

본 연구는 정밀정형 및 금형가공 연구센터의 지원하에 연구되었으며 이에 감사드립니다.

## 축대칭 디프 드로잉 제품에 대한 공정설계 시스템의 적용

박상봉\*, 최영\*\*, 김병민\*\*\*, 최재찬\*\*\*

### Application of Computer-Aided Process Design System for Axisymmetric Deep Drawing Products

S. B. Park\*, Y. Choi\*\*, B. M. Kim\*\*\*, J. C. Choi\*\*\*

#### 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. The hypothesized process outline of the deep drawing operations is generated in the geometrical design module of the system. In this paper, the module has been expanded. The rules of process design schemes for complex cup drawings are formulated from handbooks, experimental results and empirical knowhow of the field experts. The input to the system is final sheet-metal objects 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 and cup-drawing coefficient.

**Key Words** : Deep Drawing(디프 드로잉), Process Planning(공정설계), Knowledge Based System(지식기반 시스템), Production Rule(생산규칙), Geometrical Design(형상설계)

#### 1. 서론

디프 드로잉 가공공정을 설계하는 문제는 대부분 숙련된 기술자의 경험과 직관적 판단에 의해 수행되고 있다. 이러한 숙련된 기술자의 경험을 정식화하여 컴퓨터를 이용한 설계자동화에 관한 연구가 보고되고 있다. "AGFPO"시스템<sup>(1)</sup>은 디프 드로잉에 있어서 축대칭 회전형상 제품에 적용되었으며, 디프 드로잉 공정과 중간 보조공정을 정식화하여 시스템에 구체화시켰다. Altan<sup>(2-3)</sup>

등은 축대칭 관개 성형에 있어 지식베이스 시스템을 개발하였고, Zhu<sup>(4)</sup> 등은 디프 드로잉 공정설계에 관한 전문가 시스템인 PAD\_ES"를 개발하였다. Tisza<sup>(5-6)</sup> 는 박판급 속의 성형에 관한 전문가 시스템을 발표하였다. 축대칭 디프 드로잉 제품의 공정설계 시스템인 "Pro\_Deep"<sup>(7-9)</sup>이 저자에 의해 개발되었다. 보고된 시스템들은 "AGFPO"에 제안된 G&TR<sup>(1-9)</sup>기법을 이용하여 공정설계를 수행하도록 개발되었다.

G&TR기법 중 기초적인 공정을 가정하는 형상설계

\* 동의공업전문대학 금형설계과  
 \*\* 부산대학교 대학원 기계설계공학과  
 \*\*\* 부산대학교 정밀정형 및 금형가공연구센터, 기계설계공학과

(geometrical design)는 최종 제품으로부터 이전단계의 주요형상(previous main shape)을 결정하는 것으로, 컵의 직경을 감소시키는 재드로잉 공정을 선택하며, 이전 단계 형상이 블랭크가 될 때까지 반복 수행된다. 즉, 현단계의 변형영역에 대응하는 단순한 이전단계 형상과 치수를 결정하는 방법으로 기초적 공정을 생성(generate)하는 것이다.

본 연구에서는 컵의 직경을 감소시키지 않는 최종 디프 드로잉 공정을 포함하는 제품에 대하여 시스템을 적용할 수 있도록 하였다. 즉, 플랜지 업(flange up) 기법, 원추형 컵 제품의 디프 드로잉과 같은 경우, 최종 제품의 형상이 변환되어 기존의 형상설계 모듈에 입력 되도록하여 시스템의 적용범위를 확대하였다. 복잡한 컵드로잉의 공정설계 기법(process design sechems for complex cup drawings)을 정식화하여 형상설계 모듈에 부모모듈로 추가하여 형상설계모듈의 기능을 확장하였다. 관련된 설계규칙의 지식베이스는 현장기술서, 실제 공정도와 현장설계기술자와의 인터뷰를 통하여 지식을 얻고 이를 정식화하여 구축하였다.

