

이 논문은 1987년도 과학재단지원비에 의하여 연구(출판)되었음.

퍼스널 컴퓨터에 의한 디이프드로잉 공정설계의 전산화에 관한 연구 (I)

최 재찬*, 진 인태**

A Study on the process planning of Deep drawing using personal computer

Jae Chan Choi and In Tai Jin

Key Words: Personal computer (퍼스널컴퓨터), Deep drawing (디이프 드로잉), Rule base system (규칙 베이스 시스템), Computer Aided process planning (컴퓨터 원용 공정설계), Limit drawing ratio (한계드로잉률), Pass Division (공정 분할)

ABSTRACT

This paper describes a computer aided process planning system called "Deep-Drawing", "Deep-Drawing" is designed for the drawing sequence of cylindrical and rectangular cups with or without taper and flange. The computer program has written in BASIC language with personal computer. Design Rules for process planning are formulated from process limitation, plasticity theory and experimental results including the know-how of many manufacturing factories.

"Deep-Drawing" Capabilities include the analysis of drawing sequence by the determination of optimal drawing ratio, the determination of intermediate shape, dimensions, punch and die radius etc., the calculation of drawing loads and blank holder force to perform each drawing step, and the graphic outputs for the operation sheet.

* : 부산대학교 기계설계공학과

** : 부산대학교 대학원

1. 서 론

전산화된 공정설계 (CAPP: Computer Aided process planning)의 선구적인 작업은 1960년 중반 미국에서 Niebel¹⁾에 의해 수행되었다. 자동공정계획이 주로 절삭가공에만 적용되어 왔는데 이것은 실제 공정계획에서 성형공정계획이 필요하지 않았다고 보다는 오히려 기술적 능력이 부족한 때문이었다. 절삭공정에서는 거의가 단순한 기하학적인 형상 조각인데 반하여 성형공정계획의 자동작성은 소재의 성질이 작업에 연관되어 변화하기 때문에 불완전한 지식을 가지고 복잡한 기하학적 형상 조각을 해야 한다.

성형공정계획의 자동화에 대한 관심은 절삭가공에서 자동공정계획의 아이디어가 나왔을 때부터 시작되었다.²⁾

다이프 드로잉 공정변수의 상관관계에 대한 전산화된 프로그램이 개발되었으나 사용자에게 따라 약간의 수정이 요구되는 프로그램이다.

Forming 시스템⁴⁾은 다단성형기를 사용할 경우에 적용되는데, 이는 미리 정의된 빌렛에서 다단 축대칭부품의 압축성형공정의 순서를 자동창출하며 perroti⁵⁾ 등은 다이프 드로잉에 대하여 퍼스널 컴퓨터를 이용하여 블랭크진계를 전산화하였다.

AGFPO⁶⁾ 시스템은 다이프 드로잉에 있어서 축대칭 회전형상 제품의 공정에 적용하였으며 다이프 드로잉 공정과 열처리 및 기계가공과 같은 보조공정을 정식화하여 시스템에 구체화시켰다.

“Cold Forming”과 “Design Die”⁷⁾는 본 저자가 냉간단조 공정설계와 그에 대한 금형설계 프로그램으로 개발한 것이며 본 연구의 다이프 드로잉 공정설계와 연구방법상 가장 유사한 것이다. 공정개요는 부품을 생산하기 위한 기술계획의 기초가 된다. 즉 원재료로부터 완성된 부품을 만드는 작업의 순서를

정하는 것이며 각각의 작업은 다음 네가지 요소에 의해서 선정된다.

- 1) 공정 순서
- 2) 공정 명칭
- 3) 소재의 최초, 중간 및 최종상태의 설명 (소재의 기하학적 형상과 기계적 성질)
- 4) 장치(주 가공기계와 금형)

공정개요 창출은 공정설계의 시작으로 가장 중요한 단계이며 이것은 부분적으로 공정선택에 대응하고, 성형공정개요는 기계가공과 마무리 가공으로 된 복합 공정계획의 처음 부분을 구성한다.

본 연구결과인 “Deep-Drawing”의 근본 목적은 프레스에 의한 판재의 다이프 드로잉 제품의 가능한 공정개요를 찾는 기초를 제공하는 것으로 창생적 공정계획 시스템을 만들기 위하여 부분적으로 실험에 의한 자료와 소성역학 및 금속성형 공정의 여러 가공변수에 대하여 전문지식을 추출하여 규칙 베이스(rulebase)로 종합한 후에 이 순차적으로 나열된 규칙에 따라 계층적으로 프로그램하여 자동공정계획을 수행하는 CAPP 시스템을 개발한 것이다.

2. 공정설계 프로그램의 구성

본 연구의 창생적 CAPP 시스템인 “Deep-Drawing”의 개괄적인 블럭 다이어그램은 Fig.1과 같으며 7가지의 기능적 모듈로 다음과 같이 구성되어 있다.

1) 부품묘사(입력)모듈

이 모듈은 창생적 CAPP 시스템의 최초 입력 부분으로서 이것을 통하여 가공부품의 재질, 기하학적 형상 및 치수 등이 정의된다. 이들 데이터는 다음 과정을 위해 블랭크모듈과 공정분할모듈등으로 보내진다.

