

Deep Drawing의 후가공 특징형상 공정설계 및 전문가시스템 개발에 관한 연구

오 준 환*, 이재 원**, 조 성 진*, 남 배 중*, 양 재 우***

A Study on the Process Planning for Secondary Operations on Features of Deep Drawing Cup and the Development of the Expert System-Based CAPP

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

ABSTRACT

Even though there are some studies on the deep drawing process and process planning, little study has been done on the methodology of process planning of secondary operations of deep drawing such as 'piercing'. In this paper, first, we systematized the methodology of the process planning of secondary operations on axisymmetric cup. Second we described the development of the expert system for their CAPP. For these studies, we extracted the knowledge of their process planning from experts and analysed and systemized them. To develop the expert system, rule-based reasoning paradigm is used. The shape information of manufacturing features of secondary operations are manually input to the system through SUI. The process planning results are automatically connected to AutoCAD. We believe that the systematized process knowledge and the development of the expert system for its CAPP could give lots of aids to the associated field.

Key Words : Deep Drawing(디프 드로잉), Axisymmetric Cup with Steps(단차를 갖는 축대칭 컵), Manufacturing Feature(제조특징형상), Process Planning(공정설계), Expert System(전문가시스템), Rule-Based Reasoning(규칙기반추론)

1. 서 론

디프 드로잉가공은 판금(sheet metal)의 가공 중 비교적 성형이 까다로운 종류의 가공으로서 축대칭 원통형 디프 드로잉 가공이 주종을 이룬다. 디프 드로잉 분야의 공

정설계 자동화에 관한 연구로는 FANG 등⁽¹⁾이 공정설계에 과거 유사 사례를 이용하는 시스템을 개발하였고, Altan⁽²⁾은 지식기반 시스템(knowledge-based system)에 의해 초기 공정설계를 하고 이 결과를 수학적인 분석 모듈을 통해 테스트를 하는 방법으로 공정설계를 수

* 인하대학교 대학원 자동화공학과
** 인하대학교 기계항공자동화 공학부
*** 인하대학교 산업기술 대학원 자동화공학과

행하는 hybrid-CAE 시스템을 개발하였으며, 박상봉 등⁽³⁾의 'Pro-Deep' 시스템과 Jin 등⁽⁴⁾의 'PAD_ES' 시스템들은 G&TR기법을 이용하여 실제 가공공정의 역순으로 제품 공정설계를 하도록 했으며, 특히 'PAD_ES' 시스템의 경우는 기존의 AI 언어로 잘 알려진 LISP나 PROLOG 대신 C 언어를 이용하여 시스템을 개발하기도 했다. 또한, 진인태⁽⁵⁾의 'Deep-Drawing'은 사각형 cup형상에 대해 원형의 cup형상으로 근사하여 공정설계를 시도하기도 하였는데 지금까지의 이런 연구들은 모두 축대칭 원통형 디프 드로잉가공에서 제품의 전체형상을 가공하기 위한 공정설계에 대한 것으로 구멍(hole)이나 노치(notch) 등과 같은 특징형상(feature)을 갖는 경우의 공정계획은 고려되지 않았다. 따라서 본 논문에서는 이러한 특징형상들이 다수 존재하는 경우, 이들에 대한 공정계획의 방법론과 이들을 컴퓨터 원용 공정계획 시스템으로 개발한 내용을 기술한다.

축 대칭 원통형 제품의 디프 드로잉(deep drawing)가공 공정은 크게 몸체(body)부 성형, 머리(head)부 성형, 그리고 특징형상(feature) 가공 공정의 3단계로 구별된다. 특징형상은 제품의 주된 형상에 영향을 주지 않으면서 제품에 특정한 기능성(설계 의도)을 부여하기 위하여 추가적으로 가공되는 형상들로서 피어싱(piercing), 노칭(notching), 엠보싱(embossing) 등과 같은 작업에 의하여 가공되는 제조 특징형상(manufacturing feature)들인데, 이 형상들의 가공 공정이 디프 드로잉 가공의 마지막 공정에 해당하므로 후가공 공정(secondary operation)이라 부르기도 한다^{(6),(7),(8)}.

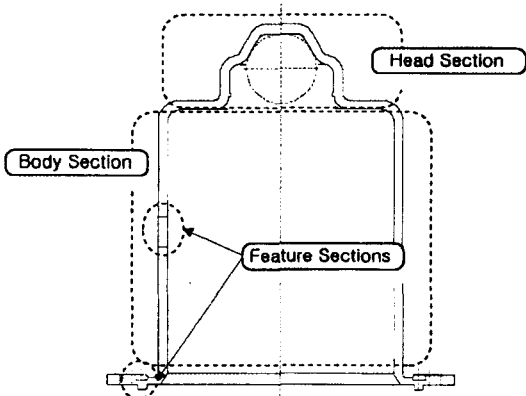


Fig. 1 Cross section of axisymmetric cup with steps

축대칭 원통형 디프 드로잉 제품 단면도의 몸체부, 머리부 및 후가공(특징형상)부는 Fig.1과 같다. 몸체부 및 머리부의 공정설계가 제품의 전체형상을 결정하는 처음 두 단계이다. 몸체부 성형은 가장 주된 원통의 높이 및 직경을 형성하는 가공이며, 머리부 성형은 단차(step)를 형성한다.

두 단계에 걸쳐 제품의 전체 형상이 갖추어지면 제품이 갖는 제조 특징형상을 가공하기 위한 공정설계를 하게 된다. 여러 공정 스테이지(stage)를 거쳐야 하는 앞선 두 공정설계 단계와는 달리 하나의 특징형상의 가공은 단일 공정 스테이지에서 완성한다. 복수개의 특징형상이 존재하는 경우는 어느 공정 스테이지에서 어떤 특징형상을 가공할 것인지를 가공의 제약조건들을 고려하여 최적의 공정 스테이지를 결정해야 한다.