시스템에 구현된 복잡한 컵드로잉의 공정설계 기법 부모모듈의 타당성을 검토하기 위해 개발된 시스템(Pro\_Deep)을 원추형 컵(conical cup)과 다단계 컵(steped cup)에 적용하고 참고문헌에 보고된 실제공정도와 비교한다.

## 2. 시스템의 구성

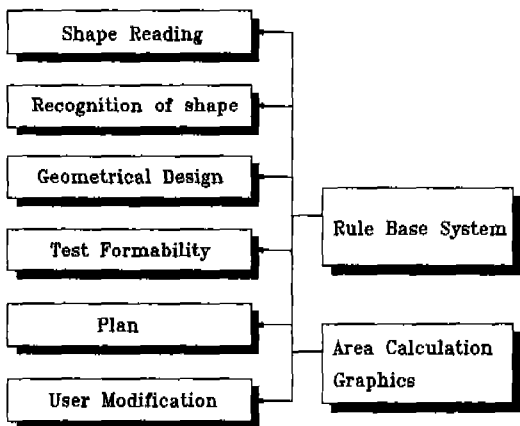


Fig. 1 Block diagram of "Pro\_Deep" system.

디프 드로잉 공정설계 시스템에 성공적으로 적용된<sup>(1-9)</sup> G&TR기법을 도입하여 구성한 시스템의 개략도는 Fig.1과 같다. 시스템의 입력은 AutoCAD상의 실제도면으로 한다. 입력(input) 모듈에서 입력된 도면을 자동인식하여 디프 드로잉 공정설계에 대한 생산규칙(production rule)에 적용이 용이한 데이터 형태<sup>(1-9)</sup>로 변환하게 된다.

기초적인 공정을 가정하는 형상설계(geometrical design)는 최종 제품으로부터 이전단계의 주요형상(previous main shape)을 결정하는 것으로 이전단계 형상이 블랭크가 될 때까지 반복 수행된다. 즉, 컵의 형상적 특징(geometrical feature)을 고려하면 현 단계의 변형영역이 결정되고 이에 대응하는 이전단계를 단순한 컵형상으로 가정하고 체적일정조건을 이용하여 치수를 결정하는 방법으로 기초적 공정을 생성(generate)하는 것이다. 개발된 시스템에서는 판재의 두께변화를 무시하여 중심선에 대한 표면적 일정조건으로 치수를 결정하였다. 형상설계와 관련된 생산규칙<sup>(1-3,9)</sup>은 이전단계의 형상이 좀더 단순한 형상이라는것을 가정한다.

Fig.1에 보인 검사 및 수정(test & rectification) 모듈에서는 드로잉물, 재드로잉물과 플랜지 벽두께비 등의 공정인자를 계산한 후 이에 따르는 한계값과 비교하여 가정된 공정의 성형성(formability)을 검토하고 부적절한 경우, 중간단계의 형상을 설계하였다. 현재의 변형영역에 대해 이전단계의 형상은 단순한 컵으로 하였다. 펀치형상 반경은 주름발생과 파단이지 발생하지 않는 범위에서 선정하고 재드로잉시 자국이 남지 않도록 수정된다. 공정인자에 대한 한계값은 경험적인 값과 한계 드로잉비의 계산법을 이용하였다<sup>(9)</sup>.

사용자 수정(user modification) 모듈을 시스템에 도입함으로써 숙련된 공정설계 기술자의 경험이 시스템의 공정설계 결과에 반영되도록하여 개발된 시스템의 유연성(flexibility)을 높였다.

제안된 G&TR기법<sup>(1-9)</sup>은 컵의 직경을 감소시키면서 재드로잉 공정을 선택하는 방법으로, 디프 드로잉 공정설계를 제품의 형상을 기초로하는 설계과정과 성형성을 기초를 하는 설계과정을 구분한 방법으로 성공적으로 디프 드로잉 공정설계를 정식화하였다.

