

# 스탬핑 금형의 라운딩 형상 최적화를 위한 CAD/CAE 모델 자동 생성

이강수\* · 이상헌\* · 인정제\*\*

## Automatic Generation of CAD/CAE Model for a Stamping Die Rounding Optimization

Kang-Soo Lee\*, Sang Hun Lee\* and Jeong-Je Yin\*\*

**Key Words :** Stamping, Die, Rounding, Optimal design, CAD/CAE

### Abstract

In order to reduce trial-and-errors in the die design and production, CAE systems for analysis of stamping tools have been introduced at the initial design stage recently. For optimal design, the CAE engineers may need to correct the meshes generated by automatic mesh generation programs. However, they may need help of CAD engineers as they are usually not skilled in manipulation of CAD systems. In order to get around these problems, automatic shell mesh modification method is proposed, which utilizes existing CAD/CAE package (in this study, I-DEAS) without user interaction. The developed method and optimization techniques are applied to a stamping die rounding optimization problem. The optimization results show that the manpower and the time required at virtual tryout can be reduced by using the developed systems.

### 1. 서 론

박판 성형(sheet metal forming)은 자동차 및 기계 부품의 대량 생산에 널리 사용되는 공정으로서 이를 위한 금형을 제작하기 위하여 현재 대부분의 금형 업체에서는 CAD/CAM 시스템을 도입하여 사용하고 있다. 그러나, 초기 금형으로부터 양산에 사용되는 실제 금형을 만들어 내는 과정은 숙련된 기술자의 시행착오에 의존하고 있는 실정이다[1]. 이러한 시행착오 방식에서는 최초 제작된 금형으로부터 시험 성형(try-out press)을 수행하여 파단, 주름, 스프링백과 같은 성형상의 문제점들을 발견하고, 작업자의 경험을 토대로 성형상의 문제점들을 해결하기 위해 작업 조건을 변경하거나 금형 형상의 수정을 시도하게 된다. 여기서 작업 조건에는 블랭크 홀더(blank holder) 압력, 윤활 조건, 성형 속도, 블랭크 사이즈 등이 해당되고, 금형의

형상 수정부는 주로 다이(die)와 펀치(punch) 견부(shoulder)의 라운딩, 드로우 비드(draw-bead) 등이다. 이러한 시행 착오 방법은 충분히 숙련된 작업자에 의해서도 많은 시간이 소요되므로 생산성 향상 측면에서 개선되어야 하며 이를 위하여 최근에는 금형 설계 단계에서 성형 과정을 미리 컴퓨터 상에서 시뮬레이션 할 수 있는 성형성 해석용 CAE 시스템을 적용하고자 하는 시도가 계속되어 왔다.[2,3,4]

CAD/CAE 시스템을 이용한 현재의 금형 설계 및 해석 작업과정은 다음과 같이 크게 3 단계의 과정을 반복 수행하게 된다.

(1) 설계된 금형의 CAD 데이터를 바탕으로 하여 해석에 필요한 다이, 펀치 및 블랭크 홀더에 대한 메쉬(mesh)를 생성한다.

(2) 성형 공정에 대한 시뮬레이션 작업을 수행한다. 생성된 메쉬 데이터에, 해석 작업에 필요한 공정 변수들을 설정하고, CAE 시스템을 사용하여 시뮬레이션 한다.

(3) 변형률 분포 등의 해석 결과를 토대로 성형

\* 국민대학교 자동차공학전문대학원

\*\* 인덕대학 컴퓨터응용기계계열

성을 판단하고, 파단 등과 같은 문제가 발생하면 공정 변수를 재 설정하거나, 필요한 경우 CAD 모델을 수정하게 된다.

