

<기술논문>

DOI:10.3795/KSME-A.2008.32.10.890

성형해석을 이용한 프론트 필라의 성형 공법 개발에 관한 연구

정 동 원[†] · 고 대 림^{*}

(2008년 4월 3일 접수, 2008년 8월 31일 수정, 2008년 9월 5일 심사완료)

A Study of Tool Planning for FRT-PLR-L/R Stamping Process by using Forming Analysis

Dong Won Jung and Dae Lim Ko

Key Words: FRT-PLR-L/R(프론트 필라), Forming Analysis(성형해석), Lancing(랜싱), Formability(성형성), Static Implicit Finite Element Method(정적 내연적 유한요소법)

Abstract

Sheet metal forming is one of the most useful and important method in manufacturing of the autobody panels because of the excellent production rate. The objectives of sheet metal forming processes are getting a desired geometrical shape of products with good quality, low cost and reasonable lead time. In this paper, we examined the validity of finite element method analysis on the automobile FRT-PLR-L/R stamping process by using the lancing engineering method. Lancing is a press operation in which a single-line cut or slit is made on part way across the strip stock, without removing any metal. As a result, it has shown that the proper lancing engineering method could prevent fracturing by improving sheet metal flow.

1. 서 론

기호설명

- $L^{\alpha\beta\gamma\rho}$: 구성방정식 텐서
- $\tau^{\alpha\beta}$: Cauchy 응력 텐서
- $e^{\alpha\beta}$: Lagrangian 변형도 텐서
- K : 강성행렬
- R : 외력벡터
- F : 응력발산항
- $u^{(i)}$: 변위벡터
- β : 감속계수

소성가공 중 박판성형 공정에 의해 생산된 제품은 무게에 비해 강도가 높고 표면특성이 우수하여 자동차 산업 등에 널리 이용되고 있다. 박판성형 공정은 최근 원자재 가격의 상승과 국제경쟁력 강화로 인하여 가공 중 재료의 손실을 적게 하고 새로운 공법 개발로 생산원가의 절감이 절실히 요구되고 있다.^(1~4)

자동차에서 프레스 성형에 의해 제작된 제품 중 측면의 필라(Fig. 1)는 측면 충돌시 안전과 직결되어 고장력 강판을 많이 사용하고 있다. 그러나 고장력 강판은 제품의 성형이 어렵고, 스프링백(spring-back) 영향이 많이 나타난다. 그리고 필라는 좌, 우 대칭 제품으로 구성되어 있어서, 제품의 생산시 하나의 금형에서 좌, 우 제품을 동시에 성형 한 후 트리밍(trimming) 등을 이용하여 최종 제품을 생산하는 방법을 많이 이용하고 있

