

다단 디프 드로잉 공정의 설계지원 시스템 개발

나경환* · 최석우* · 최태훈* · 정완진** · 김종호** · 배형수**

(2000년 9월 7일 접수)

A Development of Design Support System for Multistep Deep Drawing Process

K. H. Na, S. W. Choi, T. H. Choi, W. J. Chung, J. H. Kim and H. S. Bae

Abstract

This study is concerned with the development of design support program for deep drawing process. The present support program is designed to generate the layout drawings by utilizing the following key functions: analysis of product shape, generation of key stages by pattern database, determination of layout generation method, generation of layout. Furthermore, from the results by process design program input data for simulation is automatically generated with appropriate process parameters and connected seamlessly to carry out the finite element analysis so that the design can be checked for the possible problems in real manufacturing process. The designer can generate layout drawings and test the design by simulation quickly and conveniently. In these system, designer can verify and optimize the design. We tested this system for various type of product shape and found that the generated layout is in good agreement with the real cases.

Key Words : Deep Drawing, Design Support System, Multistep

1. 서론

프레스 기계 및 금형을 이용한 박판 성형 공정은 동일 제품형상을 대량 생산 시 타 공작기계에 비하여 재료비 절감 및 생산성 향상의 장점이 있어, 최근까지 그 연구 및 적용이 활발히 이루어지고 있다. 또한 박판 성형 제품의 가공 상 제약을 주는 금형 조건, 성형조건, 소재의

물성치 등을 바꾸어 가며 성형성 향상을 위한 연구도 활발히 진행되는 추세이다. 가장 널리 사용되는 다단 축대칭 형상의 제품은 형태적으로 한정적이고, 오랜 연구결과로 공정설계 룰(Rule)이 상당부분 확립되어 있다. 그럼에도 불구하고 숙련된 설계자의 경험에만 의존하는 현 공정설계 방법으로는 최근의 다품종 소량생산 추세에 맞추어 납기단축이 어렵고, 트라이 아웃 시에 금형 수정비

* 한국생산기술연구원

** 서울산업대학교

용 등이 과다해지며 제품의 품질에도 좋지 않은 영향을 미치게 된다.

최근에 컴퓨터의 발달에 따라 생산공정에 대한 숙련자의 기술이 수식화되고 데이터 베이스화 되어 공정설계 자동화 시스템이 각 분야에서 개발되고 있다. 본 연구에서는 다단 축대칭 디프 드로잉 제품의 공정설계 자동화 프로그램 및 성형해석 시스템을 기반으로 통합된 공정설계 지원 시스템을 개발하고 있다.

2. 디프 드로잉 공정설계의 이론적 배경

2.1 축대칭 디프 드로잉의 형태별 분류

축대칭 디프 드로잉 제품을 성형하기 위한 방법은 다음의 네 가지를 지원하고 있다.

- (a) 일반 드로잉 성형 방법 (Conventional Drawing Method)
- (b) 머리부 형상 성형 방법 (Head Shape Forming Method)
- (c) 엠보싱 형상 성형 방법 (Embossing Method)
- (d) 광폭플랜지 형상 성형 방법 (Wide flange Shape Drawing Method)

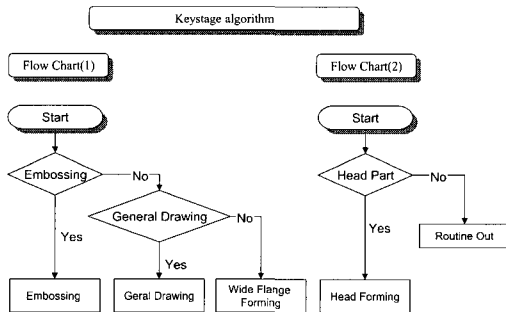


Fig. 1 Determination of layout generation method according to product shape

Fig. 1은 위의 네 가지 성형 방법을 분석하는 순서도를 나타내는데 엠보싱 성형 방법에 해당하는지를 먼저 판단하고 이에 해당하지 않으면 일반드로잉과 광폭 플랜지 성형 방법에 대해 직경비와 면적비를 기준으로 비교 판단하게 된다. 일반 드로잉과 광폭 플랜지 성형 방법이 가능한 경우에도 제품의 요구되는 특성에 의해 머리부 성형 방법을 선택하는 경우가 있다.

