

# 자동차 금형의 최적설계를 위한 CAE 기술

## The CAE Technology of Automobile Die for Optimal Design

김 영 석  
Y. S. Kim



김 영 석  
· 1957년생  
· 소성변형해석 및 최적가공 기술 개발  
· 경북대학교 기계공학과  
· 정회원

여기서는 최근의 자동차 금형의 최적설계 기술 개발을 위한 국내의 연구동향을 중심으로 살펴보고 실제 CAE 기술의 적용 예를 소개하고자 한다.

### 2. 금형설계에서의 CAE 기술의 도입

프레스 금형을 이용한 판재 가공법은 기하학적으로 복잡한 형상의 제품을 가공할 수 있으며 타 가공법과 비교하여 재료의 손실이 적고 연속 고속생산이 가능하기 때문에 자동차, 가전 및 항공 산업 등에 널리 이용되고 있다. 자동차의 내, 외 판넬을 생산하는 프레스 공정에서 소재는 상하 바인더(binder 또는 blank holder)에 의해 홀딩되고 펀치의 진행에 따라 국부적으로 또는 전체적으로 디프 드로잉(deep drawing), 스트레칭(stretching), 굽힘(bending) 변형 또는 이들의 조합으로 구성된 복잡한 변형을 받는다(그림1)<sup>9)</sup>.

이런 프레스 가공에 의해 판재를 요구하는 기능을 갖는 제품으로 성형시키기 위해서는 가공과정에서 재료의 성형불량(파단, 좌굴등)을 피하여야 하며, 성형후 제품의 형상동결이 확보되어야 하며 제품의 기능에 대한 저하가 없어야 한다.

프레스 가공에서 성형 성패에 영향을 미치는 주요 변수들은 판재의 물리적특성 등의 재료변수, 금형재료 및 형상 등의 설계변수, 그리고 마찰상태나 작업조건 등의 가공변수 등을 들 수 있

### 1. 머리말

최근에 각 자동차사들은 소비자들의 다양한 요구조건에 대한 부응과 차사제품의 경쟁력 확보를 위해 모델의 변경주기의 단축, 차종의 다양화 및 품질향상에 노력하고 있다. 한편 자동차의 디자인 단계로부터 자동차 개발~생산단계에 이르기까지 대부분의 비용과 시간이 소요되는 금형의 설계 및 가공에 있어서는 종래의 도면작업에 의한 과정을 점차 CAD(컴퓨터이용설계)/CAM(컴퓨터이용가공)체제로 바꾸어 가는 추세에 있다. 이에 따라 많은 자동차회사 및 프레스 부품업체에서는 최근 서둘러 CAD/CAM 기술을 도입하여 활용하고 있는 단계에 있다. 그러나 이의 효율적 활용과 제조공정에서의 그 가치를 심분 발휘하기 위해서는 CAD단계에서 설계 및 데이터베이스의 타당성에 대한 충분한 검토가 이루어져야 하기 때문에 CAE(컴퓨터이용해석) 기술의 도입에 대한 필요성이 절실히 요구된다.

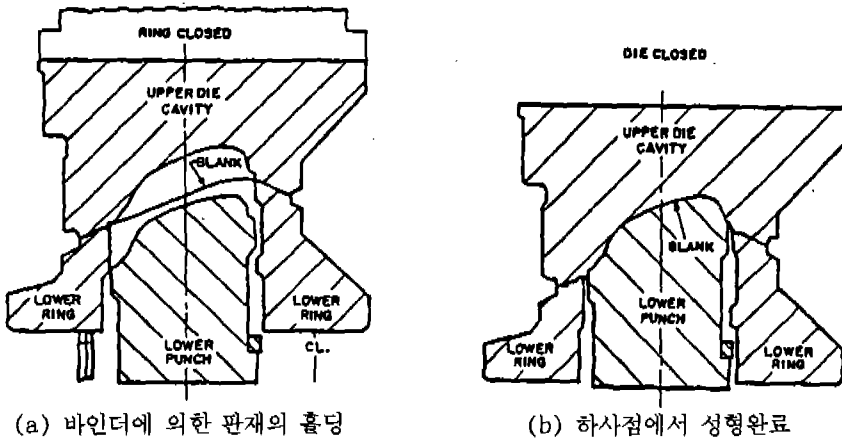


그림 1 대표적인 프레스 가공공정의 예

다. 통상 실제 프레스 가공에서는 이들 변수들은 상호 연관하여 작용하고 있기 때문에 최적 프레스 가공을 위해서는 이들 변수들이 판재의 변형 상태에 미치는 영향에 대한 면밀한 분석과 정보의 확보가 선행되어야 한다.

종래에는 숙련된 기술자의 경험적 지식에 의해서 프레스 금형이 설계되고 시행착오법에 의한 반복실험을 통해 최적인 금형이 완성되었다. 그러나 제품이 다양화되고 금형개발 주기가 빨라지면서 숙련자에만 의존하던 금형설계는 신제품 개발에 막대한 차질을 초래하고 있고 결과적으로 원가상승의 요인으로 작용된다. 이에 따라 실제 금형을 가공하기 전에 금형 설계단계에서 여러 변수들의 변화에 따른 제품의 변형상태의 예측과 분석을 통해 최적가공조건을 설정함으로써 금형 가공 후 try-out 공정에서의 소요되는 많은 비용과 시간을 줄이는 것이 필요하게 되었고, 컴퓨터의 발달은 이러한 필요성에 부합되어 금형설계에서의 CAE 기술도입을 촉진시켰다. 그림2는 CAD/CAM에 의한 금형설계 및 가공에 체계적인 설계기술로서 CAE 기술이 적용된 공정의 흐름도를 나타낸다.

