서 틈새를 뺀 치수로 결정된다.

3.4 블랭킹 및 피어싱 공정설계 규칙

규칙 1) 파일럿 구멍, 피치 노치(notch)들이 존재할 경우에는 첫 번째 공정에서 피어싱하고 제품의 내부 형상이 존재하면 내부 형상을 먼저 가공한다.

규칙 2) 각 다이블랭크 형상의 주변길이(perimeter)를 계산하여 길이순으로 번호를 정하고 공정번호(①, ②, ③,, ④)로 설정한다. 공정번호 ①인 다이블랭크가 나열된 피치의 가장 좌측에 배열되고 공정번호 ②가 ①이 놓여진 피치에 놓여진다. 이때 공정번호 ①인 다이블랭크와 간섭이 생기지 않으면 공정번호 ②인 다이블랭크가 최초의 피치에 배열되어지고 간섭이 생기면 다음피치로 이동하여 배열되어진다.

규칙 3) 블랭크의 초기이송피치는 아래 식으로 결정되어진다.

$$L_{pitch} = D_{bla} + BM$$

여기서, D_{bla} : 제품의 최외각 형상의 지름

BM : 제품형상간의 여유폭

규칙 4) 다이의 측면에 작용하는 면압은 아래 식으로 결정한다.

$$P_{face} = \frac{F_d}{L_{shear} \times t \times BLR}$$

여기서, L_{shear} : 전단길이의 총합

BLR : 소재 두께에 대한 버니쉬의 길이 비

t : 소재두께, F_d : 측방력

규칙 5) 다이의 측면에 작용하는 면압을 견딜 수 있는 다이의 외경은 아래 식으로 결정한다.

$$d_o = \frac{d_i}{\sqrt{\frac{\sqrt{3}P_{face}}{m\sigma_y} \sqrt{2 - \left(\frac{\sqrt{3}P_{face}}{m\sigma_y}\right)^2} - 1}}$$

여기서, m : $1 \leq m \leq 1.155$

σ_y : 다이의 항복 강도, d_i : 다이의 내경

규칙 6) 프로그래시브 다이에서의 하중(P)은 아래 식으로 결정한다.

$$P = L_{shear} \times t \times S$$

여기서, L_{shear} : 전단 길이의 총합 (mm)

t : 소재의 두께 (mm)

S : 전단저항 (kg_f/mm^2)

규칙 7) 다이블록의 두께에 대한 검증은 블랭크가 원형이면 아래의 식으로 한다.

$$H_{dblock}^2 \geq \frac{2.5P}{\sigma_{ai}} \left(1 - \frac{D_{bla}}{1.5D_{dblock}}\right)$$

여기서, H_{dblock} : 다이블록의 두께 (mm)

P : 하중 (kg_f)

σ_{ai} : 다이의 허용 굽힘 응력 (kg_f/mm^2)

D_{bla} : 제품의 최외각 형상의 지름 (mm)

D_{dblock} : 다이 블록의 직경 (mm)

4. CAPP 시스템에의 적용 및 고찰

냉·열간단조, 디프드로잉 및 블랭킹과 같은 소성가공에 의해 제작되는 프레스 제품을 본 연구에서 개발한 통합적 공정설계 자동화 시스템에 적용시켜 각 모듈에서 수행된 결과를 고찰하고자 한다.

4.1 냉간단조 모듈

냉간단조 모듈의 부모물인 단조품설계 모듈의 수행결과를 알아보기 위하여 냉간단조용 공정설계 모듈을 수행하였다. Fig. 2는 선정된 부품단면과 초기 사용자 입력부분을 나타낸 것이다.

사용된 재질은 AISI 1010이며, 초기 소재는 절단 후 상온에서 풀림처리와 윤활처리를 한 것으로 가정하였다.

단조품으로 변환된 Fig. 3과 같은 중실부품에 대하여 소재직경 35.60mm를 입력하고 사용할 프레스를 선정하여 성형순서설계 부모물을 실행하였다.