## 3. 형상설계(geometrical design) 모듈

기초적인 공정을 가정하는 형상설계(geometrical design) 모듈의 개략도를 Fig.2에 나타낸다. 제안된 기

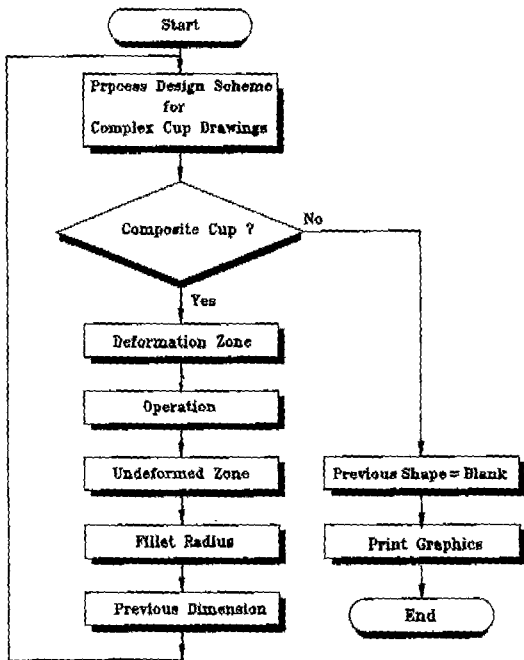


Fig. 2 Basic structure of geometrical design module.

존의 형상설계 방법은 컵의 직경을 감소시키면서 재드로잉 공정을 채택하였다. 즉, 입력된 제품에 대해 칩마다 요소(bottommost elements)들을 현 단계의 변형영역(deformation zone)으로 결정하고 단순한 컵형상의 이전단계의 형상(previous shape)을 결정하는 방법이다. 제안된 기존의 방법을 Fig.3에 나타낸다. Fig.3 (a)에 최종제품을 나타내었고 점선의 사각형 영역이 현 단계의 변형영역을 나타내고 Fig.3 (b)에 이에 대응하는 단순한 이전단계의 형상을 보인다. Fig.3 (b)가 단순한 컵 형태임으로 형상설계 모듈은 블랭크 치수를 결정한다.

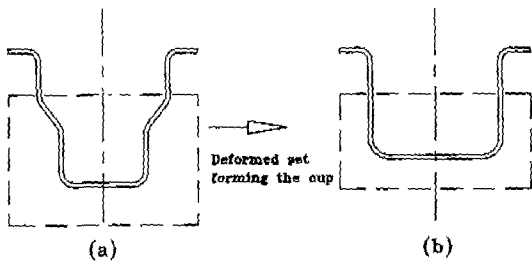


Fig. 3 Generation of intermediate stages in the geometrical design module.  
 (a) final product  
 (b) intermediate shape of the cup

이러한 형상설계 후, Fig.1에 보인 검사 및 수정(test & rectification) 모듈과 사용자 수정(user modification) 모듈을 거쳐 디프 드로잉 공정설계가 완료된다.

그러나 컵의 직경을 감소시키면서 재드로잉 공정을 선택하는 방법으로 성형하기 어려운 몇가지 디프 드로잉 공정이 있다. Fig.4<sup>(10)</sup>는 펀치를 이용하여, 디프 드로잉 가공되는 컵의 직경을 증가시키는 방법이다. 그러나 컵의 직경이 넓어지면서 컵의 벽부분이 얇아지게된다. 저 탄소강 혹은 구리와 같은 연성 금속재료에 있어 컵 직경을 30%이상 증가 시키는것은 바람직하지 않다<sup>(10-11)</sup>.

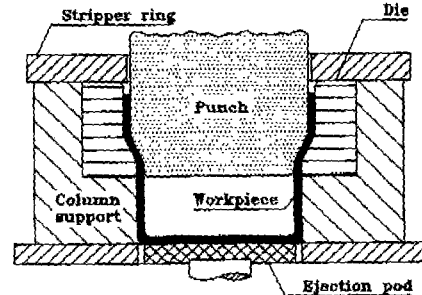
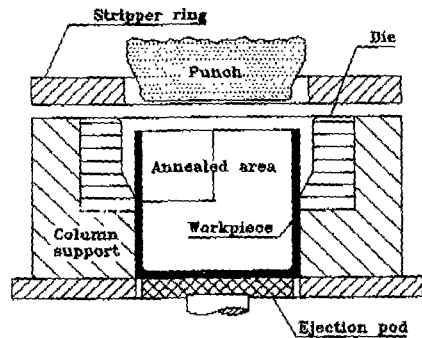


Fig. 4 Expanding the mouth of a drawn shell with a punch<sup>(10)</sup>.