### 3. CAE 기술로서의 FEA 해석

자동차 금형설계 및 가공에 있어서 통상 CAE

란 개념은 자동차의 설계, 생산단계에 있어서 실제 금형을 가공하지 않고 컴퓨터의 수치해석적 기법을 활용한 가상실험의 반복을 통하여 실제 가공공정에 대한 면밀한 해석과 검토를 행하여 고품질의 프레스 제품 생산을 위한 각종 변수(재료, 금형 및 가공조건)들을 최적화하여 강건한 제품을 생산하도록 하는 기술로 요약할 수 있다.

컴퓨터를 이용한 수치해석적 가상해석기술중에서 가장 널리 사용되고 있는 것 중의 하나가 1960년대 후반에 등장한 유한요소해석(Finite Element Analysis, FEA) 기술로서 이 방법은 최근의 컴퓨터 성능의 향상과 복잡한 3차원 문제의 모델링 및 해석기술의 개발 등에 힘입어 금형의 손상, 자동차 충돌해석 등의 정적, 동적문제의 응력-변형해석 분야뿐 아니라 진동 및 열유체해석 분야에서도 유용하게 사용되고 있는 대표적인 CAE 기술로 열거되고 있다.

유한요소 해석법은 연속체인 물체를 유한요소로 분할하여 각 요소들에 대한 가상일정리를 유한요소로 정식화하고 변위 및 하중 경계조건하에서 강성매트릭스를 풀어 매 증분변형에 있어서 변형률중분과 응력중분을 구하여 재료내부의 변형률과, 응력상태를 갱신해가는 수치해석방법이다. 따라서 이런 유한요소해석을 응용한 CAE 기술을 금형의 설계단계 또는 프레스공정에 적용하면 소재특성, 금형형상 및 가공조건 등의 독립

