

# Reverse Engineering 기술의 판재 성형 해석에의 응용

한수식<sup>#</sup>, 김동진<sup>1</sup>

## Application of Reverse Engineering on Sheet Metal Forming Analysis

S. S. Han, D. J. Kim

### 1. 서 론

레이저를 이용한 비접촉식 측정 기술의 발달로 인하여 제품의 3 차원 형상의 측정 속도가 비약적으로 증가하였다. 레이저 측정 장치의 사용으로 제품의 형상을 점의 형태가 아닌 수백개의 점으로 이루어진 선의 형태로 측정하는 것이 가능하게 되어 기존에 3 차원 측정기(CMM)를 이용하여 한 점, 한 점씩 측정하므로써 제품의 전체 형상 측정에 수일 내지 수십 일이 소요되어 왔던 작업들이 수 시간 내에 완료되는 것이 가능하게 되었다. 아울러서 측정 장비의 제어 분야에 있어서도 기술이 발달하여 측정의 자동화가 어느 정도 가능하게 되었다. 이러한 측정 장비 및 기술의 발달로 인하여서 Reverse Engineering 기술은 제품의 설계 분야에 있어서 널리 사용되기에 이르렀다.

성형 해석 프로그램의 신뢰도 증가와 컴퓨터의 고성능화로 인하여 정도 향상에 의해 판재 성형에 있어서 유한 요소 해석법의 적용이 크게 증가하고 있다. 유한 요소법에 의한 판재 성형 해석은 부품의 설계 단계에서 뿐만 아니라 양산 공정 중에 발생하는 각종 불량률의 원인 분석과 이에 대한 해결 방법을 도출하는데도 널리 사용되고 있다. 유한 요소법에 의한 해석 방법의 장점은 성형 제품의 성형 난이 분석에 필요한 시간과 비용을 절감할 수 있으며 판재 성형에 사용되는 재료의 물성치를 포함한 여러 가지 성형 인자들의 변경이 용이하다는 것이다. 이러한 장점은 판재 성형 공정에 대한 각각의 인자들의 영향을 쉽게 파악할

수 있어 성형 문제 발생시 원인 인자 발견과 대책의 수립에 큰 도움을 준다.

본 기술 해설에서는 판재 성형 해석에 있어서 중요한 과정의 하나인 금형 형상의 모델링 과정에 Reverse Engineering 기술을 적용하는 과정과 적용 예를 다루었다. 그리고 본 방법의 장단점과 기술적 해결 과제를 분석함으로써 향후 본 방법의 지속적인 적용 가능 여부와 적용 분야를 검토하였다.

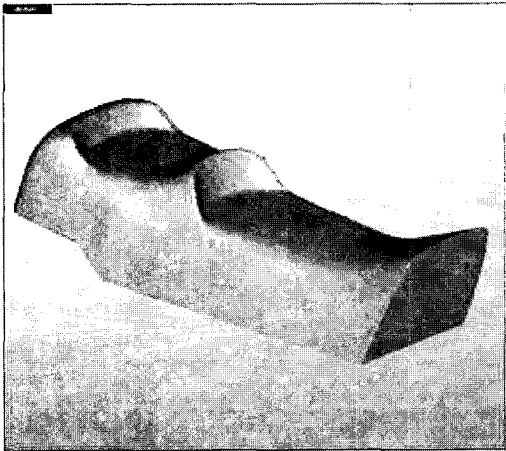
### 2. Reverse Engineering

#### 2.1 개념

Reverse Engineering의 사전적 의미는 분해 공학 혹은 역설계(逆設計: 신제품을 분해하여 구조를 분석하고 그 설계를 역으로 탐지하는 기술)로서 어떠한 기술이라고 단정 짓기란 매우 곤란하다. 일반적으로 제품의 설계 분야에서의 Reverse Engineering이 갖는 의미는 이미 생산된 제품으로부터 2차원 또는 3차원의 도면을 생성하는 작업이다. 이러한 작업을 수행하기 위해서는 3차원 측정기나 기타 측정 장비를 이용하여 제품의 형상에 대한 측정 점데이터가 필요하다. 측정된 점데이터는 각종 관련 프로그램을 이용하여 3차원 솔리드 모델로 가공되며 솔리드 모델로부터 제품의 제작에 필요한 2차원 도면을 생성한다.

