

## 유한요소법을 이용한 프로그레시브 금형 설계에 관한 연구

박철우\*, 김영민\*, 김 철\*\*, 김영호\*\*, 최재찬\*\*

### A Study on Progressive Die Design by the using of Finite Element Method

Chul-Woo Park\*, Young-Min Kim\*, Chul Kim\*\*, Young-Ho Kim\*\*, Jae-Chan Choi\*\*

#### ABSTRACT

This paper describes a research work of developing computer-aided design of a product with bending and piercing for progressive working. An approach to the system for progressive working is based on the knowledge-based rules. Knowledge for the system is formulated from plasticity theories, experimental results and the empirical knowledge of field experts. The system has been written in Auto-LISP on the Auto-CAD with a personal computer and is composed of four main modules, which are input and shape treatment, flat pattern layout, strip layout, and die layout modules. The system is designed by considering several factors, such as bending sequences by fuzzy set theory, complexities of blank geometry, punch profiles, and the availability of a press equipment. Strip layout drawing generated in the strip layout module is presented in 3-D graphic forms, including bending sequences and piercing processes with punch profiles divided into for external area. The die layout module carries out die design for each process obtained from the results of the strip layout. Results obtained using the modules enable the manufacturer for progressive working of electric products to be more efficient in this field.

**Key Words :** 다이 레이아웃(Die Layout), 펼친 도면(Flat pattern layout), 퍼지 셋 이론(Fuzzy set theory), 지식 베이스규칙(Knowledge Based Rules), 스트립 레이아웃(Strip Layout) 유한요소법(FEM)

#### 1. 서론

최근 공업 제품이 정보통신산업의 발달로 중후 장대에서 경박단소화로 전환됨에 따라 프레스 금형 및 가공의 중요성은 더욱 증대되고 있으며, 그와 함께 공업제품의 고정도화, 다양화, 제품 life cycle 단축화로 인해 프레스 가공에 대한 요구도 한층 엄격해지고 있다.<sup>[1]</sup> 이러한 요구와 생산성을 향상시키

기 위하여 금형설계의 표준화가 절실하게 요구된다. 특히, 프레스 가공 중에서 형상이 복잡한 판재 제품을 만드는 프로그레시브 가공은 이러한 측면에서 표준화를 더욱 요구하고 있다.<sup>[2-3]</sup> 그러나, 프로그레시브 가공의 공정 및 금형설계는 대부분 숙련된 기술자의 경험과 직관적 판단에 의해 수행되고 있다. 이에 고정도화 및 납기 단축을 위한 컴퓨터를 이용한 설계기술의 필요성이 대두되어 숙련된 기술

\* 부산대학교 정밀기계공학과 대학원

\*\* 부산대학교 기계공학부, 기계기술 연구소

자의 경험을 정식화하여 컴퓨터를 이용한 설계 자동화에 관한 연구가 진행되고 있다.<sup>[4-5]</sup>

본 연구에서는 피어싱 및 굽힘 공정을 갖는 전기제품의 굽힘 공정에 영향을 미치는 여러 가지 인자들을 고려하여 공정 설계 규칙의 순서를 퍼지 셋 이론을 도입하여 퍼지값을 근거로 스트립 레이아웃 모듈에서는 스트립 레이아웃 도면을 자동으로 창출시키고 이 정보를 토대로 다이 레이아웃 모듈에서는 다이 레이아웃 도면을 창출시킬 수 있는 프로그램 레시브 금형 설계 시스템을 개발했다.

## 2. 시스템의 구성

시스템의 진행방식은 선택의 다양성을 위하여 대화식을 이용하였으며 시스템의 전체적인 구조를 Fig. 1에 나타내었다.

