

타원형 디프 드로잉 트랜스퍼 금형의 공정설계 전문가 시스템(I)

박동환*, 박상룡**, 강성수***

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

Park, D. H. *, Park, S. B. ** and Kang, S. S. ***

ABSTRACT

A computer-aided process planning (CAPP) system for rotationally symmetric deep drawing products has been developed. The application for non-axisymmetric components, however, has not been reported yet. Therefore, this study investigates process sequence design in deep drawing process and constructs an expert system of process planning for non-axisymmetric motor frame products with elliptical shape. The system developed consists of four modules. The first one is recognition of shape module to recognize the products. The second one is a 3-D modeling module to calculate surface area for non-axisymmetric products. The third one is a blank design module that creates an oval-shaped blank with the identical surface area. The fourth one is a process planning module based on production rules that play the best important role in an expert system for manufacturing. The production rules are generated and upgraded by interviewing with field engineers. The constructed system using AutoLISP language under the AutoCAD environment is based on the knowledge base system which is involved a lot of expert's technology. Results of this system will be provide effective aids to the designer and engineer in this field.

Key words : Elliptical Deep Drawing, Process Planning, Expert System

1. 서 론

현재, 타원형 디프 드로잉 트랜스퍼 금형 설계 및 제작 기술은 경험 의존적이며 표준화의 미비로 반복적인 시행착오를 되풀이 함으로써 공정의 비능률 및 원가상승 요인이 빈번히 발생하고 있는 실정이다. 이러한 문제를 없애기 위해서는 여러 가지 공정변수를 고려하고, 금형설계 및 제작의 경우에 CAD/CAM 기술의 응용으로 설계규칙을 정식화하고, 설계자료를 데이터 베이스화하는 전문가 시스템의 개발 및 활용을 통한 디프 드로잉 공정의 고능률화 및 원가절감 그리고 생산성 향상이 요구된다.

현재까지는 원통형 디프 드로잉 제품은 디프 드로잉 가공의 기본으로 많이 연구되었다. 그래서 많은

응용형상들이 이에 근거하여 제작되고 있다. 원통형 제품의 경우, 제품이 결정되면 제품의 크기, 형상, 성형변수에 따라 공정설계가 이루어진다. 그러나 타원형의 경우, 산업현장에서는 공정설계 시 숙련된 기술자의 경험과 기존의 작업 방식에 근거하여 공정을 설계한다. 그 결과 반복되는 시행착오로 인한 납기 대응이 어렵고, 생산비용도 증가하게 된다.

최근, 컴퓨터의 발전과 더불어 소성가공 분야에서 공정설계의 자동화에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 예를 들어, Park^(1,2) 등은 축대칭 디프 드로잉 제품에 대한 공정설계 자동화 시스템을 개발하였고, T. Altan^(3,4) 등은 축대칭 판재 성형에 있어서 지식베이스 시스템을 개발하였다. 하지만, 모두가 축대칭 디프 드로잉 제품에 대한 적용이며, 비축대칭에 관한 공정설계 자동화에 관한 연구는 찾아보기 힘든 실정이다. 그 이유는 비축대칭 제품은 표면적 계산이 어렵고, 실제적인 설계 데이터도 부족한 실정이

*부산대학교 정밀기계공학과 대학원
**중신회원, 동의공업대학 금형설계과
***부산대학교 기계공학부

다. 그러므로, 비축대칭 제품의 공정설계 자동화에 관한 연구의 필요성은 크다.

금형제작과 가공에 관련한 기술개발은 단품 주문 생산 형태의 기술 집약적 산업이기 때문에 필요한 제반 전문기술을 소프트웨어에 의한 시스템 구축으로 전문기술을 단순화 혹은 무인화 시켜야 한다. 또, 금형제작 기반은 제품개발의 주기에 큰 영향을 미치므로 고속가공 기술 및 금형 제작과정의 성력화로 불필요한 작업을 줄임으로써 금형제작의 전체 납기가 줄어들고 숙련된 설계자를 양성하는 데 필요한 시간과 비용을 대폭적으로 줄일 수 있다. 숙련된 설계자의 공정설계 결과는 설계자의 경험에 따라 다르다. 이러한 점은 초보자의 교육 및 제품 생산에 있어 표준화된 설계지침을 확정하기 어렵게 만든다. 그러나 시스템을 개발함으로써 설계지침을 표준화할 수 있으며 초보자의 교육에 쉽게 활용할 수 있다⁹⁾.