본 연구에서 디프 드로잉 가공을 위해 사용하는 금형으로는 최대 13 스테이지를 갖는 트랜스퍼(transfer) 프레스 작업 금형으로 제한한다. 따라서 몸체부 및 머리부 성형단계에서 얼마만큼의 스테이지를 사용했는가에 따라 특징형상 가공단계에서 사용 가능한 스테이지수가 남게 되고, 이 스테이지수 범위 내에서 특징형상들의 가공을 위한 공정설계를 해야한다. 이외에 다른 제한 조건에 대해서는 2.2절에서 다루도록 한다. 본 연구의 범위가 전체 디프 드로잉 공정의 마지막 공정설계 단계에 관한 것이므로 제품 전체 형상정보와 남은 스테이지수 등의 기본 정보들은 이미 주어진 것으로 가정한다. 한편, 컵 모양 디프 드로잉 제품의 몸체부 성형 공정계획은 별도의 연구로 이미 진행된 바 있다⁽⁹⁾.

2.2절에서는 특징형상의 공정설계에 대한 방법론을 다루고, 2.3절에서는 공정설계 전문가 시스템의 구현에 관하여 언급한다. 2.2절에서 다루는 공정설계 지식들은 A社의 실 사례 분석과 저자중의 한 사람인 이 분야 전문가(15년경력)와의 인터뷰를 통해 얻은 종합적인 내용을 체계화한 것이다.

2. 디프 드로잉 특징형상 후가공 공정설계

공정설계의 대상이 되는 특징형상 성형작업의 종류를 먼저 정의하고 이들의 가공을 위한 공정설계 방법론을 서술한다.

2.1 특징형상 성형작업의 종류

본 연구에서 다루는 특징형상들 각각의 성형작업으로는

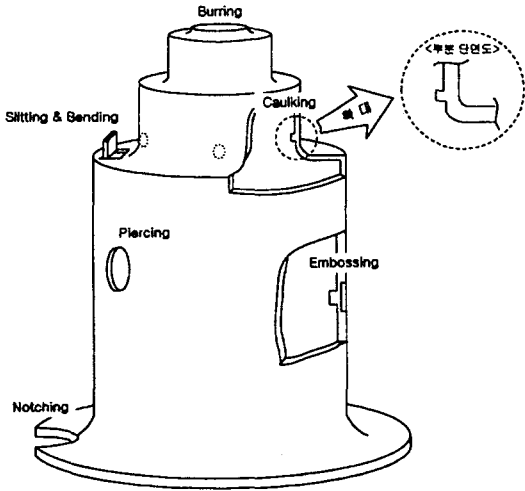


Fig. 2 Stepped cup with various manufacturing features

피어싱(piercing), 엠보싱(embossing), 노칭(notching), 버링(burring), 코킹(caulking), 슬리팅 및 굽힘(slitting & bending)들이 있다. Fig. 2에서 실제 제품에 가공된 특징형상들을 성형작업명과 함께 보였다.

2.2 특징형상의 공정설계

특징형상의 공정설계는 이들 각각의 가공 스테이지를 결정하는 것으로서 이때 고려되어야 할 조건들은 다음과 같다.

- 사용 가능한 프레스의 최대 스테이지를 초과하는지의 여부
- 인접한 스테이지간 공구(tool)간섭 현상의 유무

본 연구에서는 3차에 걸쳐 상기 제한 조건을 만족시키도록 한다. 1차에서는 특징형상별 스테이지의 위치를 결정하고, 2차에서는 최대 스테이지의 초과 여부를 파악하고, 3차에서는 인접한 스테이지간에 공구의 간섭이 존재하는지를 파악한다. 이때 1차 공정설계결과 과스테이지(overstage)가 발생되었다거나, 공구 간섭이 일어났을 경우는 해당된 스테이지를 조정하여 문제 해결을 하도록 한다. 3차에 걸친 각 공정설계 단계별 내용은 다음과 같다.

2.2.1 1차 공정설계

1차 공정 설계에서는 스테이지 초과 현상의 고려 없이 공정설계 경험지식에 따라 특징형상 가공 순서를 결정한다. 이때 적용되는 공정 순서 결정 원리는 Fig. 3와 같다. 이 그림은 가능한 모든 특징형상들이 주어진 경우로써 특징형상의 가공 순서는 축방향 가공인가, 반경방향 가공인가에 따라서 가공 순서가 영향을 받는다.

Fig. 3에서 'Simple'은 축방향, 'Side'는 반경방향의 가공 방향을 가리킨다. 이에 대한 자세한 내용은 Table 1에 정리한다. Fig. 3에서 보는 바와 같이 크기는 '축 방향 가공' 이후 '반경 방향 가공'이 진행되며, 세부적으로는 축 방향 가공과 반경 방향가공 모두 '피어싱', '노칭' 작업후 '엠보싱'을 가공한다. 실제 공정설계의 과정에서는 동일한 가공방향을 갖는 가공들 사이에 Fig. 3에서와 같이 특별히 우선되어야 하는 공정설계 방법론이 존재하는 것은 아니다. 하지만 실제 과거 사례들의 검토 결과 Fig. 3과 같이 동일한 가공방향을 갖는 가공들 사이에서도 가공순서가 발견되어 이대로 정리하였다. '버링'이나 '슬리팅 및 굽힘가공'은 반경 방향 가공후에 진행되며 이후에 '축방향 잘라내기(trimming)'나 '반경방향 잘라내

