

ALE 묘사에 의한 3 차원 후방압출 해석

정상원*(전남대 대학원 기계공학과), 정용호(전남대 대학원 기계공학과)
 김규하(전남대 대학원 기계공학과), 조규종(전남대 기계공학과)

FE Analysis of Three Dimensional Backward Extrusion Using the ALE description

S.W.Chung(Mecha.Eng.Dept.CNU), Y.H.Jung(Mecha.Eng.Dept.CNU),
 G.H.Kim(Mecha.Eng.Dept.CNU), K.Z.Cho(Mechanical Eng.Dept.CNU)

ABSTRACT

This paper has executed FE-analysis to review the feasibility for developing the process, which produces the narrow-cubic type cans, using the Backward Impact Extrusion process instead of using current process, multi-stage deep drawing.

Proposes an analysis method by applying ALE(Arbitrary Lagrangian-Eulerian) description to non-axisymmetric extrusion, which is appreciated as one of good solution to mesh distortion in case of the large deformation plasticity process that has mass flux, and considers the factors which affects forming-loads related to punch velocity and fluid status of material.

Key Words : ALE(Arbitrary Lagrangian-Eulerian), Backward Impact Extrusion(후방충격압출)

1. 서론

압출공정은 재료의 손실이 없으며, 단일공정에 의하여 빠른 시간에 완제품성형이 가능하며, 양호한 표면품질을 얻을 수 있다는 장점 때문에 각종 기계부품 및 전자제품의 부품성형에 적합하다.

그러나 압출공정과 같이 유동변화가 존재하는 대변형 소성가공을 해석하는데 있어서 가장 큰 문제점은 메쉬의 뒤틀림(mesh distortion)으로 인한 계산상의 어려움이다.

이러한 문제를 해결하기 위하여 많은 연구가 이루어져 왔으며, 그 대표적인 방법은 격자재구성방법⁽¹⁾과 ALE(Arbitrary Lagrangian-Eulerian)묘사⁽²⁾에 의한 방법을 들 수 있다.

이중 ALE 묘사에 의한 방법은 격자와 물질간의 이동을 독립적으로 처리할 수 있어 사용자가 격자를 임의대로 이동시켜 해석하는 것이 가능하기 때문에 메쉬 뒤틀림 문제의 해결성을 높일 수 있어 압출이나 단조 같은 대변형 소성가공을 해석하는데 효과적인 방법으로 인식되어지고 있다.

ALE 묘사가 고체역학분야에 적용되기 시작한 것은 1980년대 중반으로서 Haber⁽²⁾는 마찰접촉문제와 파괴문제에 적용하였으며, Liu 등⁽³⁾은 1차원 탄소성 파동전달 문제에 적용하였다. 이후 Benson⁽⁴⁾은 ALE 접근방식을 단순화 시켜 여러가지 경우의 문제를 해석하였고, 압출문제에 적용은 1990년에 Ghosh⁽⁵⁾가 탄소성 재료의 대변형 해석에 ALE 묘사를 수식화 정리하여 전후방 및 측방압출 등 전형적인 압출문제를 해석하였다. 최근 들어서는 강 등⁽⁶⁾⁻⁽⁷⁾이 기존의 탄소성 재료에서 벗어나 점소성재료에 대한 수식화와 프로그램 개발을 통한 측

대칭 평금형 압출등에 적용하여 효율성을 입증하였으며, Gouveia 등⁽¹⁰⁾은 ALE 묘사를 축대칭 냉간 전방압출에 적용한바 있다.

지금까지의 연구가 압출공정에 있어서 다양한 형태의 문제를 해결하고자 하였으나, 주로 축대칭에 대한 문제해결에 국한되어 왔으며, 특히 휴대전화의 배터리 케이스와 같이 세장비가 큰 슬림형 직사각형상의 캔등을 제작시 가격 및 생산성측면에서 다단계 deep drawing 공정을 대체 할 수 있는 방법으로 여겨지고 있는 후방충격 압출공정과 같은 비축대칭 문제에 대한 생산기술 개선을 위한 적용은 이루어지고 있지 않다. 따라서 본 연구에서는 세장비가 큰 직사각형 캔 형태의 제품 생산에 후방충격 압출공정을 적용시키기 위하여 공정개선 가능성을 검토하고자 ALE 묘사를 이용한 해석을 적용하여 편치속도에 따른 하중과 소재의 유동상태등 생산공정에 영향을 미치는 인자를 규명하고 가공성을 고려한 최적의 조건을 제안 하고자 한다.

