

## 2-Layer 블랭크를 적용한 자동차 배기 부품의 박판 성형 해석 및 적용

노기태<sup>1</sup>, 정우식<sup>1</sup>, 문명수<sup>#</sup>

### A Study on the 2-Layered Sheet Metal Forming Analysis and Applications in Automotive Exhaust Component

G. T. Roh, W. S. Jeong, M. S. Moon

#### Abstract

The shell part is made of 2-layered blank because of functional requirements. To investigate the draw formability in this kind of part, the 2-layered sheet metal forming analysis process should be stipulated. First of all, treatment of contact with each blank must be considered to prevent the penetration on the each blank. Subsequently, applying the draw bead force is considered carefully because application of drawbead force for analysis is different with equivalent drawbead force. Formability as like crack, neck and wrinkles is estimated by FLD(Forming Limit Diagram) and thinning. A feasibility of the 2-layered sheet metal forming analysis process study is verified compare 2-layered sheet metal forming analysis with experimental results.

**Key Words** : Sheet Metal Forming analysis(박판성형해석), 2-layer blank(2-Layer 블랭크), drawbead restraining force(드로비드저항력),

#### 1. 서론

프레스 금형을 통해 생산되는 자동차 부품은 대부분 단일 블랭크를 사용하여 생산되고 있다. 하나의 블랭크를 사용하여 성형성을 검토하는 사례는 기업체 및 학계등에서 많이 있어왔지만 두개 이상의 블랭크를 이용하여 성형성을 검토하는 경우는 그다지 많지 않았다. 대표적인 경우로는 재단용접블랭크(TWB: Tailored Welded Blank)를 사용한 제품이 있다.[1] 이 경우 생산 원가의 절감과 제품의 보강 두가지 요구조건을 모두 충족시키는 방법이라 할 수 있다.

또 다른 방법으로는 두겹의 블랭크를 사용하여 성형하는 방법이 있다. 이 성형방법으로 자동차 머플러 계통에서 소음기의 외곽 구조를 이루는

셸(shell) 부품을 생산한다. 셸 부품은 기밀성, 성형성, 용접성, 내식성 등 다양한 성능이 요구된다. 이런 성능에 부합하기 위해 2-Layer 블랭크를 사용한 제품이 고안되었다. 셸 부품의 구조는 상형과 하형으로 구성되어 있으며 각각은 다시 내판과 외판으로 구성되어 있다. 소음기의 특성상 배기가스의 누출을 방지하기 위해 우수한 기밀성이 요구되며, 고온의 배기가스에 의한 열화를 방지하기 위한 내식성도 요구된다. 또한 제품의 구조상 성형성이 불리한 형상이므로 좋은 성형성을 갖는 재료를 사용해야 한다.

본 연구에서는 2-Layer 블랭크를 이용하여 성형해석을 실시 할 경우 고려되어야 할 사항을 검토하였으며, 이를 적용한 해석 결과의 타당성을 검증하기 위해 실제 모델의 실험 결과와 해석 결과를 비교하였다.

1. (주)코디마

# 교신저자: ㈜코디마, E-mail: kodima@kodima.com

## 2. 성형해석 방법 검토

드로우 모델에서 블랭크 홀더의 형상이 평면으로 구성되어있어 바인딩 과정 없이 드로우 해석을 실시 하였다. 해석 전 상형 다이와 블랭크 홀더와의 거리는 재료 두께는 0.6mm+0.6mm 이며, 블랭크 홀딩력은 80ton 이 적용되었다.

본 해석에서는 2-Layer 블랭크가 사용되므로 블랭크간 접촉 조건이 부여되어야 한다. 일반적인 성형해석의 경우 접촉 조건은 Fig.1 (a)와 같이 강체와 변형체간 접촉 조건으로 부여되지만, Fig.1 (b), (c)와 같이 2-Layer 블랭크를 사용하는 본 해석에서의 접촉 조건은 각각의 블랭크에서 1/2t 만큼 오프셋된 평면들이 접촉을 할 수 있는 조건을 부여하였다. 만약 이러한 접촉 조건이 부여되지 않으면 Fig.1 (d)와 같이 블랭크는 1/2t 만큼 오프셋된 평면이 다른 블랭크의 중립면과 접촉 하게 된다. 결과적으로 두께가 더 얇은 블랭크를 사용한 것과 같은 접촉거동을 하게 되어 해석 결과의 신뢰성을 보장할 수 없게 된다.

