

## 외연적 탄소성 유한요소법에 의한 3차원 박판금속 성형해석 프로그램 개발

정완진  
삼성종합기술원

### Development of 3D Sheet Metal Forming Analysis Program by explicit finite element method

Wanjin Chung  
Samsung Advanced Institute of Technology

#### ABSTRACT

In this study, 3D sheet metal forming analysis program is developed by explicit finite element method. In this program, analysis flow just follows the real engineering process to provide the user intuitive understanding and smooth contact algorithm improves the accuracy of stress prediction. The capability of this program are demonstrated by various examples.

#### 1. 서론

최근 외연적 유한요소법이 박판금속 성형해석에 급속히 적용이 확산되고 있다. 외연적 유한요소법은 수렴성의 문제 없이 해를 얻을 수 있고 요소수가 증가해도 계산시간이나 기억장치 사용량이 급속히 증가하지 않아서 복잡한 형상을 가진 공정해석도 수행가능하다. 그러나 박판금속성형공정은 준정적 과정인데 외연적 유한요소법은 동적문제를 중앙차분법으로 풀기 때문에 야기되는 여러 가지 문제점들이 있다. 응력완화현상[1]은 동적에너지와 내부에너지의 교환에서 발생되며 성형해석에 이는 탄성복원해석에서 많은 오차를 일으킨다. 기존의 프로그램은 거친 접촉처리방법으로 인해 인위적인 마찰력 및 상당한 양의 응력완화현상을 발생시킨다. 응력완화는 완전히 회피하기는 불가능하지만 CAD 패치를 이용한 부드러운 접촉처리방법을 사용하면 크게 감소시킬 수 있다.[1] 그러나 CAD패치를 이용한 방법은 복잡한 형상의 금형인 경우 수렴성이 보장되지 않고 계산시간이 크게 증가하는 단점이 있다. 따라서 유한요소로 금형을 나타내면서 보다 부드러운 접촉처리를 하는 방법의 개발이 필요하다. 또한 기존의 상용S/W는 대부분 dyna3d[2]에서 변형되었기 때문에 프로그램구조가 박판금속 성형해석과 잘 맞지 않아 계산속도 향상 및 기억장치 사용의 효율성, 그리고 사용자 편의성에서 많은 한계성을 갖고 있다.

본 연구에서는 이러한 문제점에 대한 연구를 수행하기 위해서 박판금속성형공정해석에 전용화되고 유지보수가 용이한 해석 프로그램을 개발하였다. 여러 가지 문제를 수행하여 개발된 프로그램의 성능을 입증하였다.

## 2. 프로그램 개발 개요

본 프로그램은 주로 C로 작성되었으며 몇 개의 말단 함수는 Fortran77으로 작성되었다. C로 작성하였으므로 프로그램의 유지보수가 기존의 외연적 유한요소 프로그램보다 매우 쉽게 되었으며 최근의 CPU특성을 이용한 최적화를 수행하여 속도를 향상시켰다.

기존의 상용S/W는 박판금속과 금형 데이터를 절점 및 요소로 나타내고 재료의 종류로써 구분하였는데 본 프로그램에서는 독립된 객체로써 취급하여 구별이 용이하게 하였다. 박판금속은 4절점 Shell요소[3]로써 표현하였다. 재료는 수직 이방성(normal anisotropic)재료를 사용하였으며 응력적분시 Simo등이 제안한 Closest Point Projection Return Mapping법[4]을 사용하여 평면응력 조건을 정확하게 만족시킨다. 금형형상을 나타내기 위하여 삼각형 강체 patch를 사용하였다. 접촉처리는 강체와 유한요소의 절점간에 수행하였으며 Penalty방법을 사용하였고 contact damping을 사용하여 절점의 운동을 안정화시켰다[5]. 마찰모델은 non-classical Coulomb friction Law[6]을 채용하였다. 접촉처리시간을 단축시키기 위하여 3차원 격자시스템 및 계층적 접촉 탐색방법[7]을 채용하였다. 또한 기존의 상용S/W보다 부드러운 접촉탐색방법을 채용하여 상용S/W에 비해서 응력완화현상을 크게 감소시켰다.

