한국소성가공학회지 제 5 권 제 1 호, pp. 61~71, 1996

〈논 문〉

# 축대칭 디프 드로잉 제품의 공정설계 시스템에 관한 연구(Ⅱ)

박상봉* · 최 영** · 김병민*** · 최재찬*** · 이 종****

(1995년 11월 9일 접수)

# A Study on the Computer-Aided Design System of Axisymmetric Deep Drawing Process(Ⅱ)

S.B. Park, Y. Choi, B.M. Kim, J.C. Choi and J. Lee

**Abstract**

A computer-aided process design system for axisymmetric deep drawing products has been developed. An approach to the system is based on the knowledge based system. Knowledges for the system are formulated from the plasticity theory, handbooks, experimental results and empirical knowhow of the field experts. The system is composed of four main modules, such as geometrical design, test & rectification and user modification. The input to the system is final sheet-metal object geometry and the output from the system is process sequence with intermediate objects geometries and process parameters, such as drawing load, blank holding force, clearance, cup-drawing coefficient.

**Key Words :** Deep Drawing, Process Planning, Knowledge Based System, AutoCAD, Production Rule, Drawing Coefficient

## 1. 서 론

디프 드로잉 가공공정을 설계하는 문제에 대하여 대부분 숙련된 기술자의 경험과 직관적 판단에 의해 수행되고 있다. 이러한 숙련된 기술자의 경험을 정식화하여 컴퓨터를 이용한 설계자동화에 관한 연구가 보고되고 있다.

"AGFPO"시스템[1]은 디프 드로잉에 있어서 축대칭 회전형상 제품에 적용되었으며, 디프 드로잉 공정과 중간 보조공정을 정식화하여 시스템에 구체화시켰다. "Deep Drawing"시스템[2]은 사용자의 중간 판단이 반영되는 대화형 프로그램이며 사각컵 등의 특수 형상은 원통형으로 등가시켜 드로잉 응력을 계산하는 방법으로 특수형상을 취급하였다. Altan[3] 등은 축대칭 판재 성형에 있어 지식베이스 시스템을 개발하였고, Zhu[4] 등은 디프 드로잉 공정설계에 관한 전문가 시스템인 "PAD_ES"를 개발하였다. Tisza[5]는 박판금속의 성형에 관한 전문가 시스템을 발표하였다.

본 연구에서는 축대칭 디프 드로잉 제품의 공정설계에 관한 CAD시스템을 지식베이스 시스템을 기반으로 하여 개발하였다. 개발된 시스템의 규칙베이스는 소성이론, 관련논문, 보고서, 현장 기술서, 실제 공정도, 현장 설계기술자와의 인터뷰를

*동의공업전문대학, 금형설계과
**부산대학교 대학원
***부산대학교 정밀정형 및 금형가공 연구센터, 기계설계공학과
****LG전자, 생산기술센터

통하여 지식을 얻고 이를 정식화하여 구축하였다.

개발된 시스템(Pro-Deep)은 축대칭 제품의 도면을 AutoCAD 환경에서 자동인식하여 축대칭 디프 드로잉 제품의 공정설계에 널리 사용된[1,3~4,6] 형상 표현법으로 제품을 표현하고 이를 이용하여 공정설계를 수행하도록 하였다.

## 2. 공정설계 규칙 및 데이타베이스

본 연구에서는 디프 드로잉 가공기술에 대한 지식을 소성이론[7~9], 관련논문[1~5,10~11], 보고서[12~13], 현장 기술서[14~15], 실제 공정도, 현장 설계기술자와의 인터뷰를 통하여 얻고 이를 정식화하여 시스템의 규칙베이스를 구성하였다. Fig. 1에 시스템과 규칙베이스를 나타낸다. 지식은 "IF [조건부], THEN [결과부]" 의 생산규칙(production rule)으로 나타내어 조건부의 정보에 따라서 결과부의 정보를 계산하며, 출력정보는 다음 조건부의 입력정보가 된다.

공정설계 시스템에 관한 규칙베이스는 이미 발표된 관련논문[1,3] 및 보고서[12~13] 등에 제시된 규칙을 이용하였고, 새롭게 추가된 중요 규칙들은 다음과 같다.

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

(규칙 2) 블랭크 직경에 대해 트리밍 여유가 고려되면, 실제 블랭크 크기는 등가표면에 대한것 보다 판재두께만큼 더 크다.

(규칙 3) 성공적인 드로잉이 되려면, 다이 형상반경과 펀치 형상반경은 판재두께의 0.5 배 이상이여야 한다.

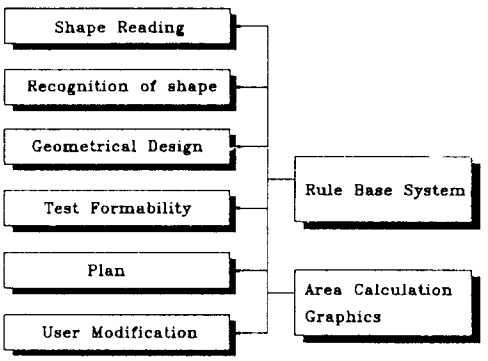
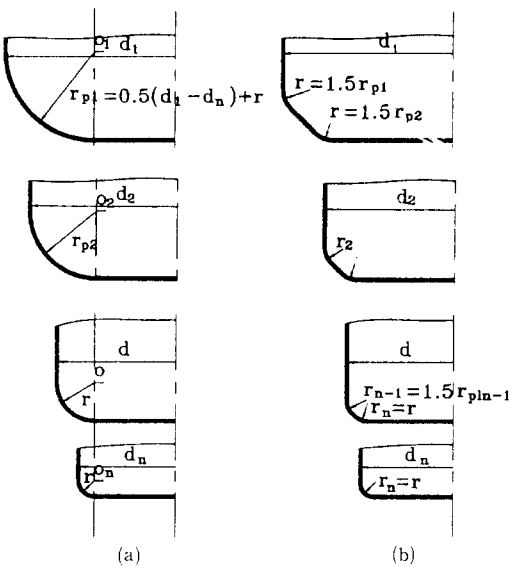



