한국 CAD/CAM 학회 논문집
제7권 제1호 2002년 3월 pp. 9-17

학술논문

타원형 디프 드로잉 트랜스퍼 금형의 공정설계 전문가 시스템(II)

배원락*, 박동환*, 박상봉**, 강성수***

An Expert System for the Process Planning of the Elliptical Deep Drawing Transfer Die(II)

Bae, W. R.*, Park, D. H.*, Park, S. B.** and Kang, S. S.***

ABSTRACT

The study is insufficient on process planning of the elliptical deep drawing product. Thus, in this present study, the expert system for elliptical deep drawing products was constructed by using process sequence design. The expert system was developed to be based on the general concept of each entity. The system was developed in this work consists of sixth modules. The first one is a shape recognition module to recognize non-axisymmetric products and to generate Entity_list. The second one is three dimensional (3-D) modeling module to calculate the surface area for non-axisymmetric products. The third one is a blank design module to create suggested blanks of three shapes with the identical surface area. The fourth one is shape design module based on the production rules that play the most important role in an expert system for manufacturing. The production rules are generated and upgraded by interviewing field engineers, plastic theory and experiments. The fifth and sixth ones are a graphic module to visualize results of the expert system and a post module to rise user's convenience, respectively. According to constructed the expert system for process sequence design, it was possible to reduce the lead time.

Key words : Elliptical deep drawing, CAPP(Computer Aided Process Planning), Expert system, Entity_list

1. 서 론

디프 드로잉 공정 계획은 블랭크 형상의 결정, 드로잉 작업의 형태의 선정, 펀치 및 다이 형상반경의 결정과 같은 공구형상 설계, 성형에 영향을 미치는 인자를 고려한 공정분할, 그리고 공정분할 수에 따른 각 단계의 치수 결정에 이르는 모든 과정을 일컫는다.

언급한 위의 모든 과정을 고려한 공정설계는 이 분야에 풍부한 경험을 지닌 전문가만이 그 동안에 쌓아왔던 경험적 지식과 설계 이후의 수정에 의해서만 할 수 있는 분야로 여겨져 왔다. 그러나, 컴퓨터의 출현으로 인해서 방대한 양의 지식을 데이터베이스화하여 구축할 수 있고 또한 현재에는 모호한 지식까지도 컴퓨터가 인지할 수 있게 됨으로서 공정설계도 컴퓨터를 이용한 자동화 혹은 지능화 시스템에 적용하고 있다. 특히 이러한 추세는 전문가의 부재와 더불어 공정설계 과정에서 요구되는 많은 인력과 설계시간을 단축시키기 위해서 더욱 가속화되고 있다.

인공지능(AI:Artificial Intelligence)이론과 같은 배경지식들이 1950년대에 발표되었지만 이후에 CAPP분야에 적용은 1970년대 이르러 GT(Group Technology)를 이용한 시스템 개발이 있었고, 1980년대에 들어와서야 방대한 양의 데이터를 처리할 수 있는 컴퓨터의 출현으로 이론적인 기술들이 전문가 시스템 공정계획과 같은 CAPP에 적용 되어졌다[1,2].

최근 디프 드로잉 공정설계는 전문가 시스템 및 AI 개념을 도입하여 활발하게 전개되고 있다. 디프 드로잉 공정설계에 관한 연구는 1985년 G. Eshel[3] 등이 자동 창생에 관한 규칙 베이스 시스템을 개발하였으

*부산대학교 정밀기계공학과 대학원
**종신회원, 동의공업대학 금형설계과
***부산대학교 기계공학부
- 논문투고일: 2000. 12. 26
- 심사완료일: 2001. 9. 17

며, 각형 디프 드로잉의 공정분할에서 퍼스널 컴퓨터를 이용한 블랭크 형상 및 공정분할수의 계산에 관하여 G. Perotti[4] 등이 연구한 것이 보고되고 있다. M. Tisza[5]는 디프 드로잉 공정의 CAD/CAM 시스템에 관해 기술하고 블랭크 설계와 이의 레이아웃(layout) 설계에 대한 연구결과를 발표하였다. 1991년 S. K. Sitaraman[6] 등은 축대칭 판재 금속의 성형에 있어 G&TR(Generate, Test & Rectify)[3,12]기법을 이용하여 지식베이스 시스템을 개발하였다. 축대칭 디프 드로잉 제품의 공정설계를 위한 컴퓨터 시스템의 응용기술은 다양한 관점에서 연구되고 있다[7]. 하지만, 타원형 디프 드로잉 제품에 대한 공정설계 자동화 시스템에 관한 연구는 그 결과가 아주 미비한 실정이다. Park[8] 등이 개발한 시스템의 경우는 변성법(variant process planning)[1,2]을 기본으로 현장기술자의 지식과 기본적인 공정규칙에 설립에만 중점을 두고 개발되어 한정된 제품에만 적용되었다. 그러므로 타원형 디프 드로잉 제품에 관한 공정설계는 다양한 접근방법을 통한 자동화 혹은 지능화 된 시스템 개발이 요구된다.

본 연구는 여러 가지 형상의 타원형 디프 드로잉 제품에 관해서 D/B를 구축하고 현장 기술자들의 경험적 지식을 생산 규칙화하여 전문가 시스템을 구축하는 것이 목적이고, 시스템의 신뢰성 확보를 위해 실제 금형제작을 통한 디프 드로잉 실험과 현장 기술자들과의 피드백(feedback)을 실시하여 산업 현장에 적용 가능한 시스템을 구축하였다.