본 연구는 자동차 부품용 타원형 디프 드로잉 제품을 가공하는 트랜스퍼 금형을 연구 대상으로 하여 금형을 제작하기 위한 공정설계를 자동으로 생성하는 CAPP 시스템을 개발하고자 한다. 대상 제품은 몸통 형상이 장변(Long Side)의 호와, 단변(Short Side)의 직선으로 구성된다. 비축대칭 형상 중에서 타원형 디프 드로잉 제품에 대해 디프 드로잉 기초이론과 현장 작업자의 시행착오를 통하여 생산규칙을 만들어 공정설계 전문가 시스템을 구축하였다.

개발된 시스템은 타원형 디프 드로잉 공정설계의 자동화를 실현함으로써 생산성 향상 및 원가절감은 물론, 제품 개발기간 단축 등으로 대외 경쟁력 강화가 기대된다.

2. 공정설계 규칙 및 시스템의 구성

2.1 공정설계 규칙

본 연구에서는 축대칭 원통형 디프 드로잉 가공기술을 기본으로 하여, 관련논문과 기술서 등에 제시된 값을 이용하였다. 하지만, 기존문헌의 데이터가 너무 제한적이어서 현장 기술자와 인터뷰를 통하여 타원형 제품에 대한 규칙으로 확장시켰다.

타원형 디프 드로잉 제품의 공정설계 규칙은 관련 자료와 현장의 성형 데이터로부터 적정 드로잉률, 한계드로잉률, 최적의 펀치 및 다이 형상반경, 블랭크 전개도, 적정 클리어런스 등의 공정설계 규칙을 정립하였다.

(규칙) 장변은 원형, 단변은 직선인 몸통을 타원형으로 정의한다.

(규칙) 완제품은 최종 드로잉 공정으로 한다.

(규칙) 완제품 형상과 크기로부터 표면적을 계산하는데, 표면적은 완제품을 두개의 중립면을 기준으로 3차원 모델링하여 계산한다.

(규칙) 소재의 형상은 판재이며, 블랭크는 원칙적으로 타원형이다.

(규칙) 표면적으로부터 등가 전개하여 블랭크 형상과 치수를 결정한다.

(규칙) 초드로잉률은 54%~58%이내로 적용한다.

(규칙) 마지막 원통형 드로잉이면, 다음 공정은 중간형상으로 정의한다.

(규칙) 공정은 원통형, 중간형상, 그리고, 머리(top)부 성형으로 구성된다.

(규칙) 중간형상 이전의 변형영역은 원통형 드로잉 공정으로서, 원통의 드로잉률을 적용한다.

(규칙) 중간형상을 설계하려면, 드로잉률은 장변 치수 기준으로 90%를 적용한다.

(규칙) 중간형상 공정에서 머리부 형상은 표면적일 정 조건으로 높이를 결정한다.

(규칙) 머리부 성형에서 첫 번째 공정이라면, 드로잉률은 64%~70%로 적용하며, 이후 공정은 재드로잉률을 적용한다.

(규칙) 머리부 성형에서 마지막 드로잉 공정이면, 드로잉률은 95%로 적용한다.

(규칙) 초드로잉 공정의 펀치 형상반경과 다이 형상반경은 재료 두께(t)의 4~6배를 적용한다.

2.2 시스템의 구성

AutoCAD가 지원하는 파일 형식으로 된 입력과일을 받아들이며, 설계된 공정을 AutoCAD가 지원하는 파일 형식으로 출력할 수 있도록, AutoLISP 언어로 개발하였다. Fig. 1은 전문가 시스템에 있어서 정보

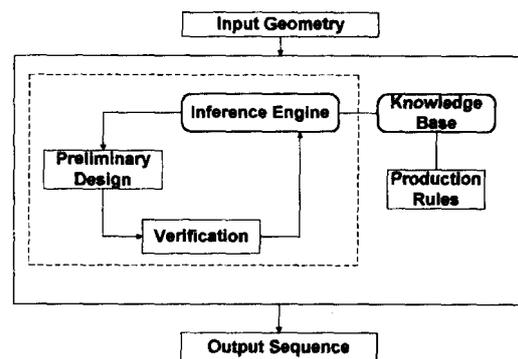


Fig. 1. Expert system structure.