**Fig. 1** Block diagram of "Pro-Deep" system




(a) The radii of rounded punches ($d_1/t<50$)
(b) The radii of tapered punches ($d_1/t\leqq 50$)

**Fig. 2** Shape and radii dimension of punches

**Table 1** The clearance between the tools of dies for cup-drawing

| The number of operations required | The cup-drawing operation | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| | The clearance between die tools | | | | |
| 1 | 1.0…1.1t | | | | |
| 2 | 1.1…1.3t | 1.0…1.1t | | | |
| 3 | 1.3…1.5t | 1.1…1.3t | 1.0…1.1t | | |
| 4 | 1.3…1.5t | 1.3…1.5t | 1.1…1.3t | 1.0…1.1t | |
| 5 | 1.3…1.5t | 1.3…1.5t | 1.3…1.5t | 1.1…1.3t | 1.0…1.1t |

**Table 2** The correction coefficients $k_n$ depend on cup-drawing coefficient, $m$

| $m$ | 0.70 | 0.725 | 0.75 | 0.775 | 0.80 |
|---|---|---|---|---|---|
| $k_n$ | 1.0 | 0.95 | 0.90 | 0.85 | 0.80 |

(규칙 4) 재드로잉이 채용된다면, 펀치 형상반경 부분에 드로잉 자국과 국부적인 두께 감소를 일으키지 않도록 펀치 형상반경을 설계하여야 한다.

(규칙 5) 펀치 형상반경 부분에 드로잉 자국과 국부적인 두께감소를 일으키지 않도록 펀치 형상반경을 설계하려면, 초드로잉 컵의 직경이 판재두께의 50배 미만의 경우(Fig. 2 (a))와 이상의 경우(Fig. 2 (b))에 따라 펀치 형상반경을 결정한다.

(규칙 6) 디프 드로잉의 공정수가 예측되면, 컵 드로잉에 대하여 다이와 펀치 사이의 클리어런스가 판재두께 t 에 대해 Table 1 과 같이 결정된다.

(규칙 7) 재드로잉에 대해 드로잉률이 결정되면, 드로잉력은 식(1)과 같이 계산된다.

$$F_n = k_n \pi d_n t \sigma_r \quad (1)$$

여기서, $\sigma_r$은 재료의 극한인장강도, t는 판재두께, $d_n$은 드로잉 직경, $k_n$은 보정계수로 Table 2와 같이 결정된다.

(규칙 8) 바닥내기 공정이려면, 재드로잉되는 변형영역의 표면적이 이전단계 컵의 바닥 표면적과 같거나 작아야한다.

(규칙 9) 바닥내기 공정이면, 적용되는 드로잉률은 초드로잉률에 일정상수(1.1 임시적인 값)를 곱한값이다.

## 3. 한계 드로잉률 결정방법

본 연구에서는 한계 드로잉률(limiting cup-drawing coefficient)을 결정하기 위해 경험적인 한계 드로잉률값, 최적 드로잉률에 보정계수를 고

**Table 3** The cup-drawing coefficients($m_m$) for cylindrical parts formed from soft steel sheet

| No. | $m_m$ | $t/D\times100$ | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 2.0…1.5 | 1.5…1.0 | 1.0…0.6 | 0.6…0.3 | 0.3…0.15 |
| 1 | $m_1$ | 0.48…0.50 | 0.50…0.53 | 0.53…0.55 | 0.55…0.58 | 0.58…0.60 |
| 2 | $m_2$ | 0.73…0.75 | 0.75…0.76 | 0.76…0.78 | 0.78…0.79 | 0.79…0.80 |
| 3 | $m_3$ | 0.76…0.78 | 0.78…0.79 | 0.79…0.80 | 0.80…0.81 | 0.81…0.82 |
| 4 | $m_4$ | 0.78…0.80 | 0.80…0.81 | 0.81…0.82 | 0.82…0.83 | 0.83…0.85 |
| 5 | $m_5$ | 0.80…0.82 | 0.82…0.84 | 0.84…0.85 | 0.85…0.86 | 0.86…0.87 |

**Table 4** The cup-drawing coefficients($m_m$) for cylindrical parts formed from soft non-ferrous metals

| No. | $m_m$ | t/D×100 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 2.0…1.5 | 1.5…1.0 | 1.0…0.6 | 0.6…0.3 | 0.3…0.15 |
| 1 | $m_1$ | 0.50…0.51 | 0.51…0.52 | 0.52…0.54 | 0.54…0.56 | 0.56…0.58 |
| 2 | $m_2$ | 0.70…0.71 | 0.71…0.72 | 0.72…0.73 | 0.73…0.74 | 0.74…0.76 |
| 3 | $m_3$ | 0.71…0.72 | 0.72…0.73 | 0.73…0.74 | 0.74…0.75 | 0.75…0.76 |
| 4 | $m_4$ | 0.72…0.73 | 0.73…0.74 | 0.74…0.75 | 0.75…0.76 | 0.76…0.77 |
| 5 | $m_5$ | 0.74…0.75 | 0.75…0.76 | 0.76…0.76 | 0.77…0.78 | 0.78…0.80 |

(여기서 t/D×100에 따라 내삽을 이용하고 t/D×100가 범위에 벗어나면 외삽 하였음. Table 3~4)

려한값, 힘 평형에 의해 계산한 값, 사용자 정의 한계 드로잉률을 이용한다.

### 3.1 경험적인 한계 드로잉률 결정방법

다음의 드로잉률 결정규칙은 재료에 따라 경험적인 값을 나타낸다[8~9].

(규칙 10) 판재가 연강판이면, 블랭크 직경대 판재두께 비에 따라 Table 3 과 같은 드로잉률을 사용한다.

(규칙 11) 판재가 비철금속이면, 블랭크 직경대 판재두께 비에 따라 Table 4 과 같은 드로잉률을 사용한다.