[†] 책임저자, 회원, 제주대학교 기계에너지시스템공학부
E-mail : jdwcheju@cheju.ac.kr

TEL : (064)754-3625 FAX : (064)756-3886

^{*} 울산대학교 대학원 기계자동차공학부

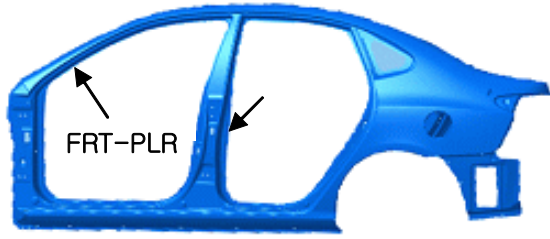


Fig. 1 Position of pillar

다.^(5,6) 그러나 이와 같은 방법은 생산성의 향상에는 도움이 되지만 제품의 성형시 판재의 유동을 억제하여 파단, 주름발생 및 스프링백 등의 현상이 나타나 성형을 어렵게 하는 경우가 많다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위해 보통은 소재의 유동을 원활히 하기위해 다이 어깨부의 반경을 수정하는 설계 변경 방법과 플랜지부에 슬릿(slit)을 사용하여 소재의 흐름을 원활히 하는 랜싱(lancing) 방법이 이용되고 있다. 전자의 제품 성형방법은 설계를 변경하여야 하며 제품에 따라 설계 변경이 불가능한 경우에는 사용이 불가능하고 재료의 유입불량을 단순한 어깨반경의 수정으로 해결하기에는 한계가 따르므로 한 금형에서 두개의 제품 생산이 불가능할 경우도 종종 있다. 후자의 랜싱을 이용하여 제품을 성형하는 경우는 설계의 변경이 없다는 큰 장점이 있으나, 랜싱부의 위치 및 성형깊이 등을 정확하게 예측하지 못하면 제품의 성형이 어려워지고, 또한 성형 공정 중에 랜싱을 위한 공정이 추가 되어 금형의 구조가 복잡해지는 단점이 있다.

산업현장에서 랜싱기법을 이용한 제품 생산방법을 회피하는 경우의 대부분이 적절한 랜싱부의 위치와 성형조건 등을 경험에 의존함으로써 정확한 성형조건을 찾기가 매우 어렵기 때문이라고 판단된다. 또한 랜싱을 이용한 제품의 성형에 관한 연구가 미비한 상태이다.

따라서 본 논문에서는 좌, 우 대칭인 프론트 필라(FRT-PLR-L/R) 제품의 랜싱공법 적용을 위해서 유한요소해석을 수행하여 정확한 성형조건을 찾고, 도출된 결과의 적용 가능성 및 타당성을 검토하고자 한다.

2. 기본 이론

2.1 내연적 방법의 유한요소 수식

탄소성 재료에 대한 updated Lagrangian 수식은 가상일의 원리로부터 다음과 같이 얻을 수 있다.⁽⁷⁾

$$\int_{V_0} L^{\alpha\beta\gamma\rho} e^{\alpha\beta} \delta e^{\gamma\rho} dV + \int_{V_0} \tau^{\alpha\beta} \frac{\partial u_i}{\partial \theta^\alpha} \frac{\partial u_i}{\partial \theta^\beta} dV = \int_{S_i^0} t_i^{(t_0 + \Delta t)} \delta u_i dS - \int_{V_0} \tau^{\alpha\beta} \delta e^{\alpha\beta} dV \quad (1)$$

위 식을 유한요소 수식으로 전환하고 뉴턴-랩슨(Newton-Raphson)법을 적용하면 다음과 같이 표현된다.

$$K \cdot \Delta \bar{u}^{(i)} = R - F^{(i-1)} \quad (2)$$

여기서 K 는 강성행렬이고 R 은 $(t_0 + t)$ 에서의 외력벡터, 그리고 $F^{(i-1)}$ 는 시간 $(t_0 + t)$, $(i - 1)$ 번째의 축차(iteration)에서의 응력 발산항(stress divergence term)이다. 식 (2)로부터 변위 오차 수정항을 구하고 이를 오차의 크기가 일정할 때 이내에 도달할 때까지 다음의 반복계산을 수행한다.

$$\bar{u}^{(i)} = \bar{u}^{(i-1)} + \beta \Delta \bar{u}^{(i)} \quad (3)$$

여기서, $\bar{u}^{(i-1)}$ 는 현재의 변위벡터, $\Delta \bar{u}^{(i)}$ 는 변위의 오차 수정항, 그리고, β 는 해의 발산의 막기 위하여 도입하는 감속계수이다. ($0 < \beta \leq 1$)

2.2 구성방정식

본 논문에서는 정적 내연적 유한요소법을 사용하는 상용프로그램인 Autoform을 이용하여 성형해석을 수행하였으며, 전체 구성방정식은 아래와 같다.

$$\bar{\sigma} = K \cdot \bar{\epsilon}^n \quad (19)$$

여기서 $\bar{\sigma}$ 는 유효응력, $\bar{\epsilon}$ 는 유효변형률, K 는 강도계수, n 은 가공 경화지수이다.