- (a) before the expanding the mouth of a drawn shell with a punch
- (b) after the expanding the mouth of a drawn shell with a punch

Fig.4와 같은 형태의 재드로잉 공정은 컵의 직경을 감소시키면서 재드로잉 공정을 선택하는 기존의 제안된 형상설계범으로는 공정설계 할 수 없다. 그러나 Fig.4 (a)를 최종 제품으로 가정하면, 이에 대해서는 기존의 제안된 방법을 적용하여 성공적으로 공정을 설계할 수 있다. 이러한 점을 고려하여, 기존의 제안된 형상설계범을 개선

하기 위해, 본 연구에서는 Fig.4와 같은 특수한 경우에 그 이전단계의 형상으로 변환하는 설계기법을 Fig.2와 같이 형상설계 모듈에 추가하였다. 형상설계 모듈에 복잡한 컵드로잉 공정설계 기법(process design schemes for complex cup drawings) 부모 모듈(submodule)을 추가하여 최종제품의 형상이 몇가지 특수한 경우에 속하면, 자동적으로 제품의 형상이 변환되어, 기존의 제안된 방법으로 형상설계가 수행하도록 하였다. 이러한 형상변환 방법은 형상설계 이전에 수행되어, 설계된 공정의 마지막 디프 드로잉 공정에 적용된다.

복잡한 컵드로잉 공정 설계기법 부모 모듈에는 컵의 직경을 증가시키는 공정과 같은 플랜지부 성형공정 이외에 원추형 컵(conical cup or tapered cup)의 공정설계 기법도 포함한다.

개발된 시스템은 복잡한 컵드로잉 공정설계 기법 부모 모듈의 적용여부를 사용자 대화방식으로 결정하게 된다.

본 연구에서는 형상이 복잡한 컵드로잉의 공정설계 기법을 정식화하여 형상설계 모듈에 추가하여 형상 변환기법을 구현하였다. 기존의 방법으로 설계하기 어려운 공정을 설계할 수 있도록 시스템의 적용성을 확장하였다. 관련된 설계규칙의 지식베이스는 현장기술서, 실제 공정도와 현장 설계기술자와의 인터뷰를 통하여 지식을 얻고 이를 정식화하여 구축하였다.

본 연구에서는 기존의 형상설계 방법에 복잡한 컵드로잉 공정설계 기법 부모 모듈을 도입하여 간단히 최종형상을 수정함으로써, 시스템의 적용성을 확장하는 방법을 제안하고 원추형(conical cup)과 다단계 컵(steppered cup)에 적용하고자 한다.

#### 4. 적용 및 고찰

복잡한 컵드로잉 공정설계 기법 부모 모듈을 추가한 형상설계 모듈의 타당성을 살펴보고자, 먼저 단불이 원통제품 중 큰지름과 작은 지름의 차이가 작은 제품의 디프 드로잉 공정설계를 실제공정도, 시스템의 결과를 비교하고자 한다.

Fig.5 (a)에 단불이 원통제품 중 큰지름과 작은 지름의 차이가 작은 제품을 나타내고 이의 실제 공정도<sup>(12)</sup>를 Fig.5 (b)에 나타낸다. 시스템의 결과를 Fig.6에 나타낸다. Fig.6(a)는 복잡한 컵드로잉 공정설계 기법 부모 모듈을 추가하기전의 결과이고 Fig.6 (b)는 복잡한 컵드로잉 공정설계 기법 부모 모듈을 추가하여 기존의 제안된 형상설

