

# Deep Drawing 공정 설계 전문가시스템 DOX의 개발에 관한 연구

조성진\* · 오준환\* · 남배중\*\* · 이재원\*\*\*

## Expert System for Deep Drawing Process Planning : DOX

Seong-Jin Cho\*, Jun-Hwan Oh\*, Bae-Jung Nam\*\*, Jae-Won Lee\*\*\*

### 요 약

인공 지능의 주요 분야 중 하나인 전문가시스템 기술은 현재 산업 현장에서 여러 가지 분야의 문제 해결에 이용되고 있다. 본 논문은 축 대칭 원통형 제품의 deep drawing 공정 설계를 위한 전문가시스템 DOX(Deep drawing Operation eXpert)의 개발에 관한 것이다. 시스템의 입력은 원통형 제품의 형상 정보와 재질 정보이며 자동 인식 또는 수동 입력의 방법으로 입력된다. 시스템은 이러한 정보를 받아들여 deep drawing 공정 설계에 필요한 다수의 요소들을 결정하며, 최종 결과로서 process layout도면을 CAD시스템에서 자동 출력한다. 개발된 전문가시스템의 지식베이스는 산업 분야 전문가의 전문 지식과 경험 지식을 획득, 분석하여 구성하였으며, 추론 전략으로는 규칙기반추론(rule-based reasoning)을 이용하였다.

keyword : expert system, deep drawing, CAPP

\* 인하대학교 대학원 자동화 공학과  
\*\* 인하대학교 대학원 첨단정밀 공학과  
\*\*\* 인하대학교 기계항공자동화 공학부

## 1. 서 론

금속 재료의 소성 변형 예측에 유한 요소 해석과 같은 CAE기술이 기여한 바가 크다는 것은 주지의 사실이다(Iwata *et al.* 1995 ; Saran *et al.* 1990 ; Wang and Zhu, 1995). 그러나 deep drawing과 같이 다단계의 공정을 요하는 가공의 공정 설계 문제를 이러한 해석적인 방법을 이용하여 해결하는데는 한계가 있고, 실제로 전문가의 경험적 지식에 의한 공정 설계가 불가피 하다. 또한 전문가의 양성과 유지에 많은 시간과 노력이 든다고 할 때 공정 설계 분야에 전문가시스템의 적용은 매우 적절하다 판단되며, 최근 이 분야에 대한 응용 연구가 다수 보고되고 있다. Lin 등은 deep drawing 금형 설계를 위한 규칙 기반 시스템을 개발하였다(Lin and Huang, 1993). 박상봉 등은 G&TR(Generate, Test and Rectify)기법을 적용하여 deep drawing제품의 공정 설계에 관한 CAD시스템을 지식 베이스 시스템을 기반으로 개발 하였으며(박상봉外, 1996), Fang 등은 원통형 제품을 shape element로 표현하고 과거 사례를 이용한 공정 설계 시스템을 개발하였다(Fang and Tolouei-Rad, 1994).

본 논문은 축 대칭 원통형 제품의 deep drawing 가공 공정 설계를 위한 전문가시스템 DOX(Deep Drawing eXpert)의 개발에 관한 것이다. 상기 제품의 가공 공정은 크게 blank부 가공, 몸통(body)부 성형, 머리(head)부 성형, trimming, piercing과 같은 후가공의 4 단계로 대별 된다. 본 연구에서는 ‘머리부 성형을 고려한 몸통부 성형 공정 설계’를 위한 전문가시스템 prototype을 개발하였으며, 추론 전략으로는 규칙기반추론(rule-based reasoning)을 이용하였다. 개발된 시스템은 위에서 소개한 여러 연구들과 같이 형상 인식에 의한 입력과 process layout의 CAD자동 출력 기능을 가지고 있으며, 사용자가 시스템의 의사 결정 과정 중에 참여할 수 있도록 구현되었다.

## 2. Deep Drawing 공정 설계의 단계별 방법론 분석

Deep drawing가공은 소성 가공의 하나로 평평한 blank(타발한 소재)를 바닥이 있고 이음매가 없는 용기(shell)로 가공 성형하는 것이다(그림 2-1).

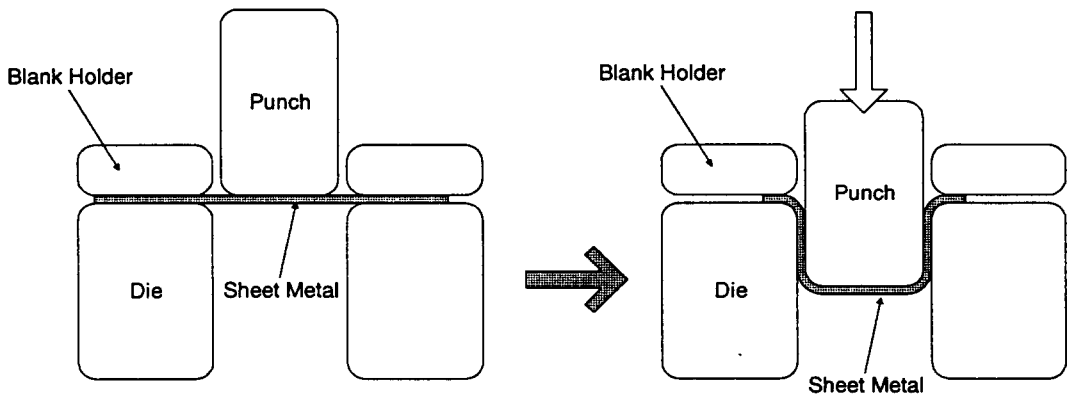


그림 2-1. Deep drawing가공

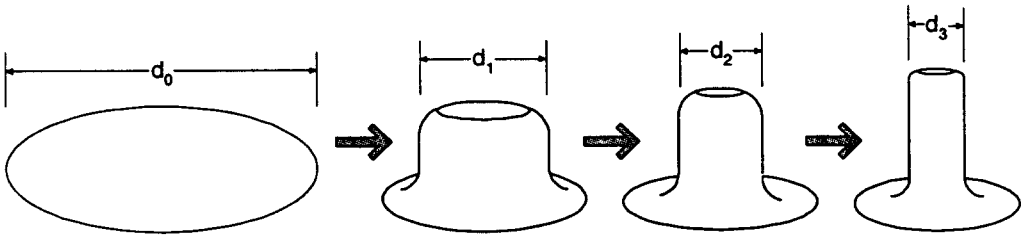


그림 2-2. 재drawing

Deep drawing가공의 주 목적은 소재를 원하는 내경을 갖는 용기로 가공하는 것이다. 한번의 drawing으로 원하는 내경으로 가공하는 것이 불가능할 경우가 있는데 이 때는 필요한 만큼의 재drawing을 통하여 제품을 완성할 수 있다(그림 2-2).