2. 공정설계 시스템 구성 및 원리

2.1 시스템의 공정설계 규칙과 데이터 베이스

개발된 타원형 디프 드로잉 제품의 공정설계 전문가 시스템의 공정설계 규칙 및 D/B는 원통형 디프 드로잉을 기본으로 하여 관련 논문과 기존 문헌에 나와있는 소성역학이론을 참조하고 현장기술자의 경험적 지식을 피드백에 의해 D/B화하여 이루어진다. 이러한 규칙 베이스는 일반 규칙, 형상 설계 규칙, 검사 규칙, 그리고 변형영역과 블랭크 크기 계산으로 나누어진다[8]. 시스템의 규칙 베이스는 서술논리 형태의 술어로직(predicate logic)과 결정트리(decision tree)에 기초한 "IF[condition] THEN[actions]"형태의 생산규칙을 사용하여 구축하였다[1,2]. 또한 규칙 베이스는 계속적인 현장 전문가의 인터뷰와 실험 등을 통해 정량화, 체계화하였다. 공정설계 규칙을 생성하기 위해 경험적 지식들을 D/B화하고, 트라이아웃(tryout)에 의해서 성공적으로 설계된 제품에 대한 연구와 여러 종류의 실험들을 실시하였다. 예로 타원형 제품에 적합한 블랭크 형상을 위한 실험을 통해 3가지 형상의 블랭크를 제시하였고, 기존 문헌에도 정량화되지 않았던 펀치 · 다이 형상반경에 따른 성형성을 고찰하였으며, 중간형상에 대한 표준화 등 타원형 디프 드로잉 공정설계에 영향을 주는 인자들에 대한 연구를 수행하였다. 이러한 계속적인 D/B의 구축에 의해서 공정설계 규칙이 생성되고 수정되면서 구체적으로 체계화된다. 이와 같이 얻어진 D/B들은 생산규칙 형태로 시스템에 적용되고 시스템 결과들에 의한 검토와 피드백에 의해서 전문가 시스템이 신뢰성을 가지게 된다[14-16].

2.2 공정설계 시스템 구성

본 시스템은 CAPP시스템의 형태 중 창생법[1,2]을 기본으로 구축되었다. 창생법에 의한 시스템은 전문가의 경험적 지식에 의한 규칙 베이스와 완벽한 입력 모듈에 의한 몇 개의 제품이 아닌 유사 형태의 제품을 공정설계 할 수 있는 시스템을 의미한다. 이와 같은 능력을 갖춘 시스템을 개발하기 위해서는 무엇보다도 시스템의 모듈화(modularization)가 중요하다. 그래서, 개발된 시스템은 형상인식 모듈, 3차원 모델링 모듈, 블랭크 설계 모듈, 형상설계 모듈, 그래픽 모듈과 사용자 편의를 위한 후처리 모듈까지 크게 6가지로 구성되어 있다.

Fig. 1은 개발된 전문가 시스템의 부함수들로 표현되어진 개략도이다. Fig. 2에서는 기존의 프로그램은 (a)와 같이 순차적 프로그램 흐름을 가지지만 본 시스템은 (b)와 같이 프로그램 흐름이 가상의 공간상에 세부 모듈이 존재하는 형태로 설계한 것을 보여준다.

개발된 전문가 시스템은 제품의 입력과 공정설계 결과 출력을 위해 AutoCAD 환경 하에서 시스템 인터페

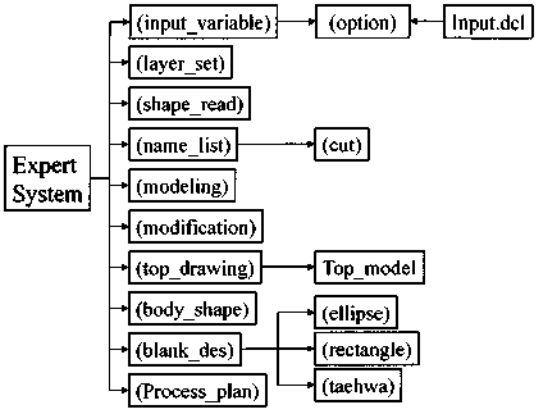
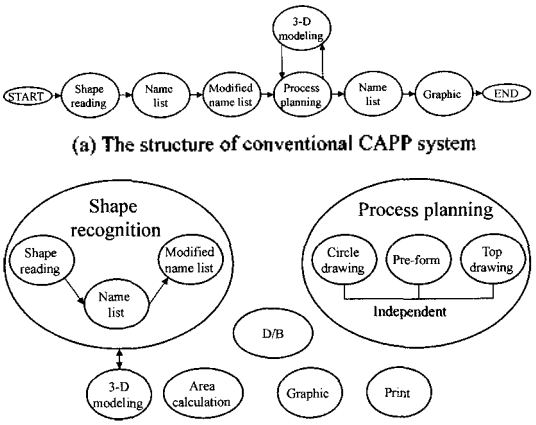


Fig. 1. The structure of expert system.



(a) The structure of conventional CAPP system

(b) The structure of applied CAPP system

Fig. 2. The structure of CAPP system.

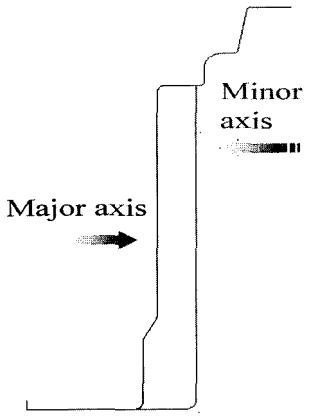


Fig. 3. Initial cross-section shape for the expert system.

