

성형 해석에 의한 자동차 부품별 소재 요구 특성 분석

한수식* · 강연식**

Analysis of Material Property Requirements on Automotive Stamping Parts

S.S.Han and Y.S.Kang

Abstract

The influence of material properties and process parameters on the strain distribution of stamping parts was studied by finite element method. For the parametric study, the investigation of variation of material properties was carried out with tensile test for a dozens of different steel sheets. The friction test for each surface and lubricants conditions are also carried out because the frictional characteristic is important parameter for sheet metal forming. The geometry of stamping parts was measured by 3D scanner to build the tool model for the FE analysis. As a result of analysis the major process parameter for each automotive parts was investigated.

Key Words : FEM, Parametric study, Material properties, Automotive part, Stamping, Springback

1. 서 론

판재 성형 공정 해석을 위한 수단으로서 원형 그리드 해석 기법 (Circle Grid Analysis, CGA) 과 함께 성형 한계도 개념의 도입되어 사용되고 있다. 그러나 원형 그리드 해석법과 성형한계선도를 이용하여 부품에 적절한 소재를 선정하기 위하여서는 여러 번의 성형 시험이 수행되어야 하며 소재 적용을 위하여 요구되는 블랭크 홀더력, 윤활 조건과 같은 적절한 성형 조건에 대한 정보는 제공하기 어렵다.

판재 성형에 있어서 유한 요소 해석법의 적용은 최근 들어서 컴퓨터의 고성능화와 성형 해석 프로그램의 정도 향상에 의해 크게 증가하고 있다. 특히 컴퓨터를 이용한 가상 공간에서의 성형 해석을 수행함으로써 성형 난이 분석에 필요한

시간과 비용이 획기적으로 줄어들었으며 성형에 사용되는 재료의 물성치를 포함한 여러 가지 성형 인자들의 변경이 용이하여 각각의 인자들의 영향을 쉽게 파악할 수 있다. 유한 요소 해석 기법의 발달로 계산의 정도와 소요 시간 단축되어 종래에는 불가능하였던 3 차원 판재 성형에 대한 해석을 가능하게 하였다.

자동차 부품의 경우 원가 절감과 품질 향상을 위하여 대형화, 일체화 성형의 경향이 두드러져 가고 있으나 부품의 대형화에 따라서 성형 불량 발생시 그 대처 방법을 찾는 것이 점점 더 어려워지고 있다. 소형 부품의 경우 주요 변형모드의 판단하기가 매우 쉽기 때문에 불량 발생시 그 부품의 주요 성형 모드를 분석하고 분석된 결과를 이용하여 분석된 성형 모드의 주된 성형 인자를 개선시키는 것으로 성형 불량 문제를 해결할 수

* 금오공과대학교 기계공학부

** POSCO 기술연구소 자동차가공연구그룹

있다. 그러나 대형 부품의 경우 여러 가지 성형 모드가 복합적으로 발생하기 때문에 주된 성형 모드를 결정하기가 곤란하여 불량 발생시 발생 원인과 해결 방법을 찾기가 어렵다.

본 논문에서는 유한 요소 성형 해석을 이용하여 자동차 부품에 주요 인자들의 영향을 분석하므로써 부품의 불량 발생시 대책 마련과 신 강재 개발, 적용시 소재 선정을 위한 기본 자료를 확보하였다.

2. 본 론

2.1 판재 성형의 주요 가공 모드

판재 성형 공정 중에 재료변수(Material variable), 설계변수(Design variable) 및 공정 변수(Process variable)가 적절하지 않아 발생하는 파단, 주름, 탄성 회복에 의한 치수 정밀도 불량 등 다양한 형태의 가공 결함은 주로 드로잉 공정에서 발생한다. 따라서 판재 성형 공정을 가공 불량 없이 성공적으로 수행하기 위해서는 이들 변수들의 적절한 조화가 이루어져야 한다.