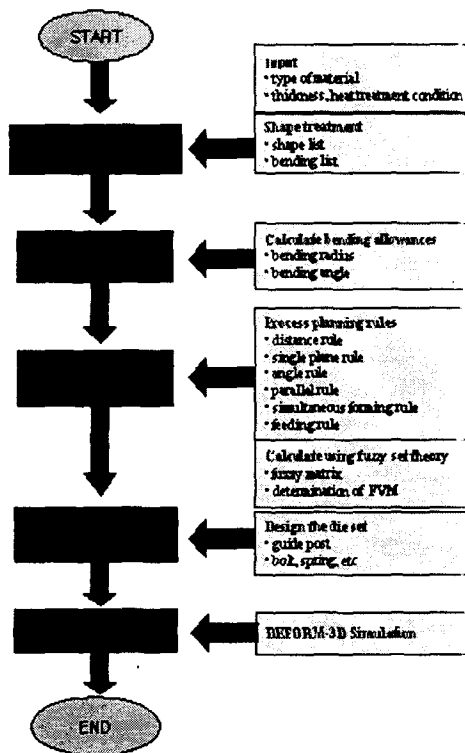


Fig. 1 Configuration of the system for progressive working

\* 부산대학교 정밀기계공학과 대학원

\*\* 부산대학교 기계공학부, 기계기술 연구소

입력 및 형상처리모듈은 입력과 형상처리모듈로 각각 나뉘어지는데, 입력모듈에서는 소재의 종류, 두께, 폭, 열처리 조건 등을 입력하면, 소재의 기계적 성질에 관한 정보를 데이터 베이스로부터 자동적으로 읽어 들인다.

형상처리 모듈은 굽힘 및 피어싱 공정을 갖는 제품에 대한 형상인식을 위하여 형상 데이터를 설계에 용이한 수치 리스트 형식으로 변환시키는 모듈이다.<sup>[6]</sup>

### 2.1 평면의 형상리스트

평면의 형상리스트는 제품의 굽힘선으로 나뉘어지는 평면은 외부형상과 내부의 홀(hole) 및 슬롯(slot) 형상으로 구성되어 있다.

### 2.2 제품의 굽힘리스트

제품의 굽힘 리스트는 굽힘 공정을 갖는 제품에 대하여 굽힘에 대한 정보 및 굽힘선과 연결되는 평면과의 상하관계가 정의되어야 한다.

### 2.3 플레이트 패턴 레이아웃 모듈

플레이트 패턴 레이아웃 모듈은 각 굽힘라인에 대하여 데이터 베이스로부터 읽어들이는 소재의 재질에 따른 계수와 굽힘리스트에 저장되어있는 굽힘반경, 굽힘각도를 추출한다.

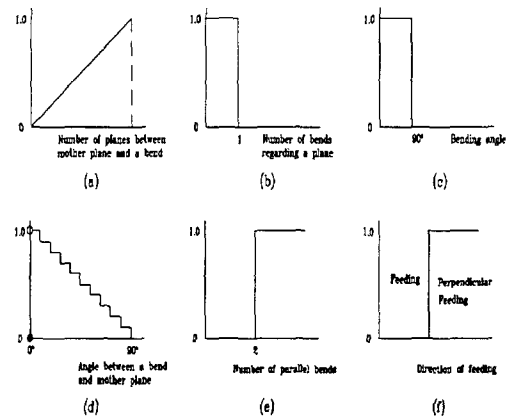


Fig. 2 Fuzzy membership functions

## 2.4 스트립 레이아웃 모듈

스트립 레이아웃 모듈에서는 거리규칙, Single plane 규칙, 각도 규칙, 평행 규칙, 동시 가공 규칙, 피딩 규칙을 적용하여 각 규칙의 중요도를 나타내는 가중치가 부가된 퍼지값을 계산하여 가장 높은 퍼지값을 가진 굽힘부터 굽힘 공정을 수행하고 최적의 굽힘 공정 순서, 가공력 및 연결방법을 결정하여 3차원 형상의 공정설계 도면을 자동적으로 창출시킨다.