2) 블랭크 모듈

이 모듈은 원통형, 사각통, 경사칩, 플랜지 등 다양한 형상의 컵 제품에 대한 초기 블랭크형

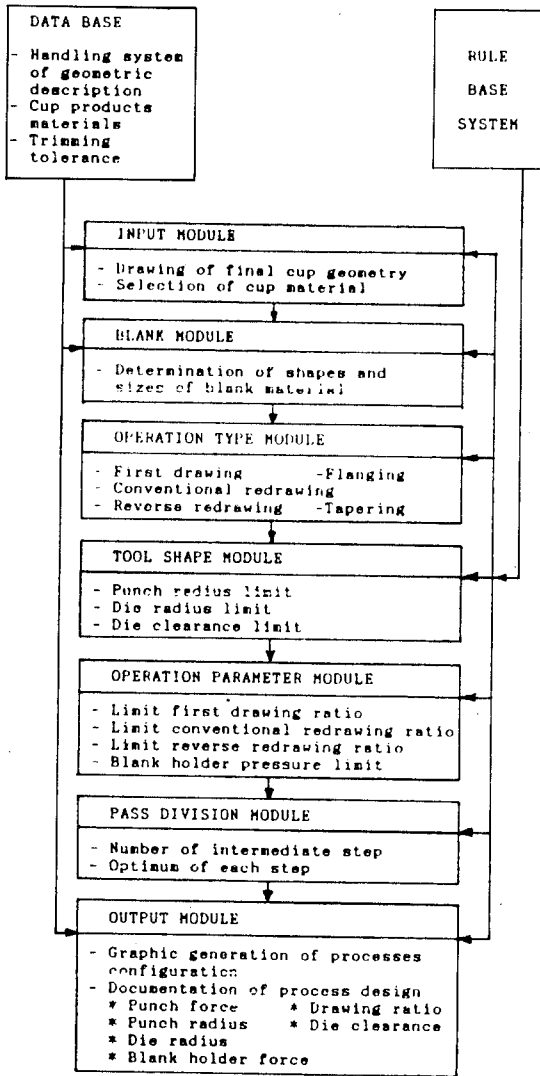


Fig.1 Block diagram of CAPP System for deep drawing

상과 크기를 결정하는 부분으로서 각 경우에 대한 트리밍 여유가 고려된다.

3) 작업 형태선정 모듈

이 모듈은 초드로잉, 재래식 재드로잉, 역재드로잉, 경사내기작업, 플랜지가공작업등의 작업형태를 선정한후 이들 작업들을 조합하는 모듈이다.

4) 공구형상 모듈

이 모듈은 펀치와 다이의 레디어스, 다이틈새 등을 각 소재 재질별로 구하여 다이와 펀치의 형상을 결정하는 부분으로서 이들 데이터는 금형설계프로그램에 활용될 수 있는 자료가 된다.

5) 작업변수 모듈

이 모듈은 초드로잉, 재래식 재드로잉, 역재드로잉 등에 있어서 한계드로잉비를 결정하고 한계드로잉비에 영향을 미치는 각종인자, 즉 두께, 블랭크홀마의 유무, 펀치 및 다이의 레디어스, 재료의 이방성, 주름잡힘을 피하기 위한 블랭크홀더력의 결정등을 포함하며 이들 데이터는 공정분할모듈에 이용된다.

6) 공정분할 모듈

이 모듈은 창생적 CAPP시스템의 가장 중요한 심장부로서 블랭크로부터 최종형상제품인 접까지의 중간단계의 공정분할의 수를 결정하고 공정분할수에 따른 각 단계의 형상 및 최적 치수등을 산정한다.

7) 출력 모듈(보고서 창출)

이 모듈은 공정설계의 결과인 공정순서, 중간 및 최종점 형과 치수, 블랭크홀더 및 작업하중, 그리고 각 공정별의 펀치 및 다이레디어스 등을 생산현장 작업자가 알아볼 수 있도록 일목요연하게 기록하는 부분이다. 보고서 또는 공정지시서는 유용하여야 하며 간단명료해야 한다. 본 프로그램은 16bit 퍼스널 컴퓨터에서 BASIC 언어로써 구성되었으며 각각의 독립적으로 수행되는 여러개의 모듈로써 구성되고 각 모듈은 루틴을 불러 수행되도록 했다.

“Deep-Drawing”의 각각의 모듈은 가공물형상에 따라 공통적으로 사용되며 데이터베이스 처리는 가공물 형상, 가공물재질 블랭크형상 및 크기 정의에 이용되고 각각의 가공물 형태에 따라 비교판단을 거쳐 순차적으로 전개되어지도록 했다. 다이프드로잉 자동창생 공정설계 프로그램인 “Deep-Drawing”은 크게

원통형 컵과 사각통형 컵으로 나뉘며 이들은 또한 플랜지와 테이퍼가 있는 경우와 없는 경우로 분류된다.

“Deep-Drawing”의 공정설계에서 드로잉률 계산과 공정분할에 대한 흐름도는 Fig.2, Fig.3 과 같다.