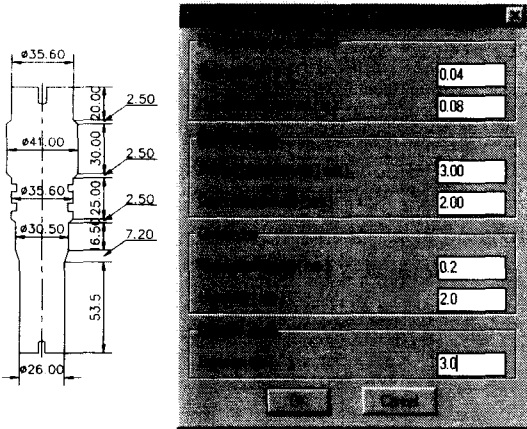


Fig. 2 A sample for a carrying out cold forging module

이 모듈이 수행된 후, 언더컷을 방지하기 위해 형상을 수정한 후의 단면형상을 Fig. 3에 나타내었다. Fig. 3에서는 부품단면에 예리한 모서리가 존재하여 필렛반경과 코너반경이 부여되었고, 재료유동 방향으로 가공여유를 부여하였으며, 부품단면의 깊고 좁은 구멍에 대하여 후방압출로 성형할 수 없으므로 구멍이 제거되었던 것을 보여준다.

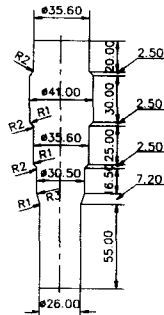


Fig. 3 Feasible shape for cold forging

입력된 소재직경 35.60mm의 구속압출 시에 소재와 금형 사이의 간극이 고려된 소재의 직경은 35.40mm이며, 단조품으로 변환된 중실부품에 대하여 공정설계 규칙에 의하여 자동적으로 창출되어진 공정설계 도면의 출력결과를 Fig. 4에 나타내었다.

첫 번째 공정에서는 구속압출이 수행되었으며 두 번째 공정에서는 압출반각 15°로 비구속압출

되었다. 세 번째 공정에서는 한 번에 양단 업세팅 공정이 수행되어 우리가 원하는 제품을 얻을 수 있었다.

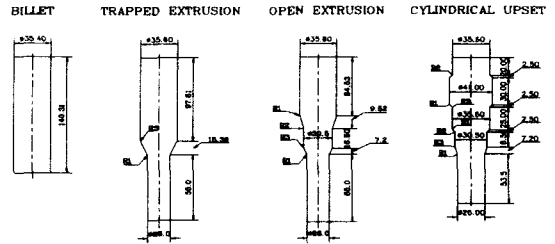


Fig. 4 Automatic process planning for the sample in Fig. 2

각 공정의 변형률, 편치압력, 다이압력 및 하중과 같은 공정변수들은 중간단계 열처리의 유무에 따라 상계법 및 슬래브법에 의해 계산되어지고 그 결과를 Table 1와 Table 2에 나타내었다.

Table 1 Results of process variables using the billet with diameter 35.6mm after annealing

Process \ Variables	Strain	Punch pressure [kg/mm ²]	Die pressure [kg/mm ²]	Forming load [tons]
	Cropping			
Trapped extrusion	0.63	67.92	46.26	67.61
Open extrusion	0.31	25.08	3.42	24.97
Cylindrical upsetting	0.68	133.75	68.78	176.59

Table 2 Results of process variables using the billet with diameter 35.6mm

Process \ Variables	Strain	Punch pressure [kg/mm ²]	Die pressure [kg/mm ²]	Forming load [tons]
	Cropping			
Trapped extrusion	0.63	67.92	46.26	67.61
Open extrusion	0.31	37.5	15.84	37.33
Cylindrical upsetting	0.68	218.21	153.23	288.08

또한, 두 번째 공정의 비구속 압출에 대하여, 인서트의 재질을 STD11으로, 보강링의 재질을 STD 61로 선택하여 공정해석 부모들을 수행시킨 결과 출력된 균형도면과 응력분포도를 Fig. 5에서 나타내었다.

공정설계의 출력결과에 대하여 구속압출(trapped extrusion)공정을 검증하기 위한 유한요소해석검증 부모들을 수행하여 그 결과를 Fig. 6에 나타내었다.

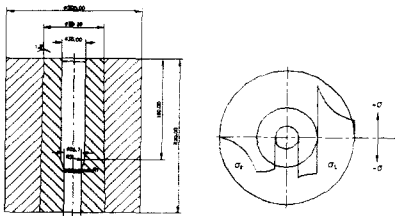


Fig. 5 Stress distribution diagram of trapped forward extrusion, the second process in Fig. 4 carried out in process analysis sub-module.