2. ALE 묘사 수식화

시간 $t=0$ 에서 임의의 형상을 가진 하나의 연속체가 시간 $t=t$ 일 때 변형된 상태의 표현은 오일러리안과 라그랑지안 변형의 조합으로 표현할 수 있다. 물체의 한 점의 초기좌표를 표시할 때 사용한 좌표를 물질좌표계(material coordinate) 그리고 그 점의 현재의 위치를 표시하는 좌표계를 공간좌표계(spatial coordinte)라 부른다.

임의의 시간 t 에서 기준 형상의 위치 x^r 는 초기형상에서 특정 물질입자의 위치벡터 X^r 로 표현

할 수 있다.

$$X' = X(x', t) \text{ ---- (1)}$$

임의의 시간 t 에서 입자의 현재위치는 현재형상의 위치벡터에 의하여 다음과 같이 표현된다.

$$x' = x(x', t) \text{ ---- (2)}$$

그리고 변위는 다음과 같다.

$$u' = u(x', t) = x' - X' \text{ ---- (3)}$$

고정된 기준체적 v' 이 시간에 따라 변화하는 것은 일반적으로 현재의 체적 v 와 초기체적 V 의 조합으로 표현된다. 현재의 길이 dx_i 를 원래의 길이로 표현하여 정리하면

$$(dx)^2 - (dX)^2 = 2dX_i E_{ij} d_j X \text{ ---- (4)}$$

그리고

$$E_{ij} = \frac{1}{2} [J_{ki} J_{kj} - \delta_{ij}] \text{ ---- (5)}$$

이와 같이 정리되는 E_{ij} 를 Green 변형텐서라하며 dx, dX 는 초기형상과 현재형상의 길이의 차이를 표시하며 δ_{ij} 는 크로네커 델타이다. 전체변형은 변형 자코비안을 오일러리안과 라그랑지안 부분으로 분리시키면 식(5)에서 오일러리안 자코비안은 기준 좌표를 초기좌표로 편미분하여 구할 수 있다.

$$\bar{J}_{ij} = \partial x'_i / \partial X_j \text{ ---- (6)}$$

마찬가지로 라그랑지안 자코비안은 기준형상을 현재형상으로 편미분하여 구해진다.

$$\hat{J} = \partial x_i / \partial x'_j \text{ ---- (7)}$$

식(5)의 오일러리안과 라그랑지안 자코비안을 곱하면

$J_{ij} = \hat{J}_{jk} \bar{J}_{ki}$ ---- (8)로 표현되며, Green의 변형텐서는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$E_{ij} = \frac{1}{2} [\hat{J}_{kl} \hat{J}_{km} \bar{J}_{li} \bar{J}_{mj} - \delta_{ij}] \text{ ---- (9)}$$

강성메트릭스[K]는 내부에너지 $\delta(\Delta \Pi) = 0$ 를 이용하여 구할 수 있으며, 이 내부에너지는 식(9)의 Green 변형텐서와 Piola-Kirchhoff 텐서의 조합으로 표현되어진다.

3. 유한요소해석

3.1 해석모델

해석모델은 1/4 모델이며 모두 87075 개의 솔리드요소와 114175 개의 쉘요소로 이루어져 있으며, Billet 과 성형이 진행되면서 Billet 이 이동되는 통로인 Void 는 솔리드로, 다이와 펀치는 쉘(강체)요소로

모델링 하였다. Fig.1 은 해석모델의 개략도 이다.