2.2 일반적인 디프 드로잉 공정설계 이론

2.2.1 트리밍 여유량 계산

박판 성형의 경우 재료의 이방성에 의해 발생하는 귀 발생 부분을 제거해야 하는데 이러한 공정을 트리밍 공정이라 한다. 플랜지의 유/무에 따라 트리밍 방향이 수직, 수평 방향으로 결정되기 때문에 플랜지가 없는 경우의 트리밍 여유량은 그 값이 높이에 적용되고 플랜지가 있는 경우는 그 값이 플랜지의 직경에 적용되게 된다. (Fig. 2)

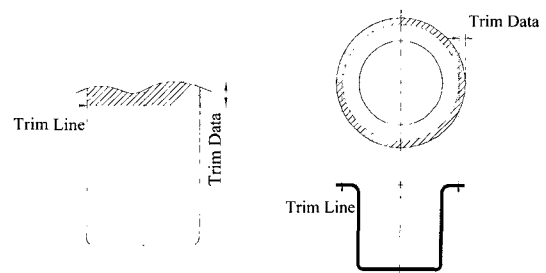


Fig. 2 Trimming allowance for circular cup deep drawing without flange and with flange

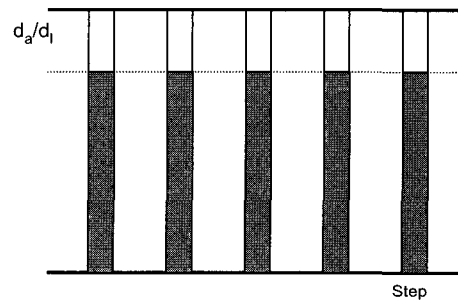


Fig. 3 Optimum drawing ratios by constant redistribution method (d_a : applied drawing ratio, d_l : limit drawing ratio)

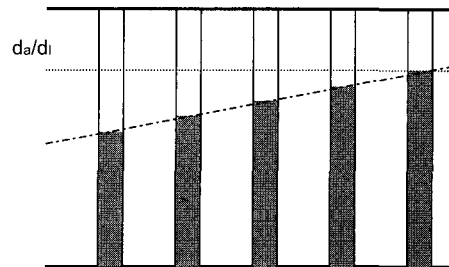


Fig. 4 Optimum drawing ratios by linearly inclined redistribution method (d_a : applied drawing ratio, d_l : limit drawing ratio)

2.2.2 블랭크 직경 계산

트리밍 여유량에 의한 증가분을 더한 후 요소분할법을 통하여 제품을 분할한 후 블랭크의 직경을 계산하게 된다. 두께의 변화가 없다는 가정 하에 트리밍 여유량이 포함된 제품의 표면적은 블랭크의 표면적과 동일하다는 면적 일정의 법칙을 적용하여 계산한다.

2.2.3 한계 드로잉률 및 최적 드로잉률 계산

블랭크의 직경이 결정되면 원형컵의 성형에 있어서 필요한 최소 공정수를 결정하여야 한다. 이는 제품의 재질과 두께 그리고 공정 조건에 따라 값이 다르나, 본 시스템에서는 Romanovski⁽¹⁾의 한계 드로잉률 테이블을 적용하여 최소 공정수를 결정하였다. 그러나 제품의 품질이나 공정관리의 목적에 따라 최적 공정수를 선택해야 할 경우가 많다. 따라서 본 연구에서는 사용자가 드로잉률을 최적으로 선택할 수 있도록 다음의 세 가지 방법을 제공한다.