Fig. 1은 3차원 형상 측정기를 이용한 제품의 형상 측정과 측정 데이터로부터 3차원 모델을 나타낸 것이다[1].

1. POSCO 기술연구소  
# 교신저자: 금오공과대학교 기계공학부  
E-mail: sshan2@hanmir.com



**Fig. 1 Example of reverse engineering (vehicle seat) from LDI brochure**

지금까지 이러한 Reverse Engineering 방법은 주로 품질관리, 벤치마킹, 경쟁 제품 분석, 개념 모델의 도면화, CAD 데이터 없는 제품의 도면화 및 노후 금형의 재제작 등을 위하여서 사용되어 왔다. 품질관리 분야에서는 생산된 제품의 형상이 설계된 제품의 그것과 동일함을 판단하는데 사용된다. 이때 사용되는 방법은 형상이 복잡한 생산 제품을 3 차원 형상 측정기를 이용하여 점데이터를 측정하고 이것이 설계 데이터와 일치하는지 여부를 비교한다. 이를 위하여서는 전용의 검사 프로그램이 필요하다. 경쟁 제품에 관한 분석에 관한 분야에서는 실물만이 입수된 선진 제품이나 경쟁사의 제품에 대하여 2 차원 도면이나 3 차원 모델링 데이터를 확보하므로써 벤치마킹을 위한 기록으로의 보관이 용이하고 언제 훼손될지 모르

는 실물 부품의 장기 보관하기 위해서 비용을 투자할 필요가 없다는 장점 등으로 인하여 사용되고 있다. 먼저 제품의 디자이너가 형상이 복잡한 실 모델을 만든 후 생산을 위하여서 실 모델 제품의 형상을 측정하여 2 차원 도면이나 3 차원 모델링 데이터를 생성 할 수 있다.

## 2.2 금형 모델 작성

판재 성형 공정의 유한 요소 해석을 위하여서는 필요한 데이터로서는 크게 재료에 대한 데이터, 금형에 관한 데이터 그리고 성형 공정 즉 프레스 조건에 관한 데이터가 요구된다. 이들 중 재료에 관한 데이터와 프레스 조건에 관한 데이터는 필요시 언제든지 입수 또는 측정할 수 있기 때문에 데이터의 확보에 큰 어려움은 없다. 그러나 금형 형상에 관한 데이터는 약간 사정을 달리한다. 대부분의 자동차사들 또는 프레스 업체들이 대형 자동차 성형 부품에 대하여서 CAD 데이터는 보유하고 있으나 금형의 제작을 위하여서 필요한 Die Face 를 포함한 금형의 CAD 데이터를 보유하지 않는 경우도 많으며 Die Face 를 포함하는 금형 형상에 관한 3 차원 CAD 데이터를 갖고 있다고 하더라도 그 형상이 실제의 금형의 그것과는 많이 다른 경우가 보통이다.

일반적으로 금형의 제작 과정은 제품에 대한 3 차원 금형 형상 데이터 작성 과정, 금형의 3 차원 CAD 데이터를 이용하여 NC 데이터를 생성하는 과정 그리고 CNC 가공기와 금형 NC 데이터를 이용하여 금형의 가공하는 과정으로 구성되어 있다. 이때 CNC 가공기에 의해서 가공된 금형의 형상은 설계된 금형의 CAD 데이터와 거의 차이가 없다. 그러나 금형의 설계시 성형에 관한 모든 것들을 다 고려할 수 없기 때문에 금형의 Trial 단계에서 금형의 수정을 가하게 된다. 이러한 수정의 범위는 작게는 드로우 비드의 높낮이 조절 혹은 추가 및 제거등과 같이 제품의 형상을 제외한 나머지 부분을 수정하는 것에서부터 시작하여 크게는 제품의 형상과 직접 관계되는 부분에 대하여서도 수정을 가하는 경우까지 이다. 최근에는 금형 기술의 발달로 소형 부품의 경우에는 그다지 많은 수정이 이루어지지 않고 있으나 대형 성형 부품의 경우 그 형상이 복잡하여 설계자들에 따라서 수정이 이루어지는 범위가 상당한 차이를 갖고 있다. 그러나 가장 큰 문제는 금형의 Trial 단계에서 이루어진 금형의 수정에 대한 자료가 초기의