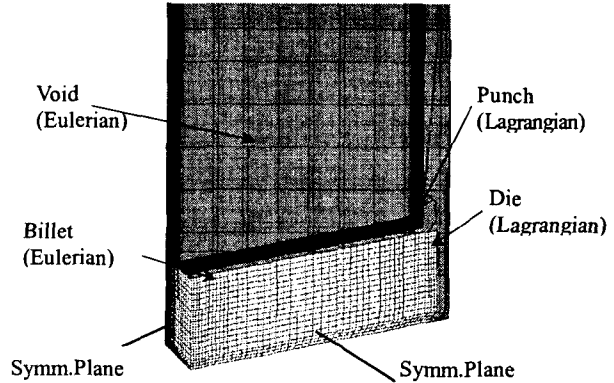


Fig.1 Extrusion Analysis Model Using the ALE description

본 연구에서는 Billet 과 펀치, 다이 사이의 마찰계수는 0.16 으로 하였고, 펀치의 크기는 28.5x5.0 그리고 다이는 29.75x6.1 이며, 모서리부는 0.5mm 로 곡면 처리하였다. Billet 의 소재는 Al 1100 을 사용하였다. 펀치의 속도는 각각 50, 100, 150, 200, 250mm/sec 등 모두 5 가지 경우를 가정하여 해석을 수행하였다.

3.2 해석결과

펀치의 속도에 따른 사각형 캔의 성형성을 알아 보기 위하여 Fig.2 에 표기한 3 점에서 펀치 진행방향(-Z 방향)으로의 속도, 성형후의 형상, 그리고 펀치의 하중 - 변위 관계를 관찰하였다.

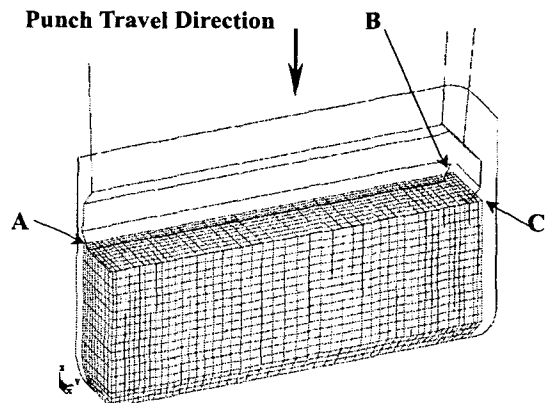
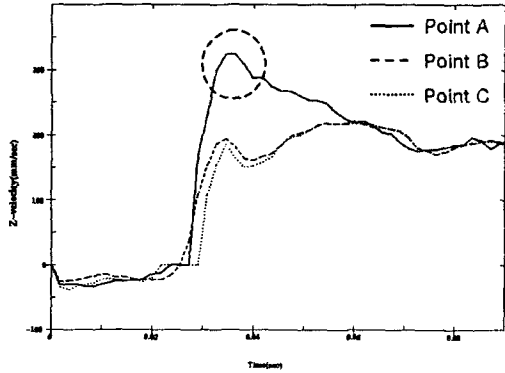


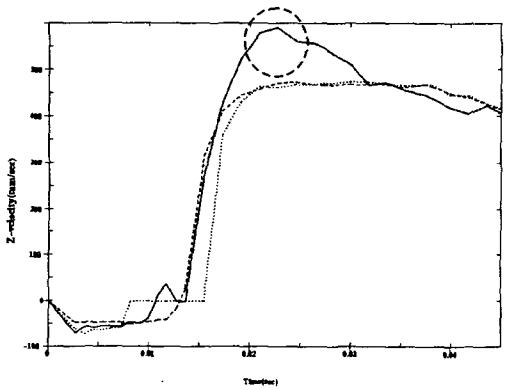
Fig.2 Location of the Interesting Points

펀치의 속도에 따라서 사각형 캔의 성형성은 다양한 형태로 나타났으며, 펀치의 속도를 최적화하

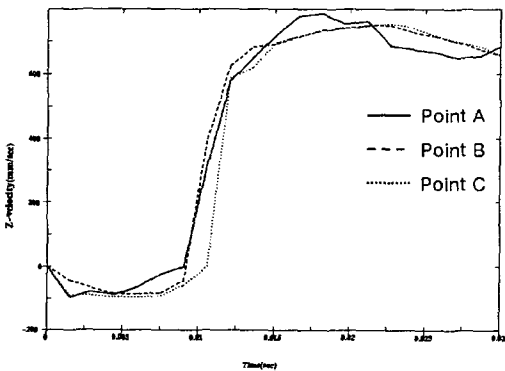
는 것도 펀치 헤드 및 다이의 형상설계 못지않게 중요한 것으로 나타났다. Fig. 3은 펀치의 속도에 따른 A, B, C 위치에서의 펀치 진행방향(-Z 방향)으로의 속도를 나타낸 것이다.