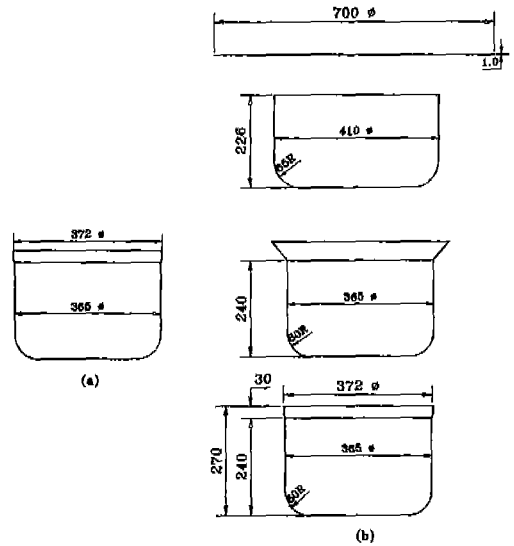


Fig. 5 Sequence drawing for the deep drawing parts of the stepped cup<sup>(12)</sup>  
 - Industrial practice.  
 (a) final product  
 (b) sequence drawing

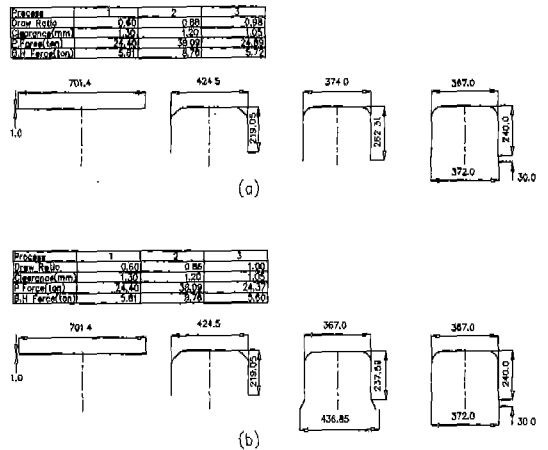


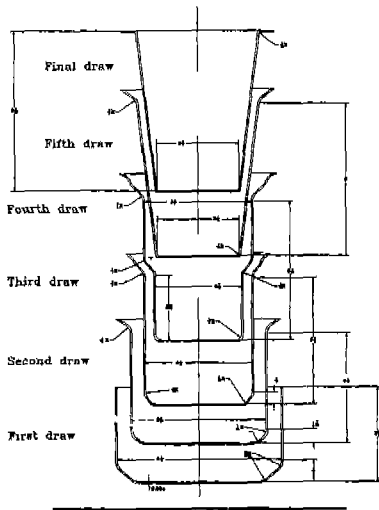
Fig. 6 Sequence drawing for the deep drawing parts of the stepped cup  
 - Output of "Pro Deep".  
 (a) results of Pro Deep (Ver. 1.0)  
 (b) results of Pro Deep (Ver. 2.0)

계법을 수정한 본 연구의 결과이다.

Fig.6 (b)는 실제 공정도와 같이 최종단계에서 컵의 직경을 확장하는 방법으로 가공된다. 컵의 직경이 365mm에서 372mm로 1.92% 확대 되었다. 이는 한계값인

30%<sup>(10-11)</sup>미만임으로 타당한 공정이다. Fig.6 (a)에 보인 최종 재드로잉 공정은 변형영역의 직경 대 판재 두께비 (t/D)가 0.00269로 한계값<sup>(1,13)</sup> 0.005보다 작은 값임으로 블랭크 홀더없이 재드로잉하면 축벽에 주름살(wrinkling)이 생성될 위험이 많으므로 블랭크 홀더를 반드시 사용하여야 한다. 그러나 제품의 큰 직경과 작은 직경의 차가 7mm임으로, 외경이 365mm인 인사이드 블랭크 홀더의 두께가 3.5mm가 됨으로 파손의 우려가 많다<sup>(12)</sup>. 그러므로 Fig.6 (b)의 공정이 Fig.6 (a)의 공정보다 타당하다.

