

일반적인 금형면에서의 접촉탐색과 3차원 박판성형에의 응용

서의권*, 심현보**

* 영남대학교 대학원

** 영남대학교 기계공학부

A General Tool Surface Contact Search and its Application to 3-D Sheet Forming

E.K. Suh* , H.B. Shim**

* Yeungnam Univ. Graduate School

** Yeungnam Univ. Mechanical Department

Abstract

In the present study, a general tool surface contact search and check algorithm is proposed. A general tool surface is described by triangular FE mesh. To check a proposed algorithm, clover cup and L-shape cup deep drawing processes are calculated. The elastic-plastic FEM using SEAM (Shear Energy Augmented Membrane) element is adapted for numerical stability.

1. 서론

박판성형 제품의 설계에서 있어 CAD 시스템은 제품의 형상이 날로 복잡해짐에 따라 그 효용성이 증가되고 있다. 이러한 추세에 따라 박판성형공정의 해석에 있어서 CAD 시스템의 제품 데이터를 이용한 임의 형상의 금형에 의한 성형해석이 이루어지고 있다. 먼저 임의 형상의 금형에 의한 해석을 위해서는 적절히 금형면을 표현하여야 하는 데 이러한 금형면의 표현에 있어서는 비매개변수 패치(non-parametric patch) 방법[1], 매개변수 패치(parametric patch) 방법[2], 유한 요소 격자(finite element) 방법[3] 등이 있다.

비매개변수 패치 방법[1]은 금형의 면을 x, y축의 등간격으로 나누고 이 x, y에 해당하는 z축의 데이터를 정하여 주는 방법이다. 이러한 방법은 금형의 접촉탐색에 유리한 장점을 가지고 있으나, 금형의 형상이 복잡해지면 이를 표현하기위한 격자의 간격을 줄여주어 격자수를 증가시켜야 하며, 또한 수직벽면을 표현할 수 없는 단점이 있다. 매개변수 패치 방법[2]은 제품의 형상을 임의의 곡면으로 묘사할 수 있는 방법으로 상용 CAD 시스템에서 만들어 지는 Ferguson, NURBS(Non Uniform Rational B-Spline) 곡면 등을 쉽게 해석 데이터로 이용이 가능하나, 접촉탐색이 복잡하고 패치의 수가 증가함에 따라 계산시간이 증가 되는 단점이 있다. 유한 요소 격자 방법[3]은 금형면을 유한요소 격자로 나누어 표현하는

방법으로 일반적 임의 형상을 표현하는 데에 많이 사용되고 있다. 상용 CAD 시스템에서는 곡면을 유한개의 격자로 나누어주는 기능을 포함하여 쉽게 이를 이용할 수 있다. 금형의 형상이 복잡하면 이를 충분히 묘사하기위한 격자의 수가 증가되어 역시 계산시간이 증가 된다.

본 연구에서는 일반적인 금형면의 묘사에 있어서 삼각형 요소를 사용하여 이를 이용한 접촉탐색을 제안하였다. 금형면을 삼각형 요소로 표현할 때 사각형 요소에 비해서 삼각형 요소의 세 질점이 하나의 평면만을 형성하므로 접촉점을 정확히 결정할 수 있는 장점이 있다. 제안된 접촉탐색에 의한 성형해석프로그램의 유용성을 알아보기위해 클로버 컵과 L형 컵의 예제에 적용해 보았다.

2. 일반적 금형면에서의 삼각형 유한 요소격자 방법과 접촉탐색

일반적으로 접촉 탐색과정은 크게 전체 탐색(global search)과 국부 탐색(local search), 그리고 접촉 판별(contact check)로 나눌 수 있다. 전체 탐색은 해석하고자 하는 절점에 접촉 가능성이 있는 몇 개의 유한요소 격자를 찾는 방법을 말하며, 국부 탐색은 전체 탐색에서 찾은 접촉 가능성이 있는 요소 중에서 해석 절점이 투사될 목표(target) 요소를 찾는 방법이다. 다음으로 찾아진 목표요소와 해석 절점사

이에서 접촉이 이루어졌는 가를 판별하게 된다.

