

## One-Step 이론을 이용한 차체판넬 성형 해석에 관한 연구

안현길(제주대학교 대학원), 고희훈(제주대학교 대학원), 이찬호(오토폼 엔지니어링 코리아), 안병일  
(주)Dieart), 문원섭((주)Dieart), 정동원(제주대학교 기계공학과)

### Study of Forming Analysis Auto-body Panel Using One-step Theory

H. G. Ahn(Graduate School, Cheju National Uni.), D. W. Jung(Faculty of Mechanical, Energy and Mechatronics  
Engineering, Res. Inst. of Adv. Cheju Nat. U), H. H. KO(Graduate School, Cheju National Uni.), C. H.  
Lee(Auto-Form, Engineering Korea), B. I. Ahn(Dieart), W. S. Moon(Dieart)

#### ABSTRACT

Many process parameters have an effect on the auto-body panel forming process. A well-designed blank shape causes the material to flow smoothly, reduces the punch and yields a product with uniform thickness distribution. Therefore, the determination of an initial blank shape plays the important role of saving time and cost in the auto-body panel forming process. For these reasons, some approaches to estimate the initial blank shape have been implemented. In this paper the one-step approach using a finite element inverse method will be introduced to predict the optimal forming with changing of blank pressure. The developed program is applied to auto-body panel forming.

**Key Words** : Auto-body panel(차체판넬), One-step analyzing(원스텝 해석), Finite element inverse method(역 유한요소법)

#### 1. 서론

오늘날 박판 성형 공정해석에 컴퓨터를 이용한 해석 프로그램을 사용하는 것은 그리 낯선 일은 아니다. 1970년대 이후로, 컴퓨터의 성능과 수치해석적인 기법들이 빠르게 발전되기 시작하면서 컴퓨터를 이용한 많은 해석 프로그램들이 개발되었고, 직접적으로 산업에 이용되기 시작하였다. 이러한 응용 프로그램들은 제품의 질 향상과 원가절감 그리고 새로운 제품의 빠른 도입을 가능케 하였다. 하지만, 박판 공정은 복잡한 비선형 문제이기 때문에, 공정을 완전히 예측하기에는 무리가 있었다. 전통적인 증분 유한요소해석(Incremental FEA)이 잠재적인 성형문제를 확인하는데 도움이 되긴 했지만, 이것 역시 계산시간이 오래 걸린다는 단점 때문에 짧은 lead을 갖는 설계공정에 적용하기에는 적합하지 못했다.[1-5]

이와 같은 문제점을 개선하고자 개발되기 시작한 것

이 소성(Plasticity) 변형이론을 사용한 One-step 유한요소해석(One-step FEM)이다.

One-step 유한요소해석이란, 초기 평판 블랭크에서 최종 형상까지 어떠한 중간 과정을 고려하지 않고 직접 변형된다고 가정하여 처리한 것이다. 즉, 중간 과정을 무시했기 때문에 정확한 예측을 한다는 점에서는 다소 어려운 점이 있지만 일반적으로 사용되고 있는 증분형 유한요소 프로그램과는 달리, One-step 유한요소법은 제품 설계단계에서 필요로 하는 정보를 얻기 위해 사용되고 있다. One-step 유한요소법에 대한 연구로는 초기에 E. Chu[6], S. A. Majlessi[7] 등이 형상 사상 기술을 이용하여 선대형 딥드로잉 과정을 해석하기 위해 이 방법을 이용하였다. 그리고 최근에는 J. L. Batoz[8], S. D. Liu[9-10], K. Chung[11]등에 의해서 여러 가지 성형 조건을 고려할 수 있고, 비선형 변형에너지, 즉 bending - unbending과 드로우비드를 반영할 수 있는 좀 더 일반적인 One-step 접근이 제시되었으며, 이들의 연구결과들은 현재 산업 현장에서 조금씩 응용되어지고 있다.

본 연구에서는 One-step 유한요소법을 이용한 상용 프로그램인 Autoform을 사용하여 One-step 유한요소법의 특징과 외과구속조건에 따른 차체판넬의 최적블랭크형상을 알아보고 이에 대한 실제 현장에서의 적용성과 가능성을 알아보려고 한다.