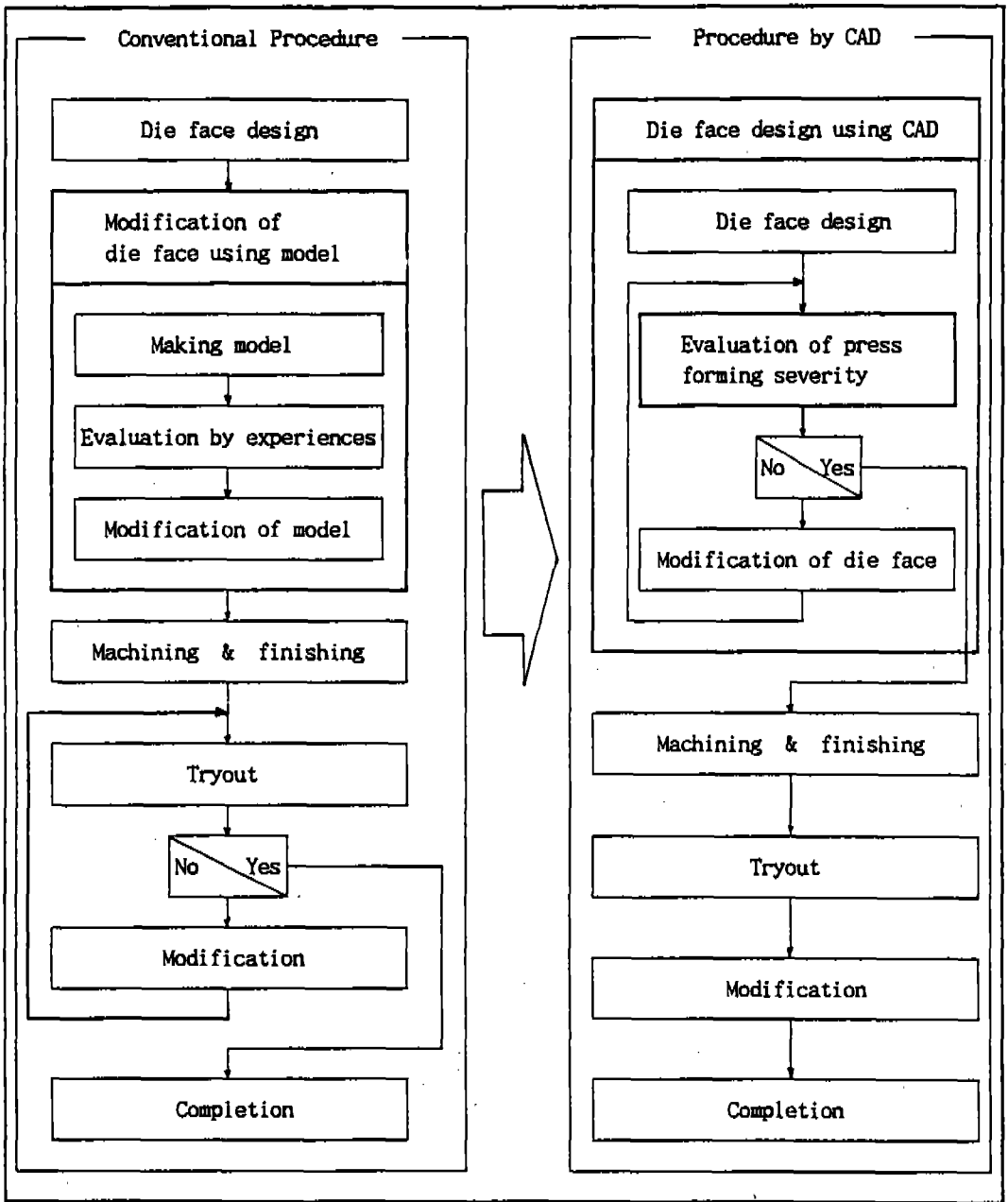


그림 2 종래의 기술과 CAD/CAM에 의한 체계적인 금형설계 및 가공기술의 흐름도

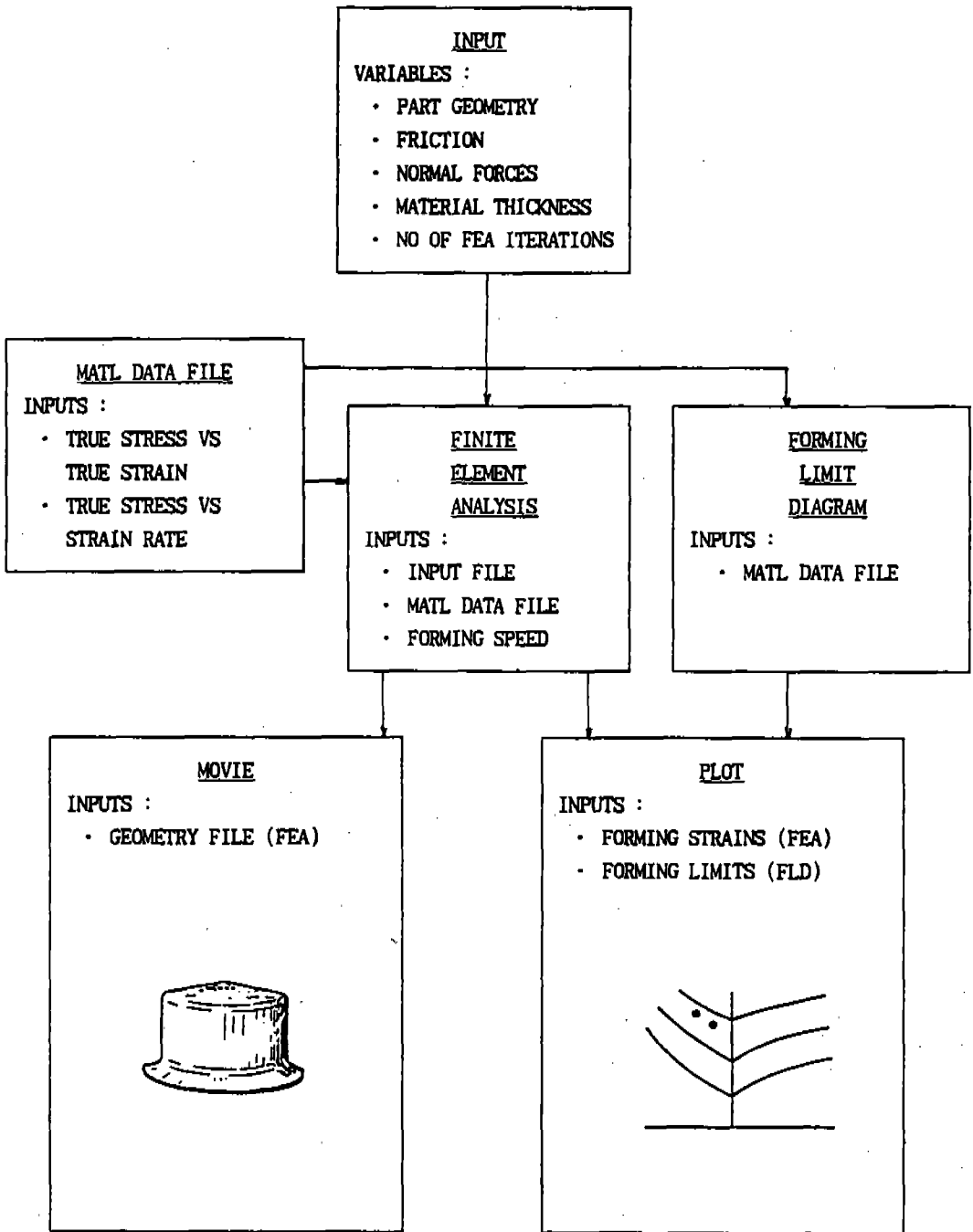


그림 3 프레스 공정의 최적설계를 위한 유한요소 해석 소프트웨어의 구성도

적 변화에 대한 영향과 악과 가공결함 발생유무를 사전에 평가할 수 있고 또한 이들을 방지할 수 있는 최적 재료의 선정 및 금형과 가공조건의 최적 설정이 가능해져 금형 try-out기간의 단축과 비용 절감 효과에 의한 제품의 경쟁력 확보가 가능하다. 그림3은 프레스 성형공정에 있어서 최적 설계를 위해 유한요소 해석을 이용한 소프트웨어의 구성도를 나타낸다.

유한요소법은 해를 구하는 방법에 따라 크게 내연적 방법(implicit method)과 외연적 방법(explicit method)으로 구분할 수 있다. 내연적 방법에 의한 유한요소해석은 해의 정확성과 신뢰성이 우수하여 2차원 혹은 축대칭의 간단한 금형형상에 의한 성형해석 문제에 자주 사용되나 금형의 형상이 복잡해지면 해의 수렴성 등에 문제가 있다. 그림4는 내연적 방법에 의해 해석된 자동차용 Oil Pan의 성형된 형상을 보여준다.

최근에는 외연적 방법에 의한 동적 대변형 유한 요소 해석이 여러 실제 프레스 공정 해석에 널리 사용되고 있는데 이 방법은 내연적 방법과 달리 수렴성에 문제가 없으며 금형의 형상이 복잡할 수록 내연적 방법에 비해 유리하나 해의 신뢰성과 정확성은 내연적 방법보다 떨어진다.<sup>11)</sup> 그림5는 외연적 방법에 의해 사각캡 드로잉공정에서 좌굴발생 거동을 해석결과를 나타낸다.

#### 4. CAE 도입의 기술적 제 문제

앞에서 논한바와 같이 프레스 금형설계에 있어서 FEA에 의한 체계적인 설계기술은 자동차 모델의 변경주기 단축 및 제품의 다양화에 능동적으로 대처해 나갈 수 있게 하므로 기업의 경쟁력 확보에 크게 기여할 것이다. 그러나 아직도 해석의 신뢰도 및 계산효율의 향상과 활용가치를 높이기 위해서는 기술개발이 요구되는 많은 과제가 남아있다. 개선되어야 할 주요 기술과제는 다음과 같다.