Drawing율(drawing rate)은 drawing가공에서 내경이 감소한 정도를 나타내는데 drawing전의 내경과 drawing후의 내경의 비로 정의되며 i번째 공정의 drawing율을  $m_i$ 로 표기한다.

한계drawing율(limit drawing rate)은 drawing으로 제품의 내경을 줄일 수 있는 한계를 나타내며 소재와 상대판 두께비( $t/D$ : blank에 대한 소재 두께의 백분비)에 따라 다른 값을 갖는다. 표 2-4에 한계drawing율을 예시하였다.

제품 정보 입력에서 공정 설계 결과 출력까지의 과정을 다음에 기술하였다.

## 2.1 제품 정보의 입력

Deep drawing 공정 설계를 위해서 사용자는 우선 제품의 형상 정보를 입력해야 한다. 개발된 시스템은 다음의 두 가지 입력 방법을 지원한다.

- 수동 입력
- IGES file에 의한 자동 입력

각각의 입력 방법을 아래에 설명하였다.

### 2.1.1 수동 입력

제품 형상 정보의 수동 입력을 위해서 먼저 입력에 필요한 parameter들을 공정 설계 변수로 정의해야 한다. 축 대칭 원통형 제품의 단면 형상은 일반적으로 그림 2-3과 같이 계단 모양이다. 이러한 형상을 공정 설계 변수로 표현하기 위하여 제품을 구성하는 ‘단차’를 그림 2-4와 같이 정의하고 사용된 공정 설계 변수를 표 2-1에 나타내었다.

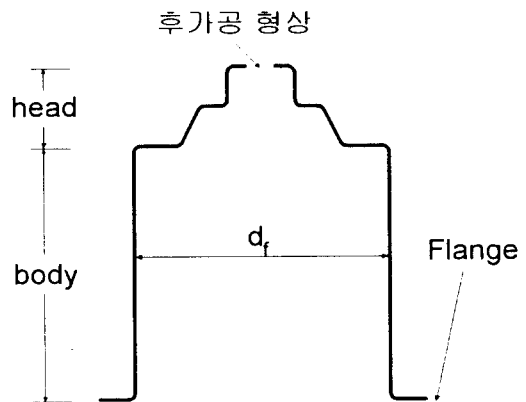


그림 2-3. 축 대칭 원통형 제품 단면 형상

사용자는 표 2-1에서 정의된 공정 설계 변수에 해당하는 값을 할당 함으로써 제품을 구성하는 1개의 단차에 관하여 형상 정보를 입력할 수 있는데, 이러한 작업을 단차 수 만큼 반복 함으로써 완전한 제품 형상 정보를 입력할 수 있다.

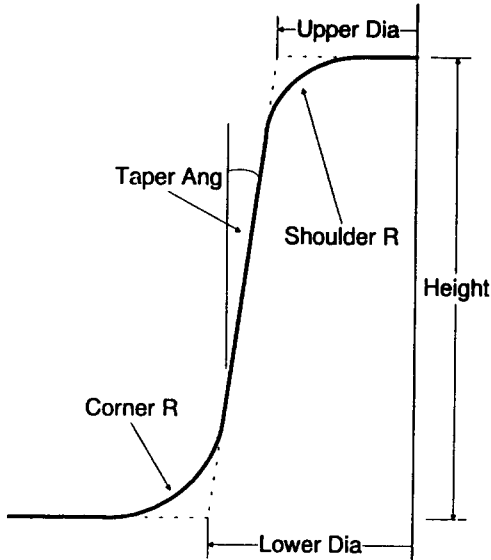


그림 2-4. 제품을 구성하는 단차 형상

표 2-1. 제품 형상 표현을 위한 공정설계변수

공정설계변수	의 미
No. of steps	제품의 단차 수
Height	단차의 높이
Upper Dia	단차의 상단 내경
Lower_Dia	단차의 하단 내경
Shoulder_R	단차의 Shoulder Radius
Corner_R	단차의 Corner Radius
Taper_Ang	단차의 Taper 경사각

그림 2-5는 수동 입력에 사용되는 SUI (System User Interface) Window의 모습이다.

2.1.2 IGES file에 의한 자동 입력

제품 단면 형상이 이미 CAD file로 존재하는 경우에는 자동 인식을 통해 형상 정보를 추출하는 것이 편리하다. 본 연구에서는 CAD 시스템의 종류와 무

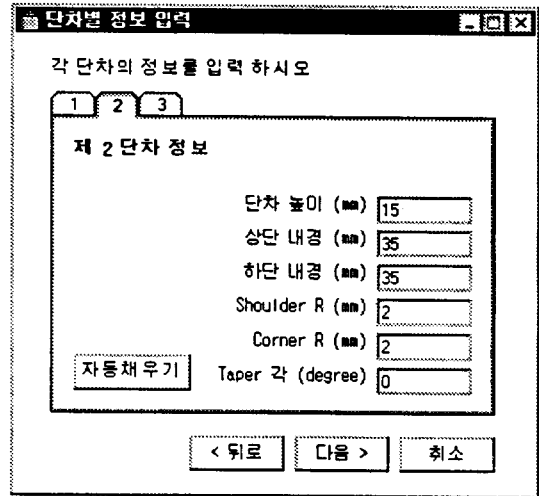


그림 2-5. 수동 입력 SUI Window

관한 입력 기능 구현을 위하여 IGES file을 입력 대상으로 하였다. IGES file은 ASCII file이며 제품 단면 형상을 graphic entity의 형태로, 즉 선과 호의 형태로 저장한다. 시스템은 IGES file을 읽어 들여 entity들을 y축에 관하여 순서대로 정렬하고, 제품 중심 축에 가까운 순서대로 다시 정렬하여 그림2-6과 같은 entity 배열을 만든다.