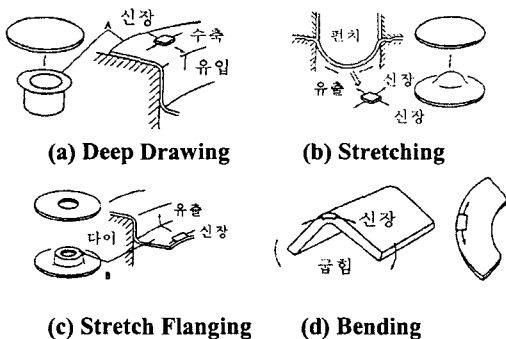


Fig. 2.1 Forming modes of sheet metal forming process

판재 성형 공정은 다음 Fig.2.1 과 같은 네 종류의 가공법으로 분류된다. 아무리 복잡한 형상의 성형 공정도 이들 네 가지 가공 방법의 조합으로 간주할 수 있으며 금형의 형상, 마찰 조건 등에 의해 이들의 변형량이 결정된다. 각각의 가공 방법들에 대한 특징을 요약하면 다음과 같다.

(1) 딥 드로잉(deep drawing) 가공 : 딥드로잉 공정시 판재가 받는 주요 변형 상태는 플랜지에서 일어나는 원주 방향의 수축과 다이 반경 방향으

로 일어나는 신장 변형과 컵의 벽에서는 반경 방향으로 평면 변형 인장 응력이다.

딥드로잉 성형 공정의 주요 인자로는 블랭크 홀딩력, 윤활, 드로잉 속도, 펀치 형상 반경, 다이 형상 반경, 펀치 - 다이 간극 등 소재 외적인 인자와 이방성 계수 R 값, 평면 이방성, 판재의 두께, 인장 강도 등 소재 물성치 등이 있다.

(2)장출(stretching)가공 : 장출 가공은 판재에 이축 인장 변형을 작용하여 주로 복잡한 곡면 형상을 갖는 제품의 성형에 있어서 요구 형상을 확보하기 위한 수단으로 이루어지는 성형 공정이다. 성형중 외부로부터의 소재의 유입이 없기 때문에 성형성 확보를 위하여 균일한 변형을 유발하는 것이 중요하다.

장출 성형 공정의 주요 인자로는 금형 형상, 마찰 특성등과 가공 경화 지수, 연신율 그리고 이방성 계수등이 있다.

(3) 신장 플랜지(stretch flanging) 가공 : 판재의 가장자리 부분에 인장 응력을 가하면서 필요한 플랜지를 갖도록 성형 하는 판재 내에서 변형 형태와 변형량이 매우 크게 변화한다. 변형 양식은 신장 플랜지 테두리에서 신장-수축(일축 인장)이지만, 테두리에서 멀어짐에 따라 신장-신장의 장출 변형 모드(이축 인장)로 변화한다.

신장 플랜지 가공의 주요 인자로는 전단면의 상태와 연신율이 있다.

(4) 굽힘(bending)가공 : 굽힘 가공은 다른 가공 모드와는 달리 판 두께 단면 내에서 변형량이 변화되는 것이 그 특징이다. 탄성 복원 현상을 최소화시키는 것이 매우 중요한 과제이다.

굽힘 가공의 주요 인자로는 굽힘 곡률과 굽힘 각 그리고 인장 강도이다.

2.2 성형 해석

전술한 바와 같이 각각의 가공 모드에 대하여 영향을 미치는 주요 인자들의 역할과 성형 불량 발생시 해결을 위한 그 인자들의 조절 방향은 잘 알려져 있다. 그러나 자동차 부품과 같은 대형 부품의 경우 전술한 가공 모드 중 하나만으로 이루어진 것이 아니라 Fig.2.2 에 나타난 것과 같이 여러 가지 가공 모드가 복합적으로 일어나기 때문에 그 성형 제품의 주된 가공 모드를 결정하기가 어렵고 이로 인하여 성형 불량의 원인을 분석하기가 곤란하다.

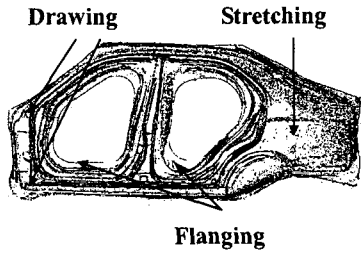


Fig.2.2 Forming modes auto-stamping part

대형 부품에 대해 성형 해석 기법을 이용하여 여러 가지 성형 인자를 변화시키면서 성형 해석을 수행하여 주요 인자가 부품 선형에 미치는 영향을 비교 분석하였다.