피어싱 및 굽힘공정의 가공력은 아래의 식으로 각각 계산된다.

$$P = \tau t l \quad (1)$$

여기서, P : 피어싱력(kg)  
 $\tau$  : 소재의 전단응력(kg/mm<sup>2</sup>)  
 t : 소재의 두께(mm)  
 l : 전단길이(mm)

$$F = k \frac{bt^2(1.5 + \epsilon_r)\sigma_r}{6l} \quad (2)$$

여기서, F : 굽힘력(kg)  
 k : 마찰에 의한 수정계수  
 b : 굽힘선의 길이(mm)  
 $\epsilon_r$  : 굽힘에 의한 변형률  
 $\sigma_r$  : 소재의 인장강도(kg/mm<sup>2</sup>)  
 l : 굽힘금형의 어깨폭(mm)

## 2.5 다이 레이아웃 모듈

다이 레이아웃 모듈에서는 스트립 레이아웃 모듈에서의 결과를 이용하여 펀치와 다이를 비롯한 금형의 각 부품의 설계가 이루어진다.<sup>[7]</sup> 피어싱 펀치는 제품의 치수로 다이 치수는 제품의 치수에 펀치다이의 클리어런스 만큼 더하여 계산되어지고, 굽힘 펀치 및 다이치수는 식 (3)에 의해 계산된 스프링백을 고려하여 계산된다.

$$K = \frac{\alpha - \Delta\alpha}{\alpha} = \frac{r_p + \frac{t}{2}}{r_t + \frac{t}{2}} \quad (3)$$

여기서, K : 스프링백 계수  
 $\alpha - \Delta\alpha$  : 가공 후의 제품의 굽힘 각도(rad)  
 $\Delta\alpha$  : 스프링백 각도(rad)

$r_p$  : 펀치의 각 반지름(mm)

$r_t$  : 굽힘 가공후의 제품의 내굽힘반지름(mm)

또한, 다이 플레이트, 스트리퍼 플레이트, 펀치 플레이트, 가이드 플레이트는 “스트립 레이아웃의 면적”을 기준으로 설계가 이루어진다.

## 3. 시스템의 적용 및 고찰

본 연구에서는 Fig. 3과 같은 굽힘 공정을 갖는 제품을 스트립 레이아웃 모듈 및 다이 레이아웃 모듈에 적용시켜 수행된 결과를 고찰하고자 한다.

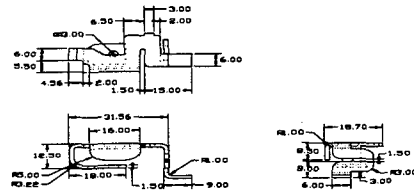
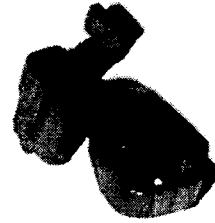


Fig. 3 A sample of electric product

### 3.1 스트립 레이아웃 모듈에 적용

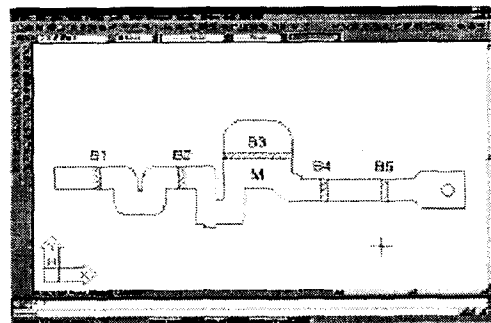


Fig. 4 The development figure of the product,

\* 부산대학교 정밀기계공학과 대학원

\*\* 부산대학교 기계공학과, 기계기술 연구소

Fig. 3의 제품은 피딩 방향의 굽힘이 1개, 피딩의 수직 방향의 굽힘이 4개로 구성되어 있으며, 제품의 각 평면 및 굽힘들을 펼친 형태로 Fig. 4에 나타내었다.

