

## 셸 요소를 이용한 박판성형공정의 불량 예측 평가

고형훈(제주대학교 대학원)\*

, 이찬호(㈜오토폼엔지니어링코리아), 강동규(쌍용자동차㈜프레스치공구팀), 설남기(쌍용자동차  
㈜프레스치공구팀), 이광식(㈜탑금속기술연구소), 정동원(제주대학교 기계에너지시스템공학부)

### Prediction evaluation of problems happened of Sheet Metal Forming Process Using Shell Element

Hyung-Hoon Ko(Graduate School, Cheju National Uni. ),\*, Chan-Ho Lee(AutoForm Korea Engineering), Dong-Kyu Kang(Ssangyong Motor CO.), Nam-Ki Sul(Ssangyong Motor CO), Kwang-Sik Lee(Top Metal Works CO.,LTD.), Dong-Won Jong(Faculty of Mechanical, Energy and Mechatronics Engineering, Res. Inst. of Adv. Cheju Nat. Uni.)

#### ABSTRACT

The AutoForm previously used the membrane element and it accomplished sheet metal forming analysis. The membrane analysis has been widely applied to various sheet metal forming processes because of its time effectiveness. However, it's well known that the membrane analysis can not provide correct information for the processes which have considerable bending effects. In this research it tried to compare the analysis results which use the shell element which is applied newly in the AutoForm commercial software with actual experimental results. The shell element is compromise element between continuum element and membrane element. The Finite element method by using shell element is the most efficient numerical method. From this research, it is known that FEA by using shell element can predict accurately the problems happened in actual experimental auto-body panel.

**Key Words** : sheet metal forming(박판성형), AutoForm(오토폼), shell element(셸요소), membrane element(박막요소), bending effects(굽힘효과)

#### 1. 서론

박판성형공정은 굽힘(Bending)보다는 대부분이 인장(Stretching)에 의하여 성형이 이루어지기 때문에 그 해석에 대해서는 굽힘과 판 두께 방향의 전단응력을 무시하거나, 최소한만 고려하는 해석방식인 박막 해석 법(membrane analysis method)를 많이 사용하고 있다. 그러나, 딥 드로잉(Deep Draw) 및 굽힘 가공 공정 등은 공정의 특징상 굽힘의 효과를 무시할 수 없는 공정이다. 이러한 공정의 해석에서

는 적절한 방법을 사용하여 굽힘의 효과를 최대한 적용할 필요가 있다. 이번 연구에서는 굽힘이 지배적인 공정에 적용할 경우 부정확한 정보를 제공할 가능성이 큰 박막 요소를 사용한 해석법과 굽힘의 효과를 고려할 수 있고, 수식화가 매우 간단하다는 장점을 가지고는 있으나 3 차원 문제를 해석할 경우 과도한 계산시간과, 대용량의 기억용량이 요구되어 주로 축 대칭이나 평면 변형과 같은 2 차원 문제에 사용되는 연속체 해석 법(continuum analysis method), 이 두 가지 방법의 타협적인 해석 방법

이라 할 수 있는 쉘 요소(shell element) 해석 방법을 이용하여 박판 성형공장에서 발생 할 수 있는 불량에 대해 예측 정확도와 신뢰도를 평가해 보았다.

## 2. 성형해석결과

실험에 사용된 재료는 CHSP35R 로 고장력 강판 중 가공용 강판이다. P 가 첨가된 고용 경화 강으로 가공성이 우수하여 자동차 판맬(center floor, bracket)등의 강도보강을 위해 사용한다.

<b>Young's : 2.1e+05</b>
<b>Poisson rate : 0.30</b>
<b>Specific weight : 7.8e-05</b>
<b>R-values : r<sub>0</sub> : 1.14</b>
r <sub>45</sub> : 0.82
r <sub>90</sub> : 1.70
<b>Thickness : 0.7mm</b>

Table 1. Material Property

실험에서는 드로잉 (Drawing), 트리밍(Trimming), 플랜징(Flanging)의 총 3 단계의 성형 해석이 행하여졌으며, 드로잉에서는 BE-M 요소를 플랜징에서는 쉘 요소를 사용하였다.