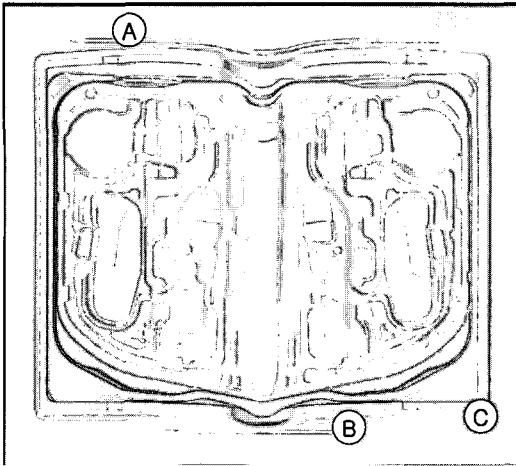


Fig. 2(a) Original CAD data for door inner

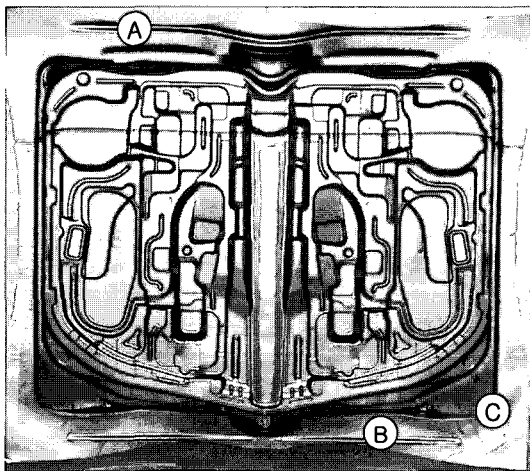


Fig. 2(b) Photograph of stamped part by using the door inner die

금형 제작을 위하여 제작되었던 CAD 데이터에 반영이 되지 않는다는 것이다. 이러한 이유로 인하여 생산되고 있는 제품에 대하여서 성형 해석을 하기 위하여 그 제품에 대한 금형 데이터를 입수하여 실제의 금형 형상과 비교하여 보면 금형의 CAD 데이터와 실제의 금형 형상과는 많이 다른 것이 대부분이어서 성형 해석에 그대로 사용할 수 없는 경우가 많다.

Fig. 2 는 자동차 Door inner 부품의 설계에 있어서 당초의 설계 형상이 금형의 수정 과정에서 얼마나 변경 되었는지를 나타내주고 있다. 먼저 A

부분의 경우 CAD 데이터에서의 드로우 비드의 길이는 실제 성형에서의 드로우 비드와 비교하면 길이는 거의 유사하나 위치가 상당한 차이를 나타내는 것을 알 수 있다. B 부분의 경우 실 성형 제품의 드로우 비드 길이가 CAD 데이터의 것 보다 훨씬 길어 진 것을 알 수 있다. 그리고 C 부분에서는 CAD 데이터에 있던 드로우 비드가 실 성형 제품에서는 아예 없어져 버린 것을 알 수 있다. 이와 같이 일반적으로 판재 성형에 있어서 설계시 사용된 금형 데이터와 실제 금형 형상은 큰 차이점을 갖고 있는 것을 알 수 있다.

현재 적용 중인 판재 성형 제품에 대하여 소재의 변경이나 성형성 난이도를 분석하기 위하여 성형 해석을 수행하기 위하여서는 판재 성형 제품에 대한 정확한 금형의 데이터가 필요하다. 그러나 전술한 바와 같은 이유로 인하여 Reverse Engineering 기술을 이용하여 판재 성형 해석을 위한 성형 제품의 금형 형상데이터를 작성하였다. Fig. 3 에는 Reverse Engineering 기술을 이용하여 성형 해석용 금형 모델을 작성하고 성형 해석을 수행하는 과정을 나타내었다.