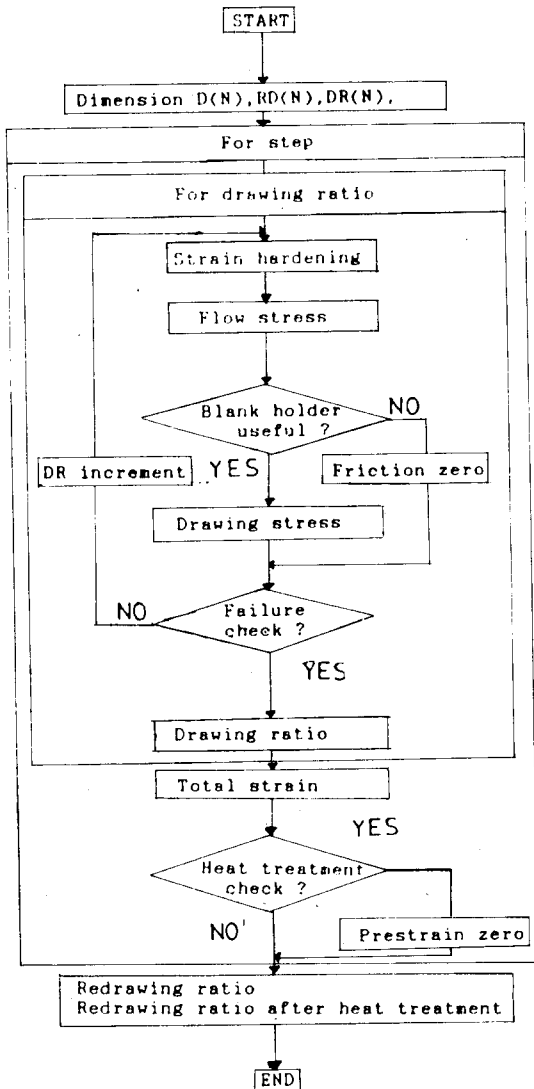


Fig.2 Flow Chart for redrawing ratio

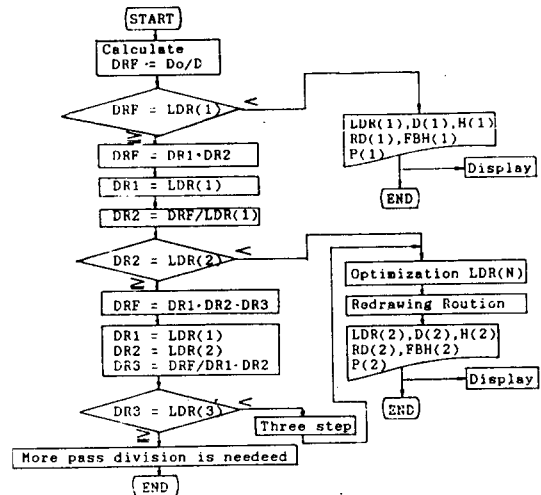


Fig.3 Flow chart of pass division

3. 공정설계규칙

3.1 일반규칙

규칙 1) 드로잉제품은 정해진 작업순서에 따라 생산되며, 각 작업은 하나의 새로운 변형 영역을 만든다.

규칙 2) 순서에 따른 각 단계는 그전 단계에서 다음 단계로의 한 공정에서 생산될 수 있는 것으로서 정의한다.

규칙 3) 펀치하중이 그 공정을 수행하기 위하여 필요한 하중을 초과하지 않으면 변형은 시작되지 않는다.

규칙 4) 가장 많은 유통저항이 있는 영역내의 유통응력 (Flow stress) 충분하면 항복 조건은 만족된다.

규칙 5) 계산된 드로잉률 및 컵의 높이와 직경의비가 각각의 한계값을 초과하면 Fig.4의 점 D.E와 같은 펀치선단에서 작업이 완성될 수 없는 찢어짐이 예상된다.

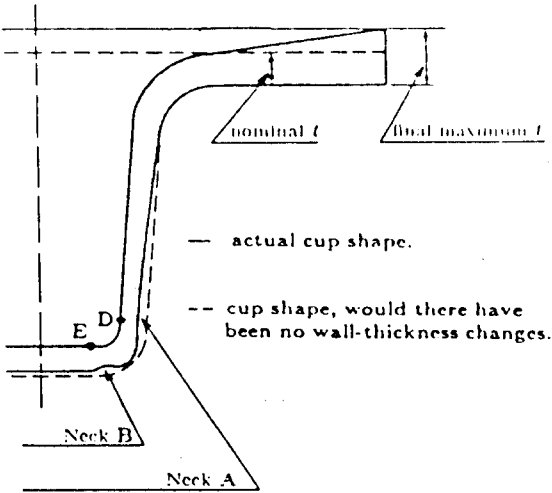


Fig. 4 Schematic profile of wall-thickness change in a flanged CUP (first drawing)