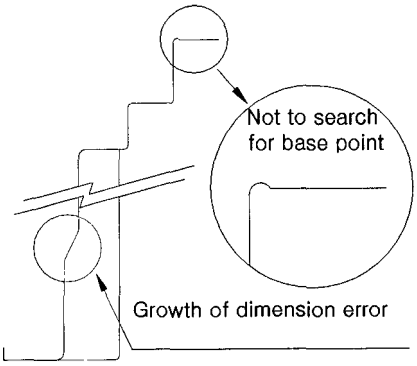


Fig. 4. Example of error.

이스(interface) 언어인 AutoLISP 언어를 이용하여 개발하였다. 제품 형상의 입력은 실제 제품의 단면 형상을 DWG 형식으로 받아들여 AutoCAD 환경에서 사용이 쉬운 DXF 형식을 이용하여 처리하였다[9,10].

그리고, 생성된 입력 데이터를 공정설계 시스템 구축에 필요한 데이터 형식으로 변환하였다. 이 데이터는 시스템 엔진인 형상 설계 모듈에 입력되어 공정설계 결과를 데이터 양식으로 출력하고 마지막으로 그래픽 모듈을 통해 가시화 된다. 또한 시스템 결과를 CAD 초보사용자도 쉽게 볼 수 있도록 후처리 모듈을 개발하여 사용자 편의를 도모하였다. 개발된 시스템은 제속적인 전문가와의 피드백을 통한 생산규칙의 수정과 시스템 디버깅(debugging)가 쉽도록 하기 위해 I/O 데이터가 확실한 프로그램의 모듈화를 실시하였다. 이러한 일련의 과정을 통해 시스템의 신뢰성(reliability)과 유연성(flexibility)을 확보하였다.

2.2.1 형상 인식 모듈

형상 인식 모듈은 제품의 형상단면을 읽고 그것을 공정설계 시스템에 적용이 용이한 데이터 형식으로 바꾸는 일련의 과정을 수행한다.

본 시스템에서 형상 인식 모듈의 역할은 초기 입력되는 AutoCAD의 DWG 파일에서 공정설계에 필요한 정보를 얻는 것이다. 다음은 이런 정보를 얻기 위해 개발된 세부 모듈에 대해서 설명하고자 한다.

2.2.1.1 형상입력

초기의 데이터 형식은 제품이 타원형 디프 드로잉 제품이므로 AutoCAD 환경에서 두 개의 레이어(layer)로 표현되어진 형상을 Fig. 3과 같이 장변과 단변의 내측 단면형상을 도면 교환 파일 형식인 DXF의 형태로 읽는다. 여기에서 주의할 점은 제품의 형상특징 때문에 데이터가 직선과 원호 형상만으로 표현된다.

DXF형식으로 읽은 데이터를 직선의 시작점과 끝점, 원호의 시작점, 끝점 그리고 중심점에 대한 데이터를 임의의 순서로 받아들인다. 이러한 형태의 데이터 리스트를 시스템 상에서 Random_list라 정의한다.

2.2.1.2 엔티티 정렬

엔티티 정렬 모듈에서는 Random_list를 시스템에서 사용하기에 용이한 형식으로 바꾸기 위해 다음과 같은 여러 가지 과정을 수행한다. 먼저 엔티티 정렬의 기준이 될 머리부의 중심을 찾기 위해 Max_point 부함수를 실행하여 기준점을 인식하게 되고 그 다음 Sorting 부함수를 실행하여 머리부에서 플랜지부까지의 정렬된 Sort_list를 얻게된다.

2.2.1.3 Entity_list 생성

Entity_list 생성 모듈은 전문가 시스템의 규칙 베이스에 적용이 가능하도록 위치(geometry)데이터만을

가지는 리스트를 위상(topology)데이터를 가지는 Entity_list로 변환시키는 모듈이다[8].

Entity_list는 8개의 자리(digit)로 이루어진 리스트로서 직선과 원호가 한 쌍이 되어 표현되어지는데, 공정설계에 필요한 요소부위, 요소특징, 내경, 외경, 높이, 필렛반경(fillet radius) 그리고 7번째 자리의 특이형상에 관한 정보를 표현한다.

2.2.1.4 오차 수정

초기 단면 형상의 입력이나 Entity_list를 얻기 위한 일련의 과정에서 데이터간의 간섭오차가 생기게 되어 시스템의 오류가 발생하게 된다. 이런 점을 감안하여 기존 시스템[8]을 평가하여 본 결과 다음과 같은 3가지의 문제점이 발생되었다.

① DXF로부터 Random_list를 생성할 때 끝처리 오차의 발생

② 오차 발생으로 인한 기준이 되는 점을 구하지 못함

③ CW(clockwise)으로만 입력형상을 그려야만 함

Fig. 4는 시스템에서 발생될 수 있는 오류의 대표적인 예를 도시하였다.

본 연구에서는 위와 같은 문제점을 해결하기 위해 사용자 입력 형상의 정보와 관계없이 방향성를 부여하기 위해 시스템에서 순차적 정렬 과정을 할 수 있도록 Change_list 부함수를 첨가하여 사용자의 편의를 도모하였고, 부함수 Tolerance와 Cut등을 두어 리스트 데이터들의 소수점 이하의 자리 수의 끝처리 오차에 의한 오류를 방지하였다. 또한, 특이 할 부분은 Add_list 부함수로서 이 qnka수의 역할은 직선과 원호의 한 쌍으로 이루어지는 Entity_list에서 7번째 자리에 의해서 표현되어지는 특이형상에 의한 버그(bug)를 방지 위한 것이다.