대부분의 판재 성형에 있어서 부품의 형상에 대한 CAD 데이터는 실제 성형 제품의 차이가 나는 것이 대부분이기 때문에 3 차원 형상 측정 장치와 관련 소프트웨어를 사용하여 실물 부품의 형상을 측정하여 성형 해석에 필요한 금형의 형상 데이터를 작성하였다. 해석에는 PAMSTAMP를 사용하였다.

2.3 성형 인자 범위 선정

성형 인자의 영향을 분석하기 위하여 각각의 성형 인자의 변화 범위를 결정하여야 하는데 이러한 범위 결정은 해석 결과의 분석에 매우 중요하다. 이러한 범위 선택의 오류는 분석 결과의 오류를 발생시키기 때문이다. 소재와 관련된 성형 인자의 범위의 결정은 장기간에 걸친 소재의 인장 특성과 마찰 특성을 평가를 통하여 성형 인자의 범위를 선정하였다.

3. 결과 및 검토

자동차 부품에 대한 주요 성형 인자의 영향 분석을 위하여 성형 해석을 수행하였다. 부품별 주요 요구 특성 및 성형 특성과 불량 발생 유형 등을 조사한 후 각 부품에 대하여 성형 해석한 결과와 각 재질 인자에 대한 영향을 분석한 결과는 다음과 같다.

Trunk Lid Outer

Trunk Lid Outer 은 자동차 부품 중에서 대표적인 외판 부품 가운데 한 부품으로서 주요 성형 모드는 장출 성형 모드이며 부품 성형에 있어서

가장 중요하게 요구되는 사항은 펀치 선단 접촉 부위의 장출 변형량의 증가이다. 성형시 이 부분의 장출 변형량이 부족할 경우 미세 주름이 발생하는 형상 동결성 문제가 발생한다.



Fig.3.1 FE analysis result for trunk lid outer

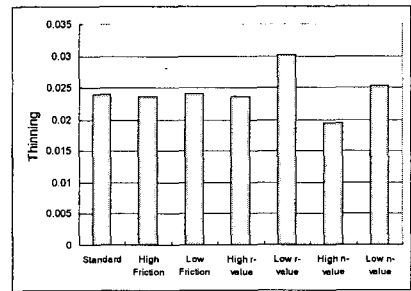


Fig.3.2 Thinning of stretch formed area for each analysis condition of trunk lid outer after forming

Fig.3.1 에는 성형 부품의 전체 변형률 분포를 나타내었다. 성형 제품의 가장 자리 부분에 변형이 많이 일어나는 것으로 나타났으며 특히 번호 판 부착 부위에서 장출 변형이 집중되어 발생하는 것을 알 수 있었다. Fig.3.2 에는 각각의 성형 인자 변화에 대한 A 부분의 두께 변형률을 나타내었다. Trunk Lid 의 경우 마찰 특성이 우수하면 전체 변형률이 줄어들고 드로잉 성형 모드가 발생하기 쉬워지며 펀치 벽 부분의 평면 변형 부위에 발생하는 변형률이 감소하는 것을 알 수 있었다. Trunk Lid 의 경우 마찰 특성의 변화는 전체 변형률의 수준을 변화시키는데 큰 역할을 한다. Trunk lid 부품 성형성 부품의 코너 부위에서 딥드로잉 성형 모드가 발생하는데 r 값이 증가하면 이 부분에서의 재료 유입이 증가하여 재료가 쉽게 유입되는 경향을 나타내었다. r 값이 작은 경우 드로잉 성형 모드 부위의 유입이 잘 일어나지 않아

서 이 부분의 변형량이 증가하는 것으로 나타났으나 장출 성형 부위의 두께 감소 정도가 증가하여 형상 동결성을 향상시켜주는 것을 알 수 있다. 가공 경화지수 n 값의 증가는 인장 강도의 증가와 같은 유사한 효과를 나타내어 n 값이 감소할수록 장출 성형 부위에 변형이 쉽게 일어나 형상 동결성 확보에 유리하게 작용하는 것으로 나타났다.