만족스러운 결과가 나올 때까지 (1)(2)(3)의 과정을 반복한다. 이상의 해석사이클 중 (3)단계 작업에서는 금형 형상 수정 시 다이 건부의 라운딩 값을 변경하는 것이 주된 작업이 되며 이러한 금형 형상 수정 작업을 수행하기 위해서는 CAD 시스템을 사용하여 CAD 모델을 수정하는 작업이 필요하다. 그런데, 일반적으로 CAE 엔지니어가 CAE 뿐만 아니라 복잡한 CAD 시스템까지 잘 다룰 수 있는 경우는 드물기 때문에 CAD 작업자에게 협조 의뢰를 요청하여 CAD 모델이 수정되기 까지 많은 시간이 소요된다. 그러나, 만일 CAE 엔지니어가 CAD 시스템을 직접 다루지 않아도 되거나 CAD 작업자의 도움을 받지 않고도 해석에 필요한 메쉬 모델을 직접 수정하여 사용할 수 있다면 인력 및 장비의 절약 뿐만 아니라 설계 및 해석 사이클을 가속화 시킬 수 있을 것이다.

이원경[4]은 별도의 CAD 시스템을 사용하지 않고 유한 요소 상태로 금형의 라운딩 형상을 가변시킬 수 있는 방법에 대한 연구를 수행하였다. 이전 과정에서 메쉬 생성 프로그램에서 생성된 셀 메쉬 만을 사용하여 금형 최적화에 이용하였다. 여기에서는 라운딩 반경이 변할 경우, 관련된 메쉬들이 없어지고 새로운 메쉬가 생성되며 이전 메쉬 데이터와 비교하면 절점(절점)과 요소(element)의 개수, 번호가 달라지게 된다. 즉, 이 방법은 CAD 시스템 없이 독립적인 해석이 가능하나 변경후의 메쉬 데이터가 처음 데이터와 다르게 구성되어 최적화 수행 시 해석 시스템의 입력파일 변경이 복잡해지는 단점이 있다.

본 연구에서는 현 금형 설계 및 해석 방법을 가속화 시키고 장비 및 인력의 절감을 위하여, 상용 CAD/CAE 시스템을 사용하면서 엔지니어가 직접 CAD 작업을 하지 않아도 금형의 라운딩 형상 변경 및 금형 유한요소 생성을 자동으로 할 수 있는 인터페이스 프로그램을 개발하였다. 여기에서는 [4]의 연구와 비교하여 처음의 메쉬 데이터의 개수와 번호가 최적화 과정 중에 일관되게 유지되며, 변경된 라운딩 부위의 절점의 위치만 바뀌게 되어 최적화 설계에 더욱 유용하게 사용될 수 있다. 그리고 개발된 시스템을 스탬핑 금형의 라운딩 형상 최적화 설계에 적용하였다.

## 2. 스탬핑 금형의 라운딩 형상 최적화

### 2.1 최적화 대상

Fig. 1 에 본 연구에서 최적화 대상으로 선정된 모델을 나타내었다. 이 모델은 자동차의 오일팬 형상과 유사하게 모델링된 것이다. 이 모델은 사각집 형태의 부품으로 성형시 제품 모서리 근방에서 파단이 우려되는데, 파단 회피를 위해서는 파단발생 부위의 다이 라운딩 값을 부분적으로 변경하는 것이 효과적이다.

Fig.1 에 나타난 금형에 대하여 성형 후 제품 바닥면에서의 신율을 일정수준 이상으로 유지하면서 두께감소율이 가장 적게되는 다이 라운딩 형상을 찾도록 최적화 문제를 정의하였다.

Table 1 은 해석에 사용된 블랭크의 기계적 성질을 정리한 것이다.

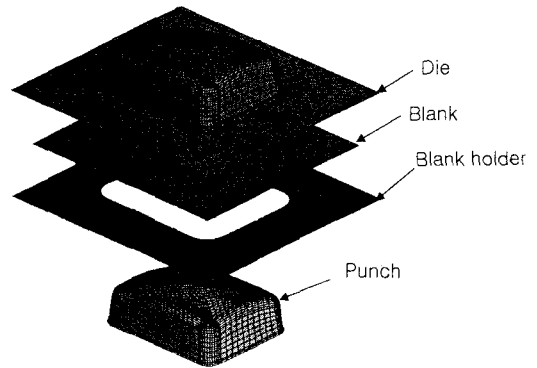


Fig. 1 FE model of the optimization problem

Table 1 Mechanical properties of the blank

Properties	Nom.	Unit	Value
Thickness	t	mm	1.8
Strength coefficient	K	(MPa)	624
Offset strain	$\epsilon_0$	-	0.006
Lankford coefficient for normal anisotropy	R	-	1.0
Hardening coefficient	n	-	0.176
Yield stress	Y	(MPa)	254
Elastic modulus	E	(GPa)	210
Poisson ratio	$\nu$	-	0.3
Density	$\rho$	kg/mm <sup>3</sup>	$7.8 \times 10^{-6}$