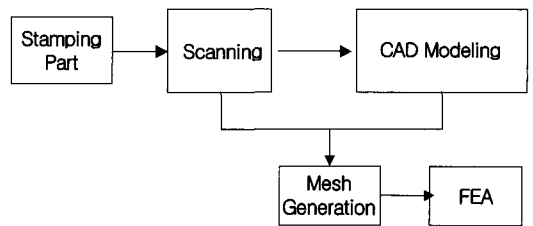


Fig. 3 Procedure of FE analysis by using the reverse engineering

Reverse Engineering 기술을 이용하여 성형 해석용 금형 모델을 작성하는 과정을 살펴보면 다음과 같다. 먼저 3 차원 형상측정기를 이용하여 제품의 형상을 측정한다. 측정에 접촉식 CMM 을 사용할 경우 측정에 시간이 많이 소요되기 때문에 레이저를 이용한 비접촉식 전용 측정기를 많이 사용하고 있다. 경우에 따라서는 CMM 에 접촉식 Probe 대신 레이저 헤드를 장착하여 사용하는 경우도 있다. Fig. 4 는 POSCO 기술연구소에서 보유한 비접촉식 3 차원 레이저 측정 장비를 이용하여 판재 성형 제품의 형상을 측정하는 장면을 나타낸 것이다.

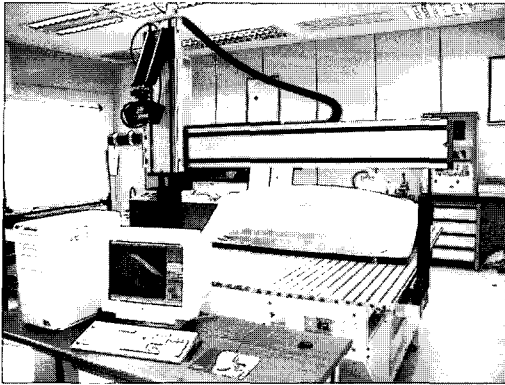


Fig. 4 Photograph of 3D laser scanner

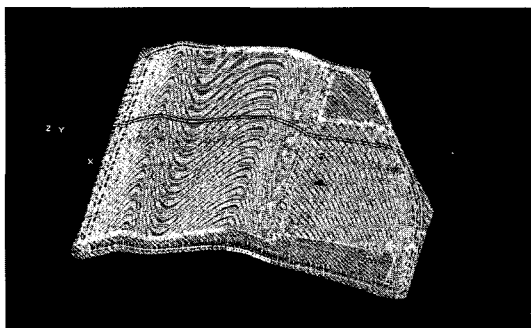


Fig. 5 Cloud data for door outer measured by 3D laser scanner

Fig. 5 와 같이 3 차원 형상 측정 장치에 의하여 측정된 성형 제품의 형상은 수십 만개의 점들로 이루어진 Cloud 데이터이다. 이렇게 측정된 데이터는 너무 많은 정보를 담고 있고 레이저 측정시 발생하는 노이즈 때문에 그대로는 사용할 수가 없다. Cloud 데이터는 노이즈를 제거하고 전체 점 데이터의 수를 줄여서 데이터의 처리를 용이하게 하기 위하여 필터링 과정을 거치게 된다.

만약 성형 해석하려는 부품의 형상이 간단할 경우에는 이들 점들을 절점으로 하는 격자를 생성하여 이를 바로 금형의 형상으로 사용하여 유한 요소 성형 해석을 수행할 수 있다. 그러나 대부분의 경우 제품의 형상이 복잡하여 이들 점으로부터 금형의 격자를 바로 생성할 경우 격자의 수가 너무 많게 되어 성형 해석의 효율성이 떨어진다. 그래서 대부분의 경우 이들 점 데이터를 다시 가공하여 곡면 데이터를 생성하게 된다. 그림 6 은 Cloud 데이터를 이용하여 생성된 Door Outer에 대한 곡면 데이터를 나타낸 것이다.