### 3.2 최적 드로잉률에 보정계수를 고려한 방법

이 방법은 "AGFPO"시스템[1]에 적용되었고, "Deep Drawing"시스템[2]에 도입되었다. Altan[3] 등이 개발한 축대칭 판재 성형에 대한 지식베이스 시스템에서는 재료를 연성이 높고 낮은 재료로 구별하여 한계 드로잉비(limiting drawing ratio)를 적용하였다. 이는 최적 드로잉률에 보정계수를 고려한 방법과 유사하다.

최적 드로잉률에 보정계수를 고려한 방법에 관련된 규칙을 다음에 나타낸다.

(규칙 12) 한계 드로잉률을 최적 드로잉률에 보정계수를 고려한 방법으로 계산하려면, 한계 드로잉비(LDR)의 역수로 계산한다.

(규칙 13) 한계 드로잉비를 계산하려면, 최적 드로잉비($LDR_{opt}$)에 두께, 다이 형상반경, 펀치 형상반경에 대한 보정계수를 고려한 다음식을 이용한다.

$$LDR = LDR_{opt} \cdot FOT \cdot FORD \cdot FORP \quad (2)$$

여기서, FOT는 재료두께에 대한 보정계수, FORD는 다이 형상반경에 대한 보정계수이고

**Table 5** Practically-optimal limiting drawing ratios for flat cupping

| LD in flat cupping | |
|---|---|
| Material | LD |
| Drawing quality rimmed steel | 2.15 |
| Deep-Drawing quality aluminum | 2.20 |
| Deep-Drawing cold rolled steel | 2.25 |
| Hot rolled Deep-Drawing steel | 2.25 |
| Austenitic stainless steel | 2.20 |
| Brass and copper | 2.20 |
| Aluminum 1100 series | 2.10 |
| Refractory metals | 1.33 |

FORP는 펀치 형상반경에 대한 보정계수이다.

(규칙 14) 재료두께에 대한 보정계수를 계산하려면, 두께대 블랭크 직경비(TR=t/D)에 대해 다음식을 사용한다.

$$\begin{aligned} FOT &= 1.0 && (TR < 0.015) \\ &= 1 + TR/0.35 && (0.015 \leq TR \leq 0.025) \\ &= 1.1 && (TR \geq 0.025) \end{aligned} \quad (3)$$

(규칙 15) 다이 형상반경에 대한 보정계수를 계산하려면, 다이 형상반경대 재료두께비 ($DRT = r_{die}/t$)에 대해 다음식을 사용한다.

$$\begin{aligned} FORD &= 1 - 0.01 * DRT && (2 < DRT < 10) \\ &= 1.0 && (10 \leq DRT) \end{aligned} \quad (4)$$

(규칙 16) 펀치 형상반경에 대한 보정계수를 계산하려면, 펀치 형상반경대 재료두께비 ($PRT = r_p/t$)에 대해 다음식을 사용한다.

**Table 6** Limiting redraw ratios(optimal redrawing conditions)

| Limit Redrawing Ratios | | | | |
|---|---|---|---|---|
| t/D×100 | 1-st redraw | 2-nd redraw | 3-rd redraw | 4-th redraw |
| 0.15…0.3 | 1.28 | 1.25 | 1.22 | 1.19 |
| 0.3…0.6 | 1.30 | 1.27 | 1.24 | 1.20 |
| 0.6…1.0 | 1.33 | 1.28 | 1.25 | 1.21 |
| 1.0…1.5 | 1.35 | 1.30 | 1.27 | 1.24 |

$$FORP=1-0.02*PRT \quad (1<DRT<5) \qquad (5)$$
$$=1.0 \qquad (5\leqq DRT)$$

(규칙 17) 초드로잉비의 최적값은 재질에 따라 Table 5와 같다.

(규칙 18) 재드로잉비의 최적값은 재료두께에 따라 Table 6과 같다.

### 3.3 한계 드로잉비의 계산법

디프 드로잉에서 펀치에 의해 제공되는 가공력은 펀치로 부터 펀치 형상반경에 위치한 소재를 통하여 변형영역으로 전달된다. 그러므로 소재에 전달될 수 있는 최고하중과 가공력을 비교하여 한계 드로잉비를 계산할 수 있다[14,16~17].

(규칙 19) 한계 초드로잉비는 드로잉 응력이 소재의 최대인장강도 $S_u$에 도달할 때까지 드로잉할 수 있는 한계값으로 정의하며 다음 식으로부터 구한다. 계산 알고 리즘을 Fig. 3에 나타낸다.

$$F_d \geqq \pi d_1 t S_u \qquad (6)$$

여기서, $F_d$는 변형영역의 가공력이며 $d_1$은 컵의 직경, t는 재료 두께, $S_u$는 극 한 인장강도값이다.

(규칙 20) 한계 재드로잉비는 드로잉 응력이 소재의 최대인장강도 $S_u$에 도달할 때까지 드로잉할 수 있는 한계값으로 정의하며 다음 식으로부터 구한다. 계산 알고 리즘을 Fig. 4에 나타낸다.

