

후방 충격압출 공정개선을 위한 유한요소 해석기법 연구

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

A Study on FE Analysis For Improvement of Backward Impact Extrusion Process

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

ABSTRACT

In case of aluminum-cased battery, The ratio of height and base of square is generally above the ten times, square-shaped and problem of non-axis symmetry. It is typical model to set up the analysis method of finite element. The reliable analysis of finite element method is suggested, which is used to investigate the possibility that multi-stage deep drawing and ironing used currently is replaced by backward impact extrusion favorable in the respect of cost production and productivity. The influence of parameter was analyzed and compared, which was considered to analyze the process of large deformation plasticity such as extrusion. Die and billet was made as the same shape of finite element model. The results of experiment show good forming without the rupture and wrinkles with the optimum velocity 100mm/sec obtained by analysis

Key Words : ALE(Arbitrary Lagrangian-Eulerian), Backward Impact Extrusion(후방충격압출), Strain rate(변형률속도), Thermal effect(온도영향)

1. 서론

후방 충격압출공정의 경우는 고속생산이 가능하며, 금형 제작비용 및 자동화 설비투자가 낮으며, 정확한 치수의 성형가공으로 트리밍등을 매우 작게 할 수 있어 제품가격 측면에서 획기적인 경쟁력을 갖고 있다.

그러나 일반적인 후방 충격압출 공정은 직경과 길이비가 10 배 이상인 제품은 성형이 곤란 한 것⁽¹⁾으로 알려져 있으며, 실제 개발되어진 예도 찾기 어렵다. 또한 이러한 경우는 제품을 성형하기 위한 설계 정형화를 위한 공정설계의 연구도 거의 이루어지지 않고 있으며 공정별 각 인자들이 생산공정에 미치는 민감도 평가방법도 정립되어 있지 않다. 따라서 지금까지는 각 공정인자들이 미치는 영향에 대한 정확한 설계 민감도 파악이 어려워 생산현장에서의 공정설계가 주로 시행착오(try & error)를 거치면서 진행되어져 많은 비용과 시간이 소요되고

있다.

따라서 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 각 공정별 설계변수의 민감도를 정확히 평가하여 공정설계에 반영하기 위한 노력이 필요하며, 이를 위해서는 신뢰성을 갖는 유한요소해석 기법이 무엇보다 필수적이다.

그러나 후방 충격압출 공정과 같이 유동변화가 존재하는 대변형 소성가공의 경우 유한요소해석을 수행하는데 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)~(3)} 과 ALE(Arbitrary Lagrangian-Eulerian)묘사^{(4)~(6)}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 해석하는

데 효과적인 방법으로 인식되어 지고 있다.^{(4)~(11)}

따라서 본 연구에서는 세계를 주도하는 산업으로 비약적인 발전을 이룩한 국내의 첨단 정보통신 분야에서 대표적인 상품으로 성장한 휴대용 전화기, 휴대용 컴퓨터, 디지털 비디오 카메라등에 필수적으로 사용되는 배터리의 알루미늄 케이스를 모델로 선정하여 현재까지의 제작공정으로 사용되고 있는 다단계 디프 드로잉 (Multi-stage deep drawing)과 아이어닝(Ironing)공정보다 생산원가 및 생산성측면에서 유리한 후방 충격압출 공정으로 대체 가능성을 검토하기 위한 선결과제인 신뢰성을 갖는 유한요소 해석기법을 Fig. 1 과 같은 방법으로 개발하고자 한다.

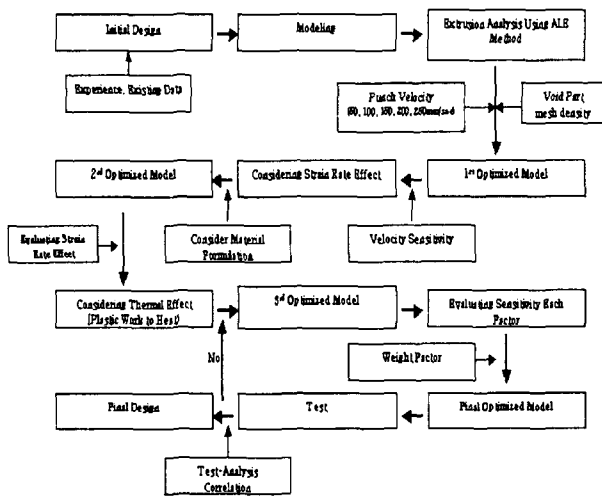


Fig. 1 The Routine for Extrusion Analysis

2. 유한요소 해석모델

2.1 대상모델의 형상 및 소재

직경/길이비가 10 배 이상인 대표적인 사례로 휴대전화의 배터리 케이스가 있으며, 이 배터리 케이스는 일반적으로 알루미늄 소재로 되어 있으며, 사각형 캔 형상을 이루고 있어 후방 충격압출 공정을 적용하여 제품생산이 가능하며 또한 비 축대칭 형상의 문제로서 유한요소 해석기법을 정립하기 위한 전형적인 연구모델이라고 할 수 있다.