프론트 필라의 성형해석에 사용된 재료는 SPRC45로 가공성이 우수하여 자동차 판넬 등의 강도 보강을 위해 많이 사용되는 강판이다. 소재의 두께는 0.8mm이며 수직이방성계수 값이 $R=1.48$ 이고 가공경화지수는 0.15이며 세부적인 물성치는 아래 Table 1과 같다.

3. 성형해석 결과 및 고찰

Fig. 2는 프론트 필라의 성형을 위한 금형의 셋업 위치를 나타낸 것이며, Fig. 3은 블랭크의 형상 및 드로비드의 위치를 나타낸 것이다.

본 논문에서는 다이와 펀치 그리고 블랭크홀더는 변형이 없는 강체로 간주하였으며 블랭크는 셸요소(shell element)로 유한요소 모델링을 하였다.

Fig. 4 ~ Fig. 6은 설계된 프론트 필라의 성형 여부를 파악하기 1차로 최대 성형깊이인 200mm 까지 성형해석한 결과를 나타낸 그림이다.

Fig. 4는 1차 성형해석에서의 두께 감소율을 나타낸 것으로, 프론트 필라의 플랜지부에서는 거

의 변형이 없고 ①부분의 좌우 펀치 어깨부에서 두께 감소율이 약 25%로 최대임을 알 수 있다. 또한 ①, ②부분의 플랜지부를 비교해 보면 ①부분이 ②부분 보다 변형률이 높는데 이는 ①부분에서 좌우로 소재의 유입에 따라 플랜지부에 인장력이 발생하여 나타나는 현상으로 판단된다.

Fig. 5와 Fig. 6은 성형한계도를 이용하여 성형해석에서 과단여부를 판별한 결과를 나타낸 것이다. 일반적으로 성형해석에서 과단여부를 판단하기 위해 성형한계도를 많이 이용하고 있다.⁽⁸⁾

Fig. 5는 1차 성형된 제품의 성형성을 나타낸 그림으로 ① 부분의 좌, 우 펀치 어깨부에서 과단이 일어남을 알 수 있고 프론트 필라의 외곽 플랜지부에서는 소재의 압축력으로 판 두께가 부분

Table 1 Mechanical properties

Young`s Modulus	210 GPa
Yield strength	335 MPa
R value	1.48
Poisson`s Rate	0.3
Work-hardening Exponent	0.15