- (a) 프로그램이 계산한 드로잉률을 적용하는 방법
- (b) 공정별 한계 드로잉률에 관한 비를 일정하게 적용하는 방법.(Fig. 3)
- (c) 공정별 한계 드로잉률에 관한 비가 선형적으로 증가하도록 적용하는 방법.(Fig. 4)

2.2.4 편치 및 다이 형상반경 계산

편치 형상반경(R_p)은 소재의 두께에 대한 비를 기준으로 설계하는데 임계값보다 작은 경우 찢어짐이 발생하고, 큰 경우는 주름이 발생하게 된다. 이에 따라 적절한 형상반경을 계산하게 되는데 그 범위는 다음과 같다.

$$(4\sim6)t < R_p < (10\sim20)t \quad (1)$$

재드로잉 이후의 편치 형상반경은 전 공정의 60~80%의 범위 내에서 설계를 하게 되는데 이를 식으로 표시하면 다음과 같다.

$$R_{pm} = (0.75\sim0.9)R_{p(n-1)} \quad (2)$$

여기서 R_{pm} 은 n공정에서의 편치 형상반경을 나타낸다. 다이 형상 반경(R_d)은 편치 형상 반경과 동일하거나 (3) 식을 이용해 (1.5~1.6)배정도 크게 한다.

$$R_{dm} = (1.5\sim1.6)R_{p(n)} \quad (3)$$

2.3 머리부 성형 공정설계 이론

일반적인 머리부 가공 제품은 배터리 케이스 상단부와 모터 케이스를 예로 들수 있는데, 일반 드로잉 공정 설계와는 다르게 머리부 성형은 몸통부 성형이 종료되어 제품이 원하는 몸통부 직경을 얻으면 다음 단계로 제품의 머리부를 원하는 형상으로 가공하기 위하여 단계별 머리부 성형 공정 설계를 해야 한다. 중간성형 공정들의 단면 형상을 결정할 때, 공정별 단면 형상은 전반적으로 매끄러운 윤곽을 유지하여 재료흐름을 원활하게 하고, 소재가 남거나 모자라서 주름이나 파단의 불량이 없도록 전후 동일한 적정 표면적을 고려해야한다. 다음은 시스템에 적용된 머리부 성형 공정 설계의 룰(Rule)을 나열한 것이다.⁽²⁾

- (a) 머리부 성형은 1공정에 1단차를 가공한다는 원칙으로 설계한다.
- (b) 중간 성형품의 각 단의 높이는 면적 일정의 법칙을 적용하여 계산한다.
- (c) 중간 성형품의 각 단의 편치 및 다이 반경은 공정의 진행에 따라 약간씩 줄이는 개념으로 설계한다.
- (d) 머리부 단차의 복합 가공 여부는 과거 사례를 참고하여 결정한다.

2.4 엠보싱 성형 공정설계 이론

엠보싱 성형이란 컵의 플랜지 부위나 바닥부의 작은 돌기의 형상을 성형하는 가공으로 일반 드로잉 공정설계와는 다르게 돌기형상 부분의 두께 변화가 심하기 때문에 면적 일정의 법칙이 성립하지 않는다. 그러므로 드로잉이라고 보기보다는 장출성형으로 보고 설계해야 한다. 일단은 몸통부의 직경을 얻어 성형이 종료되면 엠보싱 성형은 한번의 가공으로 성형함을 원칙으로 설계한다.

2.5 광폭 플랜지 드로잉 공정설계 이론

광폭 플랜지 드로잉 공정설계의 방법에는 일반적으로 다음의 두 가지가 있다.

- (a) 반경을 고정시키고 직경을 줄여 나가는 방법
- (b) 초 드로잉 시 반경을 크게 잡고 직경을 줄여 나가는 방법

방법(a)는 일반적으로 자주 사용되는 방법이고, 방법(b)는 비교적 플랜지가 크고 소재가 두꺼운 판재에서 사용된다. 이 경우 드로잉과 장출성형이 동시에 일어나게 되고 (a)에 비하여 적은 공정수로 가공이 가능하다. 광폭 플랜지 성형은 면적일정의 법칙이 성립하지 않으며 이를 공정설계에 고려하였다.