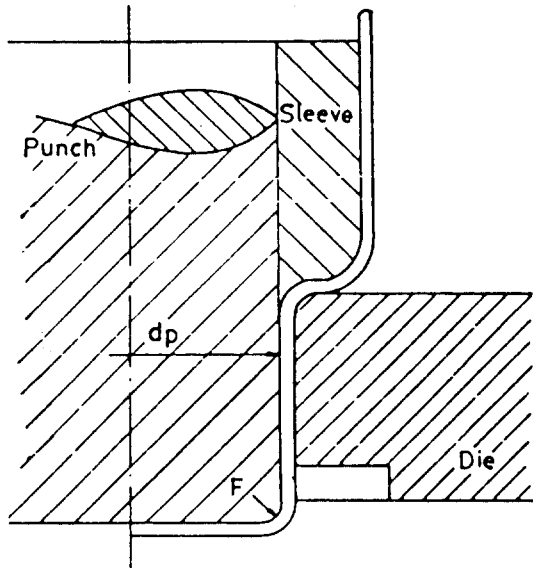


Fig. 5 Schematic Profile of wall thickness changes in a flanged CUP (redrawing)

규칙 6) 계산된 재드로잉률이 한계값을 초과하면 Fig.5의 점 F와 같은 펀치선단에서 찢어짐이 예상되어 작업이 완성될 수 없다.

규칙 7) 결함이 예상되면 드로잉은 단지 치수와 표면상태 등이 바람직스럽지 못한 기하학적 형상으로서 완성되어질 수 있다.

규칙 8) 파단이 예상되면 드로잉은 완성될 수 없다.

3.2 가공물에 관한 규칙

(1) 가공물 형상에 관한 규칙

규칙 9) 축대칭성을 가지는 제품은 원통형컵 제품에 속한다.

규칙 10) 마주보는 면으로서 2축 대칭성을 갖는 제품은 사각통컵에 속한다.

규칙 11) 플랜지가 있는 컵제품은 최종 플랜지의 폭이 단공정에서 얻어질 수 있는 제품이다.

규칙 12) 테이퍼는 다이틈새를 조정함으로써 얻어질 수 있는 단공정의 경우에 한한다.

규칙 13) 사각통은 사각통의 바닥면적과 같은 면적을 가진 등가원의 직경을 가진 원통형의 규칙에 따른다.

(2) 재질에 관한 규칙

규칙 14) 재료가 변형할 때 유동응력은 $\sigma_f = K \cdot (\phi)^n$ 에 따라 변하고 재질에 따른 $K \cdot n$ 값은 기존 데이터를 활용한다.⁸⁾

규칙 15) 고합금강과 구리합금에 대해서는

$$\sigma_f = \frac{S_u \cdot e_u \cdot n}{(1 - e^{-n})^{eu}} (1 - e^{-\phi})^{eu}$$

기서 $e_u = e^n - 1$, $S_u = K \cdot (\frac{n}{e})^n$ 이고 σ_f 는 유동응력, ϕ 는 변형율, e_u 는 균일신장 (uniform elongation), S_u 는 최대인장강도 e 는 자연대수, n 는 변형경화지수이다.

규칙 16) 재질의 이방성은 수직이방성 계수값 \bar{R} 로 결정되며 \bar{R} —인자로서 한계드로잉률을 보정한다.⁹⁾

3.3 소재의 형상과 크기선택에 관한 규칙
 규칙 17) 재료는 체적불변의 조건을 만족한다.
 규칙 18) 제품의 총표면적과 트리밍여유를 고려한 면적의 합은 블랭크의 표면적과 일치한다.
 규칙 19) 축대칭형 컵이 드로잉되면 블랭크의 초기형상은 원형이다.

규칙 20) 사각형 컵이 드로잉되면 기본 판뜨기를 기초로 하여 수정전개한다.

규칙 21) 블랭크를 전개할때 제품의 트리밍공정 여유값을 제품 높이의 추가항으로 고려한다. 그 여유값은 기존데이터를 활용한다.¹⁰⁾

규칙 22) 경사컵의 트리밍여유는 직선컵의 트리밍여유로 상당 계산한다.

3.4 작업형태에 관한 규칙

규칙 23) 블랭크에서 중간형태로 드로잉하는 과정은 초드로잉이다.

규칙 24) 초드로잉 단계에서 다음 단계의 드로잉은 재드로잉이다.

규칙 25) 재드로잉의 공정수를 줄일 수 있고 변형형태가 역재드로잉 공정에 의해 완성될 수 있으면 역재드로잉이 모색되어야 한다.

규칙 26) 역재드로잉 다이의 가장자리 반경이 10 T보다 크고 또한 10 mm 이상이면 역재드로잉이 유용하다.

3.5 공구형상에 관한 규칙

(1) 펀치레디어스(RP)

규칙 27) 계산된 펀치레디어스와 두께의 비(PRT)가 한계값(LPRT)보다 작고 LPRT를 결정하는 RP가 최종컵의 형상과 다르면 우선적으로 최적 펀치레디어스로 중간단계컵을 설계한다음 최종컵 형상으로 재드로잉한다.

규칙 28) RP의 최적값은 한계 다이레디어스(LRD)에 비해서 중요하지 않지만 다른 변수들과의 관계를 고려해 가능한 작은 값이 요구된다. 최적 RP의 범위는 $(4 \sim 6) T \leq RP \leq (10 \sim 20) T$, 연강에서는 $6 T \leq RP \leq 10 T$ 이

다.