Entity_list는 앞에서 언급한 바와 같이 직선과 원호의 한 쌍으로 이루어진다. 그러나, 인식된 형상이 원호-원호 또는 직선-직선인 경우 크기는 없고 위치만 있는 점으로 표현되는 엔티티를 첨가하여 Entity_list를 생성할 때 시스템 오류를 줄였다.

2.2.2 모델링 모듈

AutoCAD 환경에서 치수오차의 제약을 가장 많이 받는 부분이 3차원 모델링 부분이다. 따라서, 이 모듈에서는 부함수들을 세분화하고 치수 오차를 줄일 수 있는 부분을 첨가하여 오류를 최소화하였다. 모델링 모듈의 역할은 중요한 공정설계 변수인 제품과 각 공정별 형상의 표면적을 구하는 것이다. 표면적을 구하는 방법에는 수학적 공식에 의한 방법과 도해에 의한 방법[17] 등이 있지만 타원형 디프 드로잉 제품이기 때문에 앞에서 언급한 두 가지 방법에 의해서는 본 시스템에 적용된 제품의 표면적은 구할 수가 없다.

그래서, 본 연구는 AutoCAD 환경에서 3차원 모델링에 의해 표면적을 구하여 블랭크 설계와 각 공정별 성형 높이를 결정하였다.

2.2.3 블랭크 설계 모듈

블랭크 설계 모듈은 형상인식 모듈에서 구해진 Entity_list와 모델링 모듈에서 구해진 제품의 표면적 값을 이용하여 블랭크의 형상과 치수를 결정하는 모듈이다. 블랭크 형상은 개발된 전문가 시스템의 전반에 적용된 G&TR기법[3,12]을 이용해서 설계되어진다. 또한 블랭크 형상을 시스템 상에서 정의하기 위해서는 블랭크 전개 방법이 수식화 되어야만 한다. 이러한 맥락에서 개발된 시스템에는 세 가지 형상의 블랭크 제시하였다. 첫 번째는 현장의 경험적 지식에 의해 결정된 블랭크 형상을 AutoCAD의 'offset' 명령어를 이용하여 표면적 등가한 후 블랭크의 치수를 구하는 방법이다. 두 번째와 세 번째는 비축대칭 형상의 단면적을 각각 사각형과 타원형에 등가 시킨 후 기존 문헌에 나와 있는 블랭크 전개 방법을 사용한 뒤에 표면적을 등가하는 방법으로서 총 세 가지 방법을 제시하였다[17].

제시한 블랭크 형상들은 실험을 통해 정량화 되고 생산 규칙으로 체계화하였다. Fig. 5는 적용된 세 가지 방법에 의해 구하여진 블랭크의 형상과 치수를 보여준다[14].

2.2.4 형상설계 모듈

형상설계는 최종 제품으로부터 각 공정별 주요형상을 결정하는 부분이다. 형상설계 모듈은 생산 규칙의 형태로 저장되어 있는 규칙 베이스를 시스템에 적용하기 위한 모듈로서 형상인식 모듈에서 생성된 Entity_list의 정보와 모델링 모듈에서 계산되어진 최종제품의 표면적을 입력으로 한다. 입력된 데이터들은 생산 규칙을 수행함으로서 각 공정별 주요형상 치

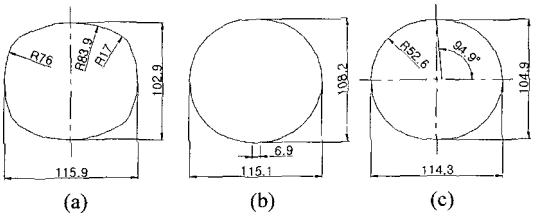


Fig. 5. Dimension and shape of each blank (a) Conventional blank, (b) Blank based on rectangular cup, (c) Blank based on elliptical cup.

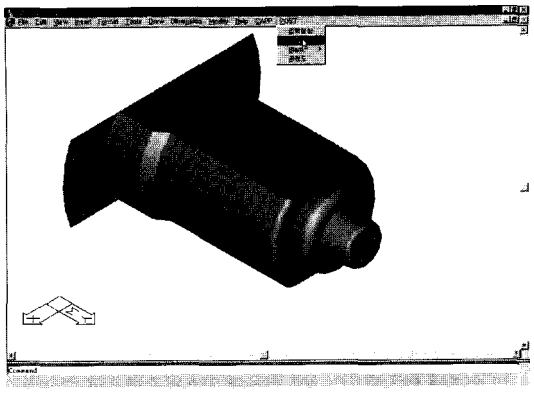


Fig. 6. Product shape viewed in the post module.

수를 결정하게 되고 이 정보들은 각 공정별 형상과 치수를 나타내기 위해 각 단계별 Entity_list로 저장되게 된다.

시스템의 구성원리는 구축되어진 규칙베이스가 전문가 시스템에 알맞은 형태인 생산 규칙 형태로 형상설계 모듈에 저장되며 이 모듈에서 입력 된 제품형상에 정보에 따라 공정설계가 이루어지게 되는 것이다.

2.2.5 그래픽 모듈과 후처리기 모듈

그래픽 모듈은 Entity_list 형태로 출력된 시스템의 결과를 AutoCAD에 상에 가시화 해주는 역할을 한다.

후처리 모듈은 AutoCAD 환경에서 시스템을 처음 사용하는 초보자일지라도 공정설계 시스템의 결과 파일(*_rec.dwg)을 읽는데 편의를 주고자 개발하였다.