Rear Floor

이 부품은 대표적인 자동차 내판 부품중의 하나로서 Trunk 에 자동차 타이어를 수납하기 위한 공간 확보를 위하여 딥드로잉 성형을 수행한다. 대부분의 자동차의 경우 타이어 수납 공간을 원형에 가까운 형태로 성형하기 때문에 딥드로잉 성형 모드가 차지하는 비율은 매우 크다. 그러나 본 부품의 경우 딥드로잉 성형으로 인하여 발생하는 성형 문제를 최소화하기 위하여 부품의 형상을 설계하였기 때문에 부품의 모서리 부분에서 딥드로잉 성형이 이루어지며 나머지 부분에서는 장출 성형이 일어난다.

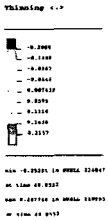


Fig. 3.3 FE analysis result for rear floor

Fig.3.3 은 성형 후 부품의 변형된 형상과 두께 변형률 분포를 나타내었다. 딥드로잉 성형이 일어나는 모서리 부분에서 변형이 상당히 집중되어서 발생하는 것을 알 수 있다. 각각 성형 인자 변화에 따른 영향을 분석해 본 결과 마찰 특성이 좋을수록 변형 분포가 성형한계선도 아래쪽으로 이동하는 것을 알 수 있었다. 본 성형 제품의 주 성형 모드가 딥드로잉 성형 모드이기 때문에 이방성계수 r 값이 증가할수록 드로잉 변형이 쉽게 일어나 전체 변형률 분포가 성형한계선도상의 안전한 쪽으로 이동하는 것을 알 수 있었다. 가공경화

지수 n 값의 경우 전체 변형률 분포는 변화시키지 않으나 성형한계선도를 이동시킴으로써 성형이 보다 안전하게 이루어지도록 한다.

Rear Floor 부품은 전체적으로 딥드로잉 성형 모드가 지배적으로 일어나는 부품이다. 성형성의 확보를 위하여서는 r 값을 증가시키고 마찰 특성을 개선시키는 것이 필요하다. 그리고 가공경화지수 n 값을 증가시킴으로써 성형한계선을 위쪽으로 이동시켜서 소재 자체의 파단 한계를 개선시킬 필요가 있는 것으로 나타났다.

4. 결론

자동차 주요 성형 부품에 대해 유한 요소법을 이용하여 주요 성형 인자들의 영향에 대하여 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 대부분의 외판 부품의 경우 성형성이 크게 문제가 되지 않을 경우 형상 동결성 확보를 위하여 r 값이 낮은 강판을 사용하는 것이 유리하게 나타났으며 내판 부품의 경우 r 값과 가공경화지수가 높고 마찰 특성이 우수한 강판을 사용하는 것이 유리하게 나타났다.

2) 드로잉 성형 모드가 심하지 않는 내판 부품에 대하여서도 r 값이 높은 강판을 사용하는 것이 성형의 안정화 측면에서 유리하게 작용하였다.

3) 대형 성형 부품에 대해서 부품 형상을 고려하여 주성형 모드 유추하고 이를 통하여 적정 요구 재질 특성을 결정하는 것에는 한계가 있으며 적정 재질의 선정에 있어서 정확성 향상을 위해서는 유한 요소 성형 해석이 병행되어야 한다.

참고 문헌

- (1) J. L. Bassani, 1977, "Yield characterization of metals with transversely isotropic plastic properties", Int. J. Mech. Sci., Vol. 19, pp. 651 ~ 156.
- (2) W. Johnson and T. X. Yu, On the range of applicability of results for springback of an elastic/perfectly plastic rectangular plate after subjecting it to biaxial pure bending. Int. J. Mech. Sci. 23, 631 (1981).
- (3) S. C. TANG, Analysis of springback in sheet forming operation. Adv. Tech. Plastic. 1, 193 (1987)