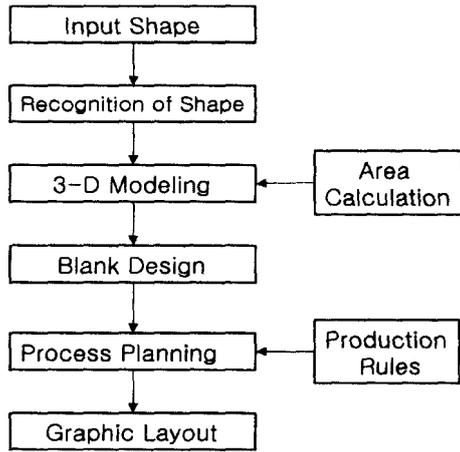


Fig. 2. Block diagram of CAPP system.

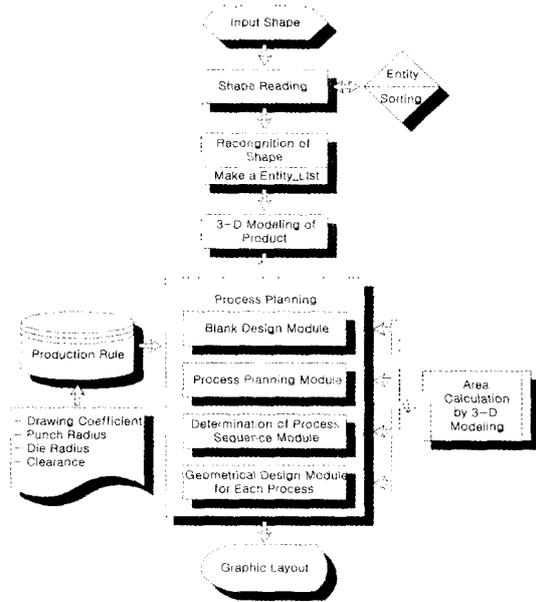


Fig. 3. The structure of CAPP system.

의 흐름을 보인다. 공정설계 규칙과 데이터 베이스의 정보를 이용하여 공정설계의 결과가 생성되는 과정을 나타낸다. 공정설계의 자동화를 이루기 위해서는 전문가의 지식 및 현장경험 과 데이터로 구축된 지식 베이스(knowledge base), 의사결정을 내릴 수 있는 추론기관(inference engine)이 필요하다. 본 시스템은 구축과 수정이 용이하도록 모듈화(modularity) 하였다^[5]. Fig. 2와 같이 4개의 주요 모듈과 이러한 각 모듈을 지원하기 위한 가공소재 및 설계 등에 대한 데이터 베이스와 공정설계에 대한 지식베이스로 구성된다. 각 모듈의 기능과 특징은 다음과 같다. Fig. 3은 시스템의 구성도를 나타낸다.

2.2.1 형상인식 모듈

제품이 비축대칭 타원형이고, 기하학적으로 2축 대칭을 나타내므로, 기존의 축대칭 공정설계 시스템으로는 제품의 기하학적 특성을 받아들일 수 없다. 그래서, 본 연구에서는 AutoCAD 상에서 2개의 레이어(layer)에 장변과 단변을 각각 입력하고, 형상을 자동 인식하여 얻어진 데이터를 공정설계에 이용하였다. 즉, 각각의 레이어로부터 엔티티(entity)들의 속성을 인식하고, 설계에 필요한 도면요소를 추출하여 도면의 엔티티를 정렬한다. 도면요소의 형상데이터를 정렬하기 위해 좌표값의 최대값을 구하고 이를 이용하여 형상데이터를 정렬한다. 정렬된 데이터는 내측과 외측으로 구분되며, 내측 데이터를 이용하여 디프 드로잉 공정설계에 유용한 데이터로 활용하였다. 이를 본 시스템에서는 Entity_List라 하며, 그 구성과 항목은 Table 1과 같다.

각 행에서 첫째 자리는 요소(entity)의 이름으로

Table 1. Definition of Entity_List

Entity_list	Contents
Entity_name	Feature that the entity represents (e.g. bottom, wall, flange)
Entity_type	Class of entity (e.g. HL, VL, TL) (HL: Horizontal, VL: Vertical, TL: Taper List)
T	Thickness
OD	Outside Diameter of entity
ID	Inside Diameter of entity
H	Height
N	Null (not used in the system)
FR	Filler Radius of entity

“flange”는 플랜지 요소를, “wall”은 벽 요소이며, “bottom”은 바닥 요소를 나타낸다. 둘째 자리는 요소의 형태로 HL은 수평, VL은 수직, TL은 테이퍼를 나타낸다. 셋째 자리는 요소의 두께를 나타내고, 넷째 자리는 요소의 외경을 나타내고, 다섯째 자리는 요소의 내경을 의미한다. 여섯째 자리는 요소의 높이를 나타내고, 마지막 자리는 요소의 필렛 반경을 나타낸다. 모두 8개의 정보로 Entity_List를 정하고, Entity_List가 입력되면 중심 축에 대해서 자동으로 도면을 창생할 수 있도록 하였다.