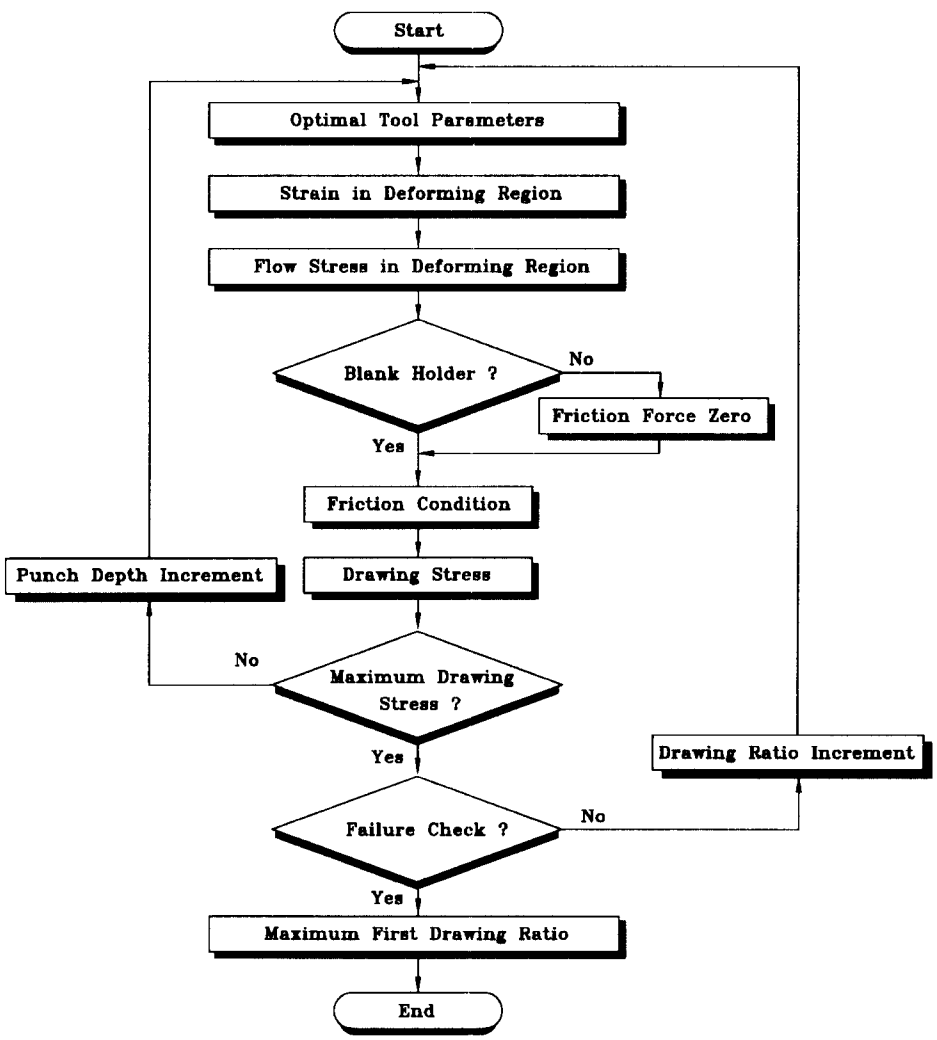



**Fig. 3** Flow chart for calculation of limiting first-drawing ratio

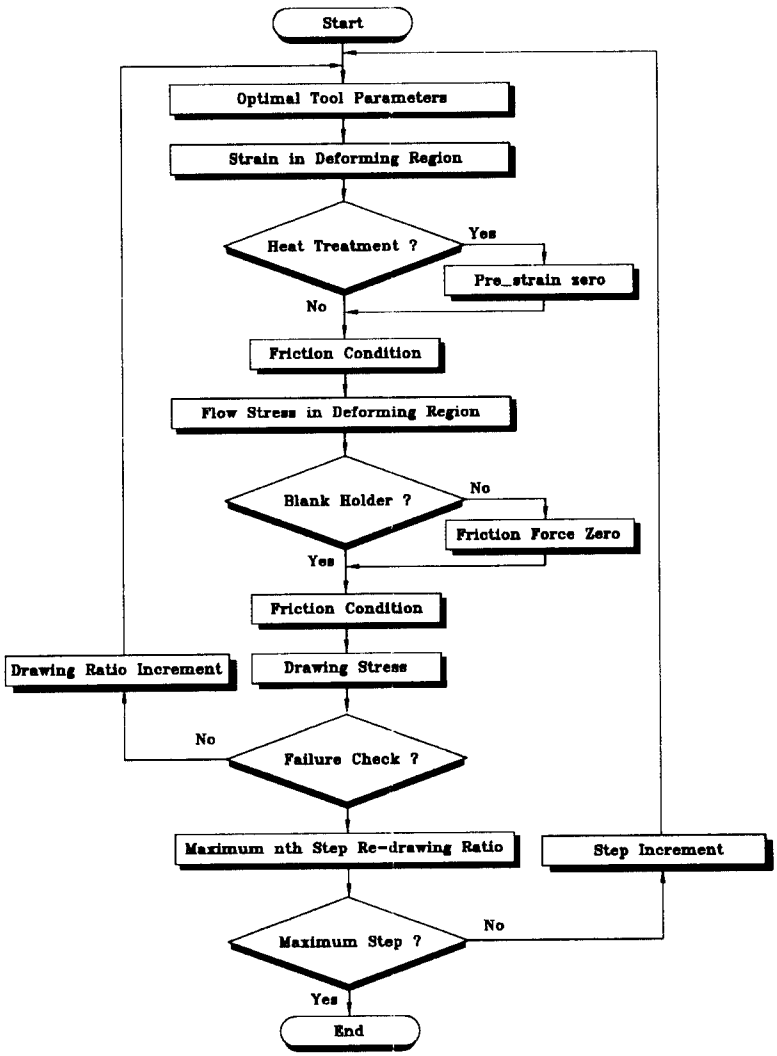



**Fig. 4** Flow chart for calculation of limiting redrawing ratio

$$F_{dr} \geqq \pi d_2 t S_u \quad (7)$$

여기서, $F_{dr}$은 변형영역의 가공력이며 $d_2$은 재드로잉 되는 컵의 직경, t는 재 료 두께, $S_u$는 극한 인장강도값이다.

(규칙 21) 디프 드로잉에서 가공력은 다음 식과 같이 각각의 변형영역에 대한 하중의 합으로 표현된다.

$$F_d = F_{id} + F_b + F_{f,Fl} + F_{f,D} \quad (8)$$

여기서, $F_d$ : Total drawing load
$F_{id}$ : Ideal forming load
$F_b$ : Bending at die radius
$F_{f,Fl}$ : Friction in flange
$F_{f,d}$ : Friction at die radius

## 4. 적용결과 및 고찰

개발된 시스템(Pro_Deep)의 현장에 적용가능 여부를 검토하기 위하여 이미 생산되고 있는 디프 드로잉 제품에 대한 실제 공정도와 시스템의 출력을 비교하고자 한다.