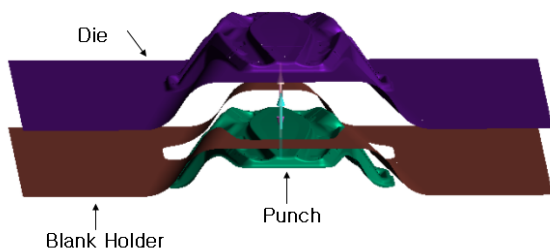


Fig. 2 Tool setting

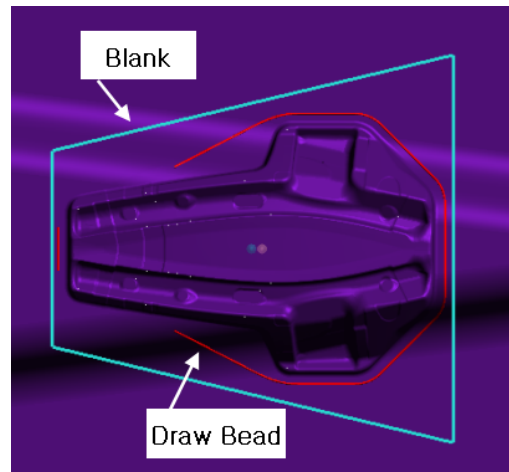


Fig. 3 Position of Blank sheet and Draw-bead

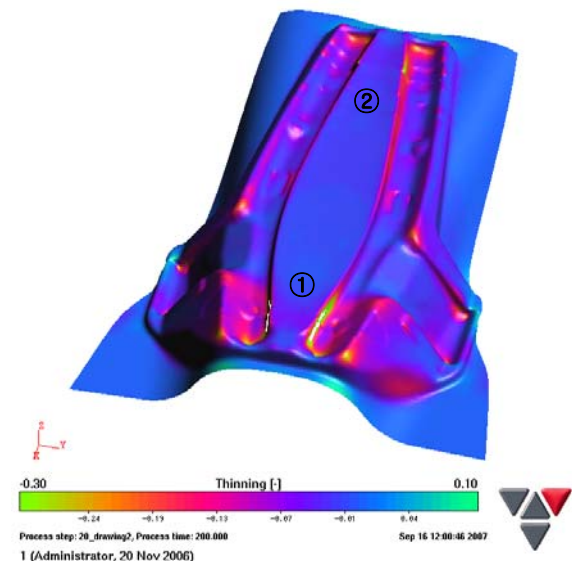


Fig. 4 The final results of thinning (no lancing)

적으로 두꺼워짐을 알 수 있다. 그러나 이외의 부분에서는 성형된 제품의 품질에는 문제가 없는 것으로 판단된다. 따라서 Fig. 4와 Fig. 5를 종합해 보면 1차 성형해석에서 발생한 파단은 프론트 필라의 ①부분에서 소재의 유입이 원활하지 않아

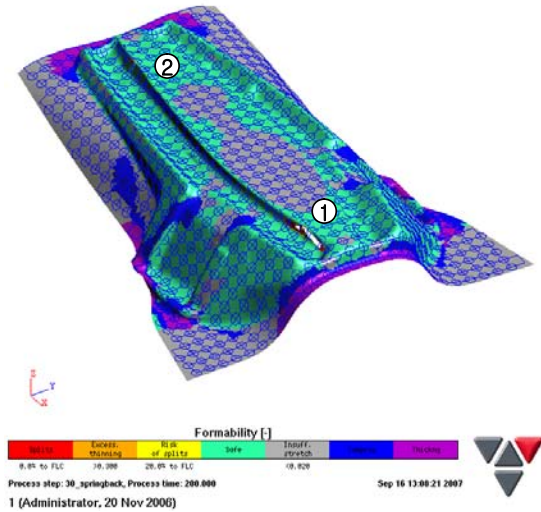


Fig. 5 The final results of formability distribution (no lancing)

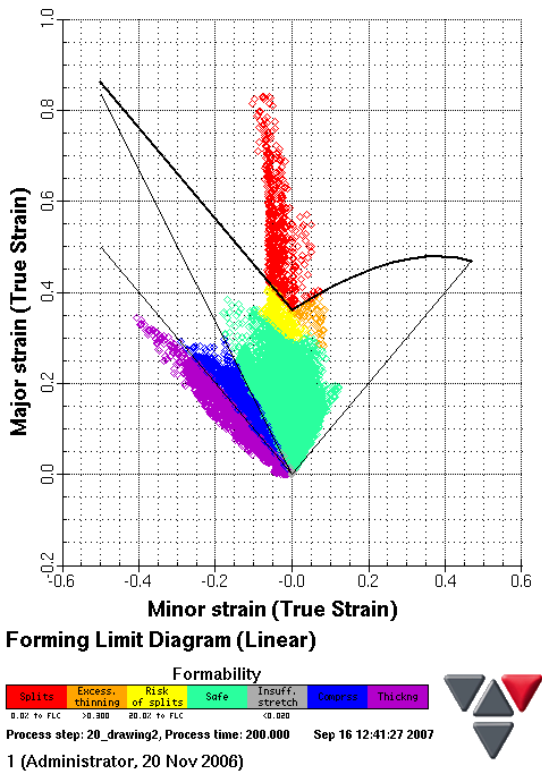


Fig. 6 The final results of forming limit diagram (no lancing)

발생하는 것으로 판단된다.