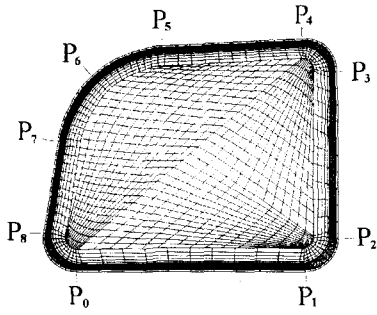


Fig. 2 Positions of variable rounding radius of die

## 2.2 설계 변수 정의

Fig. 2 에 나타난 9 개의 점 P0, P1, ..., P8 에서의 라운딩 반경을 설계 변수로 설정하였다. 즉, 9 개의 점에서의 라운딩 반경 값을 조정하며 최적화 과정을 진행하였다.

## 2.3 목적 함수

최적화[5]의 목적은 성형된 제품의 파단 발생 가능성을 줄이는 것으로 하였다. 성형 후 파단 발생 가능성을 낮추기 위하여, 최소화할 목적함수를 다음과 같이 정의하였다.

$$f = t_0 - t_{min} \quad (1)$$

여기서  $t_0$ 는 블랭크의 초기두께이며,  $t_{min}$ 는 성형 완료 후 모든 요소 중 최소 두께이다.

기타 최적화 과정에 필요한 구속 조건 설정, 민감도 해석 등은 인정제[6]를 참고하기 바란다

## 3. 라운딩 형상 최적화를 위한 CAD/CAE 모델 자동 생성

스탬핑으로 제작되는 모델의 최적 형상을 결정하기 위해, 제작되는 제품을 Pam-Stamp 로 해석한다. 해석 결과로 판단해 제품의 최적 형상을 정하며 이 연구에서는 주로 제품의 라운딩 반경을 조절함으로써 성형에 적합한 최적 형상을 찾는다. 이 때 제품의 모델링은 CAD 시스템으로 수행하고, Pam-Stamp 에서 사용될 메쉬 모델은 처음 결정된 메쉬 모델의 절점 및 요소의 개수와 번호를 최적화 과정이 끝날 때까지 동일하게 유지한다. 이는 최적화 모듈에서 하중 및 경계 조건, 해석 결과를 동일한 절점과 요소를 통해 일관되게 작업을

수행하기 위해서이다. 이 연구에서는 CAD 데이터와 메쉬 데이터를 함께 취급할 수 있는 SDRC 의 I-DEAS 을 선택하였다

### 3.1 메쉬 모델 생성 시스템 구성

최적화 모듈에서 필요한대로 제품의 형상이 변경되며 이에 따라 메쉬 데이터가 변경되는 시스템의 구성은 Fig. 3 과 같다.

Fig. 3 에서의 작업 순서는 다음과 같다. (1)~(4) 과정은 수작업으로 수행하여 최적화를 위한 기본적인 데이터를 생성하고, (5)~(10)은 최적화를 위한 반복 계산 과정으로 형상 변경부를 판단하는 과정 ((8) 과정)은 사용자 또는 최적화 모듈이 담당하고 나머지 부분은 자동으로 수행된다.