Fig.2 는 대상모델로서 밀변과 높이의 길이비가 거의 10 배에 달하는 형상으로서 지금까지는 제품 성형성 문제등으로 인하여 후방 충격압출 공정을 적용하지 못하였던 형상을 가지고 있으며, 대상모델의 소재는 압출공정에서 범용으로 널리 쓰이는 AL1060-0 를 사용하였다.

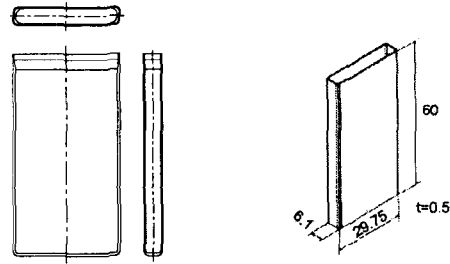


Fig. 1 Schematic of Rectangular Aluminum Can

2.2 해석모델

Fig2 의 제품성형을 위한 후방 충격압출 공정의 생산시스템의 해석모델은 1/4 모델이며 모두 87075 개의 솔리드요소와 114175 개의 셀요소로 이루어져 있으며, Billet 과 성형이 진행되면서 Billet 이 이동되는 통로인 Void 는 솔리드 다이와 펀치는 셀(강제)요소로 모델링 하였다. Fig.3 은 해석모델의 개략도이다.

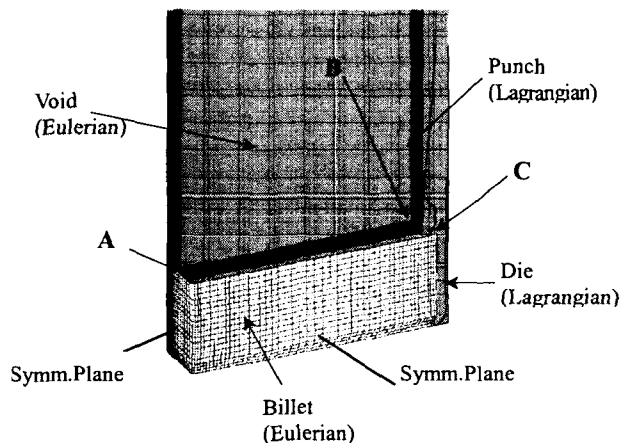


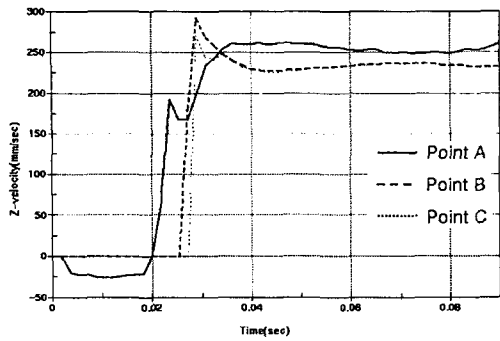
Fig. 3 Analysis Model Using the ALE Description

3. 해석결과

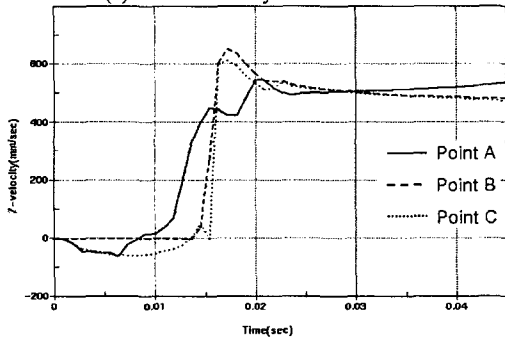
3.1 펀치속도에 따른 해석결과

펀치속도에 따른 직사각형 캔의 성형성을 알아보기 위하여 Fig. 3 에 표기한 3 점(A,B,C)에서 펀치 진행방향의 속도, 성형후의 형상 그리고 펀치하중-변위관계를 관찰하였다.