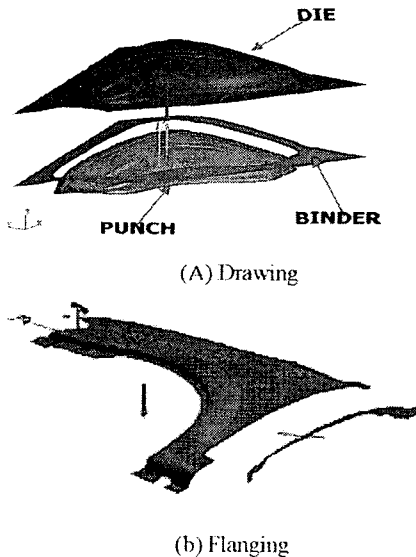


Fig. 1 Tool Setting

Fig. 2 는 해석 결과 그림에서 적색구간은 두께 분포도는 소재가 과다하게 유입된 부분이며, 주름 분포도에서는 성형 완료 후 주름이 발생한 구간이다.

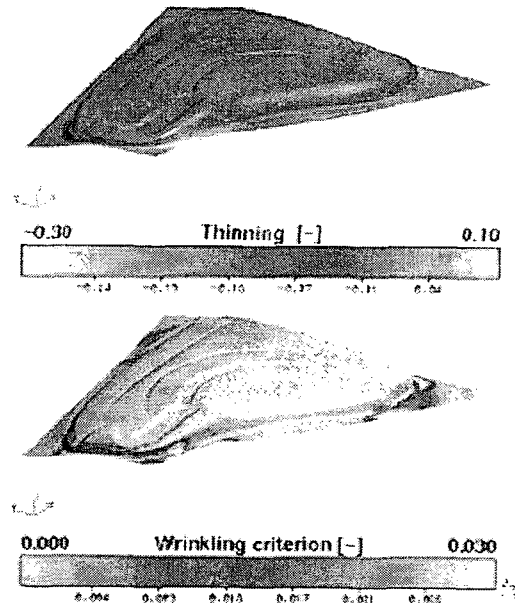


Fig. 2 Result of Analysis

## 3. 해석 결과와 실제 실험 결과의 비교

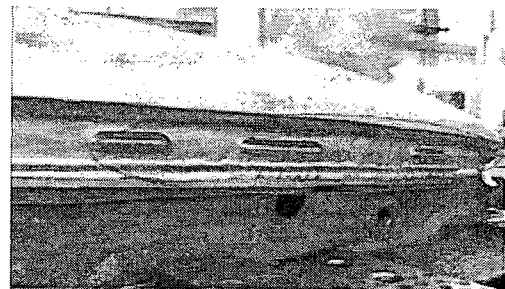


Fig. 3 (a) Experiment at Result

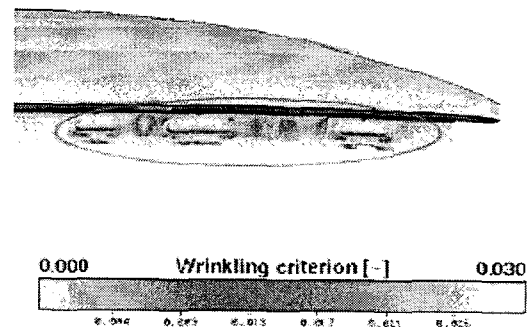


Fig. 3 (b) Analysis Result

Fig. 3 에서 보면 성형해석결과에서 주름 발생 및 주름 발생 위험 지역인 적색과 청색 구간(적색 원 내부)이 실제 실험한 성형 제품에서도 주름으로 나타나고 있는 것을 확인 할 수 있다.



Fig. 4 (a) Experiment at result

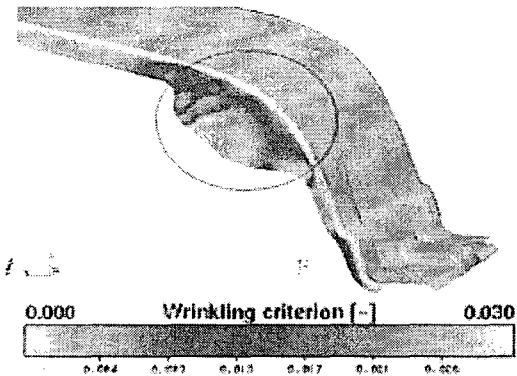


Fig. 4 (b) Analysis result

Fig. 4 은 굽힘이 심한 부위로 성형해석결과 실제 실험한 제품에서 발생 하는 주름이 비교적 정확하게 예측되고 있으며, 성형해석의 중간 과정에서는 박막 요소를 이용한 성형해석에서는 예측되기 힘들었던 주름의 변화까지도 상세히 예측할 수 있었다.