드로비드는 바인딩 후 블랭크의 유입량을 조절하는 기능을 하여 성형성에 크게 영향을 미치는 인자이다. 해석에서 실제 드로비드의 형상을 표현하면 해석시간이 과도하게 소요되므로 비드 형상을 고려한 비드력을 계산하여 적용하였다.

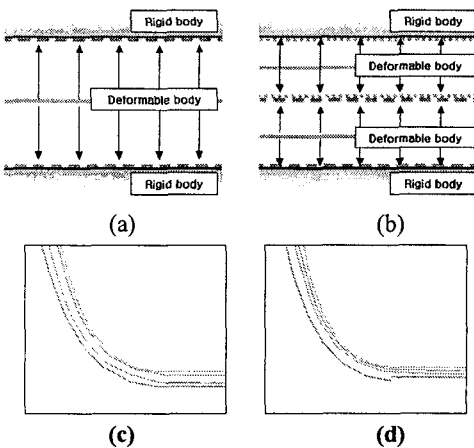


Fig.1 접촉 조건의 차이에 따른 블랭크의 거동 (a) 일반적인 성형해석에서의 접촉 (b)2-Layer 블랭크 사용시 접촉 (c)블랭크간 두께가 고려된 경우 단면 형상 (d)일반적인 성형방법으로 2-Layer의 블랭크를 사용한 경우 단면 형상

## 3. 드로비드력 계산

드로비드력은 수직 상승력(Uplift Force)과 유입 억제력(Restraining Force)으로 나누어 적용이 된다.

2-Layer 블랭크의 드로비드력 계산을 위해서 단위 폭으로 된 드로비드 모델을 생성하였으며, 이 모델에 대해 바인딩 과정 후 일정 속도로 블랭크를 이동시켰으며, 이때 각 강체에 발생하는 반력을 측정하여 유입 억제력과 수직 상승력을 구할 수 있었다.[2] 등가 비드력 계산을 위한 해석에서도 접촉 조건은 블랭크간 성형해석에서와 동일한 접촉 조건을 부여해야 한다.

2-Layer 블랭크를 사용하여 측정된 드로비드력은 1.2mm의 단일 블랭크가 사용된 드로비드력과 다른 경향을 나타내며 이를 Table 1에 나타내었다. 두 비드력의 값을 비교하면 2-Layer 블랭크를 사용한 유입 저항력은 단일 블랭크를 사용하여 측정된 유입 저항력보다 작게 나타나고 있다.

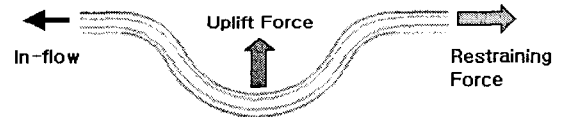


Fig.2 드로비드력의 구성

Table 1 블랭크 수에 따른 드로비드력의 비교

	1-layer(1.2t)	2-layer(1.2t)
Restraining Force(N)	268.8	148.6
Uplift Force(N)	258.3	146.0

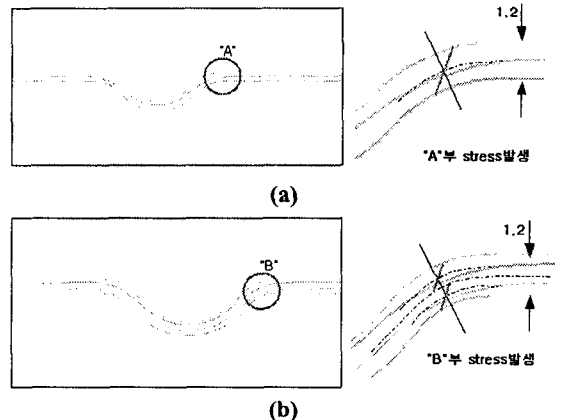


Fig.3 등가 드로비드모델 (a)단일 블랭크가 적용된 비드모델 (b)2-Layer 블랭크가 적용된 비드모델

이러한 차이가 발생하는 이유는 블랭크가 드로비드 형상을 지나가면서 굽힘(bending)과 되굽힘(unbending)을 하게 되면서 두께 방향으로의 응력이 발생하게 된다. 이 때 단일 블랭크에 비해 2-Layer 블랭크를 적용한 경우 블랭크간 미끄러움이 발생하여 단일 블랭크에 비해 응력 발생량이 더 작아지므로 유입 저항력도 줄어들게 된다.