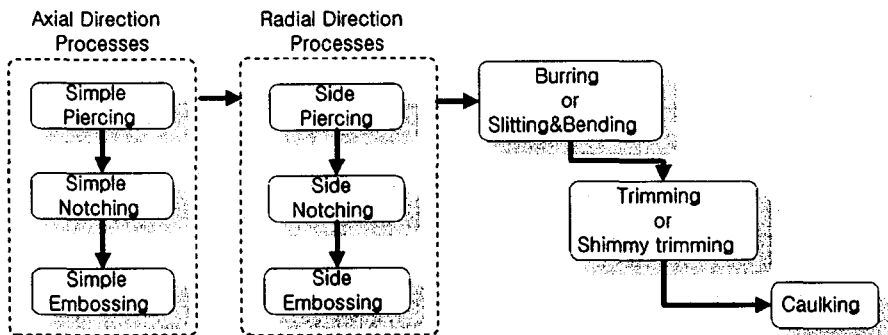


Fig. 3 Process sequence of manufacturing features

Table 1 Processing direction and scrap occurrence of manufacturing features

Type of Feature Processing	Processing Direction (depending on the punch motion)	Directional Name of Feature Processing	Scrap
Piercing	Axial Direction : Up ⇔ Down	Simple Piercing	Yes
	Radial Direction : Outside ⇔ Inside	Side Piercing	Yes
Notching	Axial Direction : Up ⇔ Down	Simple Notching	Yes
	Radial Direction : Outside ⇔ Inside	Side Notching	Yes
Embossing	Axial Direction : Up ⇔ Down	Simple Embossing	No
	Radial Direction : Outside ⇔ Inside	Side Embossing	No
Burring	Axial Direction : Up ⇔ Down	Burring	No
Slitting & Bending	Axial Direction : Up ⇔ Down	Slitting & Bending	No
Caulking	Axial Direction : Up ⇔ Down	Caulking	No
Trimming	Axial Direction : Up ⇔ Down	Trimming	Yes
Shimmy trimming	Radial Direction : Outside ⇔ Inside	Shimmy trimming	Yes

기(shimmy trimming)' 그리고 '코킹'순으로 가공된다. '코킹' 공정은 특징형상 생성과 동시에 전체적인 윤곽을 다시 잡아주는 공정이므로 제일 마지막 공정에 오게 된다. 한편, '축방향 잘라내기'와 '반경방향 잘라내기' 가공 작업은 제품의 소성가공 특성상 원소재(blank)의 크기 결정시 추가로 고려되었던 소재의 여유부분을 제거하는 필수적인 가공공정으로써 설계의도에 따라 추가되는 특징형상 가공과는 구별된다⁽¹⁰⁾. Table 1에서 폐조각(scrap)관련 컬럼은 이것의 발생 유무를 나타낸다.

2.2.2 2차 공정설계

1차 공정 설계는 스테이지수를 고려하지 않고 일련의 특징형상의 가공 순서를 결정한다. 2차 공정설계에서는 이 결과를 바탕으로 과스테이지의 발생 여부를 체크하고 발생된 경우는 이를 조정하게 된다.

과스테이지 현상이 발생했을 경우는 한 스테이지에서 두 가지 가공을 복수 처리하도록 하는 복합가공(complex processing)을 구성하여 가공순서를 재조정한다. 이때, 제품 가공을 위해 할당된 전체 스테이지수가 앞서 몸체부와 머리부 성형공정에 이어 최대 스테이지를 넘지 않도록 한다. 여기서 최대 스테이지로 제한하는 것은 사용되는 프레스별로 최대 스테이지가 제한되어있기 때문이다. 한편, 복합가공은 Fig. 4과 같이 가공방향이 서로 동일한 경우 가능하고, 방향이 서로 다른 경우에는 고려하는 두 가공 모두 폐조각(scrap)이 생성되지 않는 경우에만 가능하며, 세 개 이상의 복합가공은 일어나지 않는 것으로 한다. 이는 복합가공을 위해 가공 공구를 고정시키는 캠

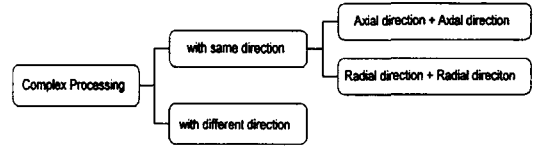


Fig. 4 Complex processing depending upon processing directions

구조물이 구조상 세 가지 이상의 가공 공구를 고정시키기 어려운 경우가 대부분이기 때문이다.

폐조각이 생성되는 가공으로는 피어싱, 노칭, 축방향 잘라내기, 반경방향 잘라 내기와 같은 가공들이 있다.

Table 1에서 알 수 있듯이 피어싱, 노칭과 엠보싱의 경우는 두 가지의 방향을 갖고 나머지 경우는 한가지 방향만을 갖는다. Fig. 4에 보인 'Radial direction + Radial direction'의 경우는 가공 공구사이에 이루는 각도가 Fig. 5와 같이 ±15 이내에 있어야만 가능하다. 이는 ±15 를 벗어나게 되면 가공 공구를 고정시키는 하나의 캠 구조물에 두 가공 공구를 함께 설치하기 어려운 트랜스퍼 프레스 금형의 일반적인 구조를 반영한 것이다.

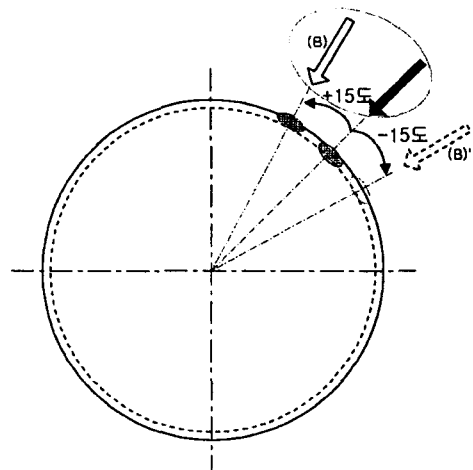


Fig. 5 Allowance angle between two tools

2.2.3 3차 공정설계

1차와 2차까지의 공정설계를 통해서 가공순서와 과스테이지 문제가 해결되면, 3차 공정 설계에서는 인접한 스테이지 사이에 공구의 간섭 현상이 발생하는지를 체크하여 문제점을 해결한다. Fig. 6의 사례 (a), (b) 및 (c)는 공구간섭이 발생하는 경우의 예이며, 사례(d)와 같은 경

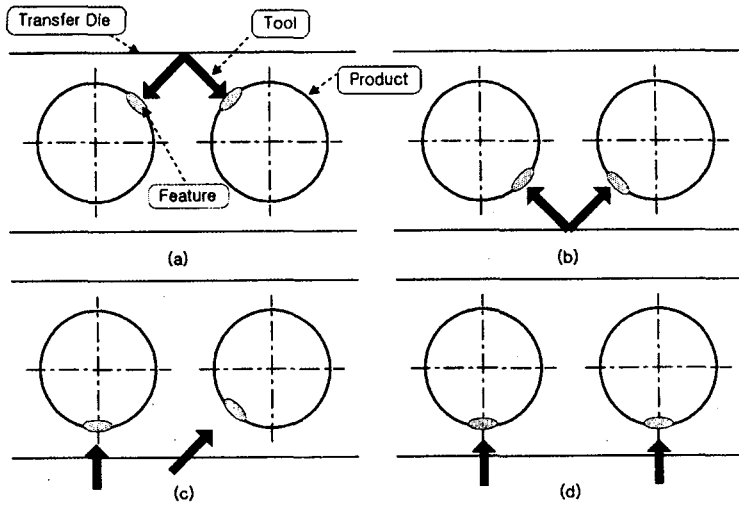


Fig. 6 (a), (b) and (c) are cases with interference and (d) is an ideal case

우가 가장 이상적인 공구의 가공방향이 된다. 이 그림에서 원과 원주상의 작은 타원은 각각 가공되는 제품과 제품이 갖는 특징형상을, 화살표는 공구 및 공구 접근방향을 표현한 것으로서 컵의 반경방향 단면도상에서 도시된 것이다.