##### 4.1 3차원 금형의 효과적인 묘사

CAD/CAM 기술의 효용성을 극대화하기 위해서는 CAE 기술의 도입이 요구된다. 그러나

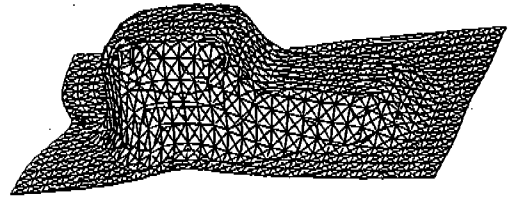


그림 4 내연적방법에 의한 Oil Pan 성형해석 결과

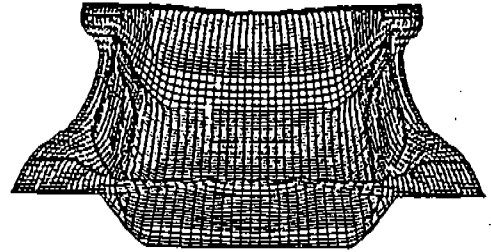
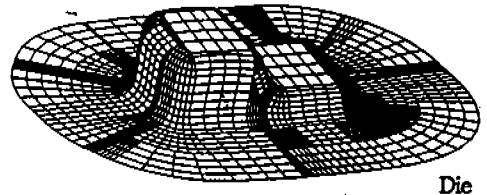
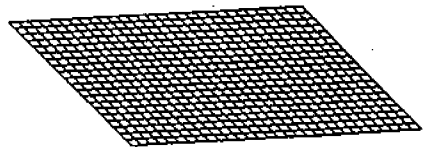


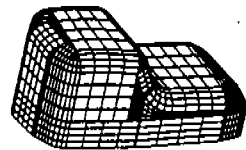
그림 5 외연적방법에 의한 좌굴발생 해석결과



Die



Blank



Punch

그림 6 Oil Pan 성형해석을 위한 공구의 모델링

FEA에 의한 프레스 공정의 해석을 위해서는 3차원의 복잡한 자유곡면 형상을 갖는 금형면의 효과적인 처리가 무엇보다도 절실히 필요하다. 이를 위해서는 금형면의 CAD데이터와의 연계가

손쉽게 이루어질 수 있도록 하는 interface의 자동화기술에 대한 개발연구가 필요하다.

통상 설계도면을 기본으로 해서 CAD시스템을 이용해서 생성한 3차원적인 금형면은 간단한 원, 평면 등의 단순한 해석적인 식으로는 표현되지 않는 복잡한 곡면들로 이루어져 있다. 현재 산업 현장에서 쓰고 있는 CAD시스템에서는 Ferguson, NURBS(Non Uniform Rational B-Splines)등의 패치가 많이 사용되고 있는데 이러한 패치들이 모여 한 곡면을 이루고 곡면들이 다시 복수개 모여 전체 금형면을 구성하게 된다. 따라서 이런 임의 형상의 3차원 금형면을 효율적인 FEA 해석을 위해 어떻게 효과적으로 표현할 것인가 중요한 문제가 된다.<sup>2,7)</sup> 그림6은 Oil Pan 성형의 유한요소해석을 위한 공구의 모델링 결과를 나타낸다.

#### 4.2 판재-금형간의 접촉처리

프레스 가공중에 판재와 금형간의 접촉상태는 가공이 진행됨에 따라 시시각각으로 변화한다. 프레스 가공공정에 대한 FEA에서 접촉경계의 처리는 금형을 강체로 다루어 판재와 금형간의 접촉여부를 판단하여 접촉영역에서 판재의 마찰거동을 잘 나타낼 수 있는 적정한 마찰모델을 도입하므로써 이루어진다. 한편 판재의 프레스 가공은 bulk재의 소성가공에서와는 달리 금형과 접촉표면이 체적에 비해 크기 때문에 실제 프레스 가공에 있어서 마찰조건에 따라 가공의 성패가 크게 구분된다. 따라서 FEA를 이용한 성형 해석에 있어서 판재의 마찰특성을 잘 나타낼 수 있는 마찰모델의 도입 여부가 해의 신뢰도, 유무에 크게 기여한다. 이를 위해서는 압력 p, 온도 T 및 속도 v의 광범위한 실험조건에서 많은 실험을 수행하여 구한 마찰계수( $\mu$ )데이터에 기초한 현실적인 마찰구성식의 확립  $\mu = \mu(p, v, T)$ 과 이를 응용하는 알고리즘의 개발이 요구된다.<sup>4)</sup>

#### 4.3 재료의 정확한 응력-변형특성의 묘사

자동차용으로 사용되고 있는 금속판재는 대부분이 냉간압연을 거쳐 생산되고 있어 판재는 압연조직에 의한 이방성을 나타낸다. 이 이방성은

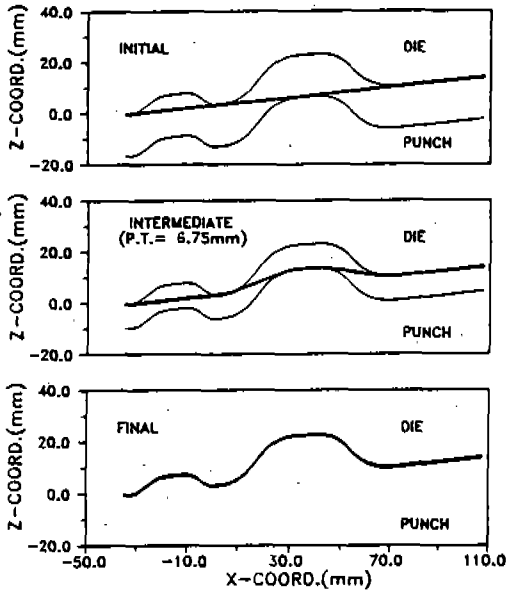
판재의 소성변형거동에 크게 영향을 미칠뿐 아니라 컵드로잉 공정에서 불필요한 귀(ear)를 발생시키기도 한다. 따라서 재료의 이런 이방성거동을 정확히 묘사할 수 있는 항복조건식의 도입과 넥킹이나 좌굴방생등과 같은 재료의 소성불안정 현상을 현실적인 레벨에서 잘 나타낼 수 있도록 하는 구성식의 도입과 이들의 검증을 위한 실험 기술의 확립이 중요하다.<sup>3)</sup>