본 연구에서 셀 전략법(cell strategy)[4]과 유한요소 경계정보[2]를 혼용한 전체탐색을 응용하여, 다음과 같은 새로운 접촉 탐색과 접촉 판별을 제안하였다.

먼저 계산에 들어가기 앞서 전체 탐색에 필요한 두 가지 정보를 계산한다. 첫 번째는 급형면을 표현하는 삼각형 유한요소 격자의 최외각 경계정보와 두 번째로 셀 격자에 포함된 급형면 삼각형 유한 요소격자의 정보를 계산한다. Fig. 1 에서 보듯이 삼각형 유한 요소의 최외각 경계정보는 x, y, z 에 대한 최대, 최소값의 6개 데이터를 저장하게 된다. 셀 격자에 포함된 유한 요소격자의 정보는 2차원 $x-y$ 평면 셀에 3차원 삼각형 유한요소격자를 투영하였을 때 Fig. 2의 2가지의 경우로 계산된다. 첫 번째의 경우로 셀 격자의 4 개의 외각점 중의 적어도 하나가 Fig. 2(a)에서와 같이 투영된 삼각형 요소격자의 내부에 있는가를 판별한다. 두 번째로 Fig. 2(b)에서와 같이 셀의 경계(boundary)가 투영된 삼각형 요소격자의 어느 한 경계(edge)를 지나는 경우이다. 이러한 두 가지의 정보를 이용하여 해석하고자 하는 절점의 전체 탐색은 Fig. 3에서와 같이 해석 절점의 x, y 데이터를 이용하여 절점이 포함된 셀의 위치를 찾고, 그 셀에 포함된 유한요소격자의 정보를 저장하는 것으로 탐색이 이루어진다.

다음으로 국부 탐색은 앞서의 전체 탐색에서 찾은 셀에 포함된 유한 요소격자들 중에서 절점이 투사될 목표 요소를 찾게 된다. 목표 요소가 되기위해서는 투사되었을 경우 투사된 점이 목표 요소의 내부에 있어야 한다. 본 연구에서는 sheet normal 방법을 채택하였다. Fig. 4에서 벡터 S_N 은 절점의 sheet normal로 투사될 방향을 나타낸다. 그리고 벡터 P_N 은 삼각형 유한요소격자의 세 점으로 이루어진 평면의 normal 방향이다. 먼저 절점을 sheet normal 방향으로 투사하였을 경우 투사점 P 를 찾는다. 투사점 P 는 삼각형 유한요소의 세 격자점으로 이루어진 평면과 sheet normal의 직선의 교차점으로 귀결된다. 만약 교차점 P 에서 각 격자점으로 향하는 벡터를 P_i , 유한요소격자점 1, 2, 3을 연결하는 경계(edge) 벡터를 E_i 라 할 때 요소격자에 투사된 점 P 가 요소격자의 내부에 있으면 벡터판별식 (1)의 세 식을 동시에 만족하게 되며, 어느 한 식이라도 만족치 못하면 교차점 P 는 요소격자의 밖에 위치하게 된다.

$$(E_i \times P_i) \cdot P_N \geq 0 \quad (i=1, 3) \quad (1)$$

마지막으로 접촉 판별은 앞서의 국부탐색에서 찾은 목표 요소에 대해서 Fig. 5에서와 같이 절점에서 요소격자점으로서의 벡터를 X_i 라고 할 때 식 (2)의 세 식을 동시에 만족하면 접촉된 상태로 판별한다.

$$X_i \cdot S_N \leq 0 \quad (i=1, 3) \quad (2)$$

3. 해석 결과

3.1 클로버 컵의 디프 드로잉

클로버 컵의 디프드로잉은 인장응력과 압축응력이 함께 작용하는 복잡한 응력상태의 공정으로 박판 성형해석의 예제로 많이 이용된다. 본 연구에서는 SEAM(Shear Energy Augmented Membrane)[5] 요소를 이용한 탄소성 유한요소해석법을 통해 해석하였다. 해석 결과는 기존의 실험결과[6]와 비교하였으며 해석에 사용된 공정변수는 다음과 같다.