규칙 29) RP는 적어도 RD보다는 커야하고 펀치직경의 $\frac{1}{3}$ 보다는 작아야 한다.

규칙 30) 제품의 RP값이 최적펀치레디어스보다 작으면 리스크라이크 공정이 필요하다.

규칙 31) 판두께가 두꺼울수록 급격한 두께 감소를 피하기 위해 펀치레디어스를 크게 하거나 완만한 포물선 형이 유용하다.

규칙 32) 판두께가 얇고 직경이 큰 경우에는 경사형 펀치를 사용한다.

(2) 다이레디어스(RD)

규칙 33) 계산된 다이직경과 다이레디어스비(DRR)가 한계값(LDRR)보다 작고 또한 다이레디어스와 두께의비(DRT)가 한계값(LDRT)보다도 작으면 원통의 수직벽상에 골링(galling)이 발생할 수 있다.

규칙 34) 정확한 다이레디어스는 푸켈링(puckering)결함의 발달에 대해 그렇게 중요하지는 않으나 가능한 가장 큰 값이 하중을 최소화 하는데 적절히 이용된다. 최적 다이레디어스의 범위는 $4 T \leq RD \leq 10 T$ 이다.

규칙 35) RD가 크면 낮은 드로잉하중과 높은 드로잉률을 얻을 수 있으나 너무 크면 다이레디어스상에서 소재의 주름살이 발생할 수 있다.

규칙 36) RD값은 재드로잉을 계속할때 일정 비율로 감소한다. 즉 N번째의 재드로잉시의 RD는 다음과 같다.

$$RD(N) = \frac{CXR D(N-1)}{C \cdot RD(N-1)} \quad \text{여기서 } C=0.6 \sim 0.8$$

규칙 37) 플랜지가 있는 제품의 다이레디어스는 플랜지가 없는 경우의 것보다 두배정도 더 크게 한다.

규칙 38) RD와 다이직경과의 비(DRR)의 범위는 $2 < DRR < 10$ 이다.

(3) 다이틈새(UD)

규칙 39) UD가 최적값보다 크면 컵의 상당 부가 확장되어 경사가 지든지 구속받지 않은

경사부는 푸켈링 (pucker ing) 이 발생하기 쉽다.

규칙 40) UD가 너무 작으면 아이런닝이 발생하며 드로잉하중의 증가로 파단의 위험이 있다.

규칙 41) UD의 최적값은 재질 및 블랭크 두께에 따라 다르며 기존의 관계식에 따른다.¹³⁾

3.6 공구와 소재의 접촉조건에 관한 규칙

규칙 42) 윤활제의 점도가 높을 수록 윤활효과는 높다.

규칙 43) 윤활제의 점도가 높을 수록 블랭크 홀더 압력을 크게 하지 않으면 주름발생이 생기기 쉽다.

3.7 작업변수에 관한 규칙

(1) 블랭크홀더 압력의 한계에 관한 규칙

규칙 44) 주름잡힘을 방지하기 위해서는 최소한의 압력이 가해져야 한다.

규칙 45) 균열을 방지하기 위해서는 최대 범위의 압력이 가해져야 한다.

규칙 46) 계산된 플랜지의 두께와 폭과의 비 (FTR)가 최대한계값 (LFTR)보다 작고 벽두께와 제품직경의 비 (TR)가 최소한계값 (LTR)보다 크면 블랭크 홀더 없이 드로잉 될 수 있다.¹¹⁾

(2) 열처리에 관한 규칙

규칙 47) $D_0/D \geq 6.5$ 이면 열처리 공정의 도입이 필요하다.

규칙 48) 중간 열처리를 받은 재료는 변형률이 무시된다.

3.8 한계드로잉률에 관한 규칙

규칙 49) 초드로잉 및 재드로잉에서 최대로 드로잉할 수 있는 한계드로잉률 (LDR) 및 한계재드로잉률 (LRDR)의 값은 드로잉응력이 소재의 최대인장강도에 도달할 때 까지의 한계값으로 한다.

규칙 50) 역재드로잉에서의 한계 드로잉률은 두께에 따른 한계 직경감소율 (LRR)에 의해 결정된다.¹²⁾

규칙 51) 각통의 한계 초드로잉률은 등가원으로 환산하여 원통의 한계드로잉률을 적용한다.

규칙 52) 단공정으로 얻어질 수 있는 경사컵의 한계 드로잉률은 최대성형깊이로써 나타낸다.

3.9 공정분할규칙

규칙 53) 계산된 초드로잉률 및 재드로잉률이 한계 드로잉률보다 각각 크면 중간 단계 공정에서 적당한 한계 재드로잉률에 일치하도록 중간단계 공정도입이 필요하다.

규칙 54) 다단계 드로잉이 도입되면 최종컵을 제외하고 각 중간단계 공정에서의 한계드로잉률과 현재의 드로잉률의 비가 같도록 최적공정분할을 한다.

4. 출력결과 및 고찰

본 연구에서 개발한 판재의 다이프 드로잉 공정의 자동공정설계 프로그램인 “Deep-Drawing”은 부분적으로 실험실에서 행한 다이프드로잉실험과 소성역학 및 금속성형공정의 여러가지 공정변수에 관한 전문지식을 추출하여 앞의 3장과 같이 규칙베이스로 종합한 후에 이것을 순차적으로 나열된 규칙에 따라 계층적으로 프로그램되었다.