#### 5. 프레스 공정의 2차원/3차원 해석

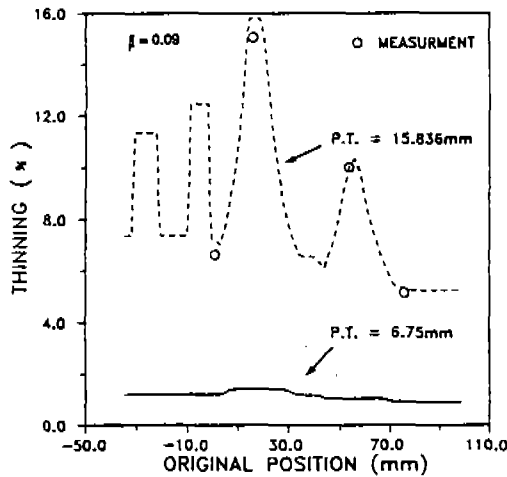
CAE 개념을 도입하여 판재의 프레스 가공공정을 역학적으로 해석하는 주요 목적은 실제 금형을 제작하여 제품을 만들어 보기 전에 여러 수치해석적 방법을 통하여 성형 후 제품의 변형상태를 사전에 예측하여 최적 가공을 위한 설계자료로 활용하기 위함이다. 프레스가공공정을 해석하기 위한 수치해석적 방법은 해석목적에 따라 2차원 근사해석과 3차원 해석으로 크게 구분된다.

2차원 근사해석은 실제 3차원 금형에 의한 판재의 가공공정의 해석의 어려움 때문에 3차원 형상의 금형(가공된 부품의 형상에 대응)을 2차원으로 근사시켜 판재의 평면변형을 가정하여 해석하는 것으로 기하학적인 평형상태를 고려한 해석적인 평형해법과 2차원 유한요소해석에 의한 단면해석이 널리 사용되고 있다. 그림7은 Hood Inner 판넬의 일부 단면에 대해 단면해석한 예로 실험결과와 비교하여 해의 정도가 우수하고 해석이 간단하여 대상으로 하는 부품의 형상에 따라서는 응용가치가 높은 것으로 평가된다.<sup>1,5,8)</sup>

한편 최근에는 컴퓨터의 기능향상과 효율적인 해석기술의 발전에 따라 실제 판넬의 3차원 해석이 가능하게 되었다. 그림8은 Trunk Lid의 프레스 가공공정에 대한 3차원 해석결과를 나타내는 것으로 초기 소재가 블랭크홀더에 의해 홀딩되는 상태(통상 바인더 램이라고 함)에서 면의 일부에 미소주름이 발생하여 펀치의 진행에 따라 주름이 소멸되어 가는 변형과정을 잘 나타낸다. 이들 해석결과로부터 판재와 펀치의 접촉여부, 판넬의 국부적 전체적 변형상태 등을 파악할 수 있다. 그림9는 치수불량의 대표적인 예인



(a) 펀치의 진행에 의한 성형

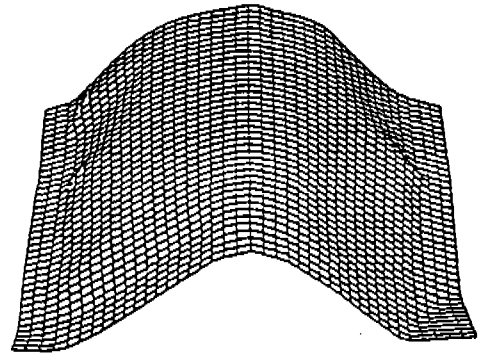


(b) 하사점에서 판재 두께감소

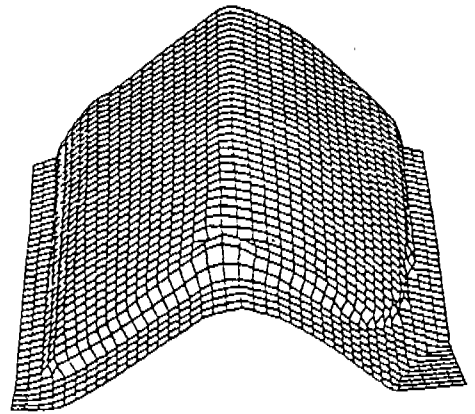
그림 7 Hood Inner 판넬의 단면해석 결과

스프링백에 대한 해석결과이다. 금형설계단계에서 스프링백에 대한 정확한 예측은 치수불량원인을 제거할 수 있는 정보를 제공한다.