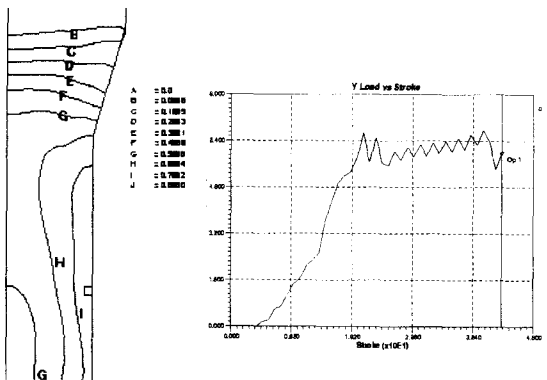


Fig. 6 Results obtained from the verification design module for the trapped extrusion in Fig. 4.

Fig. 6의 결과는 본 시스템의 냉간단조 공정설계 모듈을 수행했을 경우에 계산된 결과인 Table 2의 성형하중 보다 약 2ton이 더 큰 69ton으로 잘 일치함을 알 수 있고 다이랜드 부근에서 유효변형률이 0.80으로 최대가 되며, 필링(filling)정도가 양호

함을 알 수 있다.

4.2 열간단조 모듈

Fig. 7과 같은 축대칭 형태의 부품단면을 열간단조용 공정설계 모듈의 단조품설계 부모들에 적용하여 수행되어진 결과를 고찰하고자 한다.

부품단면은 축대칭 형태로서 부품의 최대직경이 100mm 이고, 상·하부단면은 끝단면에만 리브가 있고 중앙에 한정된 웨브가 있는 단면형상이다.

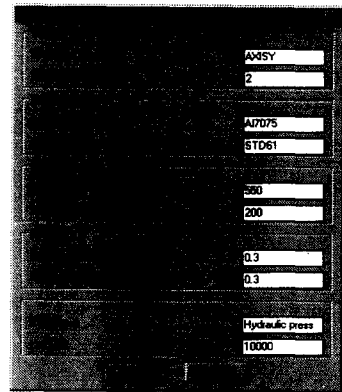
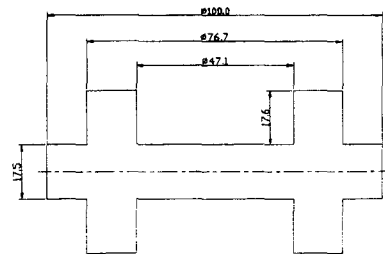


Fig. 7 A sample for carrying out hot forging module

재료를 입력하면 그와 관련된 재료의 기계적 성질이 데이터베이스로부터 얻어진다. 만약 부품단면 중에서 언더컷의 발생이 예상되는 부분이 존재한다면 그것을 방지하기 위하여 형상을 수정한 후, 단조품설계를 수행한다.

Fig. 7과 같은 제품에 대하여 단조품설계 부모들을 수행함으로써 얻은 단조품 단면을 Fig. 8에 나타내었다. 최종다이설계 부모들에서는 빌렛을 소재로 하여 최종다이에서 한 공정으로의 성형가능성 여부를 판단하여 빌렛을 한 공정으로 성형하였을

때의 최대하중, 응력분포 및 그 때의 유동모델, 최종다이의 설계에 필요한 여러 공정변수를 출력시킨다.

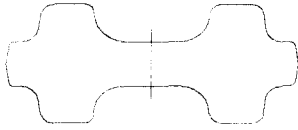


Fig. 8 Forged shape for the sample in Fig. 7

블라커설계 부모들에서는 결함의 발생으로 인하여 한번에 성형하기 어려울 때와 생산개수가 대량인 경우에 최종다이의 수명을 유지하기 위하여 리브 입구에 있는 필렛부분의 다이마모를 감소시키고자 블라커 공정을 수행한다. 축대칭 형태인 Fig. 8의 단조품 Al 7075에 대하여 블라커공정설계 부모들에서 성형가능성 유무를 판단한 결과, 단조품의 형상난이도인자(shape factor)가 1.645이고, 생산수량이 10000개 이므로 공정설계 규칙에 의해서 블라커의 공정이 필요로하지 않음을 알 수 있다. 그리하여 최종다이설계 부모들이 수행되어 자동적으로 창출된 공정설계 도면의 출력결과를 Fig. 9에 나타내었다.