Material : Cold rolled steel

Stress-strain curve :

$$\bar{\sigma} = 60.7(0.001 + \bar{\epsilon})^{0.216} \text{ kgf/mm}^2$$

R-value : $r=1.66$

Initial sheet thickness : $t=0.742\text{mm}$

Punch & Die shoulder radii : $R=5\text{mm}$

Clearance : $C=1.25\text{mm}$

Coulomb friction coefficient :

$$\text{punch/sheet}=0.24, \text{ die/sheet}=0.12$$

Blank Holding Force(BHF) : 800 kgf

Fig. 6은 해석에 사용된 삼각형 유한요소격자의 모양을 나타낸다. 유한요소격자는 상용 CAD 프로그램을 이용하였다. 해석은 대칭성을 고려하여 단축을 기준으로 1/4만을 해석하였다. Fig. 7은 성형높이 20mm일때의 변형형상을 나타낸다. Fig. 8은 하중 대 변위의 결과로 에너지방법[6]에 비해 실험결과와 잘 일치함을 알수 있다. Fig. 9는 외각플랜지의 형상으로 실험결과와 유사함을 보여준다. Fig. 10의 (a),(b)는 성형높이 23.2mm에서의 클로버 컵의 장축과 단축에서의 두께변형을 분포를 보여준다. 전체적으로 실험결과와 비슷하며 인장이 지배적인 장축의 두께변형률이 좀 더 실험결과와 잘 일치함을 알수 있다. 계산시간은 중분을 0.4mm으로 IBM RS/595에서 1시간 가량 소요되었다.

3.2 L형 컵의 디프 드로잉

L형 컵[7]은 클로버 컵과 마찬가지로 모곡한 단면을 가지고 있어 복합 응력상태에서 성형이 이루어진다. L형은 V의 좌우 대칭형으로 간주할 수 있어 1/2만을 해석하였다. 펀치의 중심을 L형의 두 장축의 중심으로 잡았으며, 초기 블랭크의 형상은 재료의 유입을 고려하여 $\phi 160$ 의 원형 블랭크의 중심을 펀치 중심과 일치시켜 계산하였다. 해석에 사용된 공정변수는 다음과 같다.

Material : 아연 도금 유기피막 강판

Stress-strain curve :

$$\bar{\sigma} = 47.765(0.001 + \bar{\epsilon})^{0.25} \text{ kgf/mm}^2$$

R-value : $r=1.66$

Initial sheet thickness : $t=0.7\text{mm}$

Punch & Die profile radii : $R=5\text{mm}$

Clearance : $C=1.25\text{mm}$

Coulomb friction coefficient : 0.12

Blank Holding Force(BHF) : 500 kgf

Fig. 11은 해석에 사용된 금형면의 삼각형 유한요소격자를 나타낸다. Fig. 12는 성형높이 26mm에서의 변형형상을 나타낸다. Fig. 13은 하중 대 변위의 그래프를 그려보았다. 그림에서 성형높이 20mm부근에서 최대하중을 나타내었다. Fig. 14는 성형높이 26mm일 때 편치 중심에서 각 세 방향 단면에서의 두께 변형률 분포를 나타내었다.

4. 결론

본 연구에서는 일반적인 금형면에서의 삼각형 유한요소격자 방법을 이용한 접촉탐색과 접촉판별을 제안하였다. 3차원 박판성형의 예제로서 클로버 컵과 L형 컵의 디프드로잉 공정을 택하여 본 연구에서 개발된 프로그램의 효용성을 알아보았으며 성공적으로 적용됨을 알았다.