본 해석 프로그램은 다단계 성형해석을 자연스럽게 입력데이터에서 표현할 수 있으며 각 공정에서 사용하는 금형에 해당하는 기억용량을 할당하여 사용하므로 작은 기억용량으로도 다단계성형을 restart없이 해석할 수 있다. 드로우 비드도 고려할 수 있으며 다단계 성형시 재료의 제거도 고려할 수 있다. 또한 성형해석후 탄성복원해석 프로그램[8]으로 연계하여 탄성복원해석을 수행할 수도 있다.

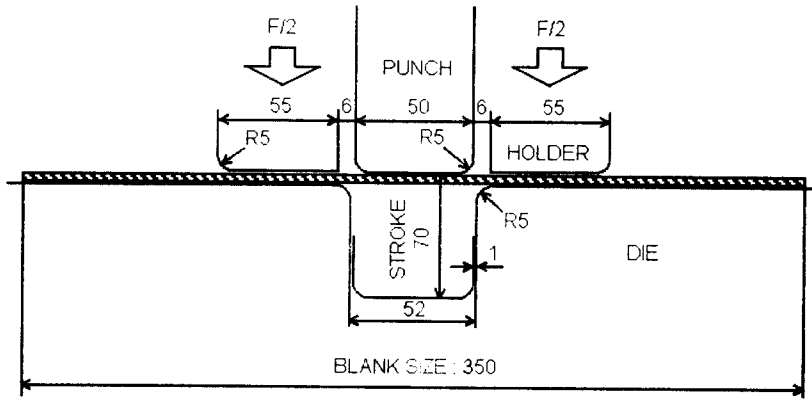
## 3. 해석 예

### 3.1 NUMISHEET'93 draw bending 문제[9]

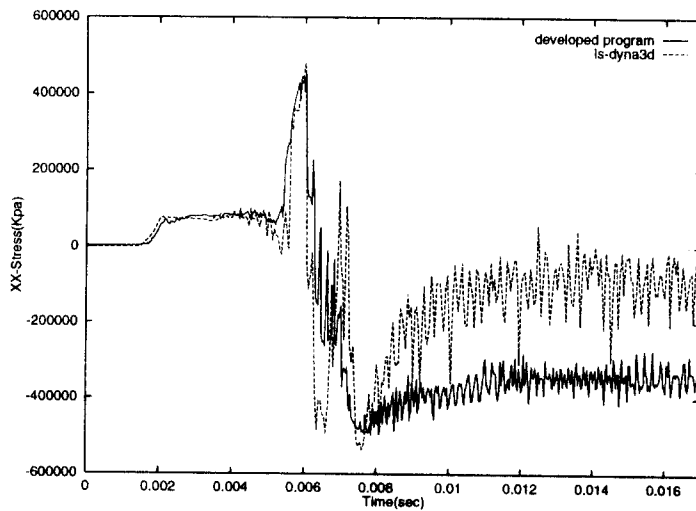
평면변형도 draw bending은 형상에 의한 구속이 없어 큰 탄성복원앙을 유발하며 외연적 유한요소법을 이용한 성형해석시 이 발생하여 정확한 탄성회복앙의 예측이 어려운 문제이다. 응력완화는 접촉처리방법에 따라 크게 영향을 받으므로 접촉처리방법의 성능을 측정하기 좋은 예제이다. 해석 모델은 NUMISHEET'93의 예제와 동일하나 재료물성치는 Mattiasson[1]의 연구를 따랐다. 사용된 금형의 형상 및 치수는 (그림-1)과 같다. 본 연구에서는 19.6KN의 홀딩력을 이용한 high tensile steel의 경우를 해석하였다. 조진우[10]등이 외연적 유한요소법 사용시 응력완화현상을 감소시키기 위한 해석인자의 선택에 대한 연구를 수행한바 있어 이를 참조하여 다음과 같은 해석인자를 사용하여 동일한 조건에서 상용s/w(Ls-dyna3d)의 응력결과와 비교하였다.