본 연구의 결과인 Fig.6 (b)의 공정과 Fig.5 (b)의 실제 공정도와 비교하면, 블랭크 직경이 701.4mm로 0.2%(700mm)의 오차를 가지며, 초 드로잉된 컵의 직경이 422.32mm이나, 이는 적용된 드로잉비가 실제 공정도에서는 0.586이고 시스템의 결과는 0.6이므로 차이가 있다. 시스템의 적용 드로잉비는 냉간압연강판<sup>(14)</sup>에 대해 한계 드로잉비 계산법<sup>(8-9, 15-17)</sup>으로 결정하였다. 재드로잉의 경우, 적용된 재드로잉비가 실제 공정도와 시스템의 결과가 각각 0.890과 0.864이고 이는 한계값인 0.79<sup>(18)</sup>보다 작은 값임으로 두 공정 모두 타당하다. 이와 같이 Fig.5 (b)의 실제 공정도와 Fig.6 (b)의 시스템 결과가 잘 일치하므로, 이는 본 연구에서 도입된 복잡한 컵드로잉 공정설계 기법 부모들이 타당함을 보이는 것이다.



Blank-0.064\*11.5 dia.

Fig. 7 Sequence drawing for the deep drawing parts of the conical cup<sup>(13)</sup>  
- Industrial practice.

Fig.7에는 원추형 컵의 실제 공정도<sup>(13)</sup>를 보인다. Fig.8 에는 Fig.7의 최종 제품에 대해 개발된 시스템의 출력력을 보인다. Fig.8의 최종제품은 복잡한 컵드로잉 공정설계 기법 부모들에 의해 다단계 컵으로 변화된다. 개발된 시스템 (Pro Deep)은 원추형 컵을 컵의 높이, 원추각 및 플랜지 유무에 따라 분류하고, 각 형상에 대해 공정설계 기법<sup>(18)</sup>을 형상변환을 이용하여 복잡한 컵드로잉 공정설계 기법 부모 들에 구현하였다. 특히, 플랜지 없는 크고 깊은 원추형 컵 에는 연속적인 컵(successive cylinders), 평행한 원추형 컵의 아랫방향 형성(parallel cones with downwards formation of the cone) 및 평행한 원추형 컵의 윗방향 형성(parallel cones with upwards formation of the cone) 방법이 있다<sup>(18)</sup>. 이러한 경우, 원추형 컵의 성형방법 은 사용자 대화방식으로 결정하게 된다. Fig.7의 제품은 작고 평탄한 플랜지(small flat flange)를 가진 제품으로 45°로 경사진 플랜지로부터 최종단계에서 플랜지부를 성형하게 된다<sup>(2,7-9)</sup>. 변환된 형상은 테이퍼진 요소들을 가지게 됨으로 플랜지 없는 원추형 컵의 성형방법을 적용하게 되 며, Fig.8의 공정은 연속적인 컵(successive cylinders) 성형법을 채택한 시스템의 결과이다.

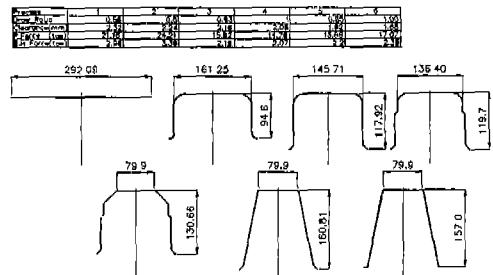


Fig. 8 Sequence drawing for the deep drawing parts of the conical cup  
- Output of "Pro\_Deep".

아래에 Fig.8의 시스템 출력과 Fig.7의 실제 공정도를 비교한다. 원추형 컵을 성형하기 위한 다단 컵의 형상이 두 공정에서 차이가 있다. 그러나 두 형상 모두 바닥부분의 치수가 원추형 컵의 바닥부분의 치수와 같다. 공정 모두 6공정으로 원추형 컵을 성형한다. 예측된 블랭크 직경은 292.089mm로 292.1mm의 실제 공정도에서의 블랭크 직경과 차이가 없다. 시스템의 결과와 실제 공정도는 좋은 비교를 나타낸다.