본 개발 시스템에서 공구간 간섭이 일어나는 경우 해결 방법으로는 다음 2가지의 방법을 적용한다.

- 인접한 두 스테이지의 가공공정을 서로 교환하는 방법
- 두 스테이지 사이에 빈 스테이지(idle stage)를 삽입하는 방법

첫 번째는 Fig. 7의 'Interference 1' 같이 간섭을 일으키는 인접한 두 스테이지의 작업내용을 상호 교환함으로써 쉽게 해결하는 방법이다. 하지만, 실제로 바뀌도

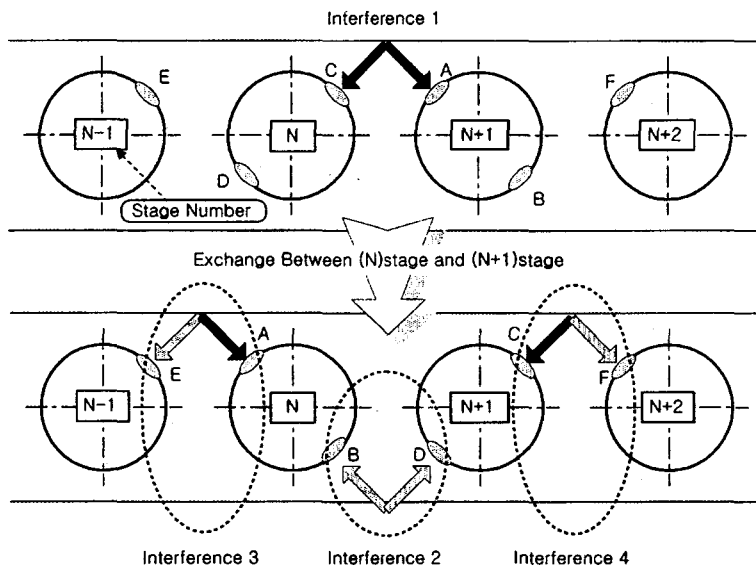


Fig. 7 New Interference(2,3,4) from Interference 1 after exchange of process between N and N+1 stage

'Interference 2, 3 그리고 4' 같은 새로운 툴 간섭이 발생할 수 있으므로 상호 교환하는 방법으로 간섭을 해결하기 위해서는 간섭이 일어나는 스테이지를 포함해서 총 4개 스테이지의 가공 상태를 동시에 고려해야만 한다. 이 점을 고려하여 본 연구의 하나인 후 가공 공정계획 전문가 시스템 개발의 추론 과정에서는 간섭 해결을 위해 교환후 새로운 간섭이 생기지 않는가를 검사한 뒤 상호 교환을 시도하도록 관련 규칙들로 지식 베이스를 구성하였다. 한편 위에서 언급한 공구간섭 해결을 위한 상호 교환 처리는 간섭을 일으키는 스테이지가 복합가공을 갖는 스테이지라 하더라도 적용 가능하다. 대신 복합 가공을 이루는 두 가공에 대해 각각의 공구 방향을 조사하여 간섭 여부를 파악해야 한다. 두 번째 방법은 가공 공정이 없는 빈 스테이지가 남아 있는 경우로써 간섭이 발생하는 인접한 두 스테이지 사이에 여유공간 확보를 위해 빈 스테이지를 삽입하는 방법이다.

2.3 전문가시스템의 구현

앞장에서 설명된 지식들을 이용하여 특징형상의 공정설계를 자동화하는 전문가 시스템을 개발하였다. 이 시스템의 개발은 컵의 몸체부 성형을 자동화하는 전문가 시스템과 함께 개발되었다. 특징형상 자체의 형상과 컵상의 위치정보의 정의는 형상별 특성에 적합한 정의 방법을 이용하였으며 이를 위한 내용은 다음과 같다.

2.3.1 특징형상 정의 파라미터

전문가시스템에 입력해야할 특징형상 정보를 시스템에

입력할 때 자동 인식하는 것은 몸체부나 머리 단차부의 자동인식과는 달리 매우 까다로운 작업으로 그 개발에 많은 시간이 요구되므로 본 논문에서는 특징형상별로 정의된 파라미터 값들을 수동 입력하는 방법을 이용하였다. 다음과 같은 두 가지 개념을 이용하여 이들을 정의하는데 편의성과 효율성을 부여하였다.

- 단차/단차 구간 개념
- Group 개념

단차(step)/단차 구간(step interval)이란, 제품 도면에서 후가공 제조 특징형상이 위치하는 장소로서 설계 특징형상(design feature)⁽⁶⁾이다. Fig. 8과 같이 3단차를 갖는 제품의 경우를 예로 설명하면 다음과 같다.