Fig. 7은 1차 성형된 제품의 품질을 평가하기 위해 스프링백량을 나타낸 것이다. 1차 성형에서 최대한 파단을 피하기 위해 플랜지부에 주름이 발생하지 않는 최소의 블랭크 홀딩력으로 블랭크를 가압하여 재료의 유입이 원활하도록 하였다. 그러나 이로 인해 플랜지부에서 스프링백량이 크게 나타남을 알 수 있다.

위의 결과들을 바탕으로 1차 성형해석에서 발생한 문제점을 해결하기 위해 랜싱공법을 사용한다. 그러나 랜싱은 적당한 위치와 크기 그리고 최적의 성형깊이를 고려하지 않으면 재료의 지나친 유입과 랜싱부 가장자리에서 응력 집중에 의한 찢어짐 현상과 과도한 스프링백등으로 인해 제품의 품질 저하가 나타난다. 따라서 충분한 성형이 이루어져서 터짐이 발생하기 직전에 랜싱을 취해야 한다는 것을 알 수 있다.

적당한 랜싱부를 찾기 위해 1차 성형해석 결과를 단계적으로 살펴보면 아래 Fig. 8, Fig. 9와 같다.

Fig. 8은 성형깊이가 190mm에서의 성형성을 나타낸 것으로 파단이 일어나는 부분이 없고, 전체 형상에서 보면 ③부분은 완벽한 형상을 갖추지 않고 있기 때문에 스트레칭이 일어나지 않은 상태이다. 여기서 성형이 더 진행되어 성형깊이가 깊어지면 플랜지부에서 재료의 유입이 억제되어 스트레칭이 발생할 것으로 판단된다.

Fig. 9는 성형깊이가 198mm에서 성형상태를 나타낸 것으로 ①부분의 다이 어깨부에서 파단이

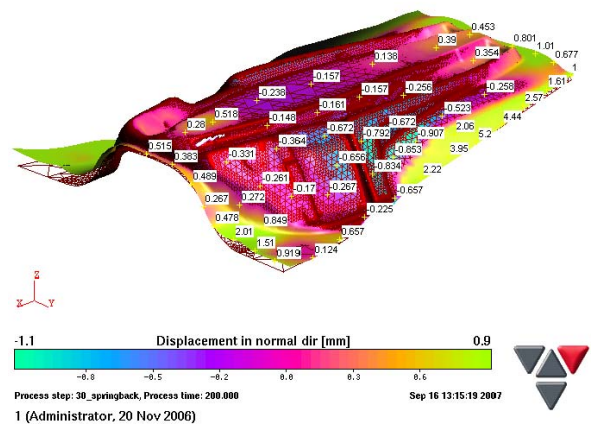


Fig. 7 Springback (final, no lancing)

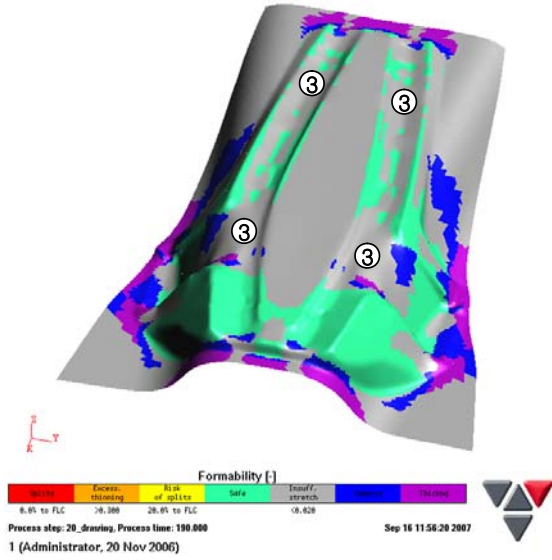


Fig. 8 Formability distribution (depth:190mm, no lancing)