그러나 아직 자동차 내,외판넬 성형과 같은 얇은 판재의 프레스공정에 대한 3차원 FEA 해석은 금형설계 기술자들에게 공학적 측면에서 만족할 만한 결과를 주지 못하고 있는 실정이다. 이



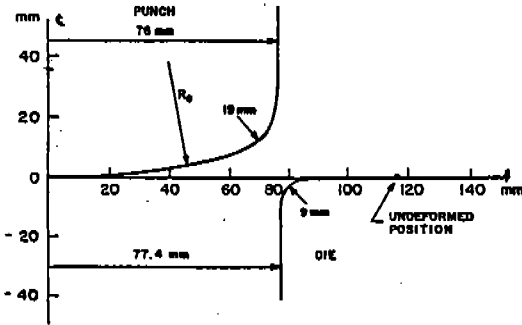
(a) 바인더 랩 상태에서 시편의 변형형상



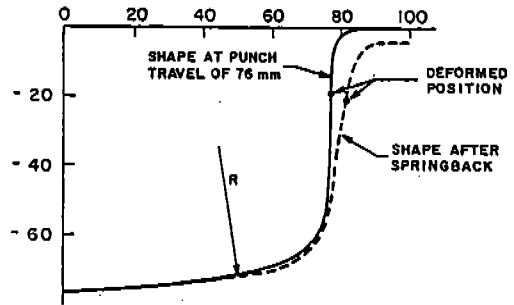
(b) 하사점에서 판재의 변형형상

그림 8 Trunk Lid의 3차원 변형해석 결과

는 다른 소성가공 분야의 해석과는 달리 아직 3차원 형상의 금형에 대한 정확한 모델링기술의 미흡, 금형-판재간의 접촉부에서의 경계조건(변위 구속조건 및 마찰조건등)의 복잡성 및 FEA 알고리즘의 불완전성 등으로부터 기인한다. 최근에는 해석의 신뢰도를 향상시킨 일부 사용 가능한 FEA 프로그램이 미국, 일본, 유럽등에서 국가적 차원에서 연구개발되어 판매되고 있다. 대표적인 탄소성 비선형 해석용 범용코드로는 ABAQUS, NIKE, DYNA-3D, MARC, ANSYS 등이 있고 판재성형 해석 전용코드로는 PAM-STAMP, SHEET-3, ROBUST 등이 있으나 프로그램의 신뢰성 향상 및 해의 안정성의 확보를 위해 많은 연구가 활발히 행해지고 있다.<sup>6)</sup>



(a) 공구의 형상



(b) 성형완료후 스프링 백

그림 9 스프링백 해석결과

### 6. 최적 블랭크 형상설계기술

개발된 프레스 금형의 try-out 공정을 거쳐 파단발생이 없도록 금형형상의 최적화가 이루어진 후 양산단계에 있는 프레스 공정에서는 금형의 감가상각비를 제외하면 원가증에서 원재료인 판재비용이 제일 큰 비중을 차지한다. 이 때문에 자동차사에서는 재료의 실수율을 높이기 위한 방법의 하나로 프레스 가공후 트리밍 공정에서 잘라내어야 할 스크랩량을 줄이기 위해 블랭크 형상을 최적으로 설계하는 기술과 블랭크 형상의 배열을 최적화하는 기술에 높은 관심을 갖고 있다. 그중에서도 블랭크 형상을 최적화하는 일은 금형의 다이면에서 재료의 유동을 원활히하여, 가공불량 발생을 줄이고, 잔류 플랜지의 면적을 균일하게 하면서 그 양을 작게하여 특정부품에 따라서는 트리밍 공정없이 드로잉 공정만으로 최종제품을 생산하는 등 많은 장점이 있다.

이러한 중요성 때문에 프레스 금형 설계자가 최적 블랭크 형상을 파악하기 위한 여러 기술들이 알려져 있다. 대표적인 것이 기하학적방법, 사상(mapping)를 이용한 방법, 슬립선장해석을 응용한 방법<sup>12)</sup> 그리고 가공공정의 역해석에 의존하는 유한요소해석 방법들이 있으나 이들을 금형설계자가 사용하기 위해서는 상당한 지식이 요구되거나 복잡한 단면형상 제품의 경우에는 정확한 해가 구해지지 않아 프레스 현장에서는 아직까지 기존의 경험에 의존하는 방법이 이용되고 있는

실정이다.

한편 최근에는 프레스 가공시 재료가 다이내부로 유입되는 현상을 물리현상에서 자주 접하는 비점성유체의 비회전유동, 즉 포텐셜 유동을 간주하면 플랜지면에서의 포텐셜유동에 대한 경계요소해석(Boundary Element Analysis, BEA)을 통하여 균일한 제품높이를 갖는 임의 단면형상을 가공하기 위한 최적 블랭크 형상을 간단히 PC상에서 도출할 수 있는 방법이 제안되어 있다. 그림10에 사각단면의 제품을 최적 프레스 가공하기 위해 BEA 해석결과로부터 얻어진 최적 블랭크 형상(최적 블랭크 금형의 형상에 대응)과 기존에 프레스 기술자들의 경험에 의해 제안되고 있는 모서리 따기 C=150mm(corner cut량)를 갖는 사각사편의 형상을 나타내었다. PC base의 BEA 해석에 의해서 간단히 최적 블랭크 형상이 얻어지고 있음을 알 수 있다. 또한 그림11은 2단 프레스 가공으로 생산되는 Oil Pan의 최적 블랭크 형상에 대한 계산결과와 실험결과를 나타낸다. 해석에서는 실제 1, 2 step의 가공공정을 역으로 해석하므로써 최적 블랭크를 구하였다. 계산된 최적 블랭크 형상으로부터 가공된 제품의 경우에 잔류 플랜지의 길이가 거의 일정함을 알 수 있다.<sup>13)</sup>