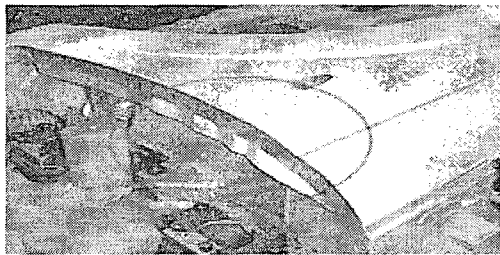


Fig. 5 (a) Experiment at result

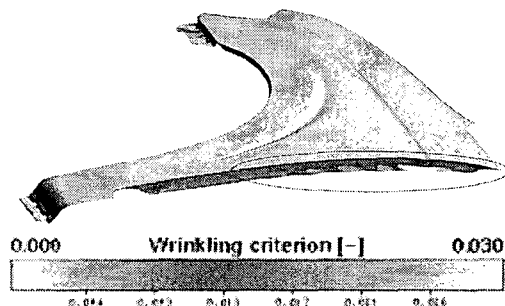


Fig. 5 (b) Analysis result

Fig. 5 에서는 실제 실험한 제품의 플랜징 측벽 부위에 발생한 주름들을 셀 요소를 이용한 성형해석결과가 정확히 예측할 수 있음을 알 수 있으며, 박막요소를 이용한 성형해석 보다 신뢰도가 높게 평가 되었다.

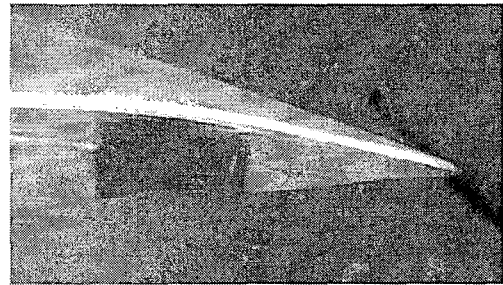


Fig. 6 (a) Experiment at result

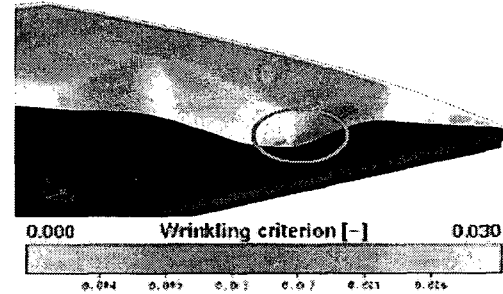


Fig. 6 (b) Analysis result

Fig. 6 에서 측벽 부위에서 형해석결과가 터짐을 예측하고있으며, 실제 실험에서도 예측된 부위에서 정확히 터짐이 발생하고 있는것을 확인할 수 있었다.