판재의 다이프드로잉 공정의 자동공정설계 프로그램인 “Deep-Drawing”을 적용하면 플랜지와 테이퍼가 없는 원통형 컵과 플랜지와 테이퍼가 있는 사각통컵에 대한 공정설계 결과를 출력시킬 수 있다.

Fig.6~9는 플랜지와 테이퍼가 없는 원통형 컵의 적용예로서 Fig.6은 최종제품에 대

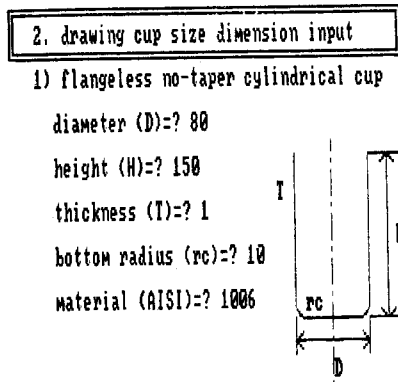


Fig.6 The hard copy of input data for a cylindrical CUP (without flange and taper)

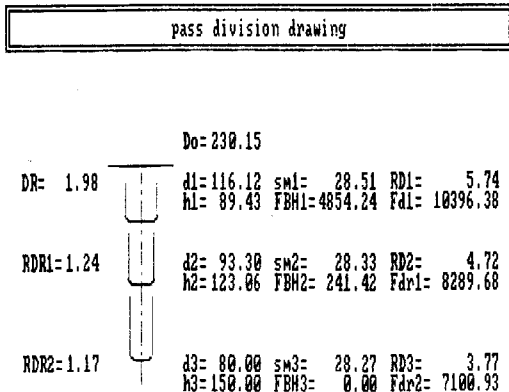


Fig.7 The hard copy of output for cylindrical CUP (I) (without trimming tolerance)

한 입력사항 및 입력결과이며 재질은 AISI-1006 강이다. Fig.7 은 Fig.6 의 입력결과에 대한 블랭크로부터 최종제품까지의 공정순서 및

각 공정별 실행시 요구되는 중간단계칩의 치수, 소재내응력, 블랭크홀더력, 펀치하중, 다이레이어스, 초드로잉률과 재드로잉률 등을 나타낸다. 두번째 재드로잉에서는 블랭크 홀더력(FBH₃) 이 0이므로 이 경우에는 블랭크 홀더가 필요 없다. 여기서 중간단계의 칩의 직경, 높이, 펀치레이어스, 다이레이어스, 블랭크홀더력의 유무등은 금형설계의 입력사항으로 사용된다.

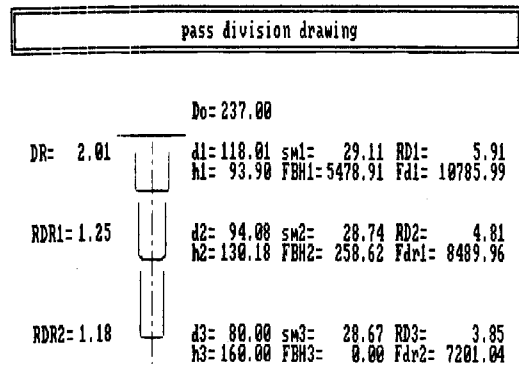


Fig.8 The hard copy of output for cylindrical CUP (II) (trimming tolerance 10 mm)

Fig.8은 Fig.6의 입력사항과 동일한 경우에서 10 mm의 트리밍 여유를 고려한 경우에 대한 블랭크로부터 최종제품까지의 공정순서 및 중간단계 칩의 치수등을 나타낸 것이다.

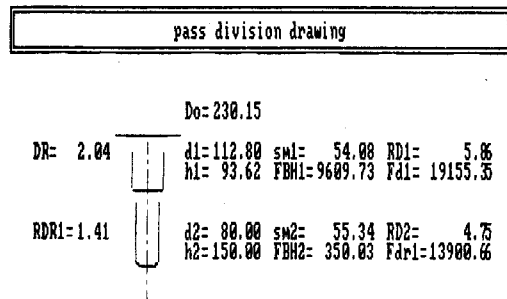


Fig.9 The hard copy of output for cylindrical CUP (III)

Fig.9 는 Fig.6 의 입력사항에 대하여 트리밍 여유없이 소재재질을 AISI-1006 에서 AISI-1035 로 변경한 경우의 공정설계 결과이다. 이 경우에는 공정단계가 두단계로서 소재재질이 다른 경우의 Fig.7 의 세단계와 상이함을 볼 수 있다.