- (1) 상용 CAD 시스템에서 모델링한 형상 데이터가 IGES 나 STEP 과 같은 중립 데이터 형태로 존재한다.
- (2) 이러한 데이터를 이용하여 I-DEAS 에서 형상 모델링을 한다. 이 때 라운딩과 같이 변경하고자 하는 특징 형상이 존재하도록 한다. 이 때 모델링 특징 형상을 보고 이후 최적화 과정에서 자동 반복 작업을 하기 위한 매핑 데이터와 윈도우 설정 데이터를 설정한다.
- (3) I-DEAS 에서 모델링된 형상 데이터를 사용하여 메쉬 데이터를 생성한다. 이 과정에서 형상 데이터와 메쉬 데이터 사이의 제약조건을 설정하여 메쉬 데이터가 형상 데이터와 설정된 제약조건만을 이용하여 메쉬 데이터가 생성될 수 있도록 한다. 이 때 생성되는 메쉬 데이터는 제품의 형상을 나타내며 다이의 메쉬 데이터가 된다.
- (4) 처음 작업에서는 (3)에서 생성된 메쉬 데이터를 사용하여 Pam-Generis 에서 소재에 해당하는 블랭크 홀더의 메쉬 데이터와 펀치의 메쉬 데이터를 생성한다. 이 데이터는 한번만 만들어 최적화 과정이 끝날 때까지 사용한다.
- (5) 최적화 시스템에서는 (3), (4) 과정에서 만들어진 메쉬 데이터를 이용하여 구속 조건과 하중 조건을 설정하여 Pam-Stamp 에서 사용될 데이터를 생성한다.
- (6) Pam-Stamp 에서 해석을 수행한다.
- (7) 해석 결과를 분석, 평가한다.
- (8) 해석 결과에 따라 형상 데이터의 변경부위와 변경값을 결정한다.
- (9) CAD 시스템 인터페이스 모듈에서는 (8)의 결과를 입력 받아 CAD 데이터를 변경하고 이에 따라 다이의 메쉬 데이터가 생성된다. 이때 이전 절점과 요소의 개수와 CAD 모델 곡면 상에서의 번호 및 공간 상에서 위치는 똑같이 유지된다. 만약 절점이 변경된 부분에 있었다면 변경된 위치로 바뀌게 된다.

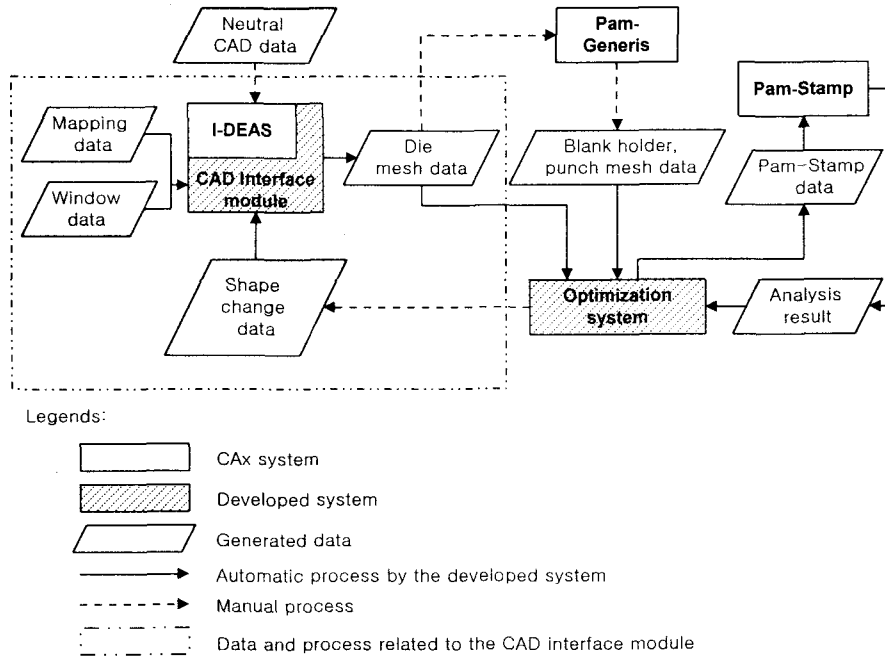


Fig. 3 FE model generating system layout

(10) 최적화 시스템은 만족할만한 결과가 얻어질 때까지 (5)~(9) 과정을 반복한다.