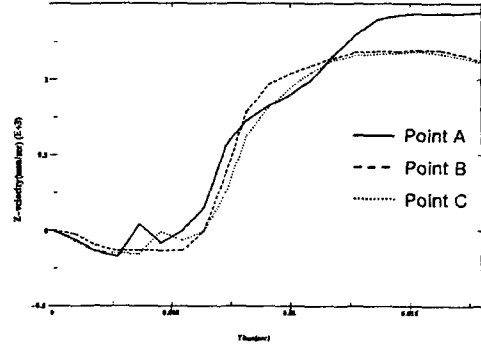
(a) Punch Velocity = 50mm/sec



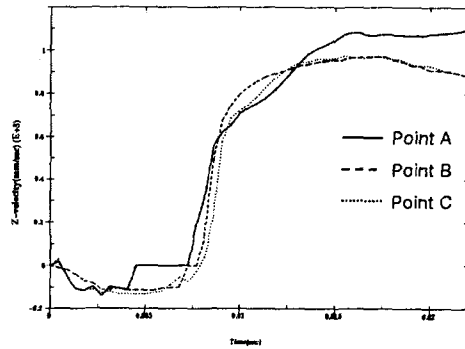
(b) Punch Velocity = 100mm/sec



(c) Punch Velocity = 150mm/sec



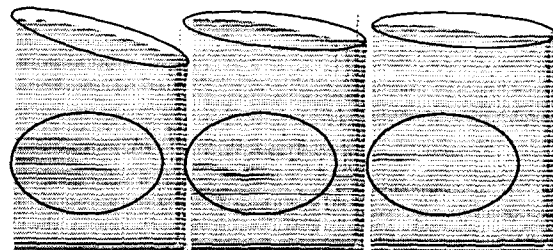
(d) Punch Velocity = 200mm/sec



(e) Punch Velocity = 250mm/sec

Fig.3 Velocity Curve with Punch Travel

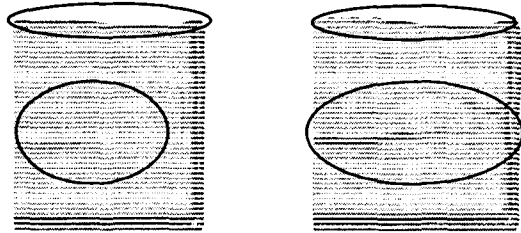
각 위치별 속도분포와 함께 성형성에 결정적인 영향을 미치는 요소는 성형후의 제품 형상이라 할 수 있다. 이는 아무리 균일한 속도분포를 나타낸다 하더라도 성형 후에 원하는 형상을 얻을 수 없다면 좋은 성형방법이 될 수 없기 때문이다. Fig.4는 성형이 끝난 후의 펀치속도에 따른 알루미늄 사각형 캔 제품형상을 나타낸 것이다. 여기에서 그림 위쪽에 표시한 부분은 압출속도의 차이로 인하여 높이 차이가 나타난 것이고, 중간에 표시한 부분은 펀치 속도에 따라서 주름이 발생하는 정도에도 차이가 난다는 것을 보여주기 위한 것이다.



(a) 50mm/sec

(b) 100mm/sec

(c) 150mm/sec



(d) 200mm/sec (e) 250mm/sec
Fig.4 Final Can Shape with Punch Velocity

Fig.5 는 펀치의 속도에 따른 펀치하중 - 변위 선도를 나타낸 것이다. 펀치의 속도가 증가 함에 따라서 성형에 필요한 힘의 크기도 증가하며, 그 비율도 거의 일정하다는 것을 알 수 있다.