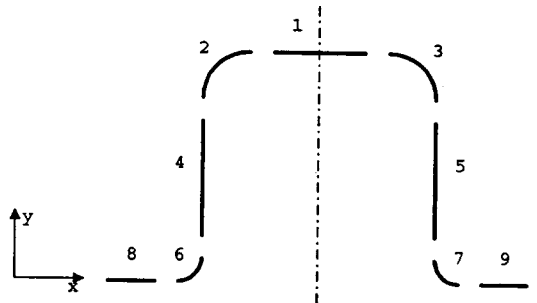


그림 2-6. 순서대로 배열된 entity

그림 2-6과 같이 배열된 entity들을 관찰하면 1번 entity를 제외한 (2, 3),(4, 5),(6, 7),(8, 9)가 각각 짝이 됨을 직관적으로 알 수 있는데 이와 같은 entity pair들은 다음 2.2절에서 설명될 shape element로

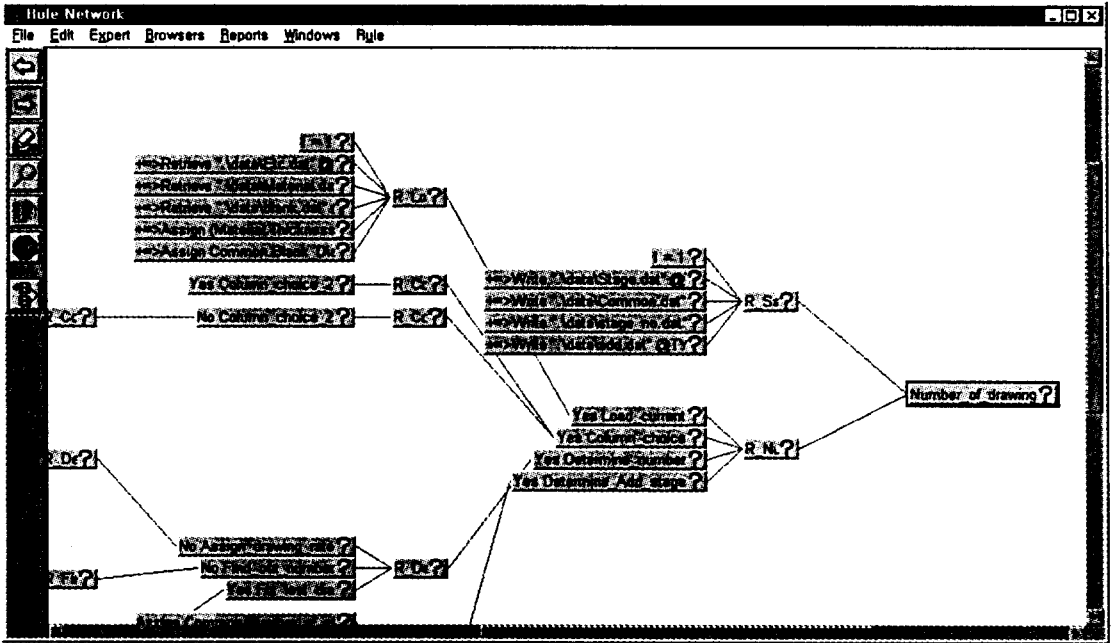


그림 2-7. 규칙 베이스의 예

변환되어 필요한 공정 설계 변수를 추출하고, blank diameter를 계산하는데 이용된다. 이러한 기능을 위해 독립적인 규칙 베이스를 구축하였고 역방향 추론(backward reasoning)방법에 의해 추론 기능이 구동되도록 하였다. 그림 2-7에 구축된 규칙 베이스의 예를 보였다.

2.1.3 제품 재질 및 두께 정보의 입력

위에서 정의한 형상 정보 이외에도 제품의 재질 정보 및 두께 정보도 공정 설계 변수로 표현되어야

표 2-2 제품 재질 및 두께에 대한 공정 설계 변수

공정설계변수	의 미	비 고
Material	제품의 재질	SPCE
Thickness	제품의 두께	mm

한다. 이를 표 2-2에 정의하였다.

본 연구에서는 제품의 재질로 deep drawing제품에 흔히 이용되는 SPCC, SPCE, SPCE의 3가지를 다루었다.

2.2 Blank Size의 결정

제품의 형상 정보가 2.1.1절에 정의된 공정 설계 변수의 형태로 혹은 2.1.2절에 언급된 IGES file자동 입력에 의하여 entity들의 형태로 시스템에 입력 되면 시스템은 제품의 형상 정보를 이용하여 제품 표면적을 계산하고 이에 따라 blank diameter를 계산한다.

2.2.1 제품 표면적의 계산

제품의 표면적을 계산하는데 지금까지 사용된 방법은 press handbook에 정의된 공식을 이용하는 것

이다. 이 방법은 제품 형상 정보를 공식에 대입하여 쉽게 표면적을 구할 수 있으나 다음과 같은 문제점을 가지고 있다.