2.2.2 3차원 모델링 모듈

디프 드로잉 공정에서 블랭크 설계 시 표면적 일 정조건에 근거하여 직경을 결정한다. 축대칭 원통 제

품에 대한 표면적 계산은 공식이나 도표를 이용한다. 하지만, 비축대칭 제품의 경우는 이런 구체적인 방법이 없기 때문에, 이런 문제를 해결하기 위해 3차원 모델링을 이용하였다. 두께 변화를 무시하고 입력형상 모델에서 자동 인식한 2개의 레이어를 두께의 중립면으로 3차원 모델링하였다. 여기서, 3차원 모델링된 제품의 표면적은 AutoCAD 상의 기능인 "area" 기능을 이용하여 표면적을 계산하였다.

2.2.3 블랭크 설계 모듈

타원형 디프 드로잉 제품에 대해 현재까지 정식화된 블랭크의 형상은 제안된 것이 거의 없고, 현장 작업자의 오랜 경험과 축적된 노하우에 의해 플랜지 외관 및 성형성이 좋은 형상으로 결정되어 사용되어 왔다^{16,7)}.

본 시스템에 적용된 블랭크는 타원형 제품의 치수 특징상 크기가 큰 장축과 작은 단축으로 이루어진 형상으로 설계하였다. 블랭크의 크기는 3차원 모델링 모듈에서 구한 표면적을 현장 작업자의 생산규칙에 의한 기준이 되는 타원형 블랭크에 등가 표면적의 크기로 적용하여 결정하였다.

2.2.4 공정설계 모듈

타원형 디프 드로잉 금형에서 공정설계의 중요한 인자로 드로잉률, 재드로잉률, 다이 형상반경, 펀치 형상반경 등을 고려하였다. 드로잉률에 의해서 공정수가 결정되면, 각각의 변형영역에 대한 직경을 결정하고, 펀치와 다이의 형상반경은 직경 변화에 대한 비율로 적용하였으며, 표면적 일정조건에 따라 높이를 계산한다.

블랭크의 형상과 크기가 결정되면, 제품형상의 특징상 가장 알맞은 형태의 중간형상을 설계하고, 블랭크와 중간형상 사이의 원통 드로잉을 설계한 다음, 중간형상으로부터 최종 형상까지의 머리부 성형공정을 설계하도록 하였다.

3. 시스템의 적용 및 고찰

개발된 시스템에 대한 적용을 통하여 공정설계의 적정성 여부와 현장의 적용성 여부를 검토하기로 한다. 적용된 제품은 자동차에 장착되는 모터 프레임으로 타원형 디프 드로잉 공정 이후 피어싱, 트리밍 등 후가공을 거친다. 본 연구에서는 디프 드로잉 마지막 공정을 시스템의 입력 형상으로 적용하였다. 실제 제작공정은 공정 결과가 규칙성이 부족하고 많은 트라이아웃(try out)을 통해서 완성되며, 설계자의 판단에 크게 의존한다. 또한, 이러한 결과는 제품 치수

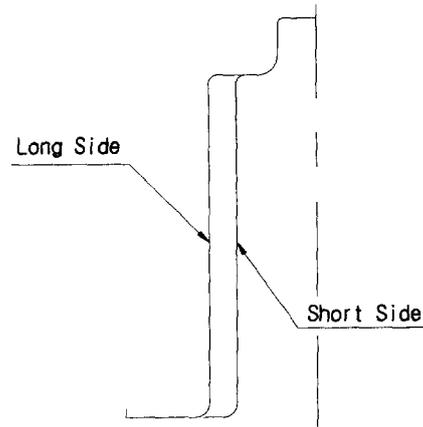


Fig. 4. Input shape of product.