먼저, Clutch Housing 제품에 대해 비교하고자 한다. 공정은 Fig. 5과 같은 디프 드로잉 제품을 가공하고, 이를 구멍내기(burring), 홑기(ironing),

절단(cutting) 공정등의 후가공을 하는 것으로 한다. Fig. 6에 실제 생산에 적용되는 Fig. 5의 디프 드로잉 제품에 대한 공정도를 나타내었다.

실제로는 플랜지의 형상이 사각형이나 이를 원형으로 가정하여 Fig. 5의 제품을 입력으로 개발된 시스템에 적용하였다. 소재는 냉간압연강판[18]으로 하였다. (규칙 10)의 한계 드로잉률을 적용하여 결과를 Fig. 7에 나타내었다.

실제 공정도에는 한번의 초드로잉, 두번의 재드로잉 공정, 한번의 치수내기(restriking) 공정으로 Fig. 6의 제품을 생산하는 공정을 나타낸다. Fig. 8의 개발된 시스템의 결과는 1번의 초드로잉, 2번의 재드로잉 공정으로 Fig. 6의 제품을 생산하는 공정을 나타낸다.

블랭크 직경은 순차이송형 공정의 피치(pitch)를 결정하는 중요한 설계변수이다. 실제 공정의 피치 140mm 와 사각형 블랭크 134×143mm에 대해 예측된 블랭크 직경은 139.4mm이다. 두 공정에서 드로잉 공정수의 차이는 적용된 첫번째 재드로잉률이 차이가 난다. 개발된 시스템에서는 2단의 경사진 부분의 성형을 첫번째 재드로잉으로 선택하여 공정설계 하였으나 실제 공정도에서는 2단의 경사진 부분과 컵부분을 같이 성형하는 공정을 선택하고 있다. 이는 개발된 시스템의 첫번째 재드로잉과 두번째 재드로잉이 조합된 형태이다. 실제 공정도에서 이와 같은 축소된 드로잉 공정을 선택하고 다이 형상반경과 펀치 형상반경을 감소시키기 위한

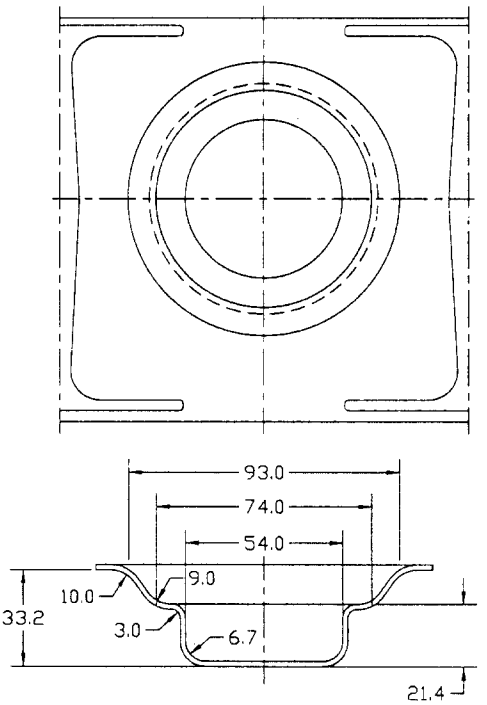



**Fig. 5** Deep drawing parts of the "Clutch Housing"

치수내기 공정을 추가하여 컵을 완성하고 있다. 그러나 (규칙 3)을 따르면 디프 드로잉 제품(Fig. 5)의 펀치 형상반경과 다이 형상반경은 재료두께보다 0.5배 이상이므로 드로잉 공정만으로 컵을 생산할 수 있고 이에 대한 공정설계가 개발된 시스템의 출

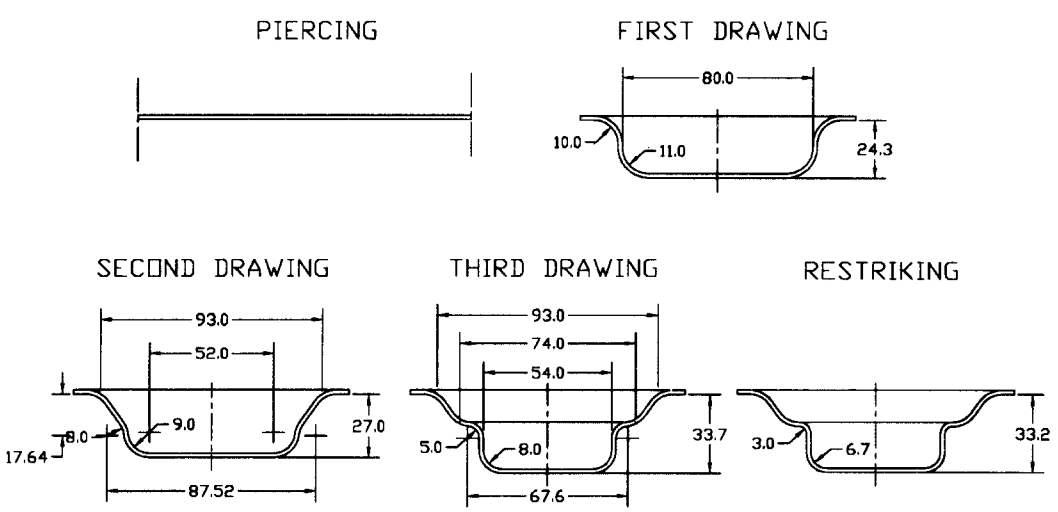



**Fig. 6** Sequence drawing for the deep drawing parts of the "Clutch Housing"-Industrial practice

력으로 볼 수 있다(Fig. 7).