Fig. 6과 같이 POST라는 입력창에 풀다운(pull down) 메뉴를 만들어 입력형상, 제품형상, 블랭크 형상, 공정도를 볼 수 있도록 하였다. 입력형상 부분은 초기 입력형상을 두께와 함께 나타내고, 제품형상 부분은 최종제품을 3-D모델링하여 입체적으로 표현하는 것이며, 블랭크 부분은 표면적 일정법칙에 의해 설계된 세 가지 종류의 블랭크를 설계 순서와 치수를 나타내며, 공정도 부분은 시스템의 목표인 공정설계도를 나타내도록 하였다. 이와 같이 후처리 모듈을 개발한 이유는 앞의 결과들이 AutoCAD 환경에서 각기 다른 레이어에 저장이 되어 있는데, 이것을 쉽게 사용할 수 있도록 하기 위한 것이다.

3. 시스템 확장의 방향 및 방법

본 절에서는 전문가 시스템 개발의 원리라고 할 수 있는 시스템 확장에 대해서 기술하고자 한다. 시스템 확장이라는 것은 새로운 제품이 적용되었을 때 시스템에서 공정설계가 원활히 이루어지지 않을 때 행하여지는 것으로 이러한 과정의 반복을 통하여 시스템은 계속 발전되고 결국은 인간의 역할을 배제할 수 있는 공정설계의 완전 자동화가 이루어진다.

시스템 확장 및 개발에 대한 기본적인 방향은 먼저 형상인식에 있어서 요소의 축소 및 확대 해석을 통하여 실제 가능한 엔티티를 반영한다. 그리고, 새로운 엔티티의 반영 시에는 Entity_list의 7번째 자리를 사용함으로써 형상의 특징에 관한 정보를 저장한다. 예를 들어보면 Entity_list에서 7번째의 자리를 아래와 같이 3가지 정수로 구분하여 시스템을 확장하는 것이다.

- 수직원호 : 2.0
- 오목원호 : -1.0
- 볼록원호 : 1.0

그러므로, 시스템 확장의 기본 방향은 위와 같이 7번째 자리를 기존 시스템 전반에 반영하고, 버그 여부를 검토하여 수정해 나가는 것이다. Table 1에서 Table

Table 1. Method of system development on flange part

Anticipation entity	Shapes	Method of construct system
Horizontal		Composition of identical system
Vertical		To regard state without flange
Taper		To append new production rules
Circular arc		Composition of identical system "Horizontal" DO = DI (in Entity_list)("flange" HL 1.6 41.0 41.0 0.0 0.0 7.0) To append new production rules

Table 2. Method of system development on vertical part

Anticipation entity	Shapes	Method of construct system
Vertical		Composition of identical system
Taper		To append new production rules
Vertical circular arc		("wallN" VL 1.6 41.0 41.0 11.0 **2.0** 7.0) To append new production rules
Convex circular arc		("wallN" VL 1.6 41.0 41.0 0.0 **2.0** 7.0) To append new production rules

Table 3. Method of system development on horizontal part

Anticipation entity	Shapes	Method of construct system
Horizontal		Composition of identical system
Taper		To append new production rules
Concave circular arc		("wallN" HL 1.6 41.0 41.0 0.0 **-1.0** 7.0) To append new production rules
Convex circular arc		("wallN" HL 1.6 41.0 41.0 0.0 **1.0** 7.0) To append new production rules

Table 4. Number of condition for product

Mixture of stage		Number of condition
Number of stage in the head	Number of stage in the body	
1	0	24
1	1	216
1	2	1944
2	0	144
2	1	1296
2	2	11664
3	0	864
3	1	7776
3	2	69984
Total		93,912

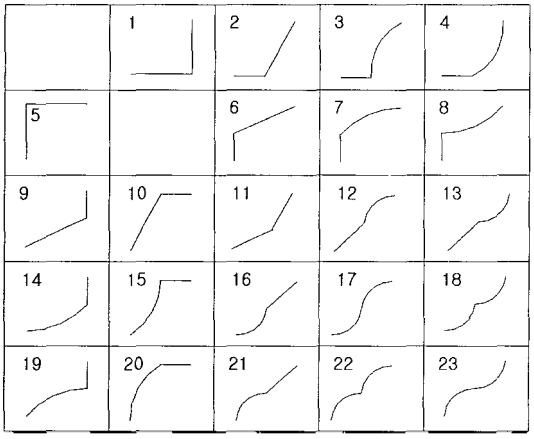


Fig. 7. Preparation of anticipatory entity.

3까지는 원호 형상 적용의 구체적인 방법을 보여준다.

시스템에서 무엇보다도 중요한 것은 생산 규칙이겠지만 달리 생각하면 또한 중요한 부분은 형상 특징을 완벽하게 인식하는 것인데, 이 부분은 현장 기술자들과의 인터뷰에 의해서 예상되는 제품의 엔티티를 정리하여 공정설계에 합리화를 부여하였다.

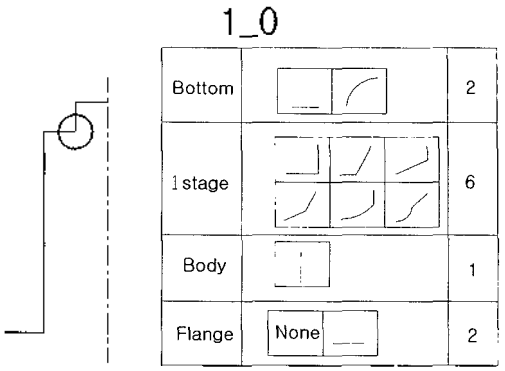


Fig. 8. Number of condition (upper; 1, lower; 0).