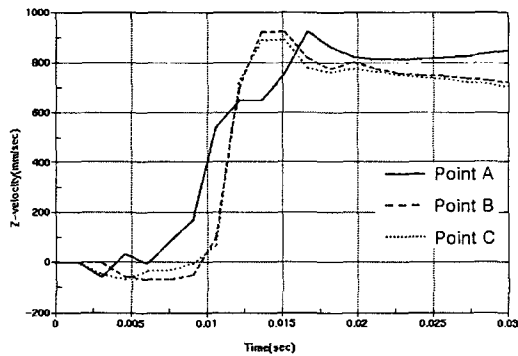
펀치의 속도에 따라서 직사각형 캔의 성형성은 다양한 형태로 나타났으며, 펀치의 속도를 최적화 하는 것도 펀치 헤드 및 다이의 형상설계 못지않게 중요한 것으로 나타났다. Fig. 4 는 펀치의 속도에 따른 A, B, C 위치에서의 펀치 진행방향 속도를 나타낸 것이다.



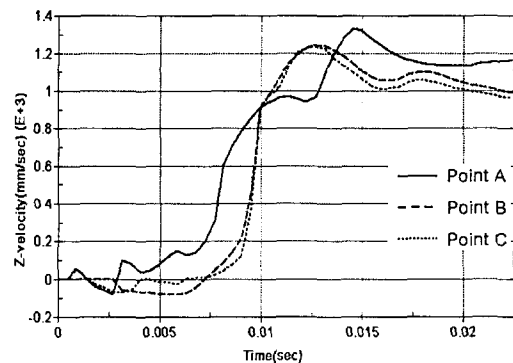
(a) Punch Velocity = 50mm/sec



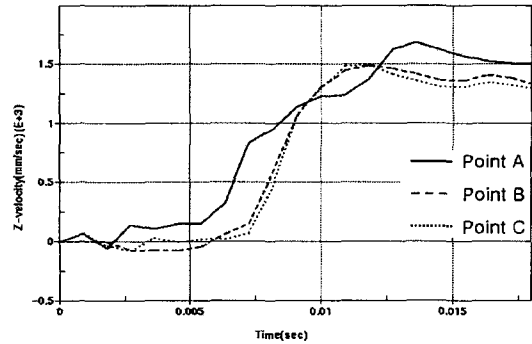
(b) Punch Velocity = 100mm/sec



(c) Punch Velocity = 150mm/sec



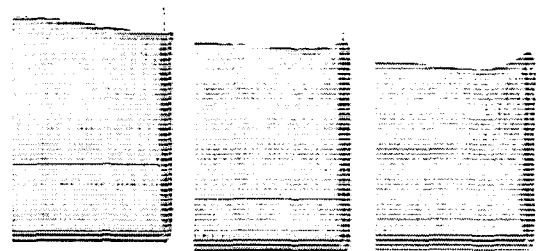
(d) Punch Velocity = 200mm/sec



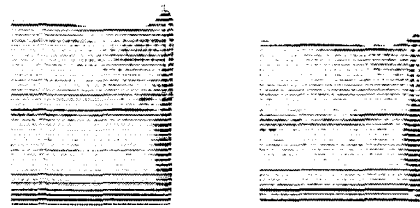
(e) Punch Velocity = 250mm/sec

Fig. 4 Velocity Curve with Punch Velocity

각 위치 별 속도분포와 함께 성형성에 결정적인 영향을 미치는 요소는 성형후의 제품형상이라 할 수 있다. 이는 아무리 균일한 속도분포를 보인다고 하더라도 성형 후에 원하는 형상을 얻을 수 없다면 좋은 성형방법이 될 수 없기 때문이다. Fig. 5는 성형이 끝난 후의 펀치속도에 따른 알루미늄 직사각형 캔의 최종형상을 나타낸 것이다. 여기에서 그림 위쪽에 표시한 부분은 압출속도의 차이로 인하여 높이 차이가 나타난 것이고, 중간에 표시한 부분은 펀치속도에 따라서 주름이 발생하는 정도에도 차이가 나는 것을 보여주고 있다.



(a) 50mm/sec (b) 100mm/sec (c) 150mm/sec



(d) 200mm/sec (e) 250mm/sec

Fig. 5 Final Shape with Punch Velocity

Fig.6은 펀치속도에 따른 펀치하중-변위선도를 나타낸 것이다. 펀치의 속도가 증가함에 따라서 성형에 필요한 힘의 크기도 증가하며, 그 비율도 거의 일정하다는 것을 알 수 있다.