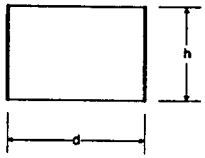
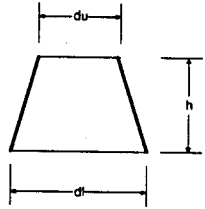
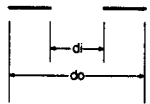
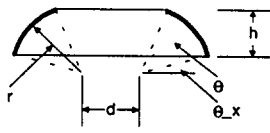
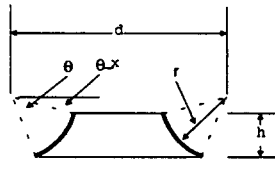
- 대상 문제의 형상에 정확히 부합하는 공식이 존재하지 않을 수 있다.
- 공식이 없는 경우 가장 유사한 공식을 approximation하여 사용하는데, 이 때 결과값이 부정확하다.
- 공식의 종류가 다양하여 그대로 시스템화 하기가 용이하지 않다.

위와 같은 문제점을 해결하고 자동으로 정확한 표면적을 계산하기 위하여 본 연구에서는 축 대칭 원통형 제품의 형상을 표현할 수 있는 몇 가지 기본적인 형상 요소(shape element)와 각각의 형상 요소의 표면적을 계산하는 공식을 정의하였다. 사용자가 제품의 형상 정보를 2.1.1절에 소개된 공정 설계 변수의 형식으로 입력하면, 시스템은 이 정보로부터 shape element(SE)들을 추출한 후 각각의 SE별로 표면적을 계산하여 이를 합산한다. 자동 입력의 경우에는 자동 입력 모듈에서 넘어온 entity pair들을 SE의 형태로 변환한 후 표면적을 계산 하게 된다. 표 2-3은 축 대칭 원통형 제품 형상을 표현하기 위한 SE이다.

2.2.2 표면적 계산에 추가되어야 할 사항

원통형 제품의 deep drawing에서 flange가 없는 제품은 일단 flange를 만들어 가공하고 나중에 shimmy trimming을 통하여 flange를 제거하여 제품을 완성한다. 본 연구에서는 flange가 없는 제품에는 이러한 가공성을 고려한 가상flange를 추가하여 blank diameter를 계산하도록 하였고, flange가 있는 제품에 대해서는 trimming의 여유를 고려한 blank diame-

표 2-3 축 대칭 원통형 제품 형상 표현을 위한 Shape element

Shape element	형상 및 매개 변수
Cylinder	
Cone	
Ring	
Convex ring	
Concave ring	

터계산이 되도록 하였다.

2.2.3 Blank Diameter의 계산

위의 2.2.1절에서 소개된 방법을 이용하여 대상

제품의 표면적(Surface\_area)이 계산되면 이를 다음 식에 대입하여 blank diameter를 구할 수 있다.

$$D = 1.128\sqrt{\text{Surface area}} \quad (\text{식 2-1})$$

그림 2-8은 blank diameter가 계산된 결과를 나타내는 SUI Window이다. ‘사용자 입력 Blank Diameter’는 계산된 결과를 사용자의 의견을 반영한 새로운 값으로 대체할 수 있는 기능이다. 새로운 값을 입력하면 이후의 의사 결정은 이 새로운 값에 준하여 이루어진다.

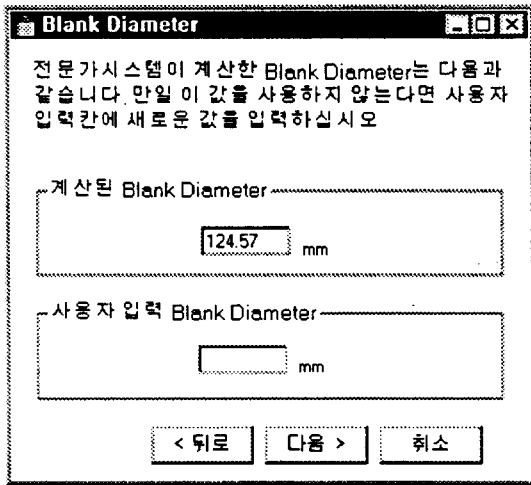


그림 2-8. Blank Diameter출력 SUI Window

### 2.3 Body부 Drawing에 필요한 최소 공정 수 및 최적 공정 수의 결정

#### 2.3.1 최소 공정 수의 결정

Blank diameter가 결정되면 이 blank를 제품도에 명기된 body diameter를 갖는 형상으로 성형하기 위하여 필요한 최소 drawing 공정 수를 결정 해야 한다. 최소 공정 수 결정에는 상대판 두께비를 고려한

한계drawing을 표(표 2-4)가 이용된다.

최소 drawing 공정 수를 구하기 위해 이 표에서 상대판 두께비를 나타내는 행을 0번째 행으로 하고, drawing을 나타내는 행을 1에서 5번째 행으로 하여 6행, 12열의 2차원 배열  $M_{ij}$  ( $i=0\sim5, j=1\sim12$ )를 정의하였고 이를 이용하여 최소drawing 공정 수를 구하는 algorithm을 다음과 같이 구성하였다.

#### [Body부Drawing 최소공정수 결정 Algorithm]

Step 1.  $i=0, j=1$

Step 2 IF  $M_{ij} > (t/D) \geq M_{ij+1}$  THEN GOTO Step 4.

Step 3.  $j=j+2$  GOTO Step 2.

Step 4. IF  $(t/D) \geq (M_{ij} + M_{ij+1})/2$  THEN GOTO Step 6.

Step 5.  $j=j+1$

Step 6.  $d_{i+1} = d_i * M_{i+1,j}$

Step 7. IF  $d_{i+1} \leq d_i$  THEN  $n=i+1$ , END

Step 8.  $i=i+1$ , GOTO Step 6.

여기서

$d_i$  :  $i$ 번째 공정이 끝난 후의 body부 내경

$n$  : drawing 공정 수

$t$  : 소재 두께

$(t/D)$  : 상대판 두께비

제품 표면적의 계산부터 blank diameter의 계산에 이르기까지 일련의 기능들 역시 독립된 규칙 베이스로 구축되었고 역방향 추론에 의하여 구동된다.