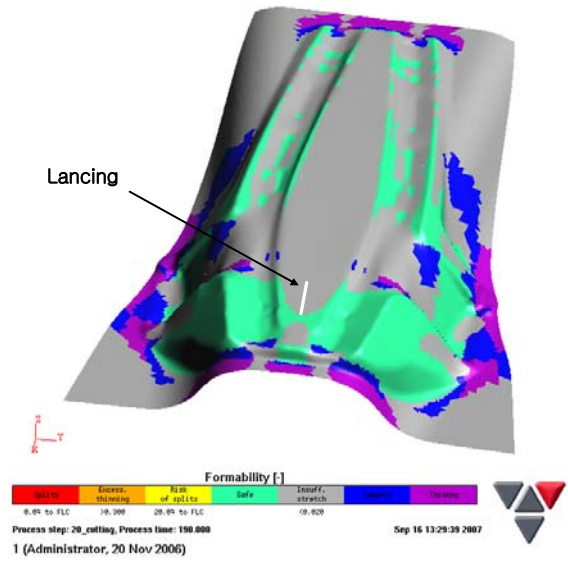


Fig. 10 Position of lancing (depth:190mm)

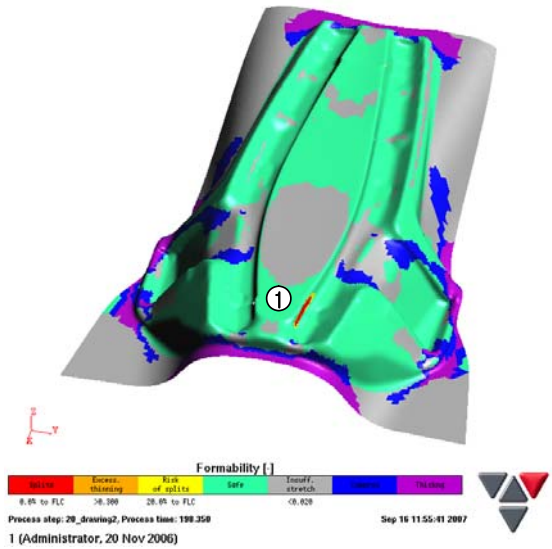


Fig. 9 Formability distribution (depth:198mm, no lancing)

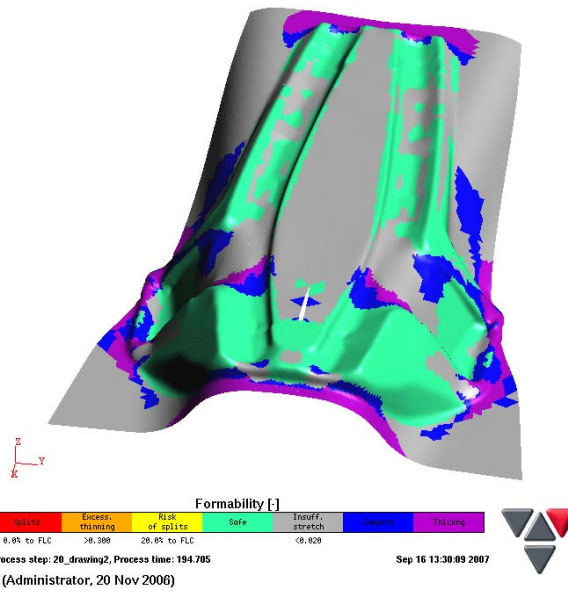


Fig. 11 Formability distribution (depth:195mm, lancing)

발생함을 알 수 있다. 그리고 다른 부위에서는 전반적으로 성형에는 문제가 없는 것으로 나타났다. Fig. 8과 Fig. 9의 결과를 바탕으로 적당한 랜싱을 위한 성형깊이는 190mm임을 예측하였고, 파단부의 위치를 고려하여 Fig. 10과 같이 랜싱을 수행하였다.