3. 공정설계 프로그램 개발

프로그램이 진행되면 다음의 각 단계를 따라서 공정 설계를 하고 공정 Layout을 만들게 된다. 공정설계 과정의 순서도는 Fig. 5에 나타나 있다.

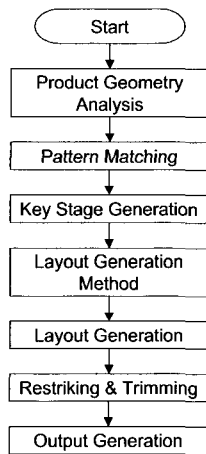


Fig. 5 Total Process Design Flow Chart

3.1 제품형상 분석

제품 형상정보가 입력되면 프로그램에서는 제품의 형상정보를 직선(Line)과 원호(Arc)의 두 가지 종류의 요소로 나누어 계산하는 방법을 도입하였다. 아크는 그 방향에 따라 시계방향(CW)과 반 시계방향(CCW)으로 구분하여 정의하며, 직선(line)은 수평선(HL), 수직선(VL), 경사선(TL)으로 각 요소를 구분하여 정의하게 된다. 이와 같은 직선과 원호의 연결 List로 Layout의 Topology를 정의한다.

3.2 KEY STAGE의 생성

제품 형상 및 각 단의 형상별로 각 요소의 기하학적 형상 데이터(Topology)를 가지고 있는 패턴 데이터 베이스와 제품 분석 데이터와 매칭을 통해 기하학적 형상 데이터(Topology)에 치수(Dimension)를 부가하여 중간 형상이라고 할 수 있는 Key Stage를 생성하게 된다. Key stage는 Topology가 동일한 Layout들의 최종형상을 나타낸다. 다음으로 Key stage와 다음 Key stage간의 Layout을 생성하기 위해 2.1절에서 분류한 Method 중에 적합한 것을 분석 및 결정하여 이후의 Layout 생성 시 적용하게 된다. (Fig. 6)

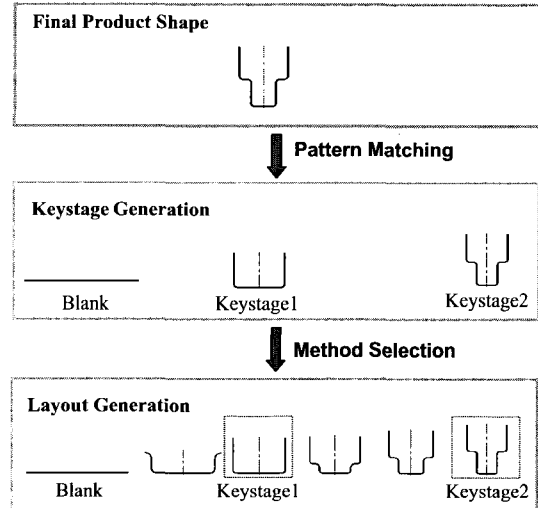


Fig. 6 Keystages and Layout

3.3 LAYOUT의 생성

Key stage가 생성되면서 정의된 Layout Generation Method에 의해 각 Key stage 사이의 Layout을 생성하게 된다. 추가로 소성가공 후 제품성형에 필요한 트리밍 공정과 사용자의 옵션에 의한 리스트라이킹 공정 또한 생성하여 Layout을 완성한다.

3.4 OUTPUT의 생성

공정설계가 완료되면 프로그램은 형상 정보 데이터, 각종 Report의 문서 출력 데이터, 해석시스템 입력 데이터 등을 파일로 생성하게 된다. Pre processor는 이러한 정보로부터 공정설계결과를 보여주게 된다. 또한 공정해석결과를 성형해석하기 위한 데이터로도 활용된다.

4. 다단 축대칭 공정설계 지원 시스템의 구성

3장에서 개발된 공정설계 프로그램은 GUI 프로그램 및 성형해석 프로그램과 연결되어 공정설계의 타당성을 평가 검토할 수 있도록 공정설계 지원시스템을 개발하고 있다.(Fig. 7) 성형해석 프로그램을 이용하여 공정설계에서 나온 공정에 따라 시뮬레이션 해봄으로써 설계평가에 의한 최적설계가 가능하다. 또한 부족한 설계 룰(Rule)을 보완 및 수정할 수 있는 도구로 활용할 수 있다.