#### 4. 성형해석 결과

##### 4-1 성형 해석 조건

본 연구에서 쉘의 상형과 하형 중 성형깊이가 깊어 파단 발생 가능성이 높은 상형에 대해 앞에서 검토된 블랭크간의 접촉 조건과 드로비드력을 적용하여 해석을 수행하였다. 내부 블랭크는 Ti를 첨가하여 용접성과 성형성이 좋은 SUS409 재질의 물성치가 적용 되었고 외부 블랭크는 Mo, Ti 및 Nb가 첨가되어 내식성, 용접성 성형성이 우수한 SUS436 재질의 물성치를 적용하였으며, 각 물성치를 Table 2에 나타내었다. 성형성 검증을 위해 LS-Dyna ver.960을 이용하여 해석을 수행하였으며, 물성 모델에 사용된 항복식은 Hill의 48년식을 사용하였다. 블랭크 요소는 Belyschoko-Tsay 요소 모델이 적용 되었다.[3].

성형성 검토를 위한 영역으로 파단과 주름의 특징이 잘 나타나는 터널부(가스 흡배기구)A, B와 주름 발생이 예상되는 다이페이스를 비교 대상으로 선정하였으며 해석 결과에 대한 성형성은 성형한계선도(FLD)와 두께 감소율로써 판단하였다.

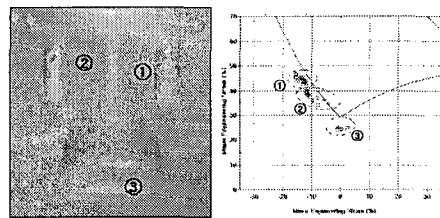
##### 4-2 성형 해석 결과

Fig.5에서 터널부 A의 수직 벽부에 있는 요철부에서 부분적으로 파단(Crack)과 넥(Neck)현상이

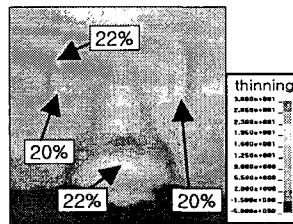
Table 2. Material properties

Material Species	SUS409L	SUS436LM
<b>Properties</b>		
t, mm	0.6	0.6
E, MPa	2.06E+5	2.06E+5
$\sigma_y$ , MPa	222.1	280.8
$\nu$	0.3	0.3
Hardening exponent	0.18	0.18
Anisotropic coefficient	1.12	0.98
$\rho$ , Kg/mm <sup>3</sup>	7.83×E-9	7.83×E-9

발생 하였으며 터널부 입구에서도 넥이 발생하였다. 특히 이 부분들은 두께 감소율 20% 이상 영역으로 실제 실험에서 좋지 않은 성형성이 나타날 것으로 예상 된다. Fig.6에서 또 다른 터널부 B는 시각적으로 주름이 발생하는 것을 확인할 수 있으며 -20%의 두께 감소율이 나타났다. 여기서 음의 값이 나타내는 의미는 재료가 두꺼워지는 현상이다. 드로비드 내부의 다이페이스에서도 두께 감소율이 음으로 발생하고 있는 것을 Fig.7에서 확인할 수 있다. 이 영역에서는 시각적으로 주름이 관찰되지는 않지만 두께감소율로 판단할 때 주름 발생의 가능성이 있는 부분으로 판단된다.



(a) FLD contour



(b) Thinning contour

Fig.5 터널부 A (a) FLD contour (b) thinning contour

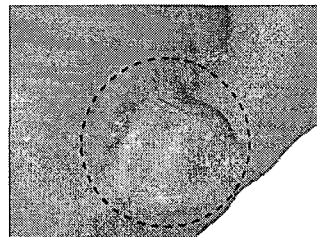


Fig.6 터널부 B 주변의 주름 형상

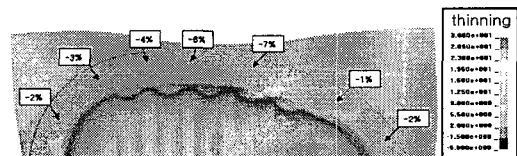


Fig.7 다이페이스면의 두께 감소율

## 5. 실험 결과

해석의 결과에 대한 검증은 위해 동일한 모델로 금형을 제작하여 제품을 성형한 결과 각 부분에서 다음과 같은 현상을 확인 할 수 있었다.