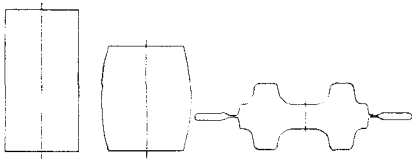


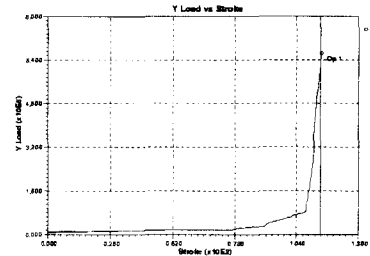
Fig. 9 Automatic process planning for the sample in Fig. 7

Fig. 9는 초기 빌렛에서 업세팅으로 팬케익(pancake) 공정을 수행한 후 최종다이(finisher die)에서 단조품을 성형하는 과정을 나타낸 것이며, 최종다이설계 부모들이 수행되어 계산된 공정변수들의 결과는 Table 3과 같다.

Fig. 9의 공정설계 출력결과에 대하여 유한요소해석검증 부모들이 수행되어 창출된 결과를 Fig. 10에 나타내었다. Fig. 9에서 제시된 열간 단조품 공정설계의 결과는 유한요소해석 검증모듈에서 Fig. 10과 같이 급형의 코너부에서 소재의 필링이 잘 이루어짐을 알 수 있다.

Table 3 Results of process planning at the final stage

Process Variables	
Shape factor	1.645
Flash landwidth	12.152
Flash weight	0.424
Blank height	206.492
Blank Weight	4.990
Die height	200.000
Flash thickness	3.169
Flash volume	151395.303
Blank width	104.822
Blank volume	1781969.947
Die width	300.000



(a)



(b)

Fig. 10 Results obtained from the verification design module for the processes in Fig. 9

4.3 디프 드로잉 모듈

냉연강판의 원추형 컵 제품인 Fig. 11을 개발된 디프드로잉용 공정설계모듈에 적용시켜 각 부모들에서 수행되어 자동적으로 창출된 공정설계 도면의 출력결과를 Fig. 12에 나타내었다.

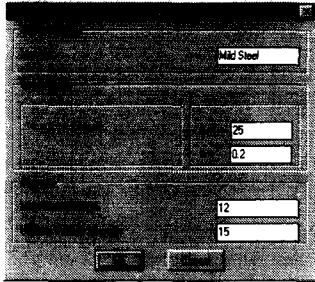


Fig. 11 A sample for carrying out deep drawing module



Fig. 12 Automatic process planning for a sample in Fig. 12

디프드로잉용 공정설계모듈은 원추형 컵을 컵의 높이, 원추각 및 플랜지 유무에 따라 분류하여, 각 형상을 공정설계 규칙에 의하여 다단계 컵으로 변화시켰다. 공구설계 부모들에서 계산되어진 각 공정별 드로잉률, 펀치와 다이의 틈새, 펀치하중, 및 블랭크 홀더의 하중을 Table 4에 나타내었다.

Table 4 Results of the Process Planning

Process	1	2	3	4	5	6
Draw Ratio	0.51	0.78	0.91	0.83	0.95	1.00
Clearance(mm)	0.78	0.75	0.73	0.70	0.65	0.56
P. Force(ton)	0.59	0.64	0.40	0.36	0.30	0.28
B.H Force(ton)	0.26	0.28	0.18	0.16	0.13	0.13

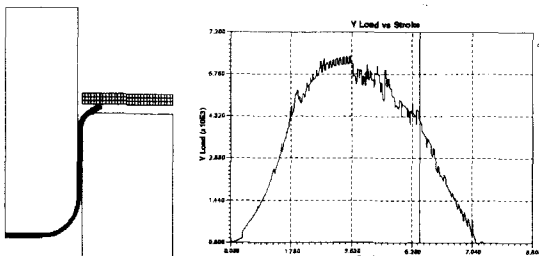


Fig. 13 Results obtained from the verification design module for the first process in Fig. 12

또한, Fig. 12의 첫 번째 공정에 대한 유한요소 해석검증 부모들에서 수행되어진 결과를 Fig. 13에 나타내었다.

Fig. 12에서 제시된 첫 번째 단계에 유한요소해석검증 부모들을 적용시킨 결과, 금형의 펀치와 다이 부분에 만족할 만한 형상을 얻었으며, 공구설계 부모들에서 계산된 하중이 예측된 결과와 유사함을 알 수 있다.