공정설계에 활용되는 설계 룰(Rule)은 Pre processor에서 수정입력이 가능하여 현장의 상황변화에 대응할 수 있다. 전체 시스템은 다음 5개의 모듈로 구성되어 있다.

(a) Pre Processor : 제품 형상 입력 및 공정설계 결과를 시각적으로 보여주는 프로그램. 설계 룰(Rule)을 활용하는 각종 데이터 베이스 관리기능도 갖고 있다.

(b) 공정설계 프로그램 : Pre processor로부터 받은 형상 데이터로 공정설계를 하는 프로그램.

(c) 금형 생성 프로그램 : 공정설계 결과 데이터를 가지고 금형 형상 정보를 생성하는 프로그램.

(d) FEM Solver : 금형 생성 프로그램에서 생성한 금형 형상 데이터와 소재 데이터를 입력받아 유한요소법에 의해 소재의 변형을 계산하는 프로그램.

(e) Post Processor : FEM Solver의 해석결과 데이터를 시각적으로 보여주는 프로그램.

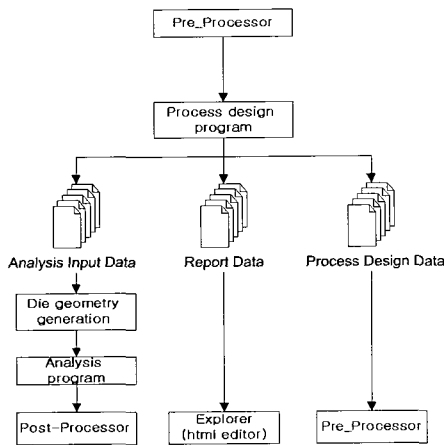


Fig. 7 Schematic diagram of axisymmetric deep drawing design support system

5. 공정설계 적용의 예

일반드로잉 성형의 예로 2단컵 제품의 공정설계 후 결과 공정도를 Fig. 8에서 볼 수 있다. 또한 헤드부 성형 제품의 공정설계 후 결과 공정도를 Fig. 9에서 볼 수 있다. 머리부 성형 방법은 엠보싱 성형을 할 경우, 두께 변화가 과다하게 발생할 수 있는 경우에 제품의 두께 균일도를 높이기 위하여 사용할 수 있는 방법으로, 일반적인 설계 방법으로는 추론할 수 없는 방법이다. 계속해서 엠보싱 성형 제품의 공정설계 후 결과 공정도 (Fig. 10), 광폭 플랜지 성형 제품의 공정설계 후 결과 공정도 (Fig.

11)를 볼 수 있다. 제품의 형상을 고려하여 적절한 성형 방법이 선택될 수 있음을 알 수 있다. 설계 결과를 통하여 Pattern Matching을 통한 다양한 설계 추론이 가능함을 알 수 있으며, 숙련된 사용자들의 전문적인 경험이 반영될 수 있을 것으로 기대된다.