본 연구에서 제한한 형상변환 방법을 이용하여 원추형 컵

의 성형공정을 성공적으로 설계하였다. 이러한 형상변환 방법을 이용하면 또 다른 복잡한 형상, 즉 포물선 컵, 반구형 컵과 같은 제품의 디프 드로잉 공정설계에도 응용될 수 있다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 축대칭 디프 드로잉 제품의 공정설계 시스템을 개발하고, 복잡한 컵드로잉 공정설계 기법 부모들을 형상설계 모듈에 추가하여, 컵의 직경을 감소시키는 재드로잉 공정을 선택하는 기존의 제안된 형상설계 방법을 수정하였다. 최종제품의 형상을 이전단계 형상으로 변환하여 복잡한 컵드로잉 공정설계 기법 부모들을 구현하였다. 다만 컵과 원추형 컵에 본 개발 시스템을 적용하고 그 결과를 실제공정도와 비교 하였다. 양자간에 좋은 상관성을 보이고 있으며, 이는 본 연구에서 제안한 형상변환 방법이 타당함을 보이는 것이다. 이러한 형상변환 방법을 이용하면 또 다른 복잡한 형상, 즉 포물선 컵, 반구형 컵과 같은 제품의 디프 드로잉 공정설계에도 응용될 수 있다.

## 참 고 문 헌

- G. Eshel, M. Barash and W. Johnson, "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, 1986.
- S. K. Sitaraman, G. L. Kinzel and T. Altan, "A Knowledge-Based System for Process-Sequence Design in Axisymmetric Sheet-Metal Forming", *J. Mater. Process. Technol.*, 25, pp.247-271, 1991.
- S. K. Esche, S. Khamitkar, G. L. Kinzel and T. Altan, "Process and die design for multi-step forming of round parts from sheet metal", *J. Mater. Process. Technol.*, 59, pp.24-33, 1996.
- 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.
- M. Tisza, "Expert System for Sheet Metal Forming", *Proc. 4th ICTP, Beijing, China*, pp. 1667-1672, 1993.
- M. Tisza, "Expert System for Metal Forming", *J. Mater. Process. Technol.*, 53, pp.423-432, 1995.
- 박상봉, 최 영, 김병민, 최재찬, 김보환, "축대칭 디프 드로잉 제품의 공정설계 시스템에 관한 연구 (I)", *한국소성가공학회지*, 제5권, 제1호, pp.27-36, 1996.
- 박상봉, 최 영, 김병민, 최재찬, 이 중, "축대칭 디프 드로잉 제품의 공정설계 시스템에 관한 연구 (II)", *한국소성가공학회지*, 제5권, 제1호, pp.61-71, 1996.
- 김병민, "디프 드로잉 제품의 공정설계 시스템 개발", LG전자(주) 위탁과제연구결과 보고서, 부산대학교 정밀정형 및 금형가공연구센터, 1995.
- P. M. Unterweiser and A. G. Gray, "Source Book on Forming of Steel Sheet", *American Society for Metals*, pp.52-83, 1976.
- T. Lyman, "Metals Handbook", *American Society for Metals*, Vol.4 Forming, pp.162-192, 1969.
- 橋本 明, "프레스 드로잉", *大光書林*, pp.91-92, 1976.
- Donald F. Eary and Edward A. Reed, "Techniques of Pressworking Sheet Metal", *Prentice-Hall, Inc*, 1974.
- 박기철, 남재복, 최원집, "축대칭 프레스가공 제품의 변형률 예측기술과 변형여유 해석에의 적용", *박관성형기술의 진보*, 양동렬, 허훈, 김용환 편, 한국소성가공학회, 대한금속학회, pp.173-184, 1994.
- K. Lange, "Handbook of Metal Forming", *McGraw-Hill Book Company*, 1985.
- E. Doege, H. Simon and B. Breidohr, "Aspect of Computer-Aided Design of Deep Drawing Dies Combined with Elementary Calculation Methods", *Proc. Near Net Shape Manufacturing*, Columbus, Ohio, ASM International, pp.185-199, 1988.
- E. Doege, "Design of Deep Drawn Components with Elementary Calculation Method", *J. Mater. Process. Technol.* Vol.34, pp.439-447, 1992.
- Constantin Iliescu, "Cold-Pressing Technology", *Elsevier*, 1990.