## II. 본론

### 2.1 블랭크 선정을 위한 초기 추측방법

One-step 유한요소방법을 이용해서 초기 블랭크의 형상을 계산하기 위해서는 먼저, 블랭크의 형상에 관한 초기 추정값이 필요하다. 그것은 초기 블랭크의 형상이 최종형상과 큰 차이를 가지고 있고 역해석이 비선형 해석이기 때문이다. 초기 추정값을 구하는 방법은 다양한 방법이 가능하며 주어진 문제의 형태에 따라 적절한 방법을 선택하여 구하면 된다. 또한, 주어진 형상에 따라 여러 가지 경우를 조합하여 추정값을 구할 수도 있다. 먼저, 가장 쉽게 구할 수 있는 연직투사법(z-projection)을 이용할 수 있다. 이 방법은 박면이 거의 수직인 경우는 형상위에 있는 절점들이 겹치게 되므로 전체적인 요소의 크기와 형태가 차이가 많이 생기게 된다. 따라서 Fig. 1과 같이 박면이 수직하지 않고 경사가 완만하며, 곡면이 많은 경우에 주로 이용된다.

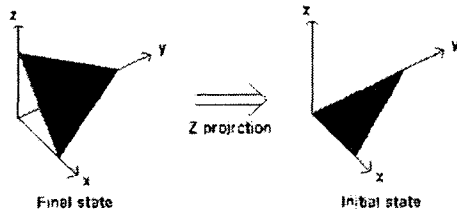


Fig. 1 Transformation of element from the final state to the initial state

다른 방법으로는 Fig. 2와 같이 각 절점을 그대로 평면으로 펼쳐서 초기 추측값을 구하는 기하학적 사상법이 있다. 이 방법은 최종 형상의 면적을 동일하게 평면으로 펼치는 것으로 박면이 수직이든 아니든 상관없다.

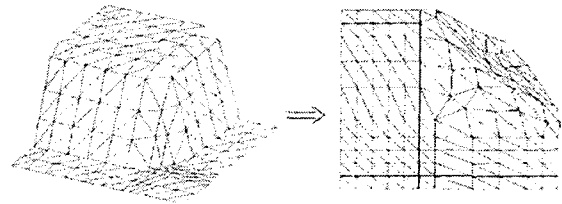


Fig. 2 The blank shape of a square cup using the geometric mapping method (a)schematic view of the square cup (b)calculated initial blank shape

## III. 성형해석

One-step FEM을 이용한 상용 프로그램인 Auto-form을 사용하여 외과구속조건에 따른 Open, Locked, r0.3, r0.75의 변화를 주어 판넬의 두께분포, 주름경향, 성형한계곡선을 나타내보았다. 그 결과는 다음과 같다.

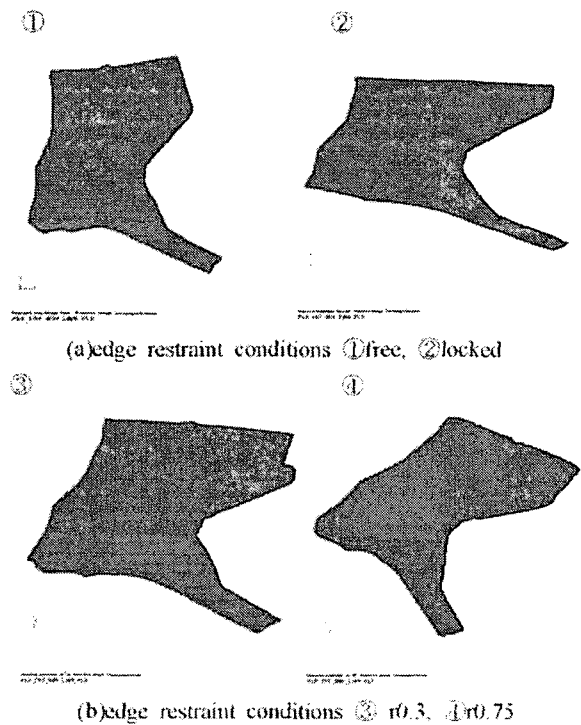
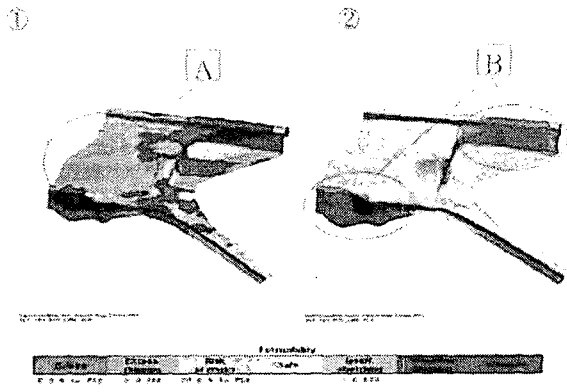