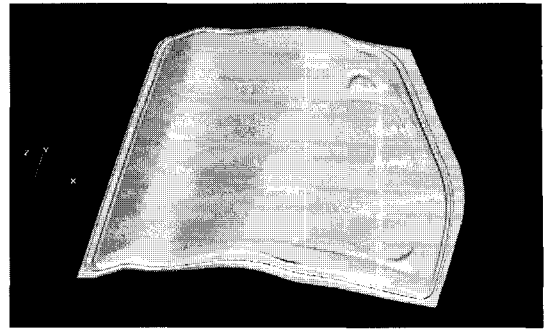


Fig. 6 Surface data of door outer generated by using the cloud data

Reverse Engineering 기술의 적용을 위하여 해결하여야 할 과제로서는 Cloud 데이터를 이용하여 곡면을 생성하는 데에 소요되는 시간과 노력을 줄이는 것이 있다. 전술한 바와 같이 제품의 측정 데이터에는 노이즈가 포함되어 있어 필터링 과정을 수행하더라도 완전히 노이즈를 제거할 수 없기 때문에 곡면 생성 작업시 노이즈를 고려하여야 하기 때문이다. 그러나 이것은 앞으로 지속적인 기술 개발로 해결될 수 있으리라 판단되며 몇몇 프로그램들은 이미 새로운 알고리즘을 개발하여 곡면 생성 시간을 크게 단축시키고 있다.

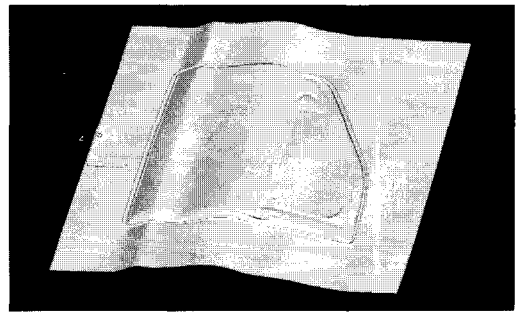


Fig. 7 Surface data of door outer with die face

성형된 제품은 드로잉 공정으로 인하여 플랜지 부분의 대부분이 금형 공동부대로 유입되어 Die Face에 대한 정보를 많이 갖고 있지 않다. 따라서 성형 제품의 형상을 측정된 결과로부터 작성된 곡면 데이터는 제품의 형상에 대한 데이터는 제공하여 주나 성형 해석에 대한 Die Face 데이터가 부족하여 그대로 성형 해석에 사용할 수 없게 된다. 생성된 곡면 데이터는 CAD 프로그램을 이

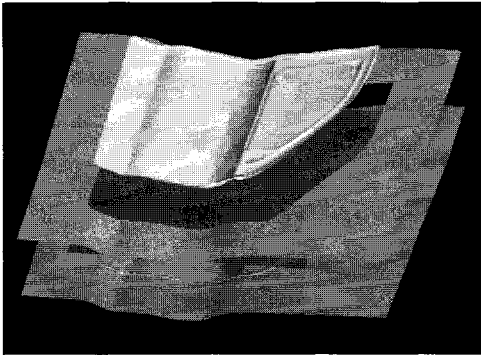


Fig. 8 Die model for FE analysis of door outer

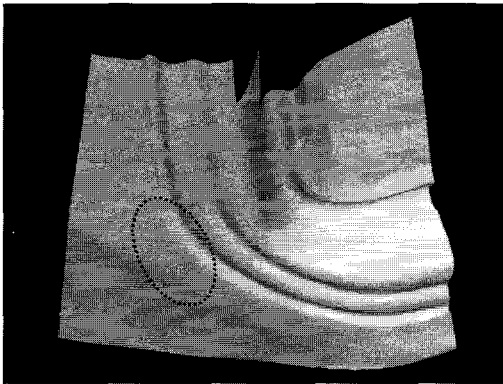


Fig. 9 Wrinkle at flange area after stamping process

용하여 그림 7 과 같이 Die Face 를 생성하는 작업이 이루어져야 한다. 이렇게 작성된 금형 데이터는 성형 해석용 전처리 프로그램등을 이용하여 Fig. 8 과 같이 성형 해석용 금형 모델로 재 작성된다