참고 문헌

- [1] Yang, D.Y., Yoo, D.J., Song, I.S., and Lee, J.H. 1994, Investigation into tool surface description for finite element analysis of three-dimensional sheet metal forming processes, J. Mater. Process. Technol. 45, pp267~273
- [2] Yoo, D.J., Song, I.S., Yang, D.Y., and Lee, J.H. 1994, Rigid-plastic finite element analysis of sheet metal forming processes using continuous contact treatment and membrane elements incorporating bending effect, Int. J. Mech. Sci, Vol. 36, No. 6, pp513~546
- [3] Schweizerhof, K. and Hallquist, J.O., 1991, Explicit iteration schemes and contact formulations for thin sheet forming, In Proc. VDI(edited by Altan, T. et.al), Zurich, Switzerland, pp405~439
- [4] A. Santos, J. Duarte, and A. Rocha, 1994, Different tool descriptions used in the simulation of 3D sheet forming, Proc of the IDDRG'94(edited by M.J.M. Barata Marques), pp351~362
- [5] 서의권, 심현보, 1996, 정사각형컵 디프드로잉의 탄소성 유한요소해석, 한국소성가공학회지, 제5권 1호, pp8~17
- [6] Yang, D.Y., and Lee, H.S., 1993, Analysis of three-dimensional deep drawing

by the energy method, Int. J. Mech. Sci, Vol. 35, No. 6, pp491~516

[7] 김상진, 양대호, 서대교, 1996, L형 단면 디프드로잉 가공에 대한 실험적 연구, 한국소성가공학회지, 제5권 4호, pp281~287

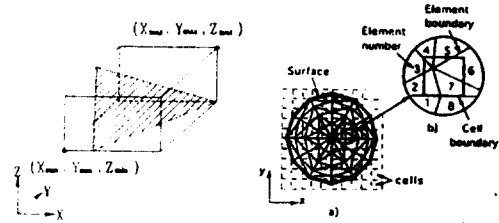


Fig. 1 유한요소격자 최외각 정보와 셀에 포함된 유한요소격자 정보.

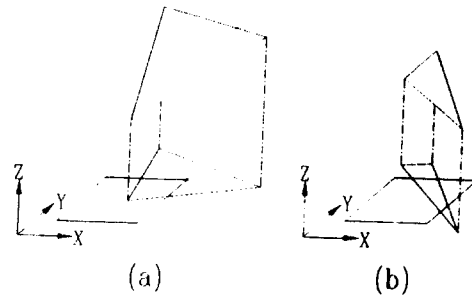


Fig. 2 2차원 셀에서의 유한요소격자 정보계산

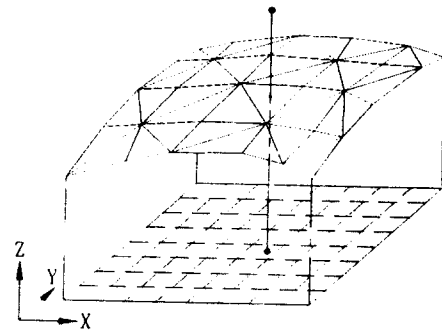


Fig. 3 전체 탐색

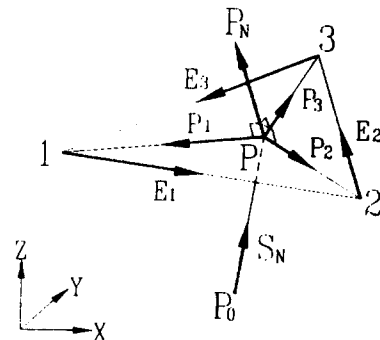


Fig. 4 국부 탐색

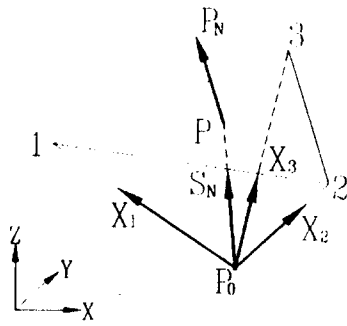


Fig. 5 접촉 판별

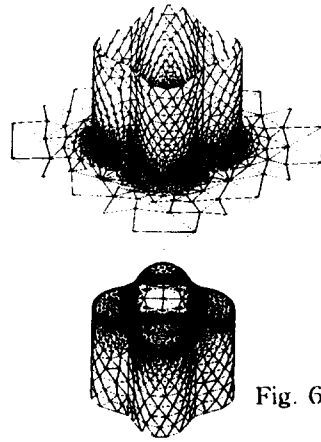


Fig. 6 클로버 컵의 해석 금형면

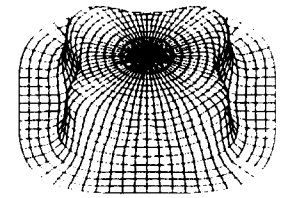


Fig. 7 변형형상 (성형높이 20mm)