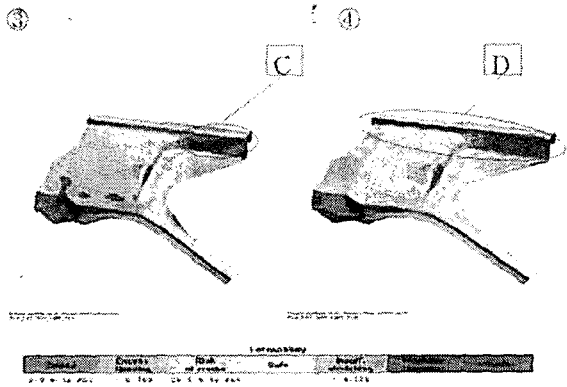
Fig. 3 The form according to the edge restraint conditions

Fig. 3은 외과구속조건 변화에 따른 차체판넬 PLR\_FRT\_BDY\_LWR의 블랭크형상을 보여주고 있다. 1부터4까지의 블랭크형상을 살펴보면 외과구속조건 Open, Locked 그리고 r0.3과r0.75일때 의 블랭크 형상분

나타내고 있으며 Fig. 3에서의 불평면형상을 설명해석하여 Fig. 4, Fig. 5와 같은 해석결과를 얻을 수 있다.



(a) edge restraint conditions ① free, ② locked



(b) edge restraint conditions ③ r0.3, ④ r0.75

Fig. 4 formability distribution

Fig. 4는 외곽구속조건에 따른 판넬의 주름과 파단의 성형성을 나타내고 있으며 ①부터 ④의 그림에서 다음과 같은 결과를 알 수 있다.

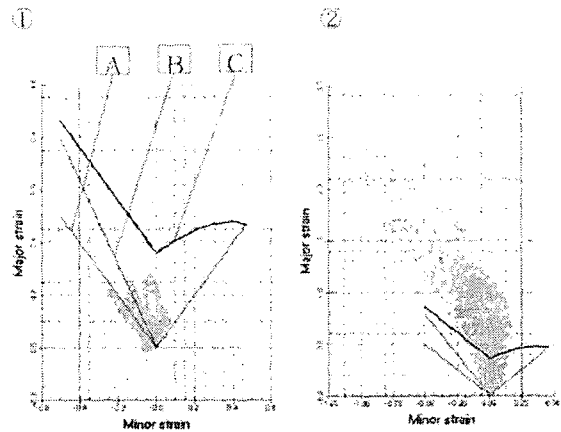
①외곽구속조건(free)- A구간과 같이 전체적으로 스트레칭이 이루어지지 않았으며 부분적으로 주름의 경향을 나타냈다.

②외곽구속조건(lock)- b구간에 알 수 있듯이 측면에 파단이 심각하게 일어남으로 인하여 실제제조성형에서는 부적합한 것을 알 수 있다.

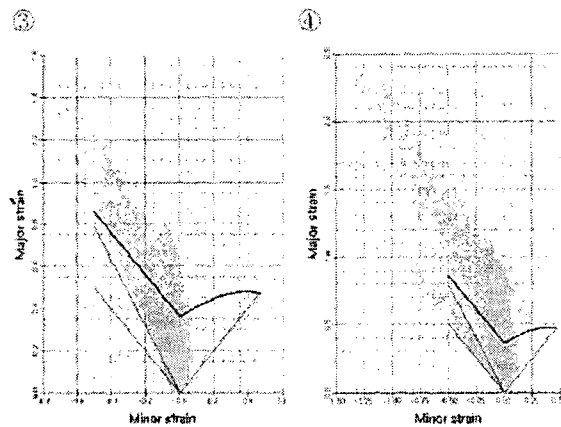
③외곽구속조건(r0.3)- 파단과 스트레칭성이 필요한 구간이 보여 지고 있었지만 전체적으로 안전성을 보이며 C구간과 같이 파단의 경우가 심각하지 않은 부분은 드라이아웃공정과정에서 사장을 통해 문제점을 완화시킬 수 있을 것으로 보인다.