### 7. 감건설계를 위한 CAE 기술의 응용

한편 유한요소법을 이용한 컴퓨터원용실험은 에



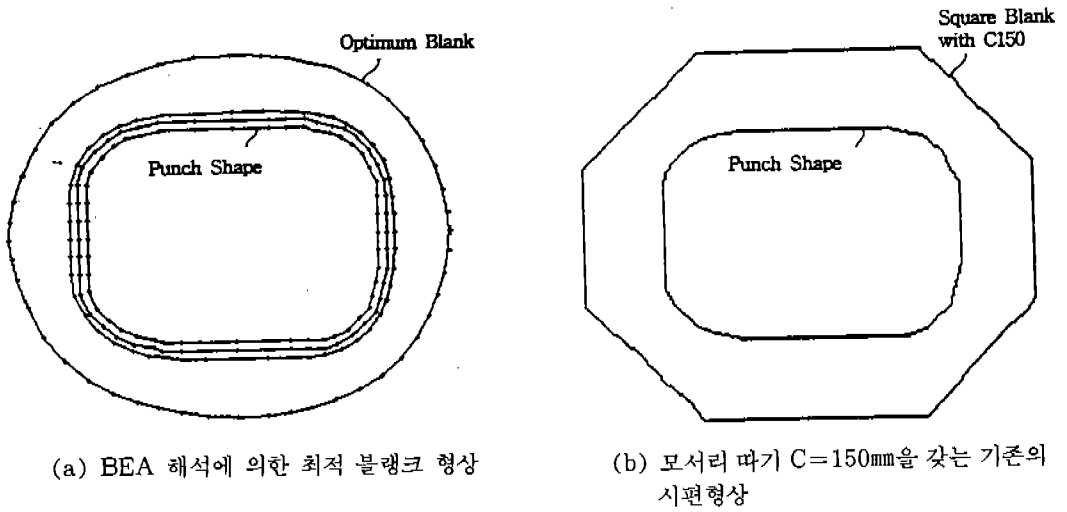


그림 10 사각단면 제품성형을 위한 최적 블랭크 형상

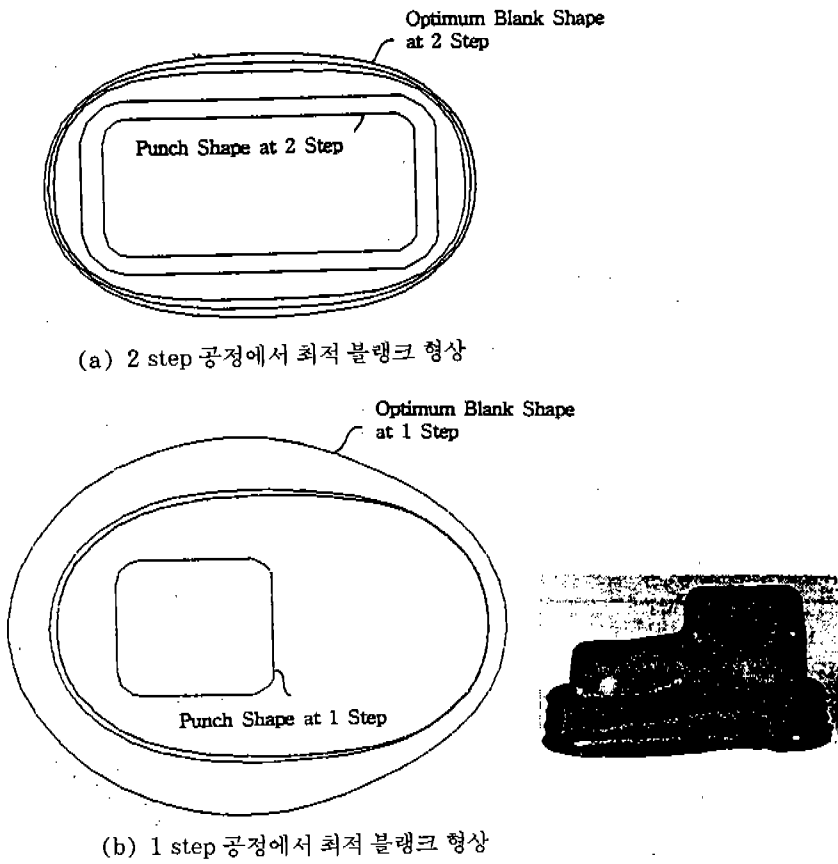


그림 11 Oil Pan 성형을 위한 최적 블랭크 형상과 실험결과

이츠의 조합실험(Yates factorial experiment) 혹은 타구치의 직교배열실험(Taguchi orthogonal array experiment) 등과 같은 효과적 계획실험법(designed experiment)과 병행하면서 각 인자의 상호작용(interaction)을 배제하면서 계산회수를 줄이고, 프레스 성형품질에 미치는 각 인자의 영향을 정량화하고 최적화하는 것이 가능하다.<sup>10)</sup>

표1은 Oil Pan의 프레스 성형공정에 대한 해석을 위한 타구치의 직교배열 실험표(L<sub>8</sub>)을 나타낸다. 표1에서와 같이 7개의 변수와 각 변수가 2개의 인자를 갖는 경우, 이들 변수의 변화에 대한 영향을 평가하기 위해서는 7개 변수의 전

표 1 7개의 변수와 각 변수가 2수준을 갖는 경우(L<sub>8</sub>)에 대한 Taguchi의 직교배열 실험표

Expt. No.	Column						
	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2

조합(full factorial)으로 128(=2<sup>7</sup>)회의 모사실험이 필요하나 각 변수의 상호작용을 무시할 수 있는 경우는 타구치의 계획실험법에 따르면 부분조합(partial factorial)에 의한 8회만의 실험으로 줄일 수 있다. 표2는 표1에 따라 각 실험인자들에 실험조건을 할당한 것을 나타내고, 가장 오른쪽 열은 각 실험조건에 따라 유한요소해석 결과로부터 구해지는 여유변형률을 나타낸다. 여기서 여유변형률은 Oil Pan의 유한요소해석으로부터 가장 변형이 집중되는 영역의 주, 부 변형률을 그림3에서 나타낸 것과 같은 성형한계도(Forming Limit Diagram, FLD)상에 표시하고 그 점에서 성형한계선까지의 여분의 변형률을 나타낸다.