Fig.10~13 은 플랜지와 테이퍼가 있는 경우의 사각통컵에 대한 것으로서 Fig.10 은 최종제품에 대한 입력사항 및 입력결과로서 소재재질은 AISI-1006 강이며 Fig.11 은 블랭크의 형상과 크기를 정하기 위한 입력된 최종제품에 대한 기본전개도를 나타내고 있다. 트리밍여유를 고려하지 않은 경우에 대한 블랭크단

면적과 이에 대한 상당등가원의 직경이 여기에서 결정된다. Fig.12 는 Fig.11 의 기본전개도에 대한 수정판뜨기 또는 실용판뜨기로써 입력된 최종제품을 단공정으로 생산가능한 경우에 대한 것이다. 이때 펀치하중과 블랭크홀더 하중 등은 Fig.13 과 같다.

“Deep-Drawing”은 이외에도 각각 단공정으로써 성형이 가능한 플랜지와 테이퍼가 없는 경우와 플랜지가 있고 테이퍼가 없는 경우 등 4 가지 형상의 사각통컵에 대한 입력사항 및 입력결과, 블랭크전개도, 이에 대한 수정판뜨기 그리고 펀치하중과 블랭크홀더 하중등을 나타낼 수 있다.

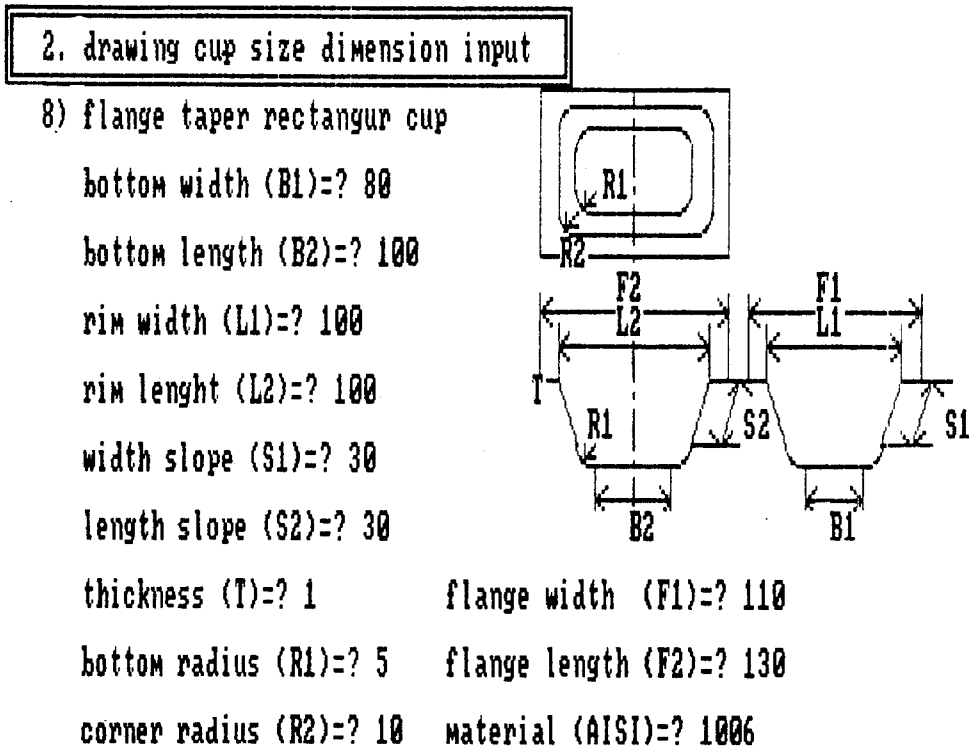


Fig.10 The hard copy of input data for rectangular CUP (with flange and taper)

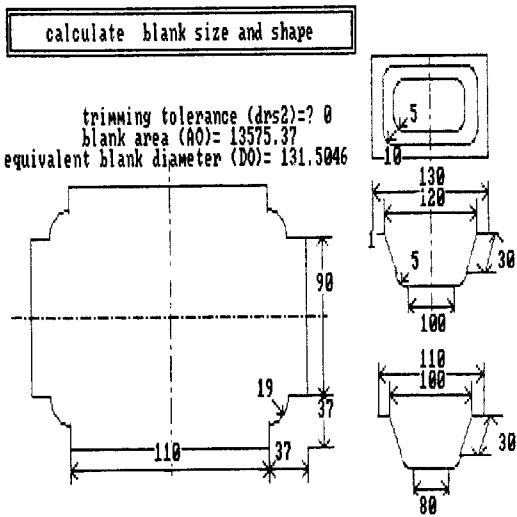


Fig.11 Blank development of rectangular CUP (with flange and taper)

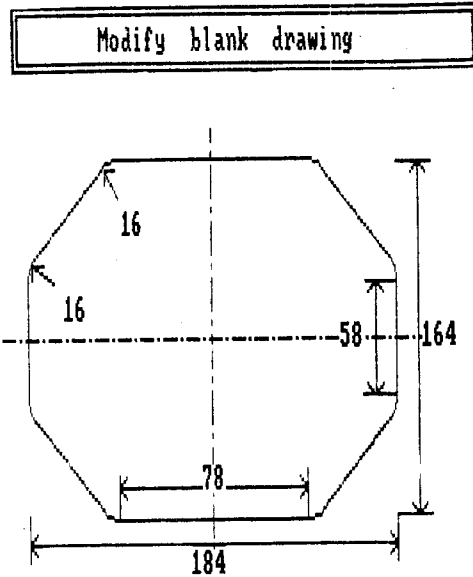


Fig.12 Practical blank development of rectangular CUP (with flange and taper)