표 2-4 상대판 두께비를 고려한 한계 drawing율(Iliescu, 1990)

공정수	drawing율	상대판두께비(%)					
		2.0~1.5	1.5~1.0	1.0~0.6	0.6~0.3	0.3~0.15	0.15~0.08
1	m1	0.48~0.50	0.50~0.53	0.53~0.55	0.55~0.58	0.58~0.60	0.60~0.63
2	m2	0.73~0.75	0.75~0.76	0.76~0.77	0.77~0.79	0.79~0.80	0.80~0.82
3	m3	0.76~0.78	0.78~0.79	0.79~0.80	0.80~0.81	0.81~0.82	0.82~0.84
4	m4	0.78~0.80	0.80~0.81	0.81~0.82	0.82~0.83	0.83~0.85	0.85~0.86
5	m5	0.80~0.82	0.82~0.84	0.84~0.85	0.85~0.86	0.86~0.87	0.87~0.88

### 2.3.2 최적 공정 수의 결정

단지 몇 개의 제품을 생산하기 위한 공정 설계라면 2.3.1절에서 결정된 최소 drawing 공정 수를 그대로 사용해도 무리가 없을 것이다. 그러나 수10만개 정도의 대량 생산이라면 공정 설계는 보다 안전한 방향으로 이루어져야 한다. 즉, 생산성, 품질 등을 고려할 때 문제점 없이 원활한 가공이 되기 위해서는 공정 수를 최소 공정 수에서 1공정 정도 추가하는 것이 바람직한 경우가 있다. 다음에 공정 수 추가 여부 결정을 위하여 사용되는 최종 공정의 효율을 정의하고 이에 따라 최적 공정 수를 결정하는 규칙을 나타내었다.

$$E_f = \frac{d_{n-1} - d_f}{d_{n-1} - d_n} \quad (\text{식 2-2})$$

$E_f$  : 최종 공정 효율

$d_n$  : 한계drawing율을 적용한 n 번째 공정의 diameter

$d_n$  : final (body) diameter

$n$  : 최소 공정 수

[RULE] IF  $E_f > T_1$  THEN No\_Of\_Draw = No\_Of\_Draw + 1

(식 2-2)의 분모는 최종 공정의 직경을 줄이는 최대 가공 능력을 나타내고, 분자는 실질적으로 필요한 직경 변화량을 나타낸다. 따라서 이들의 비는 최종 공정의 가공 효율을 뜻하며, 이 값이 작을수록 가공 여유가 많음을 의미한다. [RULE]은 가공 여유가 일정 한도 이상이면 굳이 1공정을 추가할 필요 없이 이미 가지고 있는 여유를 이용한 재분배가 가능하나, 그렇지 않은 경우에는 1공정을 추가해야 함을 나타낸다. 여기서  $T_1$ 은 상수이며 No\_Of\_Draw는 공정 수를 나타낸다.

### 2.4 공정별 Body Diameter의 결정

공정간 drawing율의 재분배는 최소 공정 수의 결정 과정에서 1차 결정된 공정별 diameter를 공정간 drawing율에 비추어 조정하여 안전하고 균형 있는 가공이 되도록 공정별 diameter를 재결정하는 것이다. 또한 재분배는 공정간 가공의 균형을 유지하여 가공 중 파단이 일어나거나 특정 부분의 두께가 얇아지는 것을 방지하여 head부 성형을 용이하게 하려는 의도를 가지고 있다.

Body부 drawing 최소 공정 수를 결정하는 과정에서 각 공정별 body diameter도 결정된다. 그러나 이 초기 diameter들은 한계 drawing율을 적용한 값들이므로 공정 설계에 바로 이용할 수 없으므로 공



정별 diameter를 다시 결정하기 위하여 공정별 drawing율을 재분배해 주어야 한다. 더우기, 2.3.2절에서 설명한 대로 안전한 공정 수를 확보하기 위해 1공정이 추가된다면 재분배는 필수적이라 하겠다. 참고적으로 실사례들의 drawing율 분포를 살펴보면 공정 설계 사례의 drawing율 변화가 그림 2-9와 같이 일정한 경향을 보임을 알 수 있다.

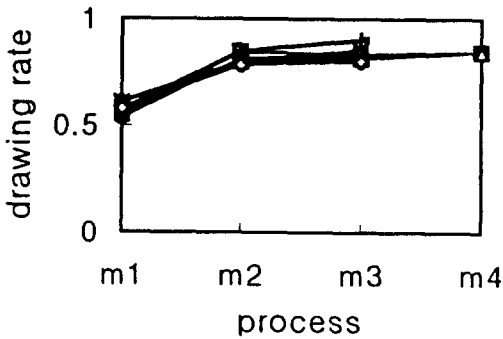


그림 2-9. 실제 사례의 drawing율 분포

공정 설계 전문가의 지식과 실제 사례의 분석을 통하여 다음과 같은 재분배 원칙을 얻을 수 있었다.

[Drawing율의 재분배 원칙]

- $m_1$ 을 소재 두께에 따라  $C_1$  이상으로 결정한다.
- $m_2 \sim m_n$ 을  $C_2 \sim C_3$  정도로 결정한다.
- 공정이 진행됨에 따라 drawing율을 약간씩 증가 시킨다 (가공 경화 현상을 고려).
- 전체적으로  $m$ 값들을 비교하여 가공의 balance를 유지한다.  
( $C_1, C_2, C_3$ 는 상수)

위의 재분배 원칙과 2.3.2절에서 소개한 최적 공정 수와 최종 공정 효율을 연관 지어 생각해보자. 일단 최종 공정 효율이 작을 수록 가공의 여유가 많은 상태이고, 1공정이 추가된다면 더욱 여유가 있다고

볼 수 있으며, 최종 공정의 효율이 크다면 최적 공정 수 결정 규칙에 의해 1공정이 추가되지만 최종 공정 효율도 작고 공정 수도 추가된 경우보다는 여유가 작다고 할 수 있다. 다음 표는 최종 공정 효율과 공정 수 추가에 따른 가공 여유의 크기를 순서대로 나타낸다.