Fig. 8~Fig. 12은 Motor Housing 제품에 대한 공정설계의 비교를 나타낸다. Fig. 8에 11번의 실제 공정 중 드로잉 공정만을 나타내었다. Fig. 9는 개발된 시스템의 입력으로 사용된 제품을 나타낸다.

소재는 냉간압연강판[18]으로 하여 시스템의 결과를 Fig. 10~12에 나타내었다. Fig. 10은 규칙 10)

| Process | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|---|
| Draw Ratio | 0.59 | 0.93 | 0.76 | 0.93 |
| Clearance(mm) | 2.52 | 2.34 | 2.10 | 1.89 |
| P.Force(ton) | 9.95 | 15.48 | 11.54 | 9.34 |
| B.H Force(ton) | 0.90 | 1.39 | 1.04 | 0.84 |

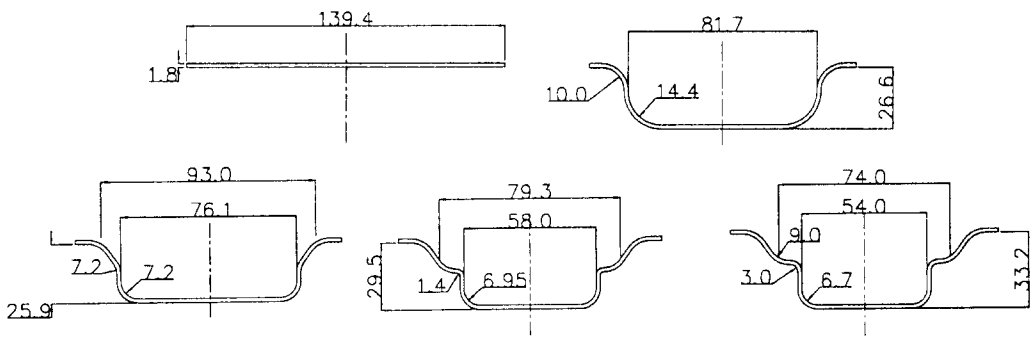



**Fig. 7** Sequence drawing for the deep drawing parts of the "Clutch Housing"-Output of "Pro-Deep"

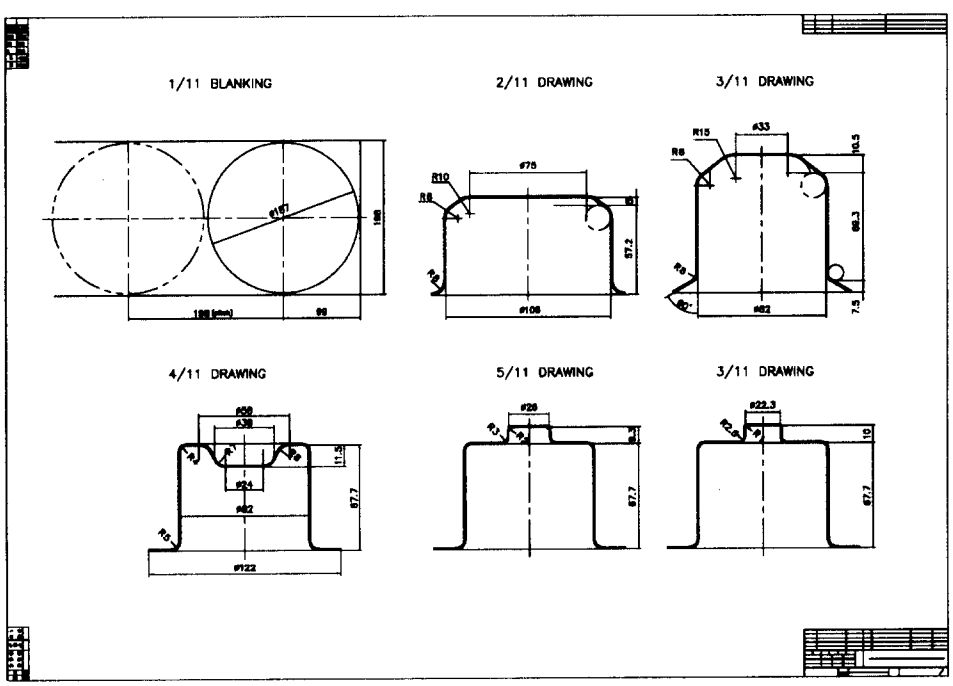



**Fig. 8** Sequence drawing for the deep drawing parts of the "Motor Housing"-Industrial practice

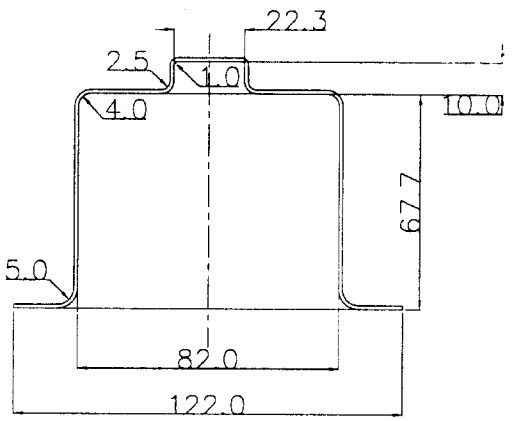



**Fig. 9** Input drawing file of the "Motor Housing" for "Pro_Deep"

을 적용하였고 Fig. 11 최적 드로잉률에 보정계수를 고려한 방법으로 한계 드로잉률을 구하여 적용한 결과이다. Fig. 12는 한계 드로잉비의 계산법을 이용한 결과이다.