Table 4의 결과는 예상되는 엔티티를 먼저 Fig. 7과 같이 단순히 기하학적인 엔티티 조합을 나타낸 다음 이것을 제품의 형상을 고려하고 실제 디프 드로잉 공정으로 생산 할 수 있는 조합인 Fig. 8과 같은 형태로 찾아보면 도출된다. 이러한 방법으로 형상 인식이 시스템에 반영되면 설계규칙 보안 및 추가를 통해 시스템 확장이 이루어진다.

4. 시스템의 적용 및 검증

개발된 공정설계 전문가 시스템에 타원형 디프 드로잉 공정을 가지는 자동차 모터 프레임 제품을 적용해 보면, 먼저 입력형상을 도시한 다음 시스템을 실행시키면 Fig. 9와 같이 초기 데이터를 입력을 위한 입력창이 나타난다.

이 후 공정설계에 사용할 블랭크 형상을 선정하고 원형 드로잉과 머리부 드로잉에 각각 규칙 베이스에 저장되어있는 드로잉률 테이블을 선택하면 시스템이 작동되고 그 결과 공정설계도가 가시화 된다.

Fig. 10과 Fig. 11은 기존 시스템에서는 적용할 수 없었던 머리부에 테이퍼가 있는 제품과 수직원호가 있는 제품을 각기 다른 규칙 베이스를 이용하여 얻은 공정설계도이다. 이와 같이 확장된 시스템에서는 더 많은 제품의 공정설계는 물론이거니와 엔티티 개념에 따라 시스템을 개발함으로서 시스템의 유연성을 확보하였다.

현장의 공정설계는 중간 형상에 대해 구체적인 데이터가 제시되지 못한다. 이러한 이유로 현장의 전문가가 유사한 형태의 제품을 공정설계 할 경우에도 수 차례의 트라이아웃에 의한 생산성 감소의 이유가 될 수 있다. 그러나, 시스템에 의한 결과는 실험을 통한 성공

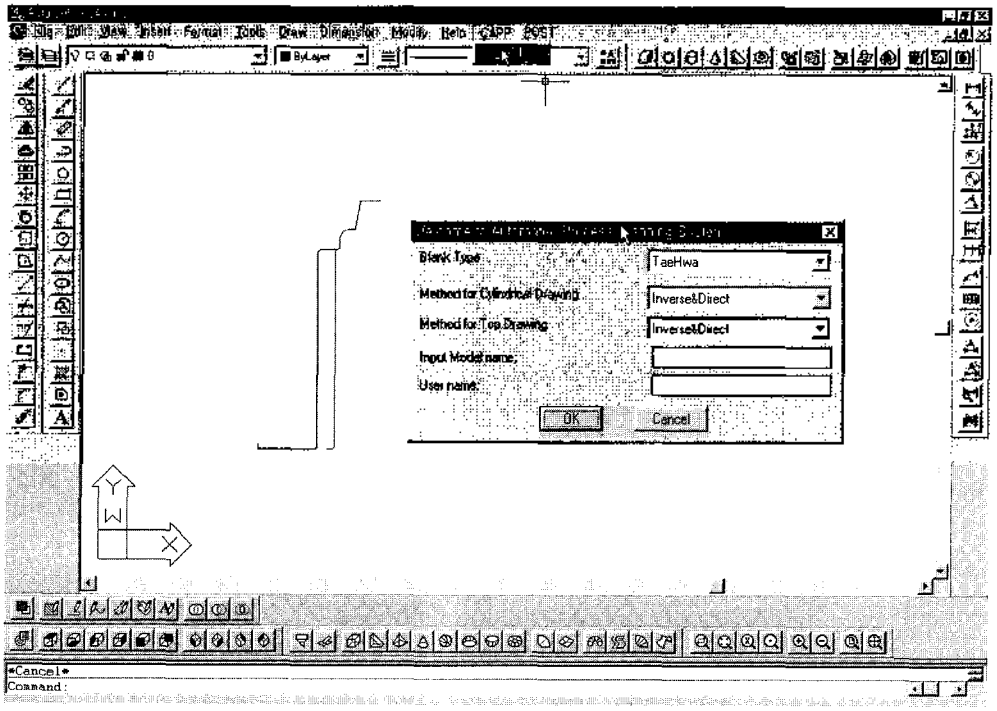


Fig. 9. User interface to input intial shape of product.