- ① 소재의 유한요소 크기 (1mm)
- ② 다이 반경부에서 하나의 유한요소에 의하여 표현되는 각도 (10°)
- ③ 접촉면에 대한 벌칙상수 (0.1)
- ④ 접촉면에 대한 수직방향의 감쇄계수 (critical damping의 40%)
- ⑤ 펀치의 속도 (5M/sec)

두께방향으로 5개의 적분점을 사용하였으며 중심선에서 40mm 떨어진 지점의 가장 위에 있는 적분점의 길이 방향의 응력추이를 보았다. (그림-2)에서 Ls-dyna3d에 의한 결과에 비해 본 프로그램에 의한 결과가 훨씬 더 응력완화현상이 줄어들었다.

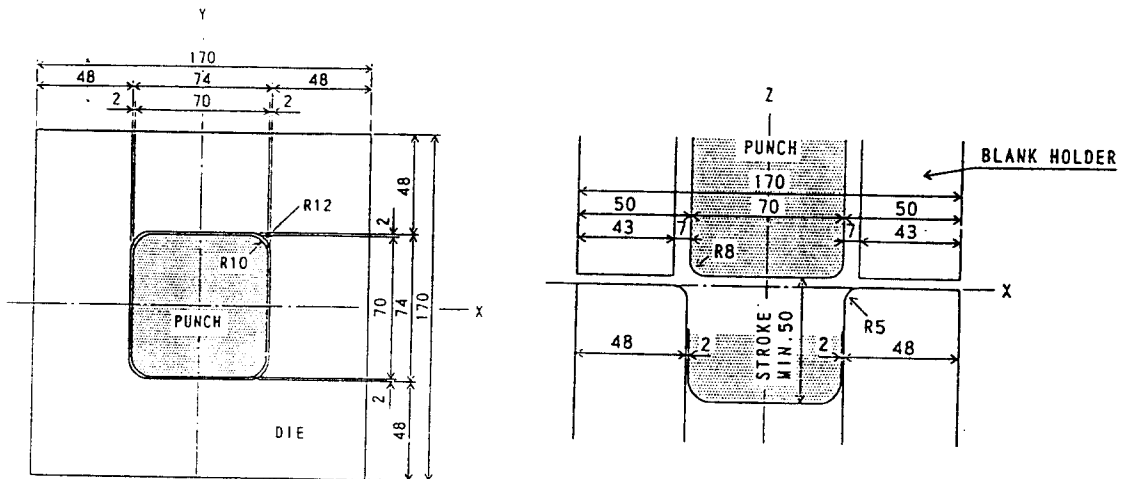


(그림 1) 평면변형도 draw bending 문제

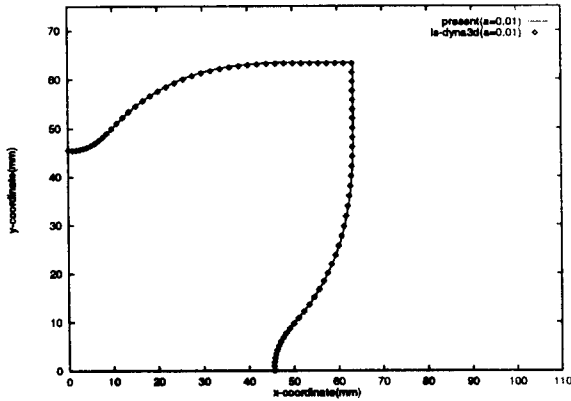


(그림-2) 응력변화 추이(Ls-dyna3d vs. 본 프로그램)

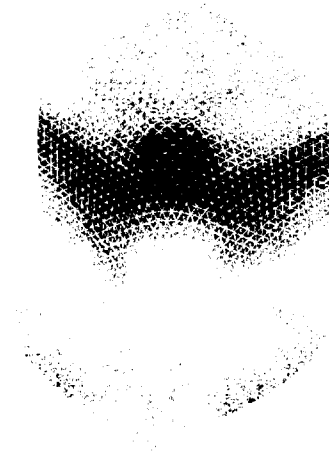
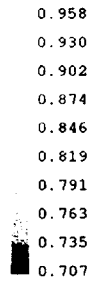
### 3.2 NUMISHEET'93 Square 컵 드로잉 문제