결과를 비교하면, 개발된 시스템이 예측한 블랭크 직경은 194 mm로 실제 공정도의 값 187 mm와 3.7%의 오차를 보인다. 공정수를 비교하면, 일반적인 한계 드로잉률을 적용한 Fig. 10의 경우만 두 번의 재드로잉이 많은 공정을 예측하였고, 최적 드로잉률에 보정계수를 고려한 방법과 한계 드로잉비의 계산을 이용한 공정도는 실제 공정도와 공정수에서 같다. 이는 일반적인 경우의 한계 드로잉률을 공정설계에 적용하기 보다는 컵의 펀치 형상반경, 다이 형상반경 및 재료두께를 고려한 한계 드로잉률을 사용하는 것이 보다 타당함을 보이는 것이다. Fig. 10~Fig. 12의 시스템 출력에서 (규칙 8, 9)가 적용되어 2단컵을 성형하는 첫번째 드로잉에서 초드로잉률에 가까운 값이 사용되었다. 실제 공정에서 드로잉률이 0.49이므로 (규칙 8, 9)로 적절한 공정을 예측하였다.

그러나 실제 공정도에서는 컵 벽부분의 두께를 균일하게 하는 역드로잉 공정[19]을 채택하고 있으나 개발된 시스템은 두께변화를 고려하지 않음으로 이러한 역드로잉 공정의 채택조건을 설정하지 못하고 있다.

| Process | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Draw Ratio | 0.54 | 0.79 | 0.60 | 0.78 | 0.81 | 0.84 | 0.99 |
| Clearance(mm) | 1.75 | 1.70 | 1.66 | 1.61 | 1.56 | 1.44 | 1.26 |
| P.Force(ton) | 9.98 | 10.75 | 6.73 | 4.79 | 2.99 | 2.41 | 2.03 |
| B.H Force(ton) | 2.30 | 2.47 | 1.55 | 1.10 | 0.69 | 0.55 | 0.47 |

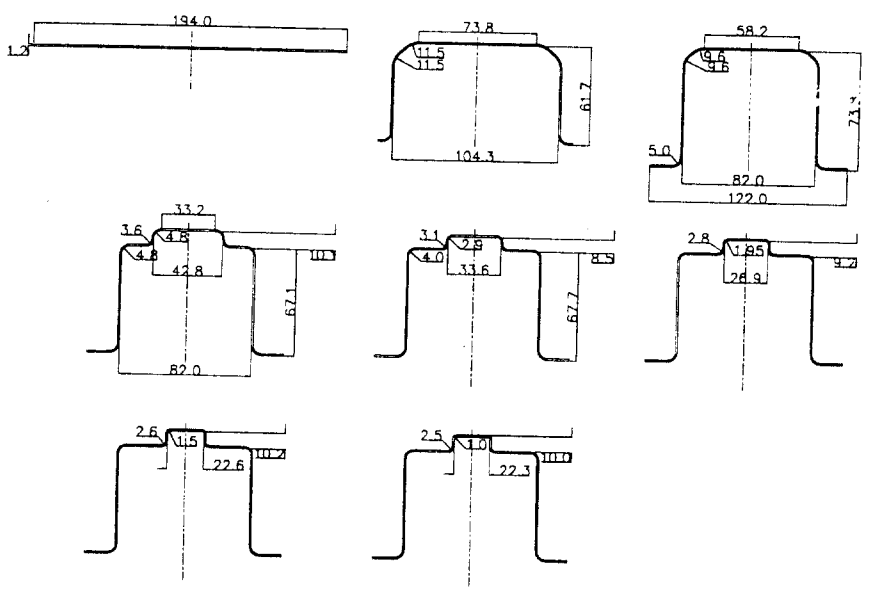



**Fig. 10** Sequence drawing for the deep drawing parts of the "Motor Housing" using rule 10)-Output of "Pro_Deep"

| Process | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|---|
| Draw Ratio | 0.47 | 0.90 | 0.53 | 0.74 | 0.82 |
| Clearance(mm) | 1.72 | 1.64 | 1.56 | 1.44 | 1.26 |
| P.Force(ton) | 11.26 | 9.25 | 6.73 | 4.15 | 2.75 |
| B.H Force(ton) | 2.59 | 2.13 | 1.55 | 0.96 | 0.53 |

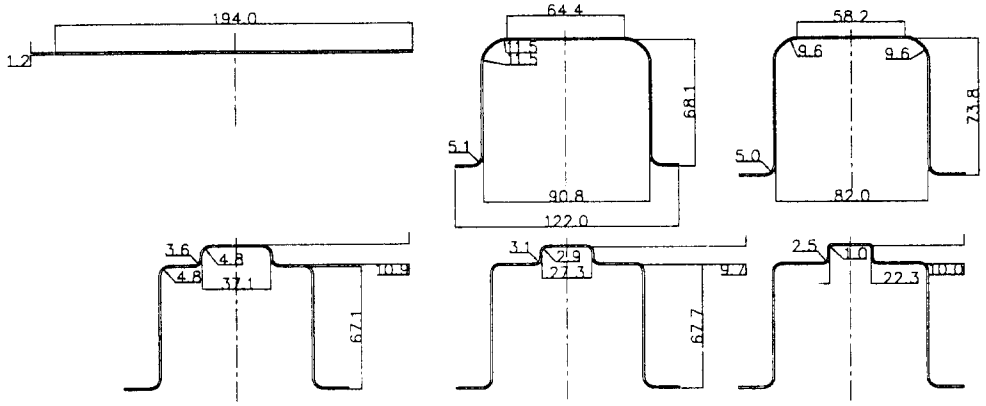



**Fig. 11** Sequence drawing for the deep drawing parts of the "Motor Housing" using rule 12-18) -Output of "Pro_Deep"

| Process | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|---|
| Draw Ratio | 0.46 | 0.92 | 0.51 | 0.70 | 0.88 |
| Clearance(mm) | 1.72 | 1.64 | 1.56 | 1.44 | 1.26 |
| P.Force(ton) | 10.55 | 9.04 | 6.73 | 4.07 | 2.83 |
| B.H Force(ton) | 2.43 | 2.08 | 1.55 | 0.94 | 0.65 |