'단차' 설계특징형상(step design feature)은 (b)와 같이 제품의 높이를 형성하는 원통면 부분이며 하단 부에서부터 단차 번호가 붙여진다. '단차구간' 설계특징형상(step interval design feature)은 (c)에서 보는 바와 같은 링형 디스크(ring typed disk)면 부분을 가리키는데, 단차와 단차 사이에 존재하므로 '단차구간'이라 부른다. (b)와 (c)를 통해 알 수 있듯이 특징형상이 존재하는 '단차'와 '단차구간'이 정해지면 단차의 경우는 중심으로부터의 거리(예 : d_1, d_2, d_3)가, 단차구간의 경우는 하단으로부터의 높이(예 : h_1, h_2, h_3)가 제품형상 정보로부터 결정되어질 수 있다. 따라서, Fig. 9과 같이 개발된 수동입력 SUI(System User Interface)상에서 제조 특징형상이 존재하는 위치가 어디인가에 따라 combo box의

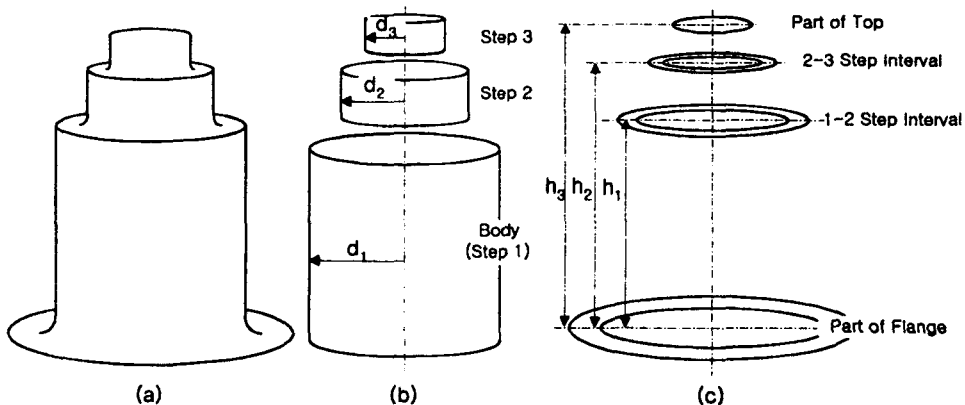


Fig. 8 (a) Shape of deep drawing part, (b) Step design feature, (c) Step Interval design feature

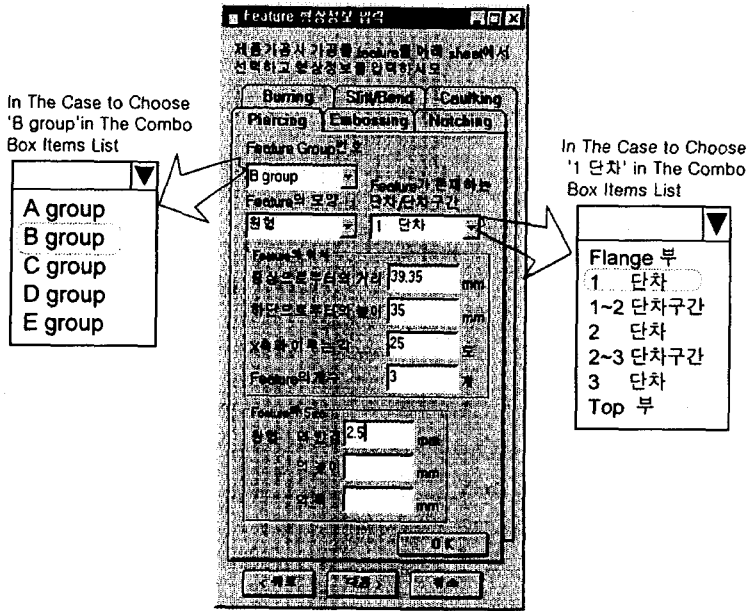


Fig. 9 Manual input of manufacturing features through SUI

list중에서 해당 항목(item)을 선정하면 된다. 이 때 '단차'를 선택하면 중심으로부터의 거리가, '단차구간'을 선택하면 하단으로부터의 높이가 자동으로 계산되어 지도 록 하여 사용자의 편의를 고려하였다.

Fig. 10에서와 같이 제조 특징형상의 종류와 모양이 동일하고 규칙적인 배열로써 동일한 단차 또는 단차 구간에 위치하는 것들의 입력을 용이하게 하기 위하여 group개념을 도입하였다. 입력 방법은 group 중 기준이 되는 하나의 형상 및 위치를 입력하고, 나머지 것들은 이것과의 배열 관계를 지정해 줌으로써 group에 속하는 모든 특징형상들의 형상정보를 효율적으로 표현할 수 있다. 예를 들어 Fig. 10과 같이 2단차 제품(2 stepped cup)의 flange부와 1-2 단차구간에 3가지 모양의 피어싱(piercing) 특징형상(Fig. 10 하단에 ①, ②, ③으로 구분)이 존재하는 경우에 group의 개념을 사용하지 않고 각 피어싱 특징형상에 대해 형상 정보를 입력하고자 한다면 8개의 형상 정보를 입력해 넣어야 한다. 그러나 group개념을 이용하면 이 8개의 특징형상들을 Fig. 10의 우측에 보인 것과 같이 3개의 group으로 간단하게 표현할 수 있다.

반면, 배열형상이 불규칙적인 경우는 독립된 그룹으로 정의하여야 한다.

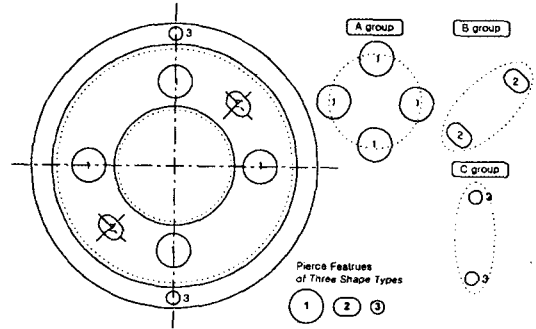


Fig. 10 Three groups of classified features

본 시스템은 3차에 걸쳐 공정설계한 결과 파스태이지 문제나 간섭문제를 해결하지 못했다거나, 또는 사용자가 공정설계의 결과에 대해 수정할 필요가 있는 경우를 위하여 수정이 편리한 편집기(editor)를 개발하였다(Fig.11 참조).