4.4 블랭킹 및 피어싱 모듈

Fig. 14과 같이 반도체 리드 프레임 제품인 32LD PLCC 도면을 블랭킹 및 피어싱용 공정설계 모듈에 적용하여 각 부모들의 수행결과 자동적으로 창출된 공정설계 도면을 Fig. 15와 Fig. 16에 나타내었다. 출력된 도면은 자동으로 인식되어져서 설계에 용이한 수치데이터의 리스트로 변환되어지고 변환된 수치데이터는 다음 각 부모들에서 사용될 수 있도록 제품의 각형상에 따른 펀치형상의 리스트를 창출시킨다.

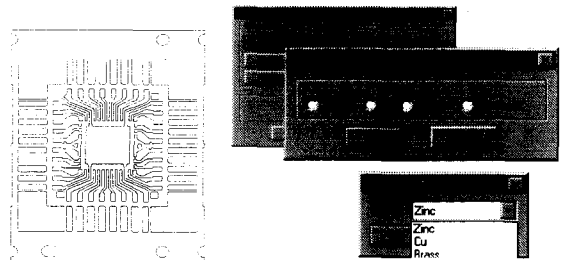


Fig. 14 A sample for carrying out blanking module

내측리드를 피어싱할 경우 다이블랭크의 외경이 간섭을 발생시키지 않는 최소거리를 고려하여 순차적으로 가공을 한다. 이 때 내측리드의 끝부분에 소성 변형이 발생하게 되며, 이러한 소성 변형을 방지하기 위하여 자동으로 설계되어진 캐비티 펀치를 Fig. 15에 나타내었다.

또한 Fig. 16은 자동적으로 창출되어진 스트립-레이아웃의 도면을 나타내며 첫 번째 공정에서는 반도체의 칩에서 발생하는 열을 발산할 수 있도록, 다이 패드 부분의 표면적을 증가시키는 딤플(dimple)공정을 수행하였고 다음 공정으로 스트립-레이아웃 규칙에 의해 파이롯트 구멍, 예폭시 구

형, 사이드 레일의 볼링 구멍이 피어싱되었다.

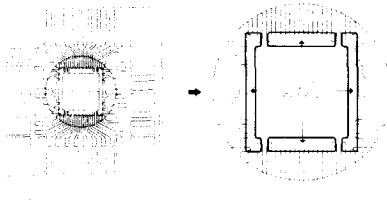


Fig. 15 Generation of the cavity punch of 32LD PLCC lead frame in shape treatment sub-module

내측리드의 펀치는 전단길이 순으로 순차적으로 스트립-레이아웃이 진행되었다. 내측리드의 소성 변형이 발생하지 않도록 캐비티 공정을 수행하여 완전한 내측리드 형상과 다이패드 형상을 얻을 수 있었다. 내측리드 상·하방향의 틸트(tilt)를 보정하기 위하여 스팅크(spank)공정이 수행되었고, 칩(chip)과 내측리드가 정확한 위치에서 와이어본딩(wire bonding)될 수 있도록 코이닝(coining)공정이 수행되었다. 또한, 스트립이 폭방향으로 휘어진 양인 크로스 보우(croos bow)을 보정하기 위하여 이퀄라이저(equalizer)공정을 수행하였고 최종적으로 커팅(cutting)공정이 수행되었다.



Fig. 16 Automatic strip-layout for 32LD PLCC lead frame, semiconductor

측방력에 의한 다이플랭크 외경의 간섭을 체크함으로써 다이의 파손을 방지할 수 있는 공정설계를 수행할 수 있었다.

5. 결론

본 연구에서는 냉·열간단조, 디프드로잉 및 블

랭킹 가공으로 제작되는 프레스 제품의 공정설계를 자동화하는 통합적 CAPP 시스템을 개발하였다. 본 시스템은 산업현장에서의 적용이 용이하고 사용자와의 대화식으로 유연성을 가지고 있으며, 개발된 통합적 CAPP 시스템의 장점은 다음과 같다.