표2로부터 오일팬 성형공정에서 성형성에 가장 영향을 미치는 인자는 소성이방성계수이고 그 다음은 블랭크 홀더력과 성형깊이임을 알 수 있고 이는 실제 프레스결과와 잘 일치한다.

한편 각 인자의 최적조합이 가장 아래행에 나타나있고 이 조건에 의한 계산결과는 16%의 안전여유변형률이 얻어져 실제 충분히 안전성형이 가능함을 알 수 있다.

### 8. 맺음말

자동차 금형의 최적설계를 위한 CAE 기술분

표 2 Oil Pan 성형공정의 FEA 해석조건과 해석결과

Run No.	r value	n value	Friction coeff.	Die radius	Punch radius	Part depth	Blank force	Safety margin
1	2.2	0.25	High	8.9mm	38mm	245mm	High	-22
2	2.2	0.25	High	2.5mm	31.8mm	238mm	Low	-6
3	2.2	0.19	Low	8.9mm	38mm	238mm	Low	+7
4	2.2	0.19	Low	2.5mm	31.8mm	245mm	High	-9
5	1.0	0.25	Low	8.9mm	31.8mm	245mm	Low	*
6	1.0	0.25	Low	2.5mm	38mm	238mm	High	-5
7	1.0	0.19	High	8.9mm	31.8mm	238mm	High	-5
8	1.0	0.19	High	2.5mm	38mm	245mm	Low	*
Opt.	2.2	0.25	Low	8.9mm	38mm	238mm	Low	+16

(주) \* : 음의 매우 큰 안전여유변형률, 펀치, 다이 및 플랜지영역에서 각각의 마찰계수값: High=0.18/0.08/0.17, Low=0.12/0.08/0.02, 블랭크 홀더력: High=펀치력, Low=(1/3)펀치력

야에 있어서 최근 국내의 연구개발 동향과 주요 요소기술들에 대하여 개략적으로 살펴보았다. FEA와 같은 수치해석적 방법을 이용하면 프레스 공정을 금형의 설계단계에서 미리 컴퓨터상에서 가상해석함으로써 판재 및 공구의 응력-변형 상태를 파악할 수 있고 최적 가공을 위한 여러 변수들의 최적선택이 가능할 것이다.

금형생산에 있어서 CAE기술의 적용은 이전의 시행착오에 의한 많은 비용과 시간을 절감시키고 모델 변경주기의 단축 및 제품의 다양화에 능동적으로 대처해 나갈 수 있게 하므로 기업의 경쟁력 확보에 크게 기여할 것이다. 그러나 이 방법이 금형설계 과정에서 실용적인 측면에서 널리 사용되기 위해서는 3차원 곡면을 갖는 금형면의 효과적인 처리방법, 판재와 금형간의 접촉경계에서 마찰경계조건에 대한 정확한 묘사 및 적정한 구성식을 포함한 효율적인 해석방법에 대한 연구개발이 요구된다. 또한 기존의 CAD 설계데이터와의 연계가 손쉽게 이루어질 수 있도록 하는 Interface의 자동화기술에 대한 노력도 필요할 것으로 생각된다.

국내의 여러 연구자들의 의욕적인 연구활동과 자동차업체들의 개발 노력에 힘입어 머지않아 CAD/CAM에 CAE를 연계시킨 CAD/CAE/CAM기술이 프레스 현장에 널리 활용될 것으로 기대된다.

## 후 기

본 해설의 작성에 있어서 직, 간접적으로 응용된 국내 여러 참고자료들의 저자들에게 깊이 감사드린다.

## 참 고 문 헌

1. 유동진, 이정우, 전기찬, “차체판넬 프레스 성형공정의 평면변형 해석”, 대한기계학회

- 추계학술대회 초록집, (1989), pp.275.
2. 심현보, 양동렬, 정완진, “원형컵 디프드로잉의 탄소성 유한요소해석”, 대한기계학회 추계학술대회 초록집, (1989), pp.279.
3. 김영석, “탄소성 유한요소법에 있어서 구성식의 응용”, 대한기계학회지, Vol.29-3 (1989), pp.270.
4. 김권희, “판재 성형용 프레스 금형설계를 위한 유한요소법의 응용”, 대한기계학회지, Vol.30-3(1990), pp.231.
5. 금영탁, Wang, N.M., “단면성형해석에 의한 자동차 내부판넬의 설계”, 자동차공학회지, Vol.12-6(1990), pp.48.
6. 금영탁, 이장희, “박판성형공정 시뮬레이션에 대한 세계적인 연구동향”, 대한기계학회지, Vol.32-7(1992), pp. 632.
7. 양동렬, “박판성형에서의 CAD/CAM/CAE”, 대한기계학회지, Vol.33-3(1993), pp.231.
8. 윤정환, “평형해법을 이용한 박판성형의 단면해석”, 한국과학원 석사학위논문, (1993).
9. 김영석, 박기철, “판재의 성형성 평가 실험에 대한 고찰”, 대한기계학회지, Vol.33-1 (1993), pp.47.
10. 박기철, 김영석, 최원집, “직교배열실험에 의한 스템평가공의 영향인자 분석”, 대한기계학회 추계학술대회 초록집, (1991), pp. 104.
11. 김현영, 김중재, “Explicit code에 의한 스템 평시 스프링백 및 성형성예측”, 한국소성가공학회지, Vol.3-1(1994), pp.85.
12. 신재현, 김민수, 서대교, “비대칭 단면에 대한 판재 성형성”, 한국자동차공학회 논문집, Vol.2-1(1994), pp.84.
13. 김영석, “최적 프레스가공을 위한 블랭크 금형설계기술”, 대한기계학회논문집 투고예정 (1995).