Fig. 3에서 CAD interface module은 최적화 시스템에서 요구하는대로 라운딩 크기를 변경하고 이에 맞는 메쉬 데이터를 생성하는 기능, 즉 위에서 (9)의 기능을 담당한다.

### 3.2 최적화 대상 제품 모델링

이 논문에서 제시하는 방법은 상용 CAD 시스템을 사용하기 때문에 사용하는 시스템의 기능에 따라 접근 방법이 달라진다. 여기에서 사용한 I-DEAS의 라운딩 방법에는 고정 라운딩과 가변 라운딩 두 가지 방법이 있다.[7]

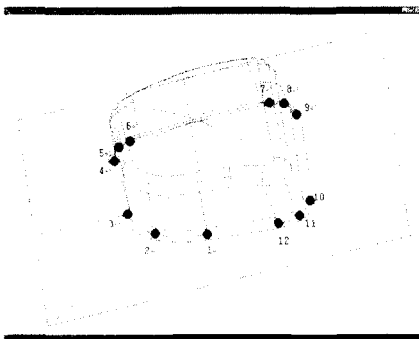


Fig. 4 Shape modeling in I-DEAS

여기에서는 Fig. 2와 같이 각 위치마다 다른 라운딩 값을 부여하기 위해 가변 라운딩 방법을 사용하였다. I-DEAS의 가변 라운딩은 한 모서리의 시작점에서의 반경값과 끝점에서의 반경값을 사용하기 때문에 한 모서리에 대해 다양한 반경을 갖는 라운딩을 주기 위해서는 그 모서리를 여러 개로 분리해 사용하였다. 그래서 이 연구에서는 Fig. 4와 같이 수직 방향의 모서리가 있는 부분에서는 수직 방향의 모서리에 라운딩 작업을 한 후 생성된 모서리를 2개로 분리하여 사용하였다. 그리고 각 꼭지점에 번호(1~12)를 부여해 꼭지점에서의 라운딩 반경을 변경할 수 있게 하였다. 여기에서의 번호는 Fig. 2에서의 번호와는 다르다. 이러한 과정은 I-DEAS 내부에서 특정형상으로 기록되어 모델링 이력에 기록되어 있으며 이후 라운딩 반경을 변경하여 형상이 모델링 이력을 따라 변경된다.

### 3.3 메쉬 데이터 생성 알고리즘

CAD 모델을 변경하여 메쉬 데이터를 생성하는 알고리즘은 Fig. 5에 나타나 있으며 이는 Fig. 3의 가상선 박스 안의 내용이다. Fig. 5의 알고리즘이 원활하게 수행되기 위해서는 I-DEAS의 특징 형상과 Fig. 4에서와 같이 최적화를 위해 임의로 부여한 번호와 일치 시키는 데이터와 화면 설정 데이터가 필요하다.