Fig. 11은 성형깊이가 195mm에서 성형상태를 나타낸 그림이다. 성형이 진행됨에 따라 랜싱으로 인해 재료의 유입이 원활해지면서 파단부는

없어지고 단지 랜싱부의 폭이 넓어지는 현상이 나타남을 알 수 있다.

Fig. 12는 최종 단계인 성형깊이가 200mm에서 성형해석 결과를 나타낸 것으로 랜싱부의 폭은 Fig. 11보다 더 넓어졌으며 이는 재료의 유입의 결과로 판단할 수 있다. 또한 Fig. 13은 랜싱을 수행한 후 최종 단계에서의 두께감소율을 나타낸 것으로 앞의 Fig. 4와 비교 했을 때 두께감소율이 5%정도 감소하는 것을 알 수 있었다. 이는 랜싱으로 인해 소재의 유입이 원활하여 스트레칭이

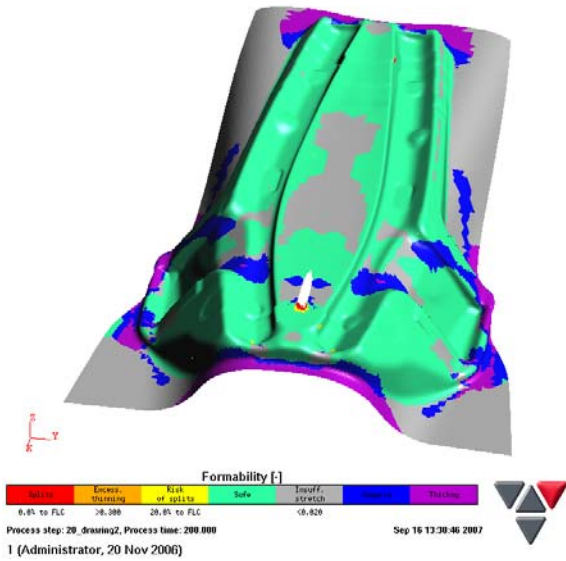


Fig. 12 The final results of formability distribution (lancing)

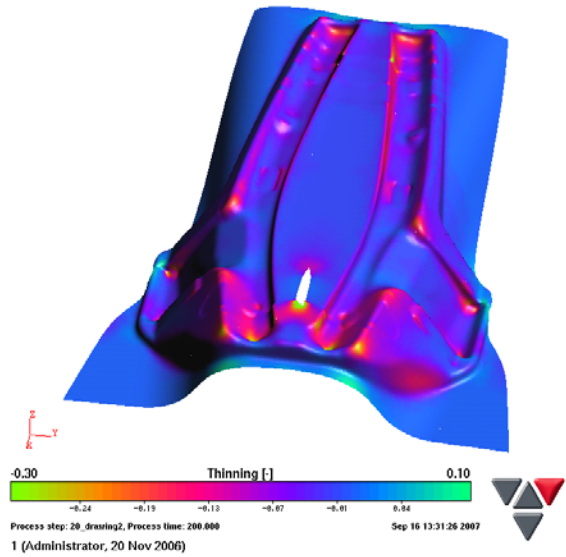


Fig. 13 The final results of thinning (lancing)

적게 일어난 것으로 판단된다.

Fig. 14는 랜싱을 수행한 최종 단계에서 스프링백을 나타낸 것으로 Fig. 7과 비교해 보면 전반적으로 스프링백량이 적어짐을 알 수 있었다. 이는 랜싱으로 인해 재료의 유입이 원활하게 이루어진 결과라고 판단된다.