Reverse Engineering 기술을 이용하여 성형 해석에 필요한 금형 모델을 작성할 때의 문제점 중에 하나로는 제품 성형 중에 발생하는 주름, 성형 후에 발생하는 스프링 백등으로 인하여 제품의 표면 형상이 금형의 형상과 완전하게 일치하지는 않아서 발생하는 것이 있다. 대부분의 경우 성형 제품에 있어서 스프링백의 양은 그리 크지 않기 때문에 스프링백에 의한 금형 형상과의 차이는 그렇게 큰 문제가 되지 않으나 Fig. 9 와 같이 주름 등에 의하여 발생하는 금형 형상과 제품 형상과의 차이는 성형 해석 결과에 영향을 줄 가능성이 크기 때문에 꼭면 생성시 또는 후속 작업시 이 부분에 대하여 충분히 고려를 하여야 한다.

### 3. 성형 해석

자동차 부품 성형 해석에 있어서 Reverse Engineering 기술의 유용성을 검증하기 위하여 실험에 의한 성형 난이 분석 방법으로는 성형 인자들의 영향을 분석하기가 곤란하였던 자동차 부품 중 크기가 큰 Trunk lid outer(Fig.10) 에 대하여 성형 해석을 수행하였다. 성형 해석은 상용 유한 요소 해석 프로그램인 PAMSTAMP 를 사용하였다.



Fig.10 Photograph of trunk lid outer after stamping

판재 성형에 있어서 성형 인자들은 재료적인 인자들과 금형 조건 및 프레스 조건과 같은 공정 인자들로써 구별할 수 있는데 본 해석에서는 재료적인 인자의 영향에 대한 검토를 수행하였다. 본 부품의 성형에 사용되는 재료는 인장 강도 35kg/mm<sup>2</sup>, 두께 0.7mm 의 냉연 강판이다. 인자의 영향을 분석하기 위하여 해당 소재의 재질 인장 특성 DB 와 마찰 특성 평가 결과를 기초로 하여 성형 해석 조건을 표 1 과 같이 선정하였다.

Table 1 Levels of material parameters for FE analysis

Level	r-value	n	μ
High	1.9	0.232	0.165
Standard	1.6	0.191	0.155
Low	1.4	0.158	0.145

Trunk lid outer 은 자동차 부품 중에서 대표적인 외관 부품 가운데 하나로서 전체 자동차의 성능에는 큰 영향을 주지 않는 부품이다. 그러나 자동차의 뒷 부분 스타일을 결정하는 부품이기 때

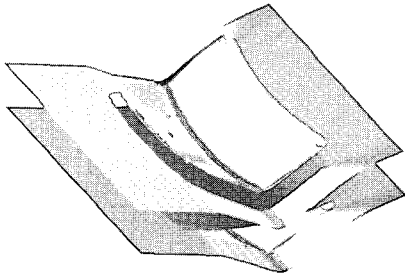


Fig.11 FE model for trunk lid outer

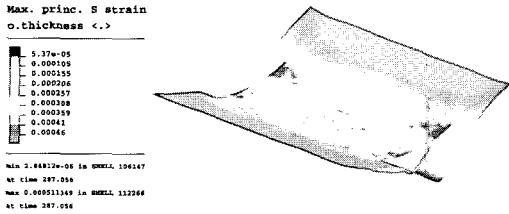


Fig.12 Result of gravity analysis for trunk lid outer

문에 성형 후 부품의 형상 동결성이 매우 중요한 부품이다. 전체 부품에서 주요 성형 모드는 주로 장출 성형 모드이며 국부적으로 금형의 모서리 부분에서 드로잉 성형 모드가 발생하는 그 영향은 매우 미미하다. 부품 성형에 있어서 가장 중요하게 요구되는 사항은 Fig. 10의 A 부위의 장출 변형량의 증가이다. 성형시 이 부분의 장출 변형량이 부족할 경우 미세 주름이 발생하는 형상 동결성에 대한 문제가 발생한다. 이러한 이유로 인하여 성형중 발생하는 재료의 유입량을 최소화하기 위하여 각형 드로우 비드를 사용하고 있다.