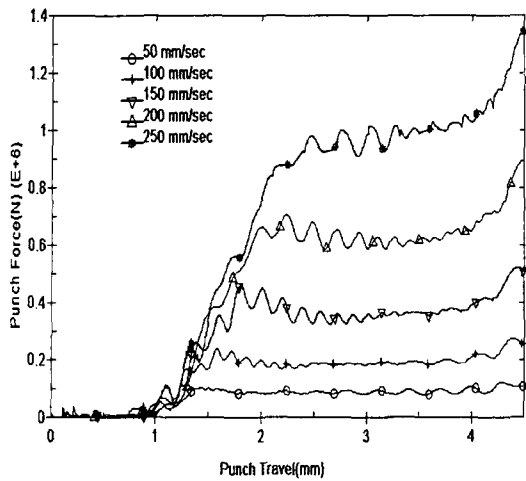


Fig. 6 Force vs. Travel Curve with Punch Velocity

3.2 변형률속도 및 온도의 영향

본 연구에서 변형률속도와 온도의 영향을 고려한 해석을 실시한 이유는 다음과 같다. 첫째, 충격 압출공정의 정확한 해석을 위해서 변형률속도의 영향을 파악하는 것이 필요하고,⁽¹¹⁾ 변형률속도에 의한 영향이 크다면 펀치하중이 달라지게 되어 유압 장치의 선정에도 영향을 미치게 된다. 뿐만 아니라 성형성에도 변화가 발생할 수 있으므로 펀치헤드나 다이의 형상설계도 재검토 되어야 할 것이다. 둘째, 소성변형에너지가 열에너지로 전환되는 것을 고려하는 것인데, 이것 또한 변형률속도를 고려해야 하는 것과 동일한 이유를 가지고 있다. 비록 냉간 충격 압출공정이기는 하지만 큰 작든 분명히 열적인 영향에 의하여 성형성이 달라진다는 것은 여러 연구논문이나 현장에서의 많은 경험을 통해 축적된 자료를 통하여 확인할 수 있다.⁽¹⁾

Fig. 7 은 변형률속도에 의한 영향만을 고려했을 때, 변형률속도와 열적인 영향을 동시에 고려했을 때, 그리고 열적인 영향만을 고려한 해석으로부터 얻은 성형후 최종형상을 비교한 것이다. 전반적으로 Fig. 5 (b)와 유사한 형상임을 확인할 수 있다. 뿐만 아니라 캔의 높이도 변화가 없음을 알 수 있다. 하지만 변형률속도가 고려된 두 가지 경우에는 캔의 중간에 약간의 주름이 발생할 가능성이 있음을 확인할 수 있다. Fig. 8 은 각 Case 별 펀치하중의 변화를 나타낸 것으로, Strain Rate 가 고려된 경우가 약 15%정도 더 큰 펀치하중을 필요로 함을 알 수 있다.

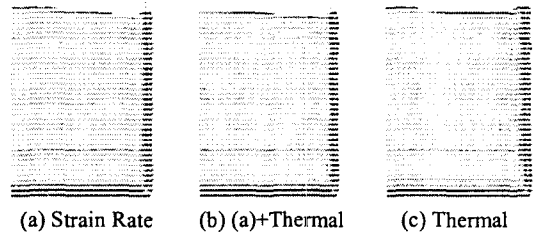


Fig. 7 Final Shapes of the Rectangular Can Considering Strain rate and Thermal Effects

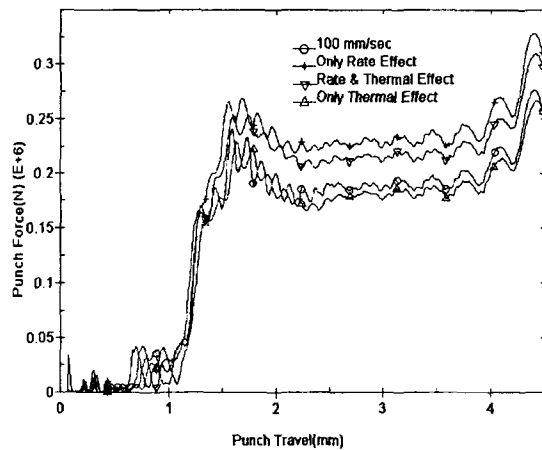


Fig. 8 Punch Force - Travel Curve

4. 실험결과

해석을 통해서 구한 결과의 타당성을 검증하기 위하여 해석모델과 동일한 형상의 금형과 billet 을 제작하였고, 펀치의 속도는 해석결과를 분석한 후 100mm/sec 로 설정하여 후방 충격 압출가공을 하였다. Fig. 9 는 유압장치에 설치된 후방 충격 압출 금형 장치와 제품 성형후의 모습이다.