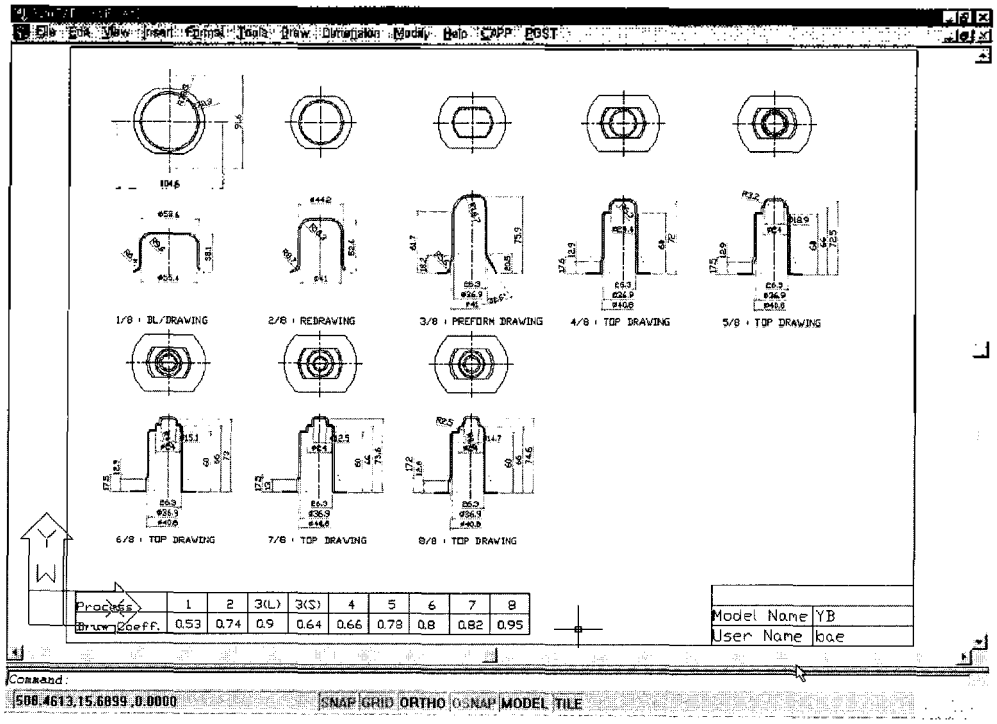


Fig. 10. Process sequence of model by the system.

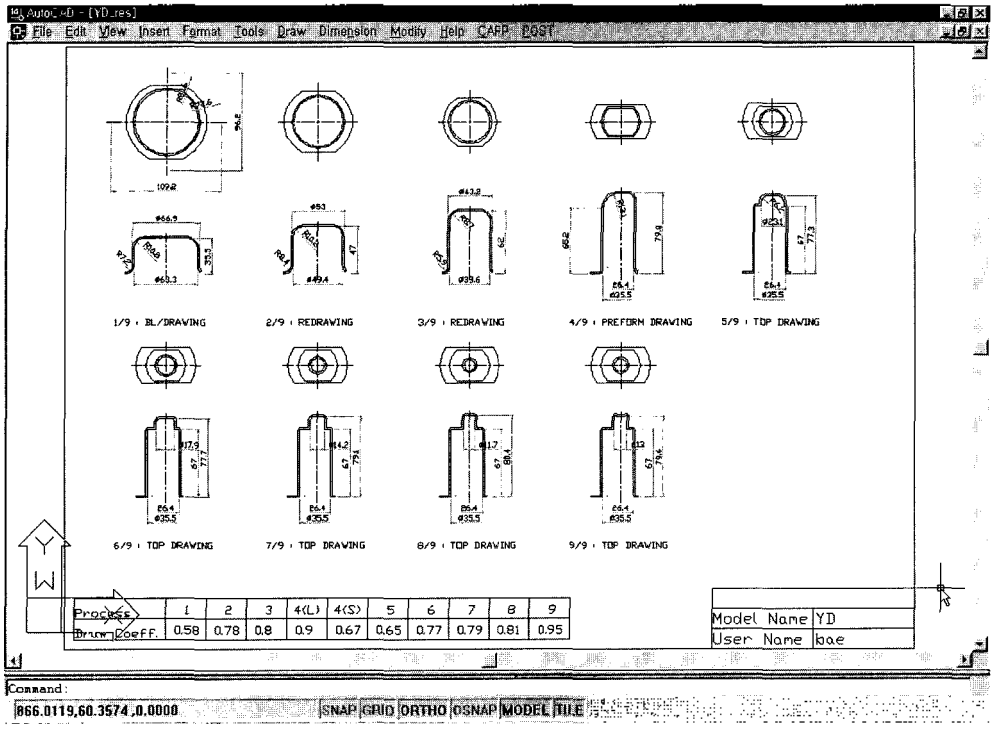


Fig. 11. Process sequence of model by the system.

적인 제품의 성형을 확인은 물론이거니와 드로잉률 분포에서도 변형이 집중되지 않고 안정한 공정설계가 이루어졌음을 보여준다. 또한 시스템에 의해서 공정설계가 되면 공정설계 시간(5분 이하)을 단축하여 매우 높은 생산성을 가질 수 있게 된다.

개발된 시스템은 각각의 제품에 따라 시스템의 능력을 향상시킨 것이 아니라, 부분 엔티티의 개념을 확장시킴으로서 보다 다양한 제품의 공정설계 결과를 얻을 수 있다. 또한 원통형 드로잉률 결정방법과 타원형 드로잉률 결정방법을 분리하여 결정할 수 있도록 하여 총 4가지의 결과를 도출할 수 있도록 하였다.

그래서, 일방적인 결과를 도출하기보다는 사용자의 의견이 반영되도록 하여 시스템을 유연화하였고, AutoCAD 환경에서 설계자의 의견에 가장 부합하는 결과를 선택할 수 있으며, 또는 여러 가지 결과를 분석하여 조합할 수 있도록 하였다.

5. 결 론

본 연구에서는 타원형 디프 드로잉 공정설계 전문가 시스템을 현장의 경험적 지식, 성공적인 공정설계 사례, 소성 역학 이론 등을 데이터 베이스화 하여 개발하고, 실제 현장에서 사용되고 있는 자동차 모터 프레임을 적용하여 본 결과 다음과 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 타원형 디프 드로잉 관한 현장의 경험적 지식을 시스템 개발을 위해 규칙 베이스화 함으로서 정량화 하였고, 공정설계에 일관성을 부여 할 수 있었다.

(2) 비축대칭 형상에 관한 자동 형상 인식 방식을 제안하였으며 공정설계 시스템에 3-D 모델링을 적용하여 타원형 제품의 표면적을 계산할 수 있도록 하였다.

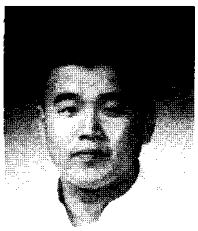
(3) 시스템 확장에 대한 방안을 엔티티의 개념으로 제안함으로서 보다 다양한 제품의 공정설계 결과를 얻을 수 있었다.