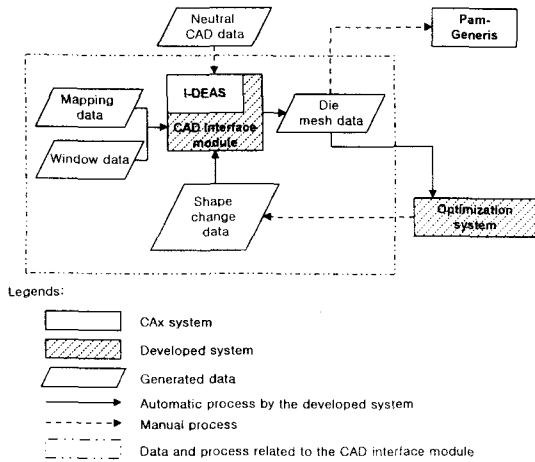


Fig. 5 Diagram of modifying CAD model and generating FE model

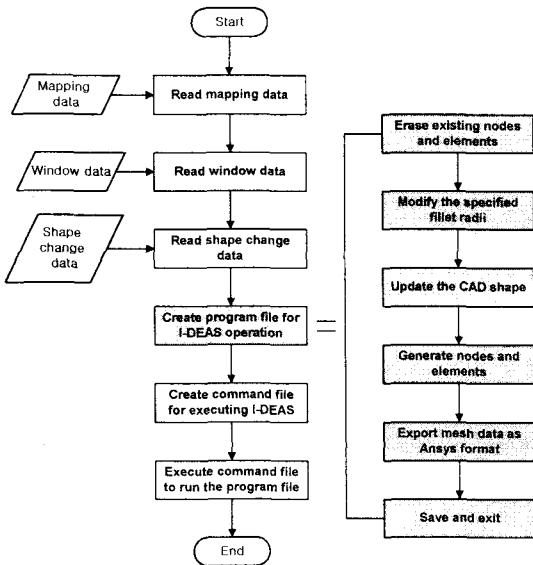


Fig. 6 Algorithm of the interface with CAD system

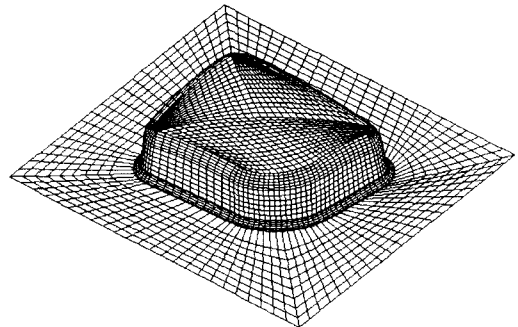
최적화 프로그램에서 CAD/CAE 모델 자동 생성 프로그램을 구동 시킬 때에는 Fig. 4 에서의 위치를 나타내는 번호와 그 위치에서의 라운딩 값을 설정하고 DOS 명령어로 개발된 프로그램을 구동시키면 된다. 개발된 프로그램은 필요한 데이터를 I-DEAS 의 마크로 명령어로 변환시켜 I-DEAS 를 구동 시키며, 설정된 마크로 명령어로 인해 CAD 및 CAE 모델이 자동적으로 생성된다. [7,8 ] 이 과정이 Fig. 6 에 나타나 있다.

#### 4. 적용 결과

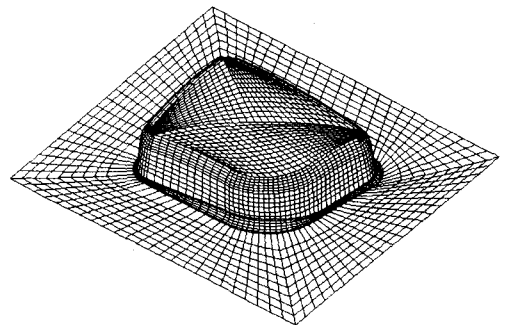
다이 라운딩 반경의 초기값은 10 mm, 하한과 상한은 각각 5 mm 와 15 mm 로 설정하고 최적화를 수행하였다. 해석은 총 13 회의 반복 작업으로 완료되었고 Table 2 에 최적화 전후의 라운딩 반경의 변화를, 최적화 전후의 다이 메쉬 형상이 Fig. 7 에 나타나 있다. Fig. 7 (a)는 초기 형상으로 라운딩 값이 일정하게 부여되었음을 볼 수 있다. (b)는 최적화 후의 형상으로 위치에 따라 라운딩 값이 다르게 부여되었음을 알 수 있다. 초기에 파단 위험 영역이던 다이 모서리 부의 라운딩 반경 P1, P2 가 증가하였음을 볼 수 있다.

Fig. 8 에 최적화 전후의 두께감소율 분포를 보였다. Fig. 8 (a) 초기 형상에서의 두께 감소율을 나타내며 (b)는 최적화 후의 두께 감소율을 나타낸다. 초기에 최대 두께 감소율 33.3% 이던 것이 29.6%로 낮아진 것을 볼 수 있다.

이상의 결과로부터 본 연구에서 시도한 금형 라운딩 형상 최적화는 파단 방식에 매우 효과적인 방안을 확인할 수 있다.