나 사양, 설계자에 따라 상이한 양상을 나타낸다. 타원형 제품에 대한 공정설계 결과와 현장 설계자와 인터뷰 등을 통하여 규칙성을 부여하고, 정량화하여 공정설계규칙을 수립하였다. 그래서, 타원형 제품의 공정설계에서 초보자라도 쉽게 공정설계를 할 수 있도록 하였다.

타원형 디프 드로잉 제품의 몸통 형상을 입력형상으로 하여 시스템을 적용하고, 본 연구에서 개발된 시스템의 현업 적용 가능 여부를 검토한다. 입력으로 사용한 형상은 Fig. 4에 보인다. Fig. 5의 (a)는 제품의 중심을 직교하는 2축에 대한 측면도이며, (b)는 타원형 제품의 몸통부를 나타낸다.

타원형 제품의 형상특징상 수작업으로 완전한 표

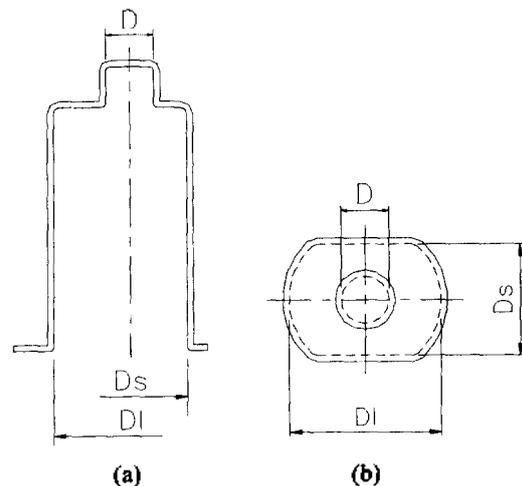


Fig. 5. Geometry of elliptical deep drawing product. (a) Side view of product. (b) Body shape of product



Fig. 6. 3-D model of product.

면적 계산은 거의 불가능하다. 그러므로, 3차원 모델링으로 간단히 표면적을 계산하여 블랭크 설계시에 적용하였다. Fig. 6은 타원형 디프 드로잉 제품을 3차원 모델링한 예를 보인다. 비축대칭 제품의 경우에 제품 형상을 받아들인 리스트를 두개의 중립면으로 3차원 모델링하여 AutoCAD에서 직접 표면적을 계산할 수 있는 기능을 이용하였다. 3차원 형상의 표면적을 계산하는 기능은 AutoCAD, IDEAS 등 대부분이 상업용으로 제공되고 있지만, 이것은 CAD의 기능을 이용하여 직접 제품을 3차원 모델링하여 표면적을 계산하나, 개발된 시스템은 기존 CAD의 기능을 이용하여 AutoCAD 상에 입력된 형상을 자동 인식하여 실행하면 자동적으로 3차원 모델링이 되어 정확하고 신속한 표면적 계산이 가능하도록 하였다.

Fig. 7은 타원형 디프 드로잉 공정의 블랭크 크기를 나타낸다. 여기서 구한 블랭크는 생산 현장에서 타원형 제품의 치수 특징상 크기가 큰 장축과 작은 단축으로 이루어진 타원 형상으로 블랭크를 설계하

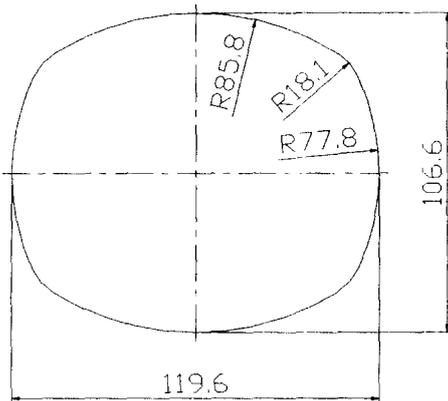


Fig. 7. Blank design of elliptical deep drawing.

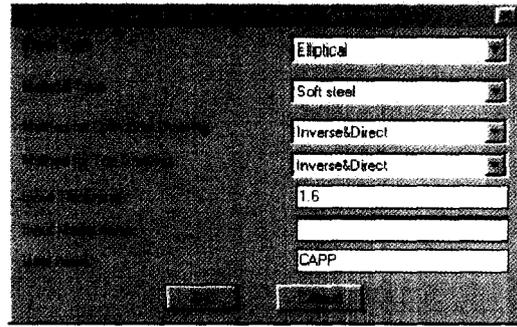


Fig. 8. Input specification of CAPP system.