(4) 전문가의 의사 결정과 비슷한 수준의 타원형 디프 드로잉 제품의 공정설계가 자동화됨으로서 설계시간 단축을 통한 생산성 향상에 기여하였다.

참고문헌

1. Adedeji B. Badiru, *Expert Systems Applications in Engineering and Manufacturing*, Prentice-Hall Inc., 1992.
2. Tien-Chien Chang, Richard A. Wysk, *An Introduction to Automated Process Planning system*, Prentice-Hall Inc., 1985.

3. Eshel, G. Barash, M. M. and Chang, T. C., "A Rule-Based System for Automatic Generation of Deep Drawing Process Outline," *Computer-Aided Intelligent Process Planning*, Vol. 19, pp. 1-18, 1985.
4. Perotti, G. Maggiorano, E. Spirto, F. and Tornincasa, S., "A Calculation Program for Deep-Drawing Forms," *Annals of CIRP*, Vol. 34/1, pp. 236-240, 1985.
5. Tisza. M., "A CAD/CAM System for Deep-Drawing Processes," *Proc. 2nd ICTP, Stuttgart*, pp. 1667-1672, 1987.
6. Sitaraman, S. K. Kinzel, L. and Altan, T., "A Knowledge-Based System for Process-Sequence Design in Axisymmetric Sheet-Metal Forming," *Journal of Materials Processing Technology*, pp. 247-271, 1991.
7. 박상봉, 디프 드로잉 공정설계 및 금형설계의 자동화 시스템에 관한 연구, 공학박사 학위논문, 부산대학교, 1997.
8. 박동환, 박상봉, 강성수, "타원형 디프 드로잉 트랜스터 금형의 공정설계 전문가 시스템(I)," 한국CAD/CAM학회 논문집, 제5권, 제3호, pp. 255-262, 2000.
9. 김찬우, AutoCAD를 이용한 기계 · 금형설계자동화, 도서출판 성호, 1995.
10. AutoCAD Inc., AUTOCAD®사용자안내서, AutoDESK Inc., 1997.
11. Tien-Chien Chang, Expert Process Planning for Manufacturing, Addison Wesley, 1990.
12. Eshel, G. Barash, M. M. and Johnson, W., *Automatic Generation of Process Outline of Forming and Machining Processes*, ONR Contract No. 83 K0385, Final Report, Vol. 5, School of Industrial, Electrical Mechanical Engineering, Purdue University, West Lafayette, Indiana 47907, August 1986.
13. Park, D. H. Bae, W. R. and Kang, S. S., "Computer Aided Process Planning (CAPP) System for Non-Axisymmetric Deep Drawing Process," *Advances in Engineering Plasticity, Key Engineering Materials*, Vols. 177-180, pp. 523-528, 2000.
14. 박동환, 배원락, 박상봉, 강성수, "타원형 디프 드로잉 공정에서 블랭크 형상의 영향에 관한 연구," 한국소성가공학회지, 제9권, 제5호 pp. 469-477, 2000.
15. 배원락, 박동환, 박상봉, 강성수, "비축대칭 디프 드로잉 제품에서 펀치 및 다이형상반경의 영향," 한국소성가공학회 '99추계학술대회 논문집, pp. 26-29, 1999.
16. 박동환, 최병근, 배원락, 박상봉, 강성수, "디프드로잉 공정에서 블랭크 결정을 위한 제품의 표면적 계산 자동화에 관한 연구," 한국정밀공학회 '99년도 추계학술대회 논문집(II), pp. 902-905, 1999.
17. 中 川 威 雄, 新プレス加工データブック, 新プレス加工データブック編集委員會編, pp. 241-267, 1993.

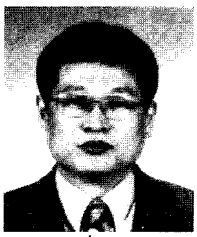


배 원 락

1999년 부산대학교 기계공학과 학사
2001년 부산대학교 기계공학전공 석사
2001년 부산대학교 정밀기계공학과 박사 과정
2001년~현재 (주)알진오토모티브 BEARING 연구소 연구원
관심분야: 자동차 금형, CAPP, EXPERT SYSTEM

박 상 봉

1986년 부산대학교 기계설계공학과 학사
1989년 부산대학교 기계공학전공 석사
1997년 부산대학교 기계설계공학과 박사. 금형기술사, 기계제작기술사, 기술지도사
1987년~1992년 삼성전관(주) 연구소 주임연구원
1992년~1992년 한국정보산업연구소 전무이사
1993년~현재 동의공업대학 금형설계과 부교수
관심분야: CAD/CAM, CAPP, EXPERT SYSTEM



박 동 환

1988년 부산대학교 기계공학과 학사
1994년 부산대학교 기계공학전공 석사
2002년~ 부산대학교 정밀기계공학과 박사 금형기술사, 건설기계기술사, 기술지도사
1987년~1995년 LG전자(주) 금형공장 주임연구원
1995년~1999년 삼성자동차(주) 차체부품개발 과장
2000년~현재 동의대학교 기계공학과 겸임교수
2000년~현재 부산대학교 기계기술연구소 전임연구원
관심분야: CAD/CAM, CAPP, 디프 드로잉

강 성 수

1976년 부산대학교 기계공학과 학사
1980년 서울대학교 기계공학전공 석사
1985년 경북대학교 기계공학과 박사
1987년~1997년 삼림산업(주) 기술고문
2001년~현재 부산대학교 부속공장장
1980년~현재 부산대학교 기계공학부 교수
관심분야: 용접변형, 소성가공