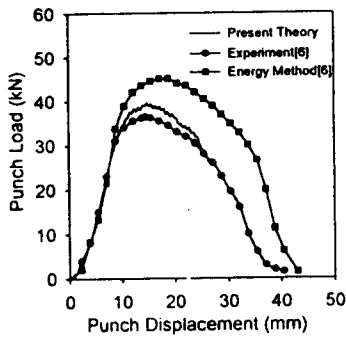


Fig. 8 클로버 컵의 하중곡선

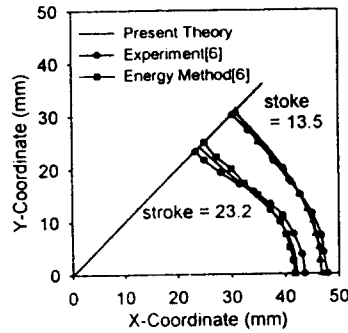


Fig. 9 플랜지 외각 형상

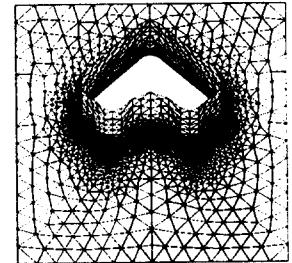


Fig. 11 L 형 컵 해석의 금형면

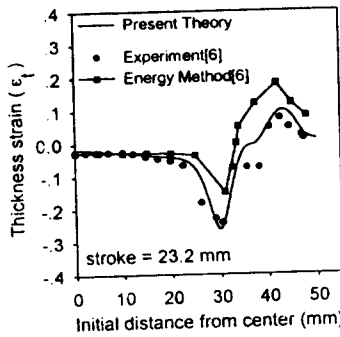
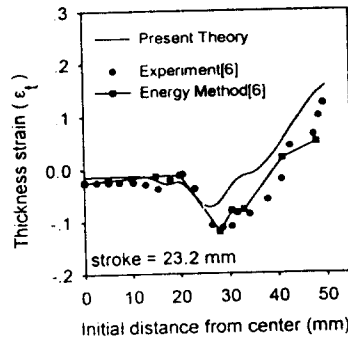


Fig. 10 두께변형률 (a) 장축



(b) 단축

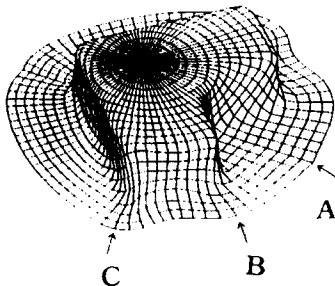


Fig. 12 변형형상 (성형높이 26mm)

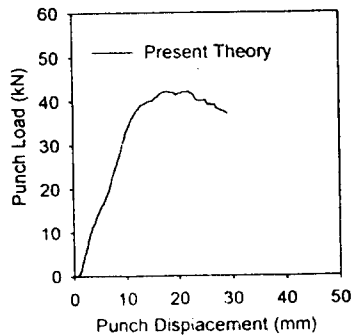


Fig. 13 L 형 컵의 하중곡선

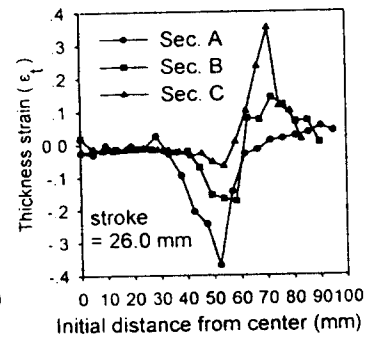


Fig. 14 단면의 두께 변형률