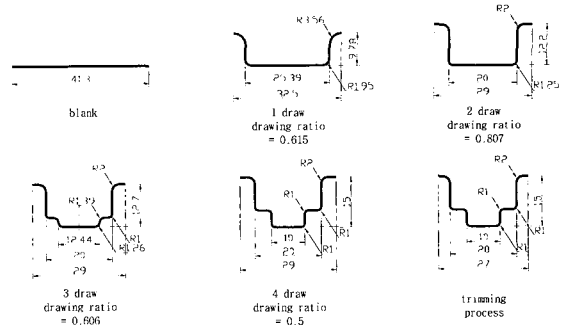


Fig. 8 Case with conventional deep drawing method

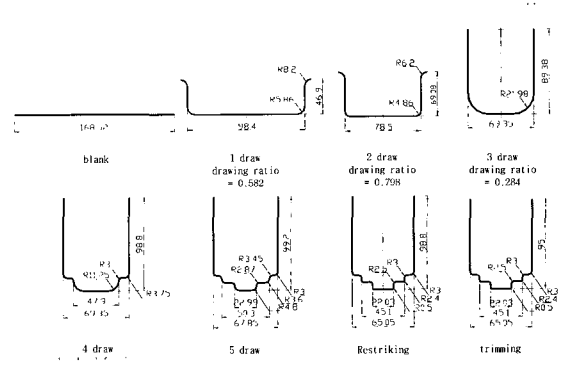


Fig. 9 Case with head forming method

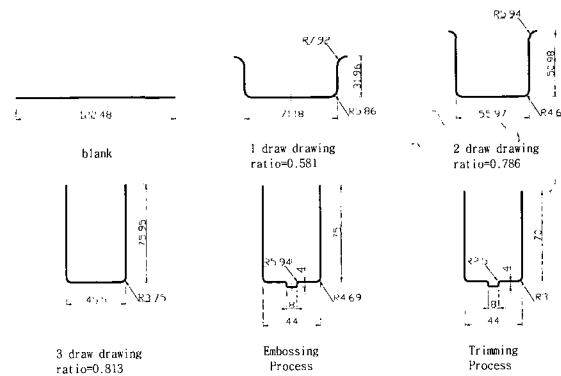


Fig. 10 Case with embossing method

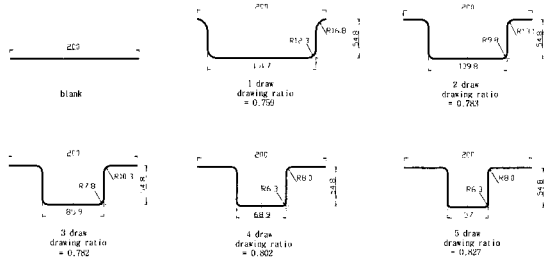


Fig. 11 Case with wide flange drawing method

6. 결론

다단 축대칭 컵 디프 드로잉 공정에 대하여 공정 설계 지원 시스템을 개발하였다. 공정설계 프로그램과 해석 프로그램을 통합하여 설계평가에 의한 최적설계가 가능하도록 하였다. 공정설계 프로그램은 공정도 생성과정에서 특징형상(Topology)을 먼저 정의하고 구체적인 치수를 점차적으로 상세화하는 접근방법을 사용하였다. 또한 Key stage 및 Method의 개념을 도입하여 공정도 생성과정을 체계적으로 수행하도록 하였다. 개발된 공정설계 프로그램을 여러 가지 유형의 제품에 적용한 결과 적합한 결과를 얻었으며 최적설계를 위해서는 다양한 현장 문제 수행을 통한 데이터베이스의 정확성 보강이 요구된다.

후 기

본 논문은 산업 자원부 산업기반기술 개발사업 과제 (총개발기간: 1997.10.1 ~ 2000.10.31)로서 수행되었으며 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

- (1) Romanovski, E, 1959, Handbook of Blanking Technology(in Germany), Berline, VER Verlag Technik.
- (2) 김두환, 1998, “원통형 용기의 다단계 디프 드로잉 공정설계에 관한 사례 연구”, 한국소성가공학회지, 제7권, 제3호, pp. 225~232.
- (3) 김두환, 1999, “타원형 다단계 디프 드로잉 용기의 최적 예비형상 설계에 관한 연구”, 한국소성가공학회지, 제8권, 제4호, pp. 356~363.
- (4) 박상봉, 최영, 김병민, 최재찬, 1997, “축대칭 디프 드로잉 제품에 대한 공정설계 시스템의 적용”, 한국정밀공학회지, 제14권, 제4호, pp. 145~150.
- (5) 이동호, 이승열, 금영탁, 1998, “유한요소법을 이용한 축대칭 다단계 디프 드로잉 금형설계 해석”, 한국소성가공학회지, 제7권, 제6호, pp. 594~602.