표 2-5 마지막 공정 효율과 공정 수 추가 여부에 따른 가공 여유

최종공정효율	공정 수 추가	가공 여유
小	有	大
大	有	↑
小	無	↓
大	無	小

가공의 여유가 많다면 초drawing에 다소 큰 값을 사용하여 가공의 안전성을 높일 수 있으므로 최종 공정 효율과 공정 수 추가 여부에 따라  $C_1$ 의 값을 결정해야 함을 알 수 있다. 이러한 사항과 재분배 원칙에 준하여 공정간 drawing 율을 재분배하는 algorithm을 다음과 같이 구성하였고 이를 규칙 베이스로 구축하였다.

[공정간 Drawing율의 재분배 Algorithm]

- Input data
  - Blank diameter :  $D$
  - Final body diameter :  $d_i$  (제품도의 치수)
  - 한계drawing율 표에서 계산된 최소drawing 공정수 :  $n$
  - 한계drawing율 표에서 계산된 공정별 drawing율 :  $m_0, m_1, \dots, m_{n-1}$
  - 한계drawing율 표에서 계산된 공정별 diameter :  $d_0, d_1, \dots, d_n$
  - 공정수 강제 추가 여부 : Add\_process

### ■ Output data

- Drawing 공정수 : n
- 재분배된 공정별 diameter :  $d_0, d_1, \dots$
- 재분배된 공정별 drawing을 :  $m_0, m_1, \dots$

### ■ Algorithm

Procedure BALANCING

```

{
   $d_n = d_f$ 
   $i = 2$  /* iteration index */
   $E_f = (d_{n-1} - d_f) / (d_{n-1} - d_n)$ 
  IF  $E_f < T_1$  AND Add_Process = "NO" THEN
     $m_1' = \alpha$ 
  IF  $T_1 < E_f$  OR Add_Process = "YES" THEN
    {
       $d_2 = d_1, d_3 = d_2, \dots, d_{n+1} = d_n$ 
      IF  $E_f < T_2$  THEN  $m_1' = \beta$ 
      ELSE IF  $E_f \geq T_2$  THEN  $m_1' = \beta$ 
    }
    Calculate  $m_1, m_2, \dots, m_n$ 
    REPEAT  $d_1 = d_1 + 1$  UNTIL  $m_1 > m_1'$ 
    REPEAT  $d_2 = d_2 + 1$  UNTIL  $m_2 > \delta$ 
    REPEAT
    {
      IF  $m_i > m_{i+1}$  THEN REPEAT  $d_i = d_i - 1$ 
      UNTIL  $m_i < m_{i+1} - \epsilon$ 
      IF  $m_{i+1} m_i > 0.05$  THEN REPEAT  $d_i = d_{i+1}$ 
      UNTIL  $m_{i+1} - m_i < \xi$ 
    } UNTIL  $i + 1 = d_i$ 
  }

```

(여기서  $\alpha, \beta, \epsilon, \xi$ 는 상수)

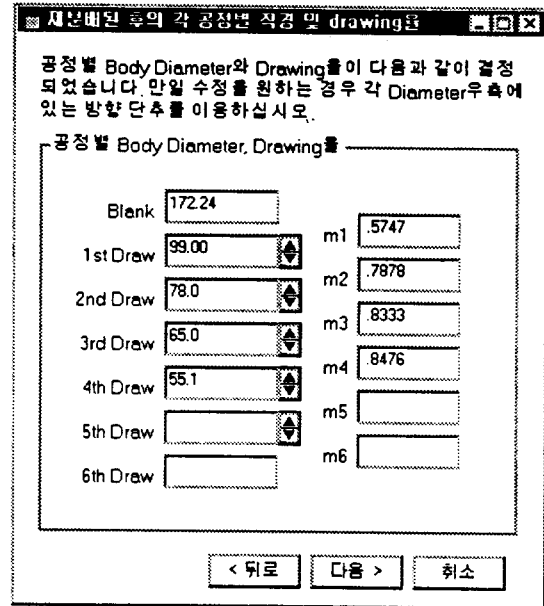


그림 2-10. 공정별 body diameter가 출력된 SUI Window

그림 2-10은 공정별 body diameter가 결정되어 출력된 SUI Window의 모습이다. 각 body diameter 우측에 있는 단추를 이용하여 사용자는 해당 diameter 값을 자유롭게 수정할 수 있다. diameter가 수정되면 관련된 drawing을 자동으로 계산되어 갱신되므로 사용자는 이를 참고하여 공정별 diameter를 수정할 수 있다.

## 2.5 Drawing공정별 단면 profile결정 방법

Body부 성형 공정 설계에서 각 공정별 diameter와 drawing을 결정되면 마지막으로 공정별 단면 형상의 profile을 결정하게 된다. Body부 drawing 공정의 단면 profile결정은 가공 중 파단이 일어나거나 특정 부분의 두께가 얇아지는 것을 방지하여 body부 성형이 끝나는 즉시 이루어지는 head부 성형을 원활하게 하려는 목적을 가지고 있다. Profile은 shoul-

der radius, corner radius, height로 구성되는데 이 중 shoulder radius와 corner radius가 결정되면 height는 공정별 중간 성형물의 표면적이 2.2.1절에서 소개된 방법으로 계산한 제품 표면적과 같다는 조건으로부터 구할 수 있다. shoulder radius와 corner radius 모두 다음의 경험식을 이용하여 결정한다.

$$R = 0.8\sqrt{(D-d)t} \quad (\text{식 2-3})$$

$D$  : Blank diameter

$d$  : Body diameter

$t$  : 제품 두께

### 2.6 AutoCAD를 이용한 공정 설계 단면도의 자동 생성

공정 설계의 결과를 자동으로 CAD 시스템에 출력하는 것은 시스템 이용자로 하여금 효과적으로 설계 결과를 확인하게 하여 준다. 본 연구에서는 parametric modeling 기법을 이용하여 AutoCAD상에서 AutoLISP을 이용하여 CAD자동 출력 기능을 구현하였다. 그림 2-11은 AutoCAD상에서 공정별 단면형상이 자동 출력된 예이다.