MAXIMUM drawing depth and width

maximum drawing ratio (rm1)=2.00
 maximum stress diameter (k1)=0.86

it is possible to make tapering
 it is possible to make flange

stress (str8) 30.59044
 punch force (pf8) 10841.28
 blank holder force (fbh8) 2330.285

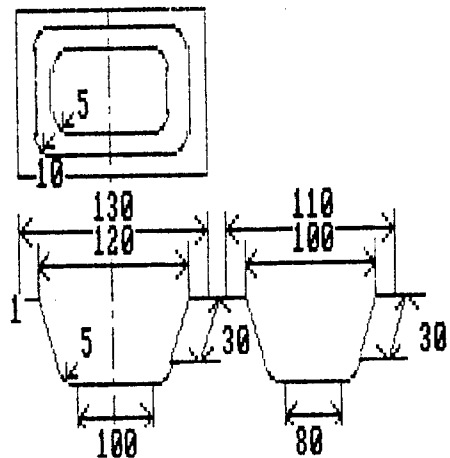


Fig.13 The hard copy of output for rectangular CUP (with flange and taper)

5. 결 론

본 연구에서는 프레스에 의해 생산되는 판재의 기본 다이프드로잉 제품인 플랜지와 테이퍼가 없는 원통형컵의 공정설계와 플랜지와 테이퍼중 어느 한가지 이상이 포함된 원통형 및 사각통 컵의 단공정 성형가능여부와 성형가능시의 판뜨기법에 대한 자동공정설계 프로그램인 "Depp-Drawing"을 개발하였으며 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) "Deep-Drawing"에서는 플랜지와 테이퍼가 없는 원통형컵을 생산하기 위한 성형공정순서의 자동창출, 중간단계의 형상 및 치수와 각 단계에서의 성형하중 및 압력, 블랭크홀더하중, 다이 및 펀시레이더스, 드로잉툴을 구할 수 있고 플랜지와 테이퍼중 어느 한가지 경우가 포함된 원통형 및 사각통 컵의 경우는 단공정에 의한 성형가능 여부와 성형가능시의 판뜨기에 의해 블랭크의 형상과 치수, 성형하중과 블랭크홀더 하중 등을 구할 수 있다.

2) 판재의 다이프드로잉에 대한 기본성형법의 데이터베이스를 마련하여 플랜지와 테이퍼가 있는 사각통컵의 다단 자동성형공정의 기초를 구축했다.

개발된 본 프로그램은 결함이 없는 완전한 부품의 생산가능성에 대한 가부판정과 가장 적절한 성형순서 확인 및 이에 상응하는 프레스 금형설계의 자동화를 위한 적합한 설계도구로서 활용될 수 있다.

[참 고 문 헌]

1) Niebel, B.W., 1966, "An Analytical Technique for the Solution of Manufacturing Operation", Journal of IE, NOV. 1966.
 2) Berra, P.B., "Investigation of

Automated Planning and Optimization of Metal Working Processes", Ph. D Dissertation, Purdue University, School of I. E., June, 1968.

- 3) Lee, D., "Computer Aided Control of Sheet Metal Forming Process", Journal of Metals, Nov., 1982.
 4) Badway, A.A., Kuhlmann, D.J., Ragutpathi, P.S. and Altan, T., "Computer Aided Design of Multi-stage Forming Operations for Round Parts", J. of Mechanical Working Technology, pp.259~274, 1985.
 5) Perotti, G., Maggiorano, E., "A Calculation Program for Deep Drawing Forms", Annals of CIRP, Vol.34/1, pp.237~240, 1985.
 6) Eshel, G., Barash, M. and Chang, T.C., "A Rule-Based System for Automatic Generation of Deep Drawing Process Outlines", Computer-Aided Intelligent Process Planning, Vol.19, pp.1~18, 1985.
 7) 최재찬, 김병민, 김형섭, "퍼스널 컴퓨터에 의한 냉간단조 공정 및 금형설계의 자동화에 관한 연구", 문교부 자유과제 연구보고서, 부산대학교 공과대, 1987.
 8) T.Altan, S.I.Oh, H.L.Gegel, "Metal Forming : Fundamental and Applications", American Society for Metals, 1983.
 9) W.F.Hosford, R.M.Caddell, "Metal Forming : Mechanics and Metallurgy", Prentice-Hall, 1983.

- 13) K.Lange, "Handbook of Metal Forming", McGraw-Hill, 1985.
- 14) Slater, R.A.C., "Engineering Plasticity : Theory and Application to Metal Forming Processes", Macmillan Press LTD., pp.263~309, 1977.
- 15) Avitzur, B. "Metal Forming : Process and Analysis", McGraw-Hill, N.Y., 1968.
- 10) 김세환, 한윤희, 이승화, "프레스 금형설계 자료집", 대광서림, 1987.
- 11) T.Lyman, "Forming, Metals Handbook", Vol.4, 8-th edition, American Society for Metals, 1969.
- 12) R.M.Hobbs, J.L.Duncan, "Press Forming", Advanced Technology Course, American Society for Metals, 1979.