터널부 A의 주변 요철을 중심으로 파단이 발생하고 있었으며 터널부 입구에서도 국부적으로 파단이 관측되었다. 또 다른 터널부 B에서는 해석결과와 동일하게 성형 완료시에도 미세하게 주름이 남아 있는 것을 관측할 수 있었다.

드로비드 내부의 다이페이스에서도 방사형으로 주름 발생을 관측 할 수 있었는데 이것은 성형해석 결과에서 두께감소율이 음으로 나타난 현상으로부터 주름이 발생 될 것임을 예측한 것과 동일하게 발생함을 알 수 있다.

마지막으로 블랭크의 전체 유입량을 측정하여 그래프로 나타내었다. 소재의 유입량은 성형된 블랭크에서 직접 측정하기 어렵기 때문에 드로비드 중심선에서 최대 유입 지점까지의 남은 거리를 측정하여 나타내었으며 이를 Fig.9에 나타내었다. 각 지점에서 측정된 값은 최대 2mm의 차이를 나타내고 있는데 이는 실험에 사용된 금형 조건이 해석조건과 완벽히 동일한 조건이 아님을 감안할 때 해석결과와 매우 유사한 결과임을 알 수 있다.

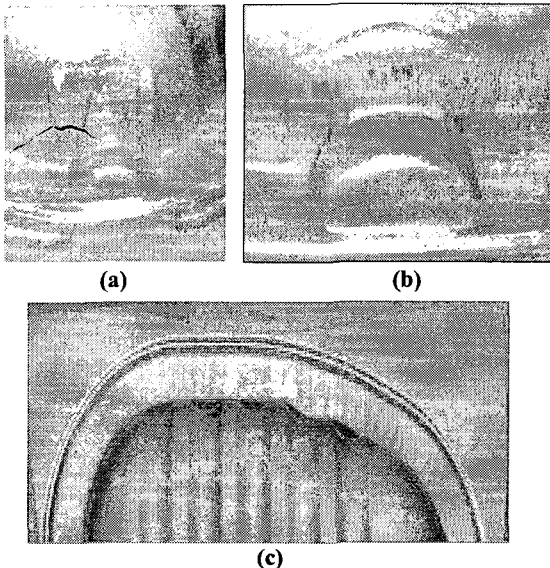


Fig.8 실험 결과에서의 주요 결투부 (a) 터널부 A, (b) 터널부 B, (c)다이페이스

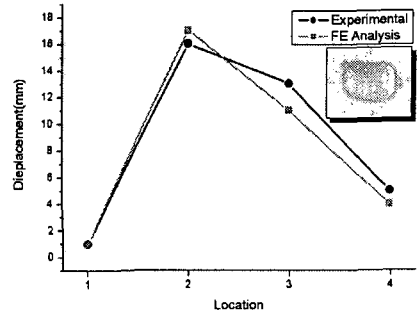


Fig.9 비드 중심선으로부터 블랭크의 잔류량 비교

## 6. 결론

2-Layer 블랭크를 사용하여 해석 할 경우 단일 블랭크를 사용하는 해석과는 달리 블랭크간 접촉 처리 및 수정된 드로비드력의 적용이 검토되어야 하며 실험결과와 해석결과를 비교하였을 때 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 2-Layer 블랭크를 사용하여 해석 할 경우 블랭크간 재료 두께를 인식할 수 있는 접촉 조건을 사용해야 한다.

(2) 드로비드력은 단일 블랭크의 드로비드력과 다른 경향을 나타내므로 드로비드력 계산을 수행해야하며 이를 해석에 적용할 때 블랭크에 작용하는 힘에 오류가 발생하지 않도록 해야한다.

(3) 성형해석 결과에서 예측된 파단은 실험에서도 실제 발생하였다. 주름 발생의 유무는 재료의 두께 증가로 판단하였으며, 실험 결과 해석결과와 동일한 성형성을 나타내었다.

따라서 본 연구에서 제시한 해석 기법으로 2-Layer 블랭크 해석에 적용시 높은 신뢰성을 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

## 참고 문헌

- [1] Brad L. Kinsey, Jian Cao, 2003, An Analytical Model for Tailor Welded Blank Forming, Journal of Manufacturing Science and Engineering, Vol. 125, pp. 344~351.
- [2] H.Sunaga, K.Yoneda and A.Makinouchi, Finite Element Modeling of Drawbead in Sheet Metal Forming, Numisheet'96
- [3] LS-DYNA 960 theory manual, LSTC