### 3. Body부 성형 전문가시스템 prototype설계

#### 3.1 시스템의 기능 및 구조

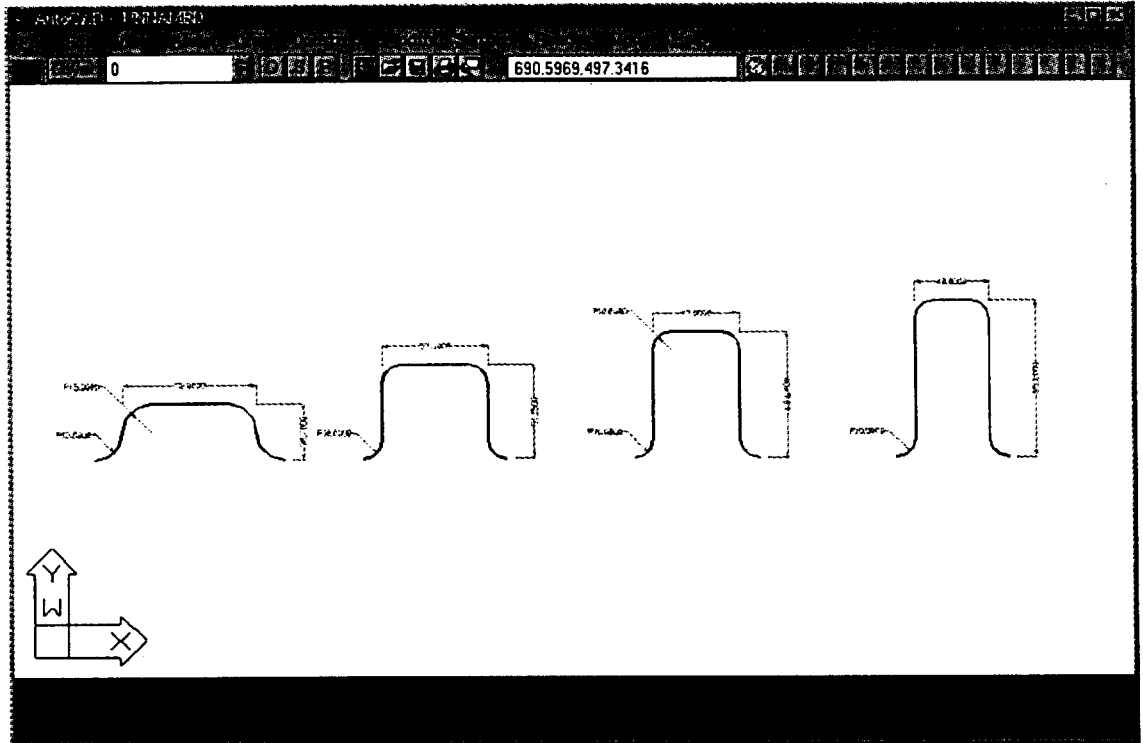


그림 2-11. CAD자동 출력의 예

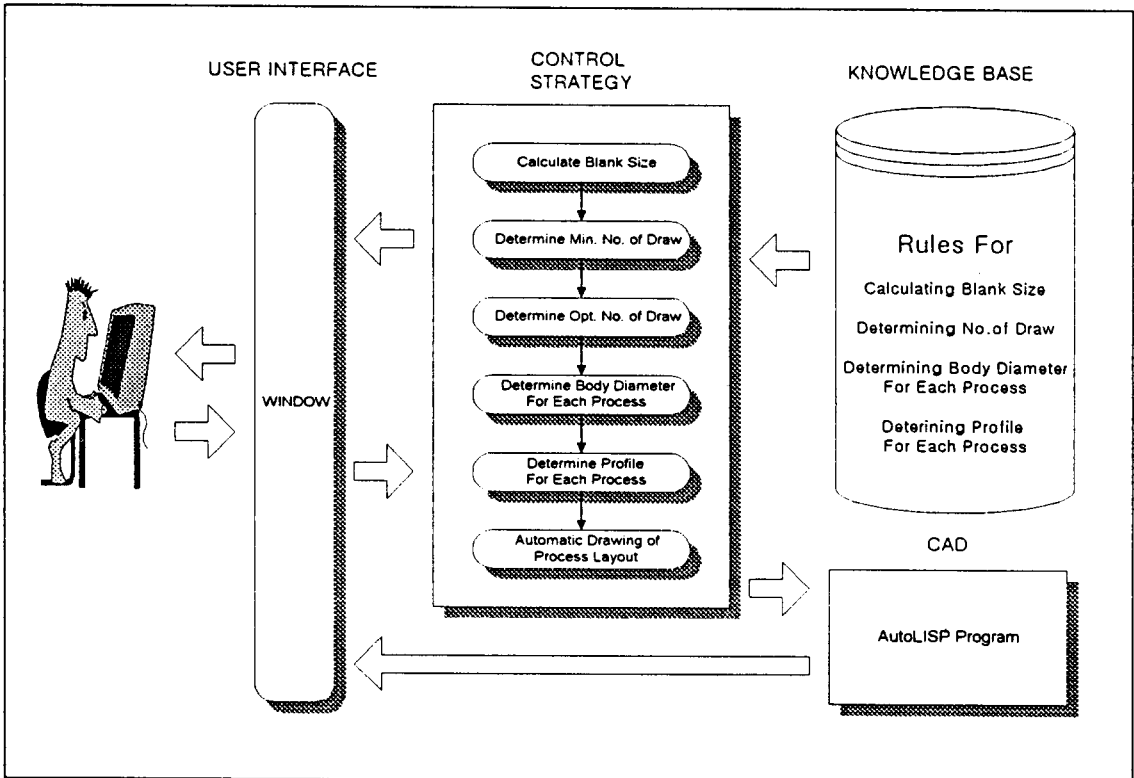


그림 3-1. 시스템 DOX의 구조

시스템은 Window 환경에서 사용자와의 대화형 interface를 제공하며 의사 결정의 단계 중 사용자 수정을 원하는 경우 자유롭게 이전 단계로 이동하여 수정을 할 수 있도록 구현되었다. 개발된 시스템의 주요 기능은 다음과 같다.