(그림-3) NUMISHEET'93 Square 컵 드로잉 문제



(그림-4) 변화된 소재의 edge형상

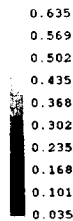


(그림-5) 두께분포(펀치 행정=40mm)

square컵 드로잉 문제는 본 프로그램에 적용된 접촉 및 마찰 알고리즘이 3차원 형상의 복잡한 문제를 제대로 풀 수 있는지 테스트해 보는 문제이다. 소재는 연강이며 사용된 금형의 형상 및 치수는 (그림-3)과 같다. 펀치가 소재와 닿은 뒤 40mm까지 해석하였으며 대칭성을 이용하여 1/4모델을 해석하였다. 펀치행정이 40mm일 때 draw-in된 끝단의 형상을 (그림-4)에 비교하였는데 본 프로그램에 의한 draw-in량은 상용s/w의 하나인 Ls-dyna3d에 의한 draw-in량과 매우 유사한 결과를 보이고 있다. (그림-5)에 두께 분포를 도시하였으며 보고된 결과[1]들과 매우 유사한 결과를 보이고 있다.

### 3.3 Oilpan 성형문제[11]

1994년 Badenbaden에서 IMPRO사의 오일 팬 문제를 수행하여 개발된 프로그램이 대형문제를 잘 수행할 수 있음을 보였다. 이 문제는 소재의 절점수가 13024개, 요소가 12874개이며 금형은 절점이 8373개 요소가 16432개이다. (그림-6)은 오일 팬이 최종성형된 모습을 보여주며 블랭크 홀딩력이 큰 경우로 벽면이 매우 얇아져 실제로는 파단이 일어난 것을 알 수 있다.



(그림-6) 오일 팬 두께분포

#### 4. 결론

외연적 탄소성 유한요소법을 사용한 3차원 박판금속성형전용해석 프로그램이 개발되었다. 개발된 프로그램은 기억장소 관리 및 프로그램의 유지보수성이 향상되었으며 해석의 정확도 및 계산속도도 개선되었다. 또한 공정과 직접 연관한 프로그램 흐름 및 입력 데이터 형태로 사용자의 직관적인 이해를 돕도록 하였다. 개발된 프로그램을 복잡한 형상의 문제에 적용하여 그 신뢰성을 검증하였다.

#### 참고문헌

- [1] K.Mattiasson, A.Strange, P.Thilderkvist and A.Samuelsson, "Simulation of Springback in Sheet Metal Forming", NUMIFORM'95, pp.115-124, 1995
- [2] J.O.Hallquist, User's manual for DYNA3D, 1987.
- [3] Belytschko and Tsay, "A stabilization procedure for the quadrilateral plate element with one point quadrature", Int. J. Numer. Methods Eng, vol.19, pp.405-419, 1983
- [4] J.C.Simo and R.L.Taylor, "Consistent tangent operators for rate-independent elastoplasticity", Comp. Meth. Appl. Mech. Eng., Vol.48, pp.101-118, 1985
- [5] K.Schweizerhof and J.O. Hallquist, "Explicit integration schemes and contact formulations for thin sheet metal forming", FE simulations of 3D sheet metal forming processes in automotive industry(VDI Berichte 894), 14-16 May 1991, Zurich/Sqitzerland, pp.405-439, 1991
- [6] R.Michalowski and Z.Mroz, "Associated and Non-associated Sliding Rules", Arch. Mech., vol.30, pp.259-276, 1978
- [7] Z.H.Zhong, "Finite Element Procedures for Contact-Impact Problems", Oxford Science Publications, 1993
- [8] C.S. Kim, W.J. Chung and C.Y. Lee, "The parallelization of implicit code for Springback Analysis", 1997
- [9] NUMISHEET'93 proceeding, pp.398-405, 1993
- [10] 조진우, 김충식, 정완진, "판재성형의 탄성복원해석에 대하여", 한국자동차공학회 1996년 춘계학술대회, pp.15-20, 1996
- [11] IMPRO사 Oilpan 벤치마크 테스트, 독일 Badenbaden, 1994