Reverse Engineering 기술을 이용하여 성형 제품의 금형 모델을 작성하고 전처리 프로그램을 이용하여 성형 해석용 금형 모델을 Fig. 11과 같이 작성하였다.

금형의 형상이 V 형태로 되어 있어 프레스 가공을 위하여 블랭크를 금형면에 안착할 경우 자중에 의해서 초기 변형을 일으키게 되는데 형상 해석시 이 부분에 대한 고려가 이루어져야 한다. Fig. 12에는 블랭크를 금형면에 놓았을 때의 자중에 의하여 변형된 형상에 대한 성형 해석 결과를 나타내었다. 해석 결과 자중에 의한 치짐량

은 매우 큰 것으로 나타났으나 이로 인하여 발생하는 재료의 변형의 매우 미미하였다. 그리고 유한 요소 해석 모델을 이용하여 사용 재료의 대표 인장 특성을 갖는 소재에 대하여 성형 해석한 결과를 Fig. 13에 나타내었다.

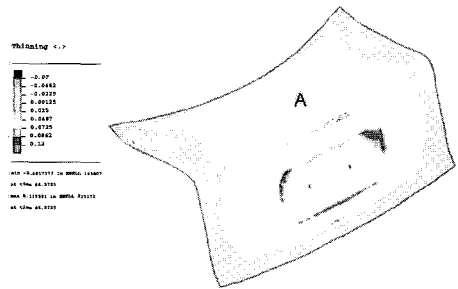


Fig.13 FE result with thickness strain distribution

성형 제품의 가장 자리 부분에 변형이 많이 일어나는 것으로 나타났으며 특히 번호판 부착 부위에서 장출 변형이 집중되어 발생하는 것을 알 수 있었다. 그러나 성형 한계 선도에 나타난 변형률 분포(Fig. 14)에서 알 수 있듯이 전체 변형량은 성형 한계 선도 아래에 위치하여 안정되게 성형되고 있다.

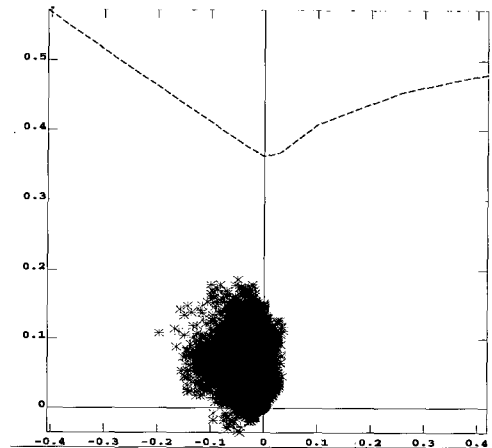


Fig.14 Strain distribution of trunk lid out after forming

Fig. 15에서는 형상 동결성이 요구되는 부품의 상면 A 부위의 변형량에 대한 해석 결과를 나타낸 것이다. 해석 결과 형상 동결성을 확보하기 위하여 요구되는 편치 선단부의 변형량은 이방성