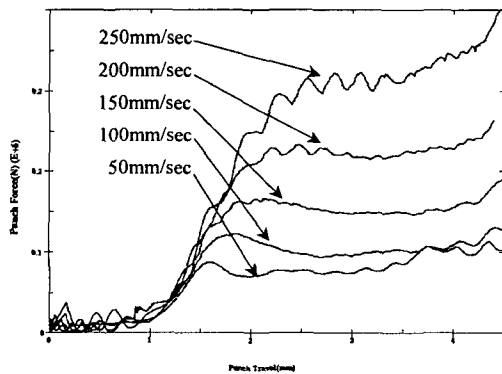


Fig.5 Punch Force vs. Punch Travel Curve with Punch Velocity

본 연구에 적용된 모델이 1/4 모델이므로 전체 모델인 경우에 성형을 위해서 필요한 펀치하중은 4 배의 크기를 갖게 될 것이므로, 펀치의 속도에 따라서 필요한 최대 펀치하중은 Table 1 에 보인 바와 같다.

Table 1 Maximum Punch Force with Punch Velocity

| Punch Velocity(mm/sec) | Minimum Punch Force(N) |
|------------------------|------------------------|
| 50.0 | 4.5280×10^5 |
| 100.0 | 5.2280×10^5 |
| 150.0 | 7.5680×10^5 |
| 200.0 | 1.0604×10^6 |
| 250.0 | 1.6440×10^6 |

4. 결론

본 연구에서 적용한 ALE 묘사에 의한 후방 압출 성형해석 방법을 통하여 얻은 결론을 요약하면 다음과 같다.

- 메쉬의 뒤틀림이 없어서 모델을 수정하고 재해석하는 과정이 생략되므로 기존의 방법에 비하여 소요되는 시간을 1/3 이하로 줄일 수 있었으며, 기존의 해석방법으로는 해결하기 힘들었던 비축대칭 압출문제에 적용하여 문제를 해결할 수 있었다.

- 각 위치별 속도분포에서 알 수 있듯이 펀치의 속도에 따라서 성형성이 확실히 달라질 수 있음을 알 수 있었고, 본 연구의 대상인 사각형 캔의 경우에는 Fig.3 에 보인 속도분포나 Fig.4 에 보인 성형 후 제품의 형상을 고려했을 때 200mm/sec 가 가장 적당한 속도인 것으로 나타났다. 특히, Fig.4(a)의 경우처럼 A, B, C 위치에서 속도차이가 크면 제품상부에 경사면이 나타나게 되고 이는 성형도중 균열이 발생하는 원인이 되기도 한다.

- 펀치하중은 펀치속도가 증가함에 따라서 확실하게 증가하는 경향을 보일 뿐만 아니라 후반부에 기울기가 급격히 증가하는 경향을 보였다.

참고문헌

1. Cheng, J. H. 1988, "Automotive Adaptive Remeshing for Finite Element Simulation of Processes", Int. J. Num. Meth. in. Eng., Vol. 26. PP 1~18
2. R.B. Haber, Comput. Meths. Appl. Mech. Engng., Vol. 58 (1984), pp.277~292.
3. Liu, W. K., Belytschko, T. and Chung, H., 1986. "An Arbitrary Lagrangian-Eulerian Finite Element Method for Path-Dependent Materials," Comput. Meths. Appl. Mech. Engng., Vol. 58., pp.227~245
4. Benson, D. J., 1986. "An Efficient Accurate Simple ALE Methods for Nonlinear Finite Element Programs," Comput. Meths. Appl. Mech. Engng., Vol. 58. pp.227~245
5. Ghosh, S., 1990, "Finite Element Simulation of Some Extrusion Process Using the Arbitrary Lagrangian-Eulerian Description," J.Mater. Shaping Technol., Vol. 8, No. 1., pp.53~64
6. 강연식, 양동열, "ALE 묘사에 근거한 강-점소성 유한요소 수식화와 축대칭 평균형 압출에의 적용", 한국소성가공학회지, 제 3 권제 2 호, pp.156~166, 1994
7. 강연식, 양동열, "분할된 ALE 방법에 의한 평균형 열간압출의 3 차원 유한요소해석", 대한기계학회논문집(A), 제 21 권 제 11 호, pp.1912~1920,
8. B.P.P.A. Gouveia, J.M.C. Rodrigues, P.A.F. Martins, Journal of Materials Processing Technology 80-81, 1998, pp.647~652.