- 제품 형상 수동 입력 및 자동 입력 기능
- Blank diameter 계산 기능
- Body부 drawing 최소 공정 수 결정 기능
- Body부 drawing 최적 공정 수 결정 기능
- 공정별 body diameter 결정 기능
- 공정별 profile 결정 기능
- 사용자 수정 기능
- 공정별 단면 형상 CAD 자동 출력 기능

각각의 기능들은 그림 3-1과 같은 구조로 시스템화되었다.

### 3.2 시스템구현

본 시스템은 Windows95 환경에서 개발되었으며, 추론 부분은 전문가시스템 개발 tool인 Intelligent Rules Element 2.0으로, user interface는 Visual Basic 4.0으로 개발되었다. CAD 자동 출력 기능은 AutoLISP언어로 구현되었으며, AutoCAD R12 for Windows에서 검증되었다.

## 4. 검토 및 결론

본 연구에서는 축 대칭 원통형 제품의 deep drawing 공정 설계 중 body부 성형을 위한 전문가시스템 prototype을 개발하였다. 개발된 시스템은 IGES file에 의한 자동 입력과 사용자 수동 입력의 두 가지 입력 방법을 지원하며, 공정 설계를 다단계로 나누고 매 단계마다 사용자 수정 기능을 두어 공정 설계 전문가의 의견이 시스템의 의사 결정에 용이하게 반영되도록 하였다. 본 시스템에 사용된 공정 설계 지식은 전문가의 경험 지식과 문헌 자료 및 실제 사례의 분석을 통하여 획득되었으며, 공정 설계의 주안점을 대량 생산을 목적으로 한 안전한 가공에 두었다는 특징을 가진다.

본 연구의 최종 완성을 위해 head부 성형과 후 가공을 포함한 deep drawing 공정 설계 전문가시스템을 개발할 예정이며, 개발된 body부 성형 공정 설계 전문가시스템의 추론 기능을 사례기반추론(case-based reasoning)기법의 도입을 통해 전문가의 의사 결정에 보다 근접하도록 향상 시킬 계획을 가지고 있다.

### 후 기

본 연구의 일부는 인하대학교 95년도 연구비 지원과 만도기계(주)의 지원으로 수행된 것으로 관계 제위께 감사 드립니다.

### 참 고 문 헌

1. 김갑연, *AutoCAD 사용자를 위한 AutoLISP+ $\alpha$* , 탐구원, 1995.
2. 만도 기계 금형부, *TRANSFER 금형 설계*, 만도 기계 생산 기술 연구원, 1992.
3. 박상봉, 최 영, 김병민, 최재찬, 김보환, "축 대칭 디프 드로잉 제품의 공정설계 시스템에 관한 연구 (I)", *한국소성가공학회지*, 제5권, 제1호, (1996), 27~36.
4. 박상봉, 최 영, 김병민, 최재찬, 김보환, "축 대칭 디프 드로잉 제품의 공정설계 시스템에 관한 연구 (II)", *한국소성가공학회지*, 제5권, 제1호, (1996), 61~71.
5. Coyne, R.D, M.A. Rosenman, A.D. Radford, M. Balachandran and J.S. Gero, *KNOWLEDGE-BASED DESIGN SYSTEMS*, Addison-Wesley Publishing Company, 1990.
6. Fang, X.D. and M. Tolouei-Rad, "Rule-Based Deep-Drawing Process Planning for Complex Circular Shells", *Engng Applic. Artif. Intell.* Vol. 7, No. 4, (1994), 395~405.
7. Iliescu, C., *Cold Pressing Technology*, Elsevier, 1990.
8. Iwata, N., M. Masao and G. Manabu, "Finite-Element Simulation of Deformation and Breakage in Sheet Metal Forming," *JSME International Journal Series A*, Vol. 38, No.2, (1995), 289~295.
9. Jin, Z., W. Xuewen and R. Xueyu, "An Expert System for Process Planning of Deep Drawing," *Advanced technology of Plasticity 1993-Proceedings of the Fourth International Conference on Technology of Plasticity* (1993), 1875~1880.
10. Lin, Z. and C. Huang, "An Investigation of an Expert System Employing Chinese for Deep-Drawing of a Press Die Design," *Journal of the Chinese Society of Mechanical Engineers*, Vol. 14, No. 1 (1993), 63~77.
11. Microsoft Press, *Microsoft Visual Basic 4.0 : User's*

- Guide*, Microsoft Corporation, 1995.
12. Neuron Data, *Nexpert Object : API Programmer's Reference*, Neuron Data Inc. 1994.
  13. Neuron Data, *Nexpert Object : User's Guide*, Neuron Data Inc. 1994.
  14. Nnaji B.O. and T. Kang, "Interpretation of CAD models through IGES interface," *Artificial Intelligence for Design, Analysis and Manufacturing*, Vol. 4, NO. 1, (1990).
  15. Saran, M.J., E. Schedin, A. Samuelsson, A. Melander and C. Gustafsson, "Numerical and Experimental Investigation of Deep Drawing of Metal Sheets," *transactions of the ASME*, Vol. 112 (1990), 272~277.
  16. Sitaraman, S.K., G. Kinzel and T. Altan, "A knowledge-based system for process-sequence design in axisymmetric sheet-metal forming," *Journal of Material Processing Technology*, 25 (1991), 247~271.
  17. Tisza, M., "Expert System for Sheet Metal Forming," *Proceedings of 4<sup>th</sup> International Conference Technology of Plasticity* (1993), 1667~1672.
  18. Wang, X.W. and X.H. Zhu, "Numerical simulation of deep-drawing process," *Journal of Material Processing Technology*, Vol. 48, No. 1-4 (1995), 123~127.