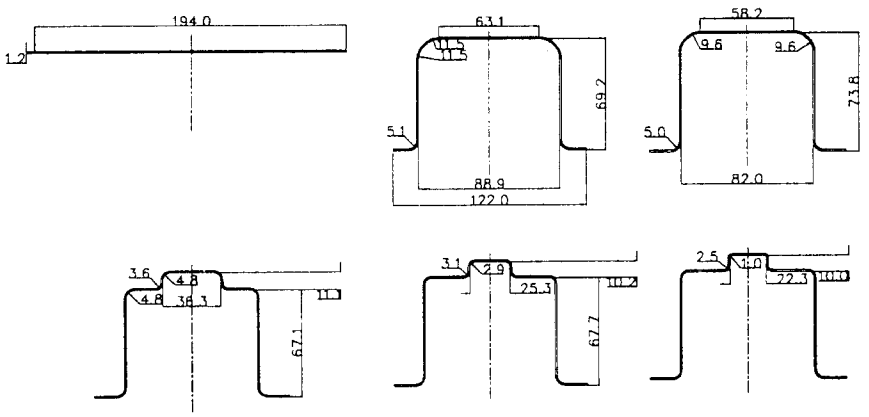



**Fig. 12** Sequence drawing for the deep drawing parts of the "Motor Housing" using rule 12, 19-21) -Output of "Pro_Deep"

## 5. 결 론

본 연구에서는 지식 베이스 시스템을 기반으로 축대칭 디프 드로잉 제품의 공정설계 시스템(Pro-Deep)을 개발하였다. 디프 드로잉 공정설계에 성공적으로 적용된 G&TR기법[1,3~6,12]을 사용하여 공정을 창생하였다.

개발된 시스템의 현장 적용가능 여부를 검토하기 위해 이미 생산되고 있는 디프 드로잉 제품에 대해 공정도를 비교하였다. 이 결과, 예측된 공정이 타당함을 보이나 벽두께의 균일함을 요구하는 정밀한

제품에 시스템을 적용하기 위해서는 드로잉 공정에서 발생하는 두께변화의 예측이 필요함을 알 수 있다. 또한 한계 드로잉률의 결정방법에 대해 일반적인 경우의 한계 드로잉률을 공정설계에 적용하기보다는 컵의 펀치 형상반경, 다이 형상반경 및 재료두께를 고려한 한계 드로잉률을 사용하는 것이 보다 타당함을 보였다.

## 후 기

본 연구는 LG전자, 정밀정형 및 금형가공 연구센터의 지원하에 연구되었으며 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

(1) G. Eshel, M. Barash and T. C. Chang, 1985, "A Rule-based System for Automatic Generation of Deep Drawing Process Outlines," Computer-Aided Intelligent Process Planning, Vol. 19, pp. 1~18.

(2) 진인태, 1989, "퍼스널 컴퓨터에 의한 디이프 드로잉 공정설계 전산화에 관한 연구," 부산대학교, 박사학위 논문.

(3) S. K. Sitaraman, G. L. Kinzel and T. Altan, 1991, "A Knowledge-Based System for Process-Sequence Design in Axisymmetric Sheet-Metal Forming," J. Mater. Process. Technol., 25, pp. 247~271.

(4) Zhu Jin, Wang Xuewen and Ruan Xueyu, 1993, "An Expert System for Process Planning of Deep-Drawing," Proc. 4th ICTP, Bejjing, China, pp. 1875~1880.

(5) M. Tisza, 1993, "Expert System for Sheet Metal Forming," Proc. 4th ICTP, Bejjing, China, pp. 1667~1672.

(6) 박상봉, 최 영, 김병민, 최재찬, 김보환, 1995, "축대칭 디프 드로잉 제품의 공정설계 시스템에 관한 연구," '95춘계학술대회논문집, 한국소성가공학회, pp. 147~154.

(7) Donald F. Eary and Edward A. Reed, 1974, "Techniques of Pressworking Sheet Metal," Prentice-Hall., Inc.

(8) Constantin Iliescu, 1990, "Cold-Pressing Technology," Elsevier.

(9) 李河星, 1992, "金型設計", 성안당.

(10) M. Tisza, 1986, "A CAD/CAM system for deep drawing processes," 1986, Proc. 2nd ICTP Conference, Stuttgart, FRG, pp. 145~152.

(11) M. Karima and J. Richardson, 1987, "A knowledge-based systems framework for computer-aided technologies in metal forming," J. Mech. Work. Technol., 15, pp. 253~273.

(12) G. Eshel, M. Barash and W. Johnson, 1986, "Automatic generation of process outlines of forming and machining processes," ONR Contact No. 83K0385, Final Report, Vol 5, Schools of Industrial, Electrical Mechanical Engineering, Purdue University, West Lafayette, Indiana 47907, Augst.

(13) 최재찬, 1988, "퍼스널 컴퓨터에 의한 디이프 드로잉 공정 및 금형설계 전산화에 관한 연구," 한국과학재단.

(14) K. Lange, 1985, "Handbook of Metal Forming," McGraw-Hill Book Company.

(15) Hobbs, R. M. and Duncan, J. L., 1979, "Sheet Metal Formig Tests, Advanced Technology Course," American Society for Metals.

(16) E. Doege, H. Simon and B. Breidohr, 1988, "Aspect of Computer-Aided Design of Deep Drawing Dies Combined with Elementary Caculation Methods," Proc. Near Net Shape Manufacturing, Columbus, Ohio, ASM International, pp. 185~199.

(17) E. Doege, 1992, "Design of Deep Drawn Components with Elementary Calculation Method," J. Mater. Process. Technol. Vol. 34, pp. 439~447.

(18) 박기철, 남재복, 최원집, 1994, "축대칭 프레스가공 제품의 변형률 예측기술과 변 형여유 해석에의 적용," 박판성형기술의 진보, 양동열, 허훈, 김용환 편, 한국소성가공학회, 대한금속학회, pp. 173~184.

(19) 윤정환, 유동진, 양동렬, 김석관, 1994, "축대칭 다단계 디프드로잉 공정의 유한 요소해석," 한국소성가공학회지, 제3권 제4호.