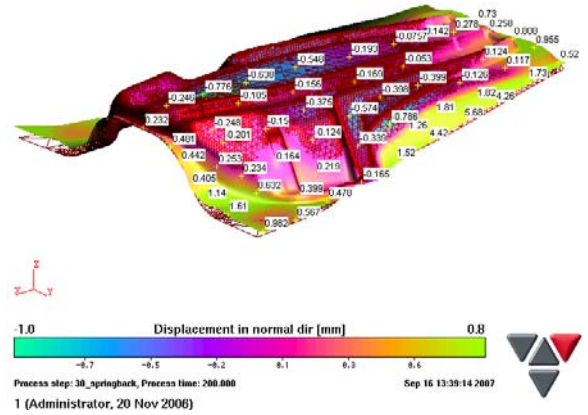


Fig. 14 Spring-back(lancing)

5. 결론

본 연구에서는 자동차의 좌, 우 프론트 필라 제품을 동시에 생산하기 위해 설계의 변경 없는 랜싱공법을 도입하였으며, 랜싱의 최적의 조건을 찾기 위해 유한요소해석을 수행하여 아래와 같은 결과를 얻을 수 있었다.

- (1) 성형해석 결과 랜싱의 적정 위치 및 성형깊이를 예측 할 수 있었다.
- (2) 적정의 랜싱공법 적용은 두께감소율과 스프링백 등을 고려할 경우 제품의 품질이 향상됨을 알 수 있었다.
- (3) 랜싱공법의 도입은 금형의 수정 없이 제품 성형이 가능하여 금형의 제작 기간을 단축할 수 있을 것으로 판단된다.
- (4) 성형해석을 통한 적정의 랜싱 위치 및 깊이에 대한 예측은 현장에서 금형의 공법설계에도 도움이 되리라고 판단된다.

참고문헌

- (1) Ko, H. H., Jung, D. W., Ahn, H. G., Lee, C. H., Ahn, B. L. and Moon, W. S., 2006, "A Study of Tool Planning for Forming Analysis in REF SILL OTR-R/L Auto-Body Panel Stamping Process," *Journal of the KSPE*, Vol. 23, No. 3, pp. 118~124.
- (2) Jung, H. S. and Lee, S. S., 2002, "Automatic

- Design Supporting System for Automobile Stamping Tool," *Journal of the KSPE*, Vol. 19, No. 8, pp. 194~202.
- (3) Shim, H. B., Jang, S. D. and Park, J. K., 2004, "A Study on the Generation of Initial Shape for the Initiation of Optimal Blank Design Sequence," *Transactions of Materials Processing*, Vol. 13, No. 1, pp. 90~101.
- (4) Shim, H. B., Lee, S. H., Park, J. K. and Kim, H. U., 2003, "Development of Stamping Process Optimization System: Integration of Optimal Blank Design and Optimal Nesting," *Proceedings of 2003 Spring Conference on the Korean Society for Technology of Plasticity*, pp. 283~287.
- (5) Chung, W. J., Park, C. D., Song, Y. J. and Oh, S. W., 2006, "Trimming Line Design using Incremental Development Method and Finite Element Inverse Method," *Transactions of Materials Processing*, Vol. 15, No. 6, pp. 445~452.
- (6) Song, Y. J., Hahn, Y. H, Park, C. D. and Chung, W. J., 2006, "Trimming Line Design of Auto-body Panel with Complex Shape Using Finite Element Inverse Method," *Transactions of Materials Processing*, Vol. 15, No. 6, pp. 459~466.
- (7) Hibbit, H.D., Marcal, P.V., and Rice, J.R., 1970, "Finite element formulation for problems of large strain and large displacements," *Int. J. Solids Struct.*, Vol. 6, pp. 1069~1089.
- (8) Son, H. S. and Kim, Y. S., 2001, "Strain Path Dependence of Forming Limits Predicted by Barlat and Lian's Non-Quadratic Anisotropic Yield Criterion for Sheet Materials," *KSME int. J.*, Vol. 15, No. 2, pp. 210~216.
- (9) Autoform user's manual.