④외곽구속조건(r0.75)- ③보다 안전성을 보이고 있으나

c구간의 파단경향이 Locked에 가까워짐으로 인해 파단 경향이 더욱 심화되는 것을 볼 수 있다.



(a) Formability limit diagram (① free, ② locked)



(b) Formability limit diagram (③ r0.3, ④ r0.75)

Fig. 5 Formability limit diagram result

Fig. 5 외곽구속조건에 따른 성형한계곡선(FLD)을 나타낸 것으로 ①에서 A구간은 주름구간, B구간은 안정성구간, C구간은 파단구간으로 ②에서 ④의 구간도 ①과 같이 적용되어지며 외곽구속조건 의한 판넬성형 결과는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

①외곽구속조건(free)- 분포형상이 국한되어 스트레칭이 필요성이 보이며 주름경향도 나타나고 있다.

②외곽구속조건(lock)- 파단선 구간을 크게 넘어서고 있으며 분포형상이 잘게 나타난 부분에서 파단이 심각한 것을 알 수 있다.

외곽구속조건(r0.3)- 주름구간에서 알 수 있듯이 주름은 미미하게 나타나며 안전성구간에 많은 분포를 보이고 좌단구간은 분포성을 보이고 있지만 사상을 통해 보인 가능할 것으로 보인다.

외곽구속조건(r0.75)- ③주름분포는 보이지 않으나 좌단구간에 심한 분포도를 보이고 있다.

#### IV. 결론

상용프로그램인 Auto-form을 사용하여 One-Step FEM의 제한적인 사항, 효율성과 외곽구속조건에 따른 차체판넬 최적블랭크형상을 알아보았다. 그 결과는 다음과 같다

1)One-Step FEM을 사용하여 차체판넬을 해석해본 결과 성형 후의 제품에 대한 두께, 주름, 판단등을 가시적으로 쉽고 빠르게 파악할 수 있었다.

2)One-Step 접근에 의한 빠른 계산시간은 trial and error를 많이 기치는 제품설계 과정에서 매우 유용하게 적용될 것으로 보인다.

3)One-Step FEM을 사용하여 외곽구속조건에 따른 차체판넬의 변화를 알아본 결과 구속조건r0.3에서 좌단과 스트레칭이 필요한 구간이 보였지만 전체적으로 여러 외곽구속조건 중 가장 안전성을 보였으며 더미한 좌단의 경우가 보였지만 트라이아웃공정과정에서 사상을 통해 문제점을 원화시킬 수 있을 것으로 보인다.

4)One-Step FEM은 중간과정을 무시한 방법이기 때문에 그만큼 정확성이 떨어질 우려가 있다. 앞으로 정확도와 성형 가능성, 그리고 프로그램의 계산시간을 좀더 단축시키는 연구가 필요할 것으로 보인다.

#### V. 참고문헌

1. M. Kawka and A. Makinoouchi, 1993 "Shell element formulation of sheet stamping". Proc. NUMISHEET93. pp.91-107.
2. J. L. Duncan, R. Sowerby & E. Chu, 1985 "The development of sheet metal modelling", in "Computer Modelling of Sheet Metal Forming Process", edited by N. M. Wang & S. c. Tang. pp.1-11.
3. 정동원, 양동열, 1996 "차체 스텝핑공정을 위한 스텝형식의 미연직/미연직 결합 유한요소해석", 한국정밀공학회 제13권 제12호. pp.86-98.

4. 정동원, 이상재 1999 "기하학적 방법을 이용한 초기박 판형상 추정", 한국해양공학. 제13권제3(1)호, pp.12-20.
5. 정동원, 이상재 1999 "One-Step FEM을 이용한 초기 블랭크 형상 결정에 관한 연구", 한국해양공학회. 제13권 제3(1)호, pp.21-28.
6. E. Chu, 1983 "New horizons in CAD of Sheet metal stampings". Ph. D. thesis. McMaster University. .
7. S. A. Majlessi & D. Lee, 1987 "Further development of sheet metal forming analysis method", ASME J. Eng. Ind. 09: pp330-337.
8. Y. Q. Guo, J. L. Batoz, J. M. Detraux and P. Duroux, 1990 "Finite element procedures for strain estimations of sheet metal forming parts", Intl. j. Numer. Meth. Eng., Vol. 30, pp.1385- 1401.