도록 하였다. 또한, 현장 작업자와 인터뷰를 통하여 데이터 베이스를 구축하였고, 시행착오를 통한 시험 반복으로 블랭크의 최종 형상을 설계규칙으로 결정하여 반영하였다.

Fig. 8은 시스템 구동전의 입력사양을 나타낸다. 입력형상을 적재(loading)한 뒤 CAPP 풀다운 메뉴(pull-down menu)를 실행하면 자동적으로 구동된다. 시스템의 결과는 표면적 계산, 블랭크 설계, 또는 둘다 포함하여 공정설계까지 자동적으로 창생하도록 분리하였다. 그러므로, 간단하게 표면적 계산만을 필요로 하는 제품은 복잡한 절차 없이 제품 형상만 입력해주면 자동적으로 표면적을 계산할 수 있다. 사용 재료의 두께를 선택하고, 입력모델 이름과 사용자의 이름을 입력하면 공정설계 결과 창생 시 우측 하단에 나타나도록 하였다. Fig. 9와 Fig. 10은 사용자에게 공정수를 줄일 것인지 그대로 유지하는지에 관한 결정을 질문하는 창을 나타낸다. 원통형 드로잉과 머리부 드로잉을 결정 방법을 선택하게 된다. 시스템 구동 중에 과도하거나 과소한 공정이 존재하면, 원통형 드로잉과 머리부 드로잉에 대해서 사용자에게 판단하도록 하여 설계자의 의견이 반영되도록 하였다.

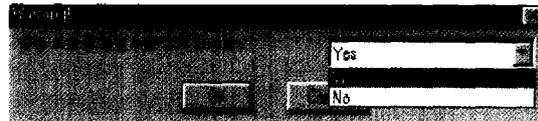


Fig. 9. User's window of cylindrical deep drawing.

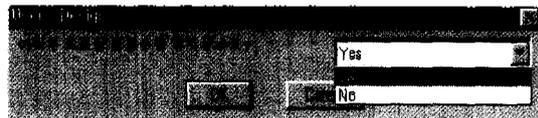


Fig. 10. User's window of top deep drawing.

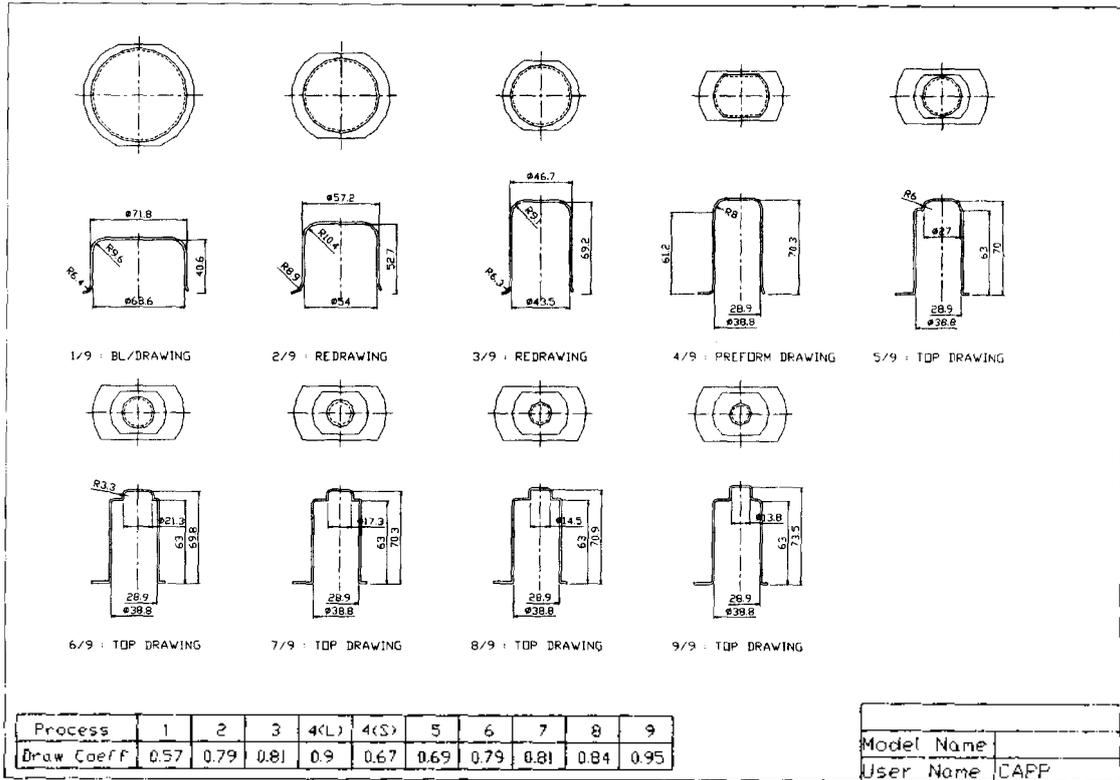


Fig. 11. Design result of CAPP system (I).