## 4. 요약

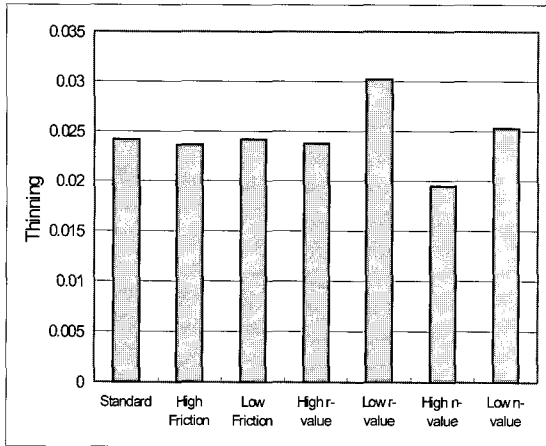


Fig.15 Thinning of stretch formed area for each analysis condition

계수  $r$  값이 작을수록 그리고 가공경화지수  $n$  값이 작을수록 증가하는 것으로 나타났다. 그러나 영향이 크게 나타날 것으로 예상되었던 마찰의 영향은 미미하게 나타났다. 이것은 마찰 계수의 감소는 펀치와 판재 사이의 상대 운동을 용이하게 하여 펀치 선단부의 변형 증가와 균일화에는 유리하게 작용하나 동일 블랭크 홀딩력을 작용하는 조건에서는 플랜지부의 유입을 용이하게 하는 역할을 하게 된다. 그 결과 변형량에 미치는 효과가 서로 상쇄되어 펀치 선단부의 장출 변형량 증가에는 크게 도움을 주지 않기 때문에 위와 같은 결과가 나타난 것으로 판단된다.

소재의  $r$  값과  $n$  값이 높을수록 그리고 마찰 계수가 낮을수록 우수한 성형성을 나타내는 것으로 알려져 있어 제품의 성형시 불량 발생 방지를 위하여 보다 우수한 성형성을 갖는 소재 즉 높은  $r$  값과  $n$  값을 갖는 소재를 사용하려는 경향이 있다. 그러나 Trunk lid outer의 경우와 같이 그 성형 정도가 성형 한계선도의 아래에 위치하는 매우 안정된 조건에서 성형되고 있는 부품의 경우 장출 변형 부위의 형상 동결성을 확보하기 위하여서는 성형성을 해치지 않는 범위에서 오히려  $r$  값과  $n$  값이 낮은 소재를 사용하는 것이 유리할 것으로 판단된다.

Reverse Engineering 기술을 이용하여 금형 형상을 측정하고 이를 이용하여 자동차 주요 대형 성형 부품에 대하여 유한 요소 성형 해석을 수행하여 성형 인자들의 영향에 대하여 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) Reverse Engineering 기술의 사용은 대형 자동차 성형 부품에 대하여 성형 해석을 위한 금형 CAD 데이터를 확보하는데 유용함을 알 수 있었다. 그러나 보다 적극적으로 사용되기 위해서는 곡면 생성의 시간 단축과 제품 면에 발생 한 주름에 의한 형상 차이 등의 문제를 해결하여야 할 과제가 남아 있다.

(2) 성형 해석을 위하여 자동차 외판 부품 Trunk lid outer에 대하여 성형 해석을 수행 결과 부품의 성형성에 영향을 주지 않는 한도 내에서  $r$  값과  $n$  값이 낮은 소재를 사용하는 것이 부품의 형상 동결성을 확보하는데 유리한 것을 알 수 있었다.

(3) 판재 성형 부품에 대한 적절한 소재의 재질 선정 방법으로서 유한 요소 해석이 매우 유용한 것을 알 수 있었다.

## 참고 문헌

- [1] LDI brochure.
- [2] Nobles, Herberts D, 김왕도, 1993, 역설계, 대한기계학회지, 제 33 권, 제 44 호, pp. 311~314.
- [3] 채희창, 명태식, 김태규, 2000, 역설계를 이용한 자유 곡면 모델링 시스템 개발, 한국공작기계학회지, 제 9 권, 제 3 호, pp. 111~122.
- [4] 김수용, 2003, 프레스 성형 공정 개선을 위한 역설계 시스템의 적용, 한국공작기계학회 추계 학술대회, pp. 412~419.
- [5] M. Y. Demeri, 1981, The stretch-bend forming of sheet metals, J. Appl. Metal. Work., Vol.2-1, pp. 3~10.
- [6] H. Sang, Y. Nishikawt, 1983, A plane strain tensile apparatus, J. of Metals, Vol.35, No.2, pp. 30~33.
- [7] S. S. Han, 2002, Influence of process parameters on large panel stamping processes, Proceedings of Numisheet2002, pp. 477~480.