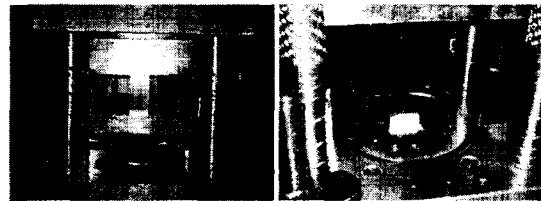


Fig. 9 Tool Setup for Backward Impact Extrusion Process

해석에서는 전체적으로 가장 적합한 속도가 100mm/sec 일 것으로 예측되었고, 실험에서도 예측한대로 찢어짐이나 주름이 발생하지 않고 좋은 성형성을 보였다. 현장에서는 마찰을 최소화하기 위해 다량의 윤활제를 도포하게 되는데 이로 인하여 해석에서는 중앙부의 높이가 실험에 비하여 낮게 나타나는 것으로 보인다. Fig.10 은 해석과 실험의 최종형상을 비교한 것으로서, 전체적인 형상은 거의 유사하지만 캔 상부의 모서리 부위에서는 약간의 형상적인 차이를 나타냈다.

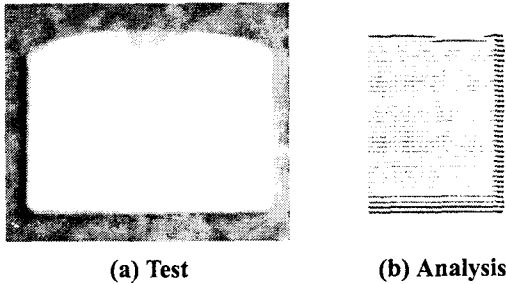


Fig. 10 Comparison Between Test and Analysis

5. 결론

본 연구에서 적용한 ALE 묘사에 의한 후방압출 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 압출성형해석에 적용하여 문제를 해결할 수 있었다.

변형률속도와 열적인 효과를 고려하는 것은 경우에 따라서는 중요한 인자가 될 수 있지만, 본 연구의 대상인 직사각형 캔의 경우에는 변형률속도의 영향은 무시하고 열적인 효과만을 고려하는 것이 가장 적합한 방법일 것으로 판단된다. 단, 현재까지는 ALE 묘사에 의한 해석방법으로는 소성변형 에너지가 열에너지로 바뀌는 현상을 묘사하는데 문제가 있어서 균일한 온도(80℃)로 가정하였다.

각 위치 별 속도분포에서 알 수 있듯이 편치의 속도에 따라서 성형성이 확실히 달라질 수 있음을 알 수 있었고, 본 연구의 대상인 사각형 캔의 경우에는 Fig. 5 와 Fig. 10 에 보인 성형 후 제품의 형상

을 고려했을 때 100mm/sec 가 가장 적당한 속도인 것으로 나타났다. 향후 윤활처리에 따른 해석과 실험의 차이를 줄일 수 있는 접촉해석 방법에 관한 연구가 수행된다면 다양한 형태의 압출성형에서 발생하는 문제점을 해결하는데 폭넓게 적용할 수 있는 효과적인 방법이 될 수 있을 것이다.

참고문헌

1. "Aluminum 技術便覽" 사단법인 일본경금속협회 알루미늄 기술편람 편집위원회, 경금속출판주식회사, 1985. 6
2. Cheng, J. H. 1988, "Automotive Adaptive Remeshing for Finite Element Simulation of Processes", Int. J. Num. Meth. in. Eng., Vol. 26. PP 1~18
3. R.B. Haber, Comput. Meths. Appl. Mech. Engng., Vol. 58 (1984), pp.277~292.
4. 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
5. 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
6. 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
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.
9. "ROPERTIES OF ALUMINUM ALLOYS", J. Gilbert Kaufman, The Aluminum Association. 1999
10. LS-DYNA Theoretical Manual", Complied by John O. Hallquist., Livermore Software Technology Corp., 1998
11. Heiner Mullerschon, Ulrich Franz, Thomas Munz, Nielen Stander., "The Identification of Rate-Dependent Material properties In Foam Using LS-OPT" CAD-FEM GmbH, Grafing/Munich, Germany. Livermore Software Technology Corp., CA