Fig. 11에서와 같이 각 가공 공정이 이루어지는 금형의 스테이지는 사각형 모양의 프레임(frame)으로 나타나고, 각 스테이지에서 이루어지는 가공 공정 내용인 '공정 수', '특징형상의 종류'와 '단차(or 단차 구간)', 그리고 반경 방향 가공인 경우 '가공각도'등을 표시한 텍스트 박스(text box)가 해당 스테이지(frame모양) 구역에 전문가 시스템에 의하여 출력되는데 사용자가 이의 스테이지 순

2.3.2 공정설계 결과의 수정

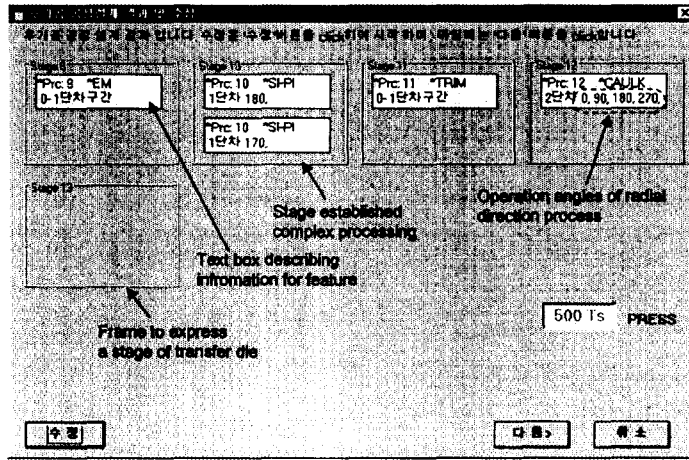


Fig. 11 Editor for the eventual change of stages of manufacturing features

서를 임의로 마우스를 이용하여 옮길 수 있다. 작업이 매우 단순하여 효율적이다.

2.3.3 전문가 시스템의 구현

개발된 전문가시스템의 구조는 Fig. 12와 같다. 공정설계 지식베이스를 전문가 시스템 개발 도구인 Intelligent Rules Element를 이용하여 구축하였고, SUI부분은 Visual Basic 4.0을 이용하여 개발했다. 시스템의 공정설계 결과는 AutoCAD상에 자동으로 출력 되어질 수 있도록 AutoLISP을 이용하여 개발하였다.

■ System User Interface

공정설계에 필요한 최소한의 정보인 제품의 형상정보와 2.3.1절에서 언급된 제조 특징형상의 형상 및 위치 정보 등을 입력할 수 있는 윈도우(window)를 제공하며, 특징

형상 공정설계 결과의 화면출력과 편집, 수정 할 수 있는 편집기 윈도우(Fig. 11 참조)또한 지원한다.

■ Inference Engine

전문가시스템의 개발도구를 사용하였고, 추론 방법으로는 역방향추론 방법을 이용하였다. 이는 공정설계가 3단계로 이루어져 단계별로 규칙의 그룹화가 가능하였고, 추론과정에서 설정된 가설과 관련 없는 사실과 규칙에 대해 추론시간을 단축할 수 있기 때문이다⁽¹¹⁾.

■ Knowledge Base

지식베이스의 지식표현은 효율적인 표현을 위해 개발도구가 지원하는 객체와 규칙에 의한 혼합형 지식표현 방법을 이용하였다^{(12),(13)}. 제조 특징형상의 형상정보는 규칙을 이용한 추론에 사용되는 사실(fact)들로써 객체로 표현된

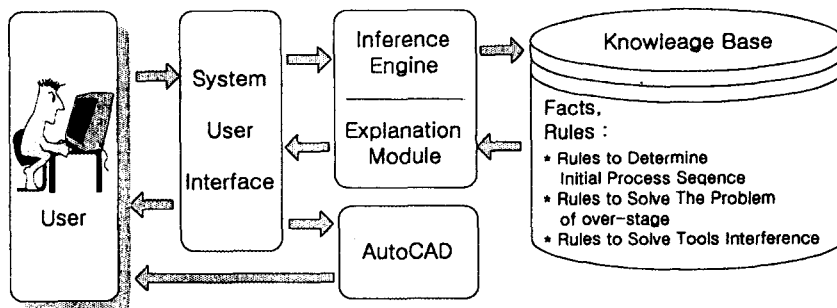


Fig. 12 Architecture of the developed expert system

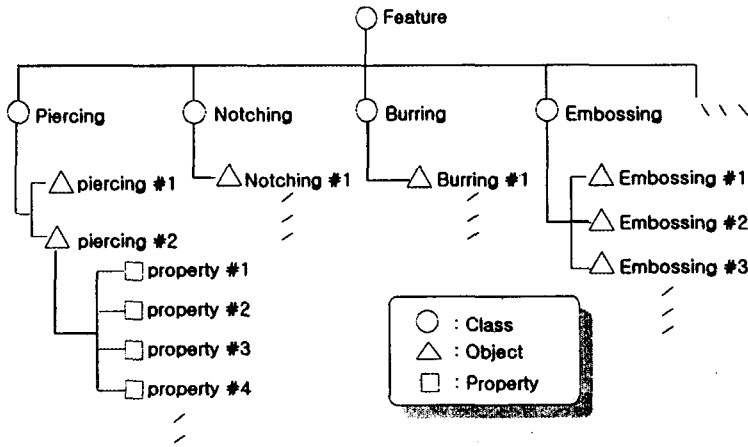


Fig. 13 Object oriented structure of manufacturing feature knowledge

다. 이 객체표현은 Fig. 13과 같이 'Feature'라는 루트 클래스(root class) 아래 종류별로 개별적인 속성을 갖는 사례 객체(instance object)로 구성되며, 추론 결과로 나타나는 공정계획 결과도 객체로 저장된다.

또한 이 사실들을 토대로 의사결정을 할 수 있도록 규칙들을 사용하여 추론을 위한 공정설계 지식들을 표현하였는데, 이 설계 지식들은 앞서 언급한 2.2절의 공정설계 지식들에 해당한다. 3차에 걸친 공정설계 지식은 Fig. 14와 같이 관련규칙들이 서로 연결(channing)된 형태로 지식베이스에 표현되었다. 따라서 본 개발 시스템은 규칙기반추론(RBR : Rule-Based Reasoning)에 기초한 전문가 시스템이라 할 수 있다. 사용된 규칙들 중 간섭여부를 검사하는 규칙의 예는 아래와 같다.

```

IF n stage의 가공방향 == 반경방향 AND
n+1 stage의 가공방향 == 반경방향 AND
{
IF n stage 와 n+1 stage의 공구접근 각도
== Fig. 5 (a)에 해당 OR
n stage 와 n+1 stage의 공구접근 각도
== Fig. 5 (b)에 해당 OR
n stage 와 n+1 stage의 공구접근 각도
== Fig. 5 (c)에 해당
THEN 두 인접 스테이지 간섭현상 유
}
ELSE 두 인접 스테이지 간섭현상 무
    
```

■ Explanation Module

의사결정의 결과에 대해 사용자에게 어떻게(how), 왜(why) 그런 결과가 나왔는지를 설명하면 추론결과에 대한 신뢰가 높아지며, 비전문가에게 학습의 기능을 제공할 수 있다⁽¹⁴⁾. 이러한 목적으로 본 시스템은 설명기능을 개발도구를 이용하여 구현했다. 모든 추론이 종료된 후에 설명모듈이 제공하는 정보는 Fig. 15와 같은 내용을 갖는 텍스트(text)파일 형식으로 출력된다.