1. 냉·열간단조, 디프드로잉 모듈에서 자동으로 출력된 공정설계도면에 대하여 유한요소해석검증 부모듈을 수행하여 공정설계의 타당성과 유용성을 검증할 수 있다.
2. 개발된 통합적 CAPP 시스템은 AutoCAD가 지원하는 파일 형식으로 된 입력화일을 만족하며, 자동적으로 창출된 공정설계 도면을 AutoCAD가 지원하는 그래픽 형태로 스크린상에 출력시킬 수 있다.
3. 프레스 제품 가공을 위한 통합적 CAPP 시스템을 개발함으로써, CAD/CAM 소프트웨어인 Personal Designer에서 UPL(User Programming Language)을 사용하여 금형부품의 3차원 모델링, 공구경로 생성과 후처리 등의 구현이 가능하도록 하였다.

기존의 DOS환경하에서 수행되었던 냉·열간단조, 디프드로잉 및 블랭킹 가공용 공정설계 프로그램을 통합하여 Window환경하에서 시스템의 유연성 및 다양성을 위하여 DCL(Dialog Control Language)방식의 대화식으로 변환하여 시스템을 업데이트시켰다. 숙련된 설계자의 공정설계의 결과는 설계자의 경험에 따라 다르므로 초보자의 교육 및 제품생산에 있어 표준화된 설계지침을 확정하기 어렵게 만든다. 그러나 개발된 통합적 CAPP 시스템은 이에 대한 필요한 기술과 경험을 정량화하고 설계절차를 정식화하여 설계지침을 표준화시키므로써 설계시간의 단축과 가공의 정밀도를 향상시킬 수 있을 것이다. 또한, 설계 시 현장에서 수행되고 있는 방법 및 경험을 보다 많이 정량화, 정식화시켜 시스템에 반영하고, 현상의 기술을 데이터베이스로 구축하여 시스템을 현장 적용성이 높도록 개선해야 할 것이다.

후 기

본 연구는 부산대학교 및 금형가공 연구센터를

통한 한국과학재단 우수연구센터 지원금에 의한 것입니다.

참고문헌

1. J. C. Choi, B. M. Kim, H. Y. Cho, Chul. Kim, "A compact and practical CAD system for blanking or piercing of irregular-shaped sheet metal products and stator and rotor parts," International Journal of MACHINE TOOLS & MANUFACTURE, Vol. 38, pp. 931-963, 1998.
2. Jae C. Choi, Byung M. Kim, Hae Y. Cho, Chul Kim, Jae H. Kim, "An integrated CAD system for the blanking of irregular-shaped sheet metal products," Journal of Materials Processing Technology, Vol. 83, pp. 84-97, 1998.
3. G. Schaffer, "Computer design of progressive dies," Am. Mach, Vol. 22, pp. 73-75, 1971.
4. B. Fogg and Jaimeson, "The influencing factors in optimizing press tool die layouts and a solution using computer aids," CIRP Annals, Vol. 24, pp. 429-434, 1975.
5. Y. Shibata and Y. Kunimoto, "Sheet metal CAD/CAM system," Bull. Jpn. Soc. Prec. eng., Vol. 15, pp. 219-224, 1981.
6. 이연호, 김동진, 김병민, 최재찬, "냉간단조 공정설계 시스템과 유한요소해석에 의한 검증," 한국정밀공학회지, 제13권, 제4호, pp. 43-52, 1996.
7. 고대철, 김병민, 최재찬, 오세욱, "허브 냉간단조품의 공정설계," 대한기계학회지, 제20권, 제11호, pp. 3387-3397, 1996.
8. 박상봉, 최영, 김병민, 최재찬, "축대칭 디프 드로잉 제품에 대한 공정설계 시스템의 적용," 한국정밀공학회, 제14권, 제4호, pp. 145-150, 1997.
9. 최재찬, 김병민, 김철, 김재훈, "스테이터와 로터 및 불규칙한 박판제품의 블랭킹에 관한 공정설계 시스템," 한국정밀공학회지, 제13권, 제9호, pp. 46-53, 1996.
10. 최재찬, 김병민, 김철, 윤지훈, "불규칙형상의 박판제품에 관한 블랭킹 및 피어싱용 통합적 CAD 시스템," 한국정밀공학회지, 제15권, 제2호, pp. 124-133, 1998.
11. 최재찬, 김철, "박판제품의 블랭킹 및 피어싱과 굽힘 가공을 위한 순차이송용 공정 및 그형설계와 가공자동화 시스템," 한국소성가공학회지, 제7권, 제3호, pp. 246-259, 1998.