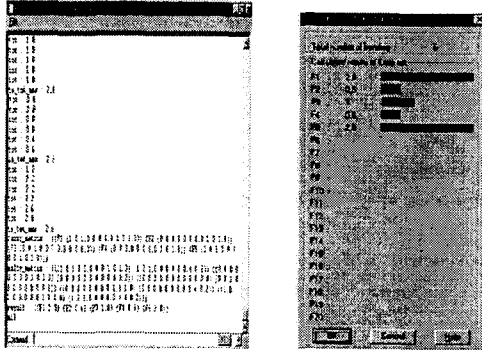


Fig. 5 Final fuzzy value of the product

5개 굽힘공정을 각 공정설계 규칙에 적용했을 때, 굽힘공정 B1, B5는 Mother plane 사이에 평면이 1개, 굽힘공정 B2, B3, B4는 0개이므로 Mother plane 규칙에 의해 B1, B5의 퍼지값은 1점, B2, B3, B4의 퍼지값은 0점으로 계산되었다. 굽힘공정 B1, B3, B5가 단일평면에 놓여져 있으므로 Single plane 규칙에 의해 퍼지값이 1점, 굽힘공정 B2, B4는 0점으로 계산되었고, 모든 굽힘공정이 90° 이므로 각도 규칙에 의해 퍼지값이 0점으로 계산되었다. 굽힘공정 B1의 경우 Mother plane과의 상대적인 각도가 굽힘공정 B1, B2의 굽힘각의 합으로써 B1의 굽힘각 +90° , B2의 굽힘각이 -90° 이므로 총합은 0° 로 계산되며, 같은 방법으로 굽힘 공정 B5도 0° 로 계산되었다. 또한, 굽힘 공정 B2, B3, B4는 Mother plane과의 상대적인 각도가 90° 이므로 모든 굽힘공정이 평행규칙에 의해 0점으로 계산되었다. 굽힘공정 B1, B2, B4, B5의 굽힘선의 단위 방향 벡터가 동일하므로 동시가공 규칙에 의해 퍼지값이 1, 굽힘공정 B3은 동일한 단위 방향벡터가 없으므로 퍼지값이 0으로 계산되었다.

굽힘 공정 B1, B2, B4, B5는 피딩방향에 수직에 놓여져 있으므로 피딩 규칙에 의해 퍼지값이 1, 굽힘공정 B3은 피딩방향에 있으므로 퍼지값이 0으로 계산되었다. 각 굽힘공정의 퍼지값을 나타내는

FVM의 값을 Fig. 5에 나타내었다. 위에서 계산된 FVM값에 의해 스트립 레이아웃 모듈에서 자동적으로 창출되어지는 스트립 레이아웃 도면을 Fig. 6에 나타내었다.

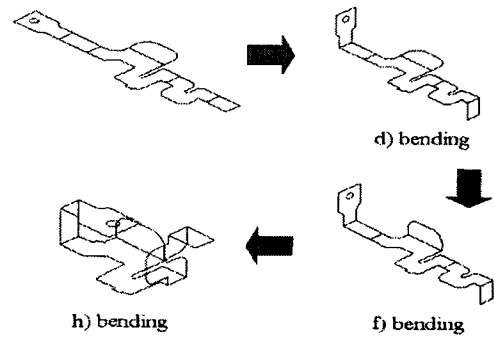
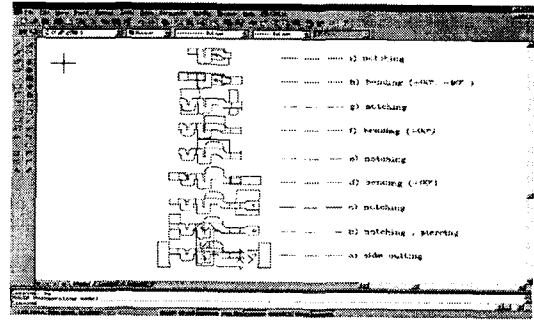


Fig. 6 The Strip layout drawing generated in the strip layout module

### 3.2 다이 레이아웃 모듈에 적용

다이 레이아웃 모듈에서는 스트립 레이아웃의 면적을 이용하여 금형의 폭과 길이를 계산한 후 금형의 크기를 결정하였다.

금형의 크기에 따라 가이드 핀의 수를 6개 상하부 금형에 우선 배열하였다. 체결 볼트의 수는 스트립 레이아웃에서 10개로 하였다. 체결볼트는 등간격으로 배열되었는데, 가이드 핀과의 간섭을 체크하여 간섭발생 시에는 가이드 핀과의 간섭이 발생하지 않는 거리를 유지하도록 이동시켰다.