Fig. 11과 Fig. 12는 타원형 디프 드로잉 제품의 입력형상에 대한 시스템의 결과를 나타낸다. 다단계 드로잉을 요하는 제품들은 소량생산을 위한 공정설계라면 최소 드로잉 공정수 그대로 사용해도 무리가 없지만, 수십만 개 이상의 대량 생산일 경우의 공정설계는 보다 안전한 방향으로 이루어져야 한다. 즉, 생산성, 금형 수리, 품질 등을 고려하여 공정간의 가공 균형을 유지하는 편이 바람직하다. 그런데, 실제 제작공정은 규칙성이 부족하고, 많은 시행착오를 통해서 완성된다. 그래서, 현장설계자와의 인터뷰를 통하여 규칙성을 부여하고, 정량화하여 적정공정을 선정하였다. 적정공정은 과도한 변형을 피하고, 가능한 한 안정한 상태의 가공을 위해서 결정되었다. 일방적인 결과를 도출하기보다는 사용자의 의견이 반영되도록 하여 시스템의 유연성을 높였다.

타원형 디프 드로잉 트랜스퍼 금형에서 금형설계에서부터 금형제작 완료까지 상당한 시간과 노력이 요구되며, 상당한 숙련이 요구되기도 한다. 이러한 금형제작시 원가절감과 더불어 비숙련 작업자가 금형설계를 하여도 설계가 가능한 공정설계시스템을

개발하였다. 또한, 생산현장의 불합리한 공정개선과 더불어 생산 작업자의 오랜 경험과 know-how 등을 공정설계규칙에 반영하였으므로 본 시스템의 결과와 비교하여 좋은 일치를 보였고 이를 검증할 수 있었다.

4. 결 론

본 연구에서는 축대칭 디프 드로잉 공정에 제한되어 있던 공정설계 자동화를 타원형 제품에 확대 적용하였다. 그리고, 기존의 원통형 디프 드로잉과 다른 타원형 디프 드로잉 제품에 대한 데이터를 확립하였다. 타원형의 표면적 계산을 3차원 모델링으로 실시하고, 그와 등가 면적인 타원형 블랭크를 설계하였고, 전 공정에 대해서 표면적 일정조건에 맞게 설계하였다.

생산현장의 불합리한 공정을 개선하여 전체 공정의 균형을 도모했으며, 시스템의 결과를 검증하였다. 그리고, 시스템은 사용자의 결정에 따라 적용 방법을 선택할 수 있도록 하였으며, 일방적인 결과를 도출하기보다는 설계자의 의견이 반영될 수 있도록 시