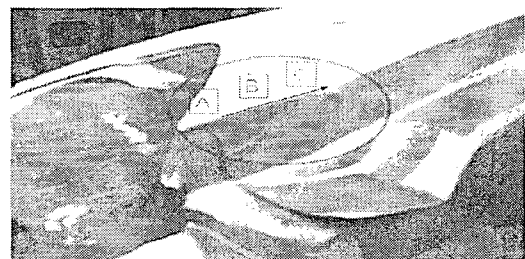


Fig. 7 (a) Experiment at Result

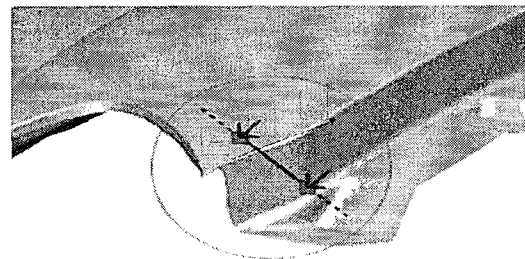


Fig. 7 (b) Analysis Result

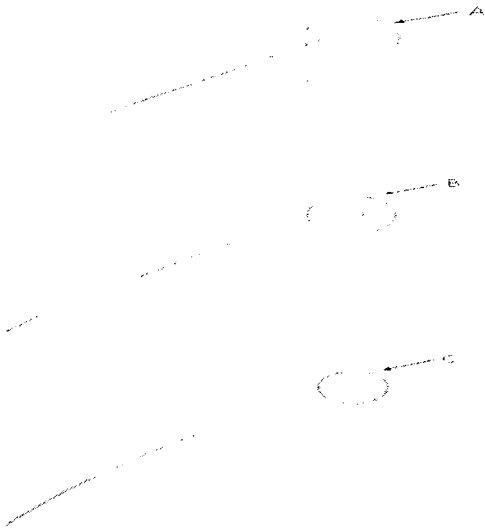


Fig. 7 (c) Section view

Fig. 7에서 (a)는 실제 실험한 결과이고 (b)는 성형해석 결과, (c)는 해석결과의 A, B, C 부분의 단면으로, 굽힘 발생시 바로 굽혀지지 않고 굽힘 저항으로 인해 볼록 튀어나오면서 굽혀 지는 현상인 사쿠레 현상이 쉘 요소를 사용한 해석결과에서 잘 예측되어지고 있다. 기존의 박막 요소를 사용한 해석에서는 굽힘에 대한 정확한 예측이 힘들었으나, 쉘 요소를 적용한 본 해석에서는 실험결과와 거의 유사한 해석결과를 얻을 수 있었다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 쉘 해석 법(Shell Analysis Method)이 새롭게 적용된 AutoForm 을 통해 박판성형 공정을 해석해 보았으며, 불량예측 성능을 평가하기 위해 실제 품과 비교해 보았다. 이 연구로부터 얻은 결론은 다음과 같다.

(1) 박막 해석의 경우는 굽힘 영역이 있는 경우 적당하지 않으며, 연속체 해석의 경우는 굽힘 영역이 있는 경우도 정밀 해석이 가능하나 과도한 계산시간의 필요로 인해 극히 정밀한 해석을 요구하지 않는다면 쉘 해석 법을 사용하는 것이 경제적이며, 빠른 결과 도출로 효율성 또한 높다고 판단된다.

(2) 굽힘 영역이 포함된 성형해석 결과물과 실제 실험 결과물과의 비교를 통하여 볼 때 쉘 요소를 이용한 불량 예측 부위와 결과물과의 불량부위가 비교적 정확하게 일치하고 있어, 쉘 해석 법이 적용된 AutoForm 이 박판성형공정 해석에 적합하다고 판단된다.

(3) 하지만, 굽힘 영역이 포함되지 않은 단순 인장 공정에서는 여전히 박막 해석 법을 사용하는 것

이 효율적이다. 따라서, 드로잉 공정에서는 박막요소를 플랜징 및 굽힘 공정에서는 쉘 요소를 사용하는 혼합적인 방법을 사용하는 것으로 효율을 극대화시킬 수 있다고 본다.

#### 참고문헌

1. 이재석, 1999, 가상실험기술, 충북대학교 건설기술 연구소, pp.4-5
2. D. W. Jung, D. J. Yoo, and D. Y. Yang, 1995, A dynamic explicit/rigid-plastic finite element formulation and its application to sheet metal forming processes, Engineering Computations, vol. 12, pp. 707-722
3. D. W. Jung, J. S. Hwang and H. G. Ahn, June 2004, A first study of developing stamping die of REF SILL OTR-R/L auto-body panel stamping processes, Reprinted from Bulletin of the Marine and Environmental Research Institute Vol.28 No. 1 Cheju National University Jeju, Korea.
4. D. Y. Yang, D. W. Jung, I. S. Song, D. J. Yoo and J. H. Lee, 1995, Comparative investigation into implicit, explicit and iterative implicit/explicit, schemes for the simulation of sheet-metal forming process, J. Materials Processing Technology, vol. 50, pp. 39-53
5. H. B. Shim, D. Y. Yang, 1990, An Elastic-Plastic Finite Element Analysis on Hydrostatic Bulging of Rectangular Diaphragms by using Layered Degenerated Shell Element, Int. J. Mcch. SDI, Vol. 32, pp. 49-64
6. J. B. Kim, T. J. Kim, D. Y. Yang and D. J. Yoo, 2000, An Efficient analysis of wrinkling in the door inner stamping process by global analysis and subsequent local analysis, Transactions of Materials Processing Vol. 9. No. 6. pp. 653-662
7. K. Mattiaso., 1985, Numerical Simulation of Stretching Processes, SIMOP-I, Editor Lange. K., Proc. of the 1. Int. Workshop, Stuttgart, pp.170-213
8. N. M. Wang., S. C. Tang., 1988, Analysis of Bending Effects in Sheet Forming Operations, Int. J. for Num. Mcch. in Engng., vol.25, pp.253-367