파일은 다음과 같은 내용을 담고 있다.

- 추론과정에서 평가된 각 가설들(hypotheses)이 갖는 결과값(true, false, undetermined)들과 어떻게 그런 값을 갖게 되었는가에 대한 구체적인 증거(evidence)들을 제시한다.
- 증거는 두 가지 형식으로 제시되는데 거짓인 가설에 대해선 'Counter Arguments'를, 참이거나 혹은 결과가 모호(Notknown : 가정이 참/거짓을 판단하는데 data가 부족한 경우)한 가설에 대해선 'Suggestive Evidence'를 제시하여 사용자에게 추론과정에 대한 정보를 제공한다.

■ AutoCAD상으로의 출력

사용자 수정단계 까지 마친 공정설계 결과는 AutoCAD상에 자동으로 출력된다. Fig. 15와 같이 공정별로 해당 제조 특징형상을 갖는 제품의 단면도와 정면도가 각

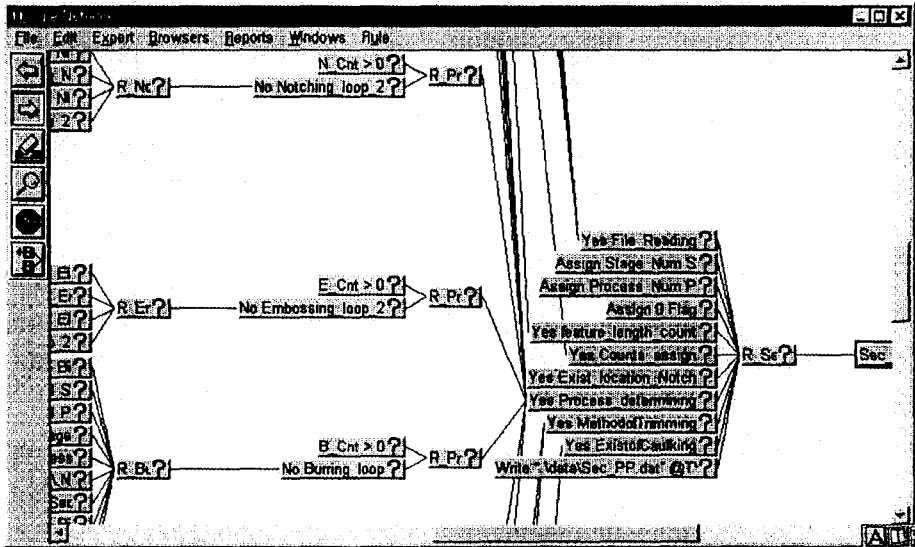


Fig. 14 An example of rule chaining

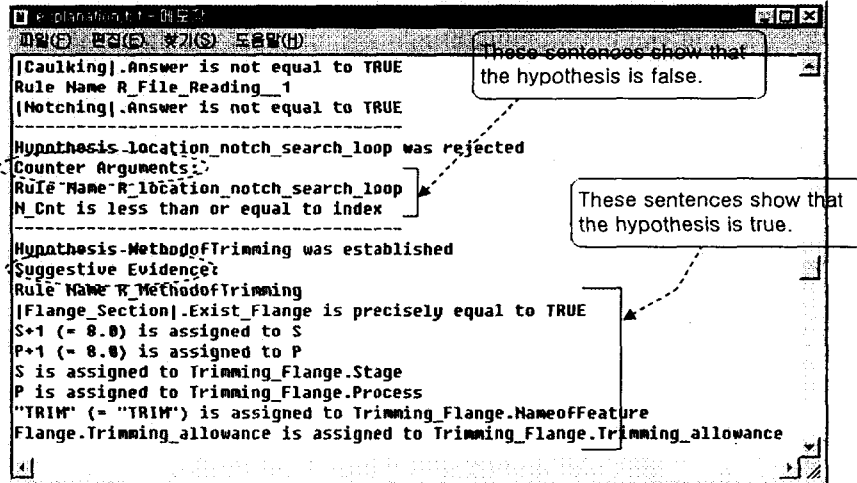


Fig. 15 Explanation for reasoning result

각 화면에 도시되고, 각 공정의 하단부에는 공정수 및 스테이지 번호와 가공명들이 함께 표시 되도록 했다. 또한 제품의 전체형상(정면도)에서 의미있는 중요한 치수들(예 : 제품의 전체높이, 단차별 내경 등)이 자동으로 기입될 수 있도록 '자동 치수 기입' 기능을 구현하여 실제 수작업으로 그려진 도면과 동일한 형식으로 공정설계 결과가 출력된다.

■ 시스템 개발 도구

시스템 개발에 사용된 도구로 다음과 같다.