(a)

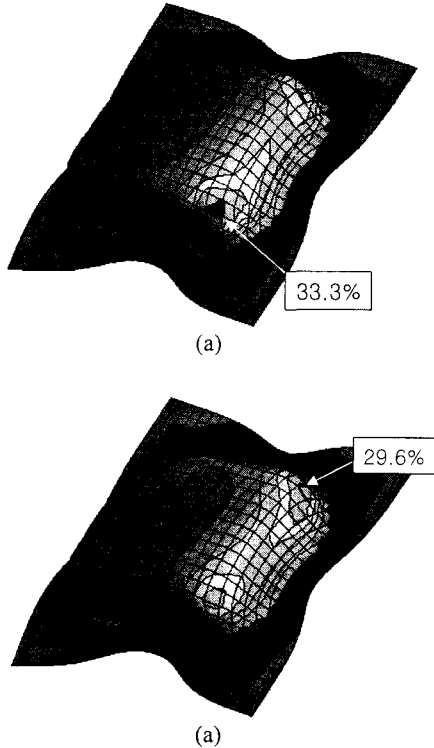


(b)

Fig. 7 Comparison of die shoulder rounding mesh

**Table 2** Initial and optimized rounding radius of die

Position	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
Initial	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Optimized	12.3	15	14.7	5.2	5.0	12.7	15	5.0	7.0



**Fig. 8** Thinning distribution of blank

## 5. 결론

본 연구는 금형설계 및 제작의 생산성 향상을 위해 현재 산업 현장에서 이루어지고 있는 엔지니어가 해석 결과의 판단 및 모델 수정을 해야 하는 가상 트라이아웃 과정 대신 해석결과의 판정과 금형 모델의 수정까지 컴퓨터 상에서 이루어지도록 하는 가상 트라이아웃 과정의 자동화에 대한 연구로서 스탬핑 금형의 설계 및 해석 분야의 생산성 향상에 기여할 수 있는 가능성을 제시하였다. 본 연구에서는,

첫째, 상용 CAD 시스템을 이용하되 금형 라운딩 형상의 CAD 모델 변경 및 유한요소 생성을 자동으로 수행할 수 있는 인터페이스 프로그램의 개발.

둘째, 개발 프로그램을 이용한 스탬핑 금형의 라운딩 형상 최적화 방안 개발을 수행하였다.

본 연구의 결과로 기존의 “CAD/CAE 시스템 상에서의 CAD 모델 변경 - 메쉬 자동 생성 및 수정 - 재해석”의 3 단계 사이클을 “메쉬 변경 - 재해석”의 2 단계로 단축시킬 수 있으며, 또한 CAD 전문가의 도움 없이 CAE 엔지니어가 독립적으로 해석 작업을 수행할 수 있게 되었다. 그럼으로써 CAD 시스템에 익숙하지 않은 CAE 엔지니어라도 별도의 CAD 작업 없이 금형의 라운딩 형상 변경 및 최적화를 수행할 수 있게 되었고, 작업 시간의 단축, 장비 및 인력 사용의 절감을 통한 금형 설계 및 제조의 생산성 향상을 기대할 수 있게 되었다.

## 참고문헌

- (1) Dieter, G.E., 1993, 박판 금속의 성형, 전기찬 역, 반도출판사.
- (2) 이종문, 김종원, 1997, “자동차 패널 성형 공정의 3 차원 유한요소 해석에 관한 연구,” 한국소성가공학회지, 제 6권 제 2 호, pp. 152~153.
- (3) 인정제, 안덕찬, 이경돈, 제출, “레이저 용접 테일러드 블랭크 신장 플랜지의 성형 최적화,” 한국소성가공학회지.
- (4) 이원경, 이상현, 인정제, 2001.6 (계재 예정), “스탬핑 금형의 효율적인 해석을 위한 유한 요소 모델의 라운딩 기능 개발,” 한국 CAD/CAM 학회 논문집, vol. 6, no.2.
- (5) Arora, J.S., 1989, Introduction to Optimum Design, McGraw-Hill, New York.
- (6) 인정제, 2001.2, 스탬핑 금형의 가상 트라이아웃 자동화 연구, 인덕대학 연구보고서.
- (7) SDRG, 2000, I-DEAS User's manual.
- (8) SDRG, 2000, I-DEAS Course Guide: OPEN I-DEAS.