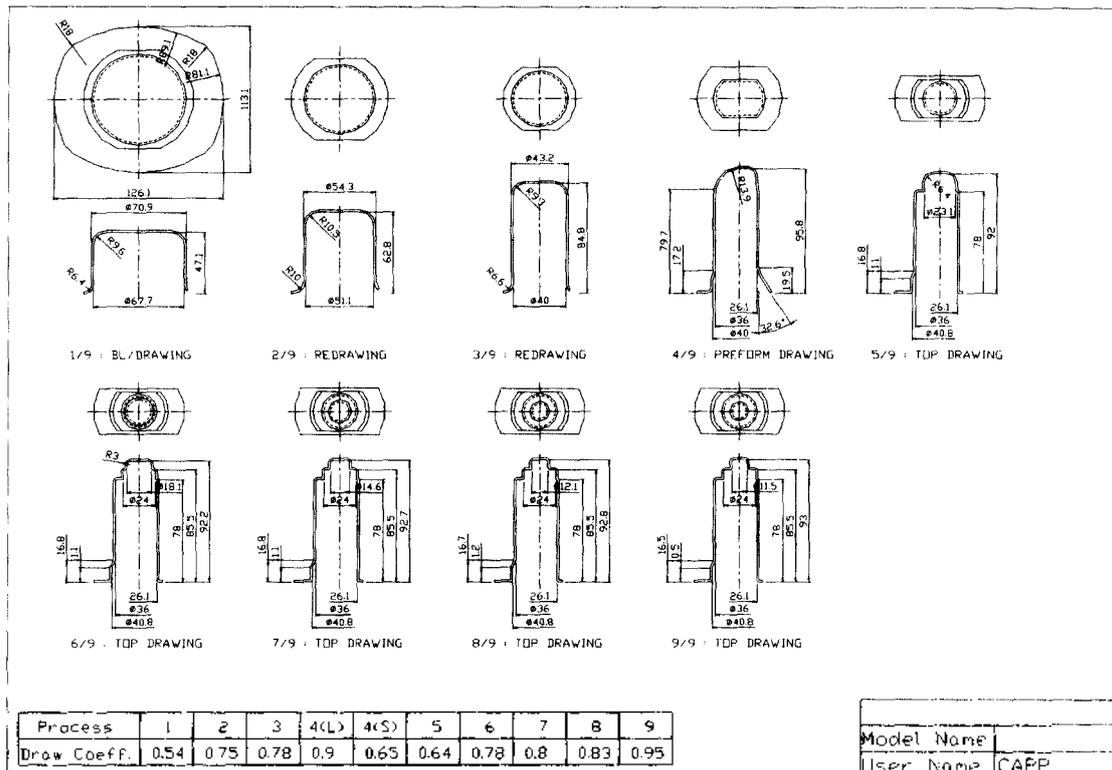


Fig. 12. Design result of CAPP system (II).

시스템의 유연성을 확보하였다. 또한, 실제 현장의 생산과정에서 발생하는 여러 가지 문제점들을 시스템에 반영하였기 때문에, 타원형 제품에 대해 적용이 기대된다. 개발된 시스템은 머리부의 2단까지 공정설계가 가능하도록 개발되었으며, 향후 머리부 2단 이상, 역드로잉 공정의 공정설계까지 개발 및 지속적인 연구가 요구된다.

후 기

본 연구는 산업자원부와 부산대학교 정밀정형 및 금형가공 연구센터(ERC/NSDM)의 지원에 의해 진행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- 박상봉, '디프 드로잉 트랜스퍼 금형의 설계 및 제작에 있어서 전문가 시스템', 한국CAD/CAM학회논문집, 제4권, 제1호, pp. 52-36, 1999.
- 박상봉, 최 영, 김병민, 최재찬, "축대칭 디프 드로잉

공정의 CAD/CAM시스템", 한국정밀공학회지, 제13권, 제6호, pp. 27-33, 1996.

- Sitaraman, S. K., Kinzel, G. L. and Altan, T., "A knowledge-based system for process-sequence design in axisymmetric sheet-metal forming", *J. Mat. Proc. Tech.*, Vol. 25, No. 3, pp. 247-271, 1991.
- Esche, S. K., Khamitkar, S., Kinzel, G. L. and Altan, T., "Process and die design for multi-step forming of round parts from sheet metal", *J. Mat. Proc. Tech.*, Vol. 59, pp. 24-33, 1996.
- Tisza, M., "Expert Systems for Metal Forming", *J. Mat. Proc. Tech.*, Vol. 53, pp. 423-432, 1995.
- Majlessi, S. A. and Lee, D., "Deep Drawing of Square-Shape Sheet Metal Parts, Part 2: Experimental Study", *Journal of Engineering for Industry*, Vol. 115, pp. 110-117, 1993.
- Eary, D. F. and Reed, E. A., "Techniques of pressworking sheet metal", Prentice-Hall, pp. 171-172, 1974.
- 김두환, "원통형 용기의 다단계 딥드로잉 공정설계에 관한 사례 연구", 한국소성가공학회지, 제7권, 제3호, pp. 225-232, 1998.
- 太田哲, "プレス 絞り加工 工程設計", 日刊工業新聞社, pp. 157-167, 1972.
- 이한규, "AutoLISP 교재", 영진출판사, 1990.



박 동 환

1988년 부산대학교 기계공학과 학사
 1994년 부산대학교 기계공학전공 석사
 1987년~1995년 LG전자(주) 금형공장 주임 연구원
 1995년~1999년 삼성자동차(주) 차체부품개발 과장
 1999년~현재 부산대학교 정밀기계공학과 박사과정
 관심분야: 디프 드로잉, CAPP, EXPERT SYSTEM



강 성 수

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



박 상 봉

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