상부 금형에서는 스프링의 개수를 16개로 결정

\* 부산대학교 정밀기계공학과 대학원  
 \*\* 부산대학교 기계공학부, 기계기술 연구소

하였다. 결정된 스프링들은 가이드 핀과의 간섭이 체크된 후 배열되었다. 리프트 핀은 공정에 간섭이 일어나는 부분을 제외한 나머지 다이 플레이트의 위치에 피치간격으로 배열하였다.

이 모듈에서는 펀치와 다이, 다이 플레이트, 스트리퍼 플레이트, 가이드 플레이트, 가이드 핀, 스프링, 체결볼트, 맞춤핀, 리프트 등 같은 프로그램시브 금형의 주요부품이 자동적으로 설계되는데 이를 Fig. 7에 나타내었다.

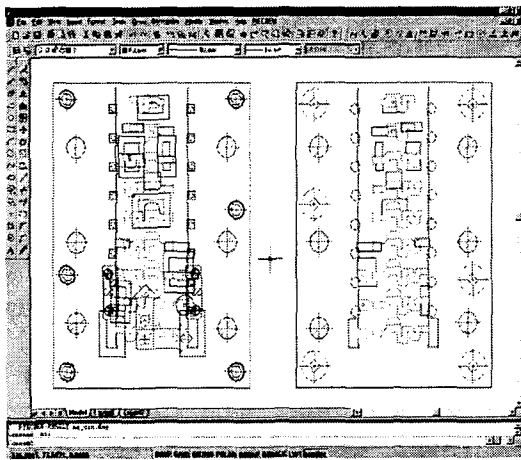


Fig. 7 The die layout drawing generated in the die layout module

#### 4. 결론

본 연구에서는 굽힘 및 피어싱 공정을 갖는 전기 제품에 대하여 퍼지 셋 이론을 적용하여 굽힘 공정의 순서를 결정하여 프로그래시브 가공을 위한 스트립 레이아웃 및 다이 레이아웃을 수행할 수 있는 시스템을 개발하였다. 시스템의 개발로 인하여 현장에서는 필요한 기술과 경험을 정량화하고 설계 절차를 정식화시킴으로써 설계지침의 표준화를 이룰 수 있다.

#### 참고문헌

1. Y. Shibata and Y. Kunimoto, "Sheet metal CAD/CAM system," Bull. Jpn. Soc. Prec. eng.,

\* 부산대학교 정밀기계공학과 대학원

\*\* 부산대학교 기계공학부, 기계기술 연구소

Vol. 15, pp.219~224, 1981.  
 2. J.C.Choi, C.Kim, Y.Choi, J.H.Kim, J.H.Park, "An Integrated Design and CAPP System for Deep Drawing or Blanking Products", The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 16, pp.803~813, 2000.  
 3. J.C.Choi, C.Kim, J.H.Yoon, "An Automated CAD System for Progressive Working of Irregular Shaped Metal Products and Lead Frame for Semiconductors", International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 16, pp.624~634, 2000.  
 4. 최재찬, 김병민, 김철, 김재훈, 김창봉, "반도체 리드 프레임 제조를 위한 프로그래시브 금형의 CAD/CAM 시스템 개발", 한국정밀공학회지, 제 16권 제12호, pp.230~238, 1999.  
 5. 김재훈, 김철, 최재찬, "전기제품의 프로그래시브 가공을 위한 공정설계 자동화 시스템", 한국정밀공학회지, 제17권 제8호, pp.198 ~ 206, 2000  
 6. Jae Hun Kim, Chul Kim, Jae Chan Choi, "A Study on the Development of Computer Aided Die Design System for Lead Frame, Semiconductor", International Journal for the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 2, No. 2, pp.38~47, 2001.  
 7. J.H.Kim, C. Kim, J.C.Choi, "An integrated CAD/CAM system for manufacturing lead frame for semiconductors", International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 17, pp. 840~849, 2001.