- System O/S : MS 한글 Window 95
- SUI (System User Interface) : MS Visual Basic 4.0
- 전문가 시스템 개발 도구 : Intelligent Rules Element

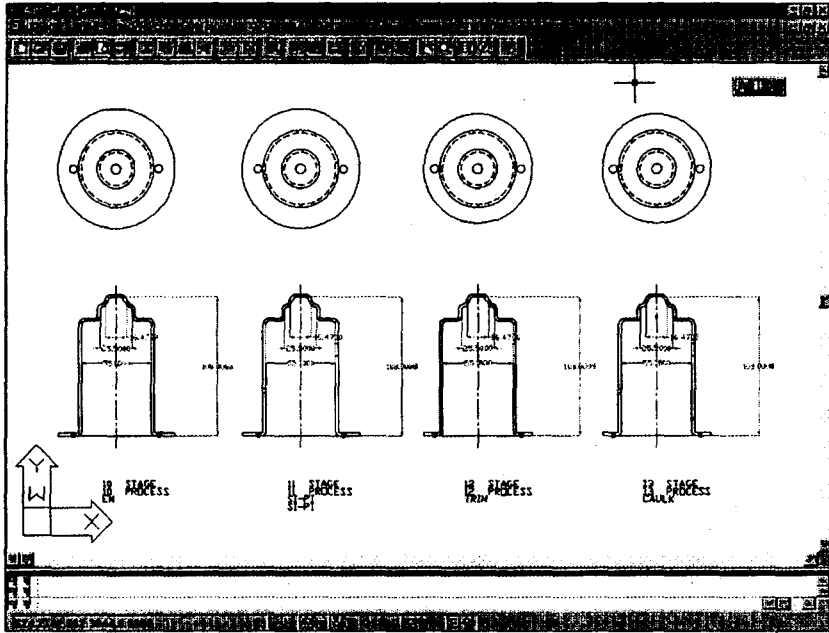


Fig. 16 An output example of the developed expert system

- CAD System : AutoCAD R14
- Language for Automatic Drawing : AutoLISP

3. 검토 및 결론

본 논문은 디프 드로잉 성형에서 본체 성형 후 피어싱(piercing) 등과 같은 다수의 제조 특징형상 가공을 해야 하는 경우에 이들의 가공을 위한 공정설계 방법론을 제시하였고, 이를 이용한 공정설계 자동화를 위한 전문가 시스템의 개발에 대하여 서술하였다. 이 공정설계 과정은 컵 모양의 디프 드로잉 가공 제품이 갖는 여러 개의 특징형상들을 효과적으로 가공하기 위해 제한 조건을 만족하는 최적의 가공순서를 결정한다. 이 분야의 체계적인 공정지식에 관한 문헌이 전무한 현실에서 공정지식을 정리하고 체계화한 것은 그 의미가 적지 않으며, 또한 공정설계의 자동화를 위한 공정설계 지원 전문가 시스템 개발도 새로운 시도이다.

특징형상들에 대한 수동입력 처리를 위해, 각 특징형상별 형상과 위치정의 파라미터들을 정의하였고, 효율적인 입력 작업을 위해 '단차/단차 구간', 'group' 개념을 고안하였다. 또한 3차에 걸친 특징형상 성형 공정설계 결과,

수정이 요구되는 경우 사용자의 수정작업이 용이하도록 실제 작업환경과 유사하게 '공정설계 결과 및 수정' SUI를 개발하여 직관적인 수정작업을 할 수 있도록 하였으며, 이와 더불어 공정설계 결과를 실제 수작업에 의해 그려진 도면과 동일한 형식으로 AutoCAD상에 출력되도록 함으로써 실용화에 역점을 두었다. 또한 의사결정 결과에 대한 설명 기능을 두어 사용자로 하여금 결과에 대한 의문해소와 신뢰를 가질 수 있도록 하였다. 시스템은 초보자도 사용할 수 있는 사용상의 간결성이 특징이며 전체 실행 시간도 실 시간으로 매우 짧다. 향후 연구로는 원통형 이외의 디프 드로잉에 대한 확장이 고려될 수 있다.

후 기

본 연구의 일부는 인하대학교 '96년도 교내연구비 지원과 만도기계(주)의 지원으로 수행된 것으로 관계제위께 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. X. D. Fang and M. Tolouei-Rad, "Rule-Based Deep-Drawing Process Planning for

- Complex Circular Shells," Engng Applic. Artif. Intell, Vol 7, No 4, pp. 395~405, 1994.
2. Suresh K. Sitaraman, Gray L. Kinzel and Taylan Altan, "A Knowledge-based system for process-sequence design in axisymmetric sheet-metal foming," *Journal of Materials Processing Technology*, 25, pp. 247~271, 1991.
 3. 박상봉, 최영, 김병민, 최재찬, "축대칭 디프 드로잉 제품에 대한 공정설계 시스템의 적용," *한국 정밀 공학회지*, 제14권, 제4호, pp. 145~150, 1997.
 4. Zhu Jin, Wang Xuewen and Ruan Xueyu, "An Expert System for Process Planning of Deep Drawing," *Proc. 4th ICTP, Beijing, China*, pp. 1875~1880, 1993.
 5. 진인태, 퍼스널 컴퓨터에 의한 디이프 드로잉 공정 설계 전산화에 관한 연구, 부산대학교 박사학위 논문, 1989.
 6. Tien-Chien Chang, *Expert Process Planning for Manufacturing*, Addison-Wesley Publishing Company Inc, pp. 67~69, 1990.
 7. Jami J. Shah, Martti Mantyla, *Pramatric and Feature-Based CAD/CAM : Concepts, Techniques, and Applications*, John Wiley & Sons, 1995.
 8. Donald F. Eary, Edward A. Reed, *Techniques of Pressworking Sheet Metal 2nd*, Prentice Hall, pp. 161~165, 1974.
 9. 이재원, 조성진, 오준환, 남배중, "Deep Drawing 공정설계 전문가 시스템 DOX의 개발에 관한 연구," *한국 전문가시스템 학회*, 제2권, 2호, pp. 55~68, 1996.
 10. 오준환, 특정형상 및 단차를 갖는 Deep Drawing 공정설계 전문가시스템 개발에 관한 연구, 인하대학교 석사학위 논문, pp. 31~34, 1998.
 11. George F. Luger, William A. Stubblefield, *Artificial Intelligence : Structures and Strategies for Complex Problem Solving*, 2nd Edition, The Benjamin/Cummings Co, pp. 86~89, 1993.
 12. Neuron Data, *Elements Environment : Users Guide*, Neuron Data Inc. 1996.
 13. Neuron Data, *Elements Environment : Knowledge Design*, Neuron Data Inc. 1996.
 14. Adedeji B. Badiru, *Expert Systems Applications in Engineering and Manufacturing*, Prentice Hall, pp. 25, 1992.
 15. 국립 공업 시험원, *프레스 금형의 부품 및 성형작업 기준*, 국립 공업 시험원, 1987.