

3차원 단조 해석 시스템의 개발 및 적용

박철현* · 이석렬* · 양동열* · 김용환** · 정완진*** · 박용복**** · 최석우# · 배명환## · 주정중###

Implementation and Applications of Three Dimensional FEA System for The Forging Process

C. H. Park, S. R. Lee, D. Y. Yang, Y. H. Kim, W. J. Chung, Y. B. Park, S. W. Choi, M. H. Bae and J. J. Joo

Abstract

A three dimensional FEA system for supporting the design procedure of metal forming processes has been developed by integrating the FEA programs and the CAD interface modules. The system is developed to reduce the time, the efforts and the cost for establishing the successful metal forming processes for the given products. To promote practical application by engineers in medium-size enterprises who do not know much about theories of the FEA and others, various databases and intelligent interfacing modules have been developed in PC environment.

Key Words : Forging Process, FEM Simulation, Pre-processor, Post-processor, matrix solver

1. 서 론

기존의 3차원 단조공정을 해석하기 위해서는 고성능의 슈퍼컴퓨터 또는 워크스테이션이 사용되어 왔으나, 이러한 장비는 단조 작업을 실제로 수행하는 현장에서는 사용하기 어려운 것이 사실이다. 최근 컴퓨터의 급속한 발전으로 인하여 개인용 컴퓨터(PC)의 성능이 수년전의 워크스테이션급으로 향상되어 많은 양의 계산을 수행할 수 있게 되어, 3차원 단조공정의 해석 또한 수행할 수 있는 성능을 갖추게 되었다. 이러한 하드웨어적 발전을 바탕으로 본 연구에서는 현장의 설계자들도 쉽게 접근하여 사용할 수 있는 개인용 컴퓨터기반의 3차원 단조공정 해

석 프로그램을 개발하였다. 본 프로그램은 크게 해석에 필요한 입력 정보를 처리하는 전처리 프로그램과 단조공정에 대한 소재와 금형의 해석을 수행하는 해석 프로그램, 해석 결과를 가시화 하는 후처리 프로그램으로 구성된다. 전처리의 작업 단계는 실제 단조공정의 작업 과정과 최대한 유사하도록 입력 순서도(flow chart)를 작성하고, 이에 따라 구성하였다. 성형 공정 해석 프로그램은 4면체 요소를 사용하였고, 소재의 유동 해석에 강소성 유한요소 해석법, 금형 해석에 탄소성 유한 요소 해석법을 적용하였다. 후처리는 사용자의 요구 조건을 반영하여 보다 용이하고 신속하게 해석 결과를 분석 검토 할 수 있도록 하였다.

* 한국과학기술원 기계공학과
** 충남대학교 기계설계학과
*** 서울산업대학교 금형설계학과
**** 공주대학교 기계공학부
한국생산기술연구원 마이크로성형팀
(주)센트랄
(주)현대기공

2. 3차원 단조해석 시스템 개발

2.1 시스템 개요

단조 공정의 설계는 설계자의 경험을 토대로 설계안을 수립하거나, 보다 체계적인 접근하기 위해서는 기존의 설계물을 추출하여 전산화한 공정설계 전문가 시스템을 이용하여 설계한다.[1] 이 과정에서 기존의 실험식 등을 반영하여 공정의 타당성을 분석하지만 그 결과를 완벽히 신뢰할 수 있을 정도로 정확성이 높지 않다. 따라서 이를 검증 및 수정 보안을 위해서는 실험적으로 검증을 해야 하나 이는 많은 경비, 시간, 인력을 필요로 하고 있다. 이러한 문제점을 극복하기 위하여 유한요소법을 사용하고 있다. 유한요소 해석법은 공정 및 재료거동의 특성을 수학적으로 모델화하고 설계된 공정을 컴퓨터상에서 모사(simulation) 실험하여 설계된 공정을 분석하고 검증할 수 있는 기법이다.[2]

본 시스템은 CAD접속기술, 고효율 해석기술, 그래픽 사용환경개발 등 특성이 다를 여러 세부 시스템을 통합화하여 하나의 유기적인 기능을 나타내는 시스템이다. 각 개별 모듈의 기능의 개발도 중요하지만 이의 통합화를 위한 초기 단계 설계가 무엇보다도 중요하다. 표 개발하고 있는 3차원 해석 시스템의 개발 범위를 간단히 기술한 것이다.

Table 1 Scope of the FEA system

구성 요소	개발 범위
전처리기	- 3차원 형상의 입력 - 입력된 3차원 형상의 handling - 해석을 위한 입력파일 - 재료 및 공정 DB handling
소재 해석	- 사면체 격자를 사용 - 성형후 재료의 특성 추적 - 고효율의 행렬 해법 적용
금형 해석	- 금형의 열탄소성 해석 - 금형의 마모, 피로, damage 예측
후처리기	- 해석 결과 분석 - 보고서 작성

3. 3차원 단조해석 시스템 구성

3.1 전처리기

3차원 형상의 단조 유한요소 해석을 위해서는 성형을 수행하는 금형과 소재 형상의 CAD모델이 필수적으로 필요하다. 그러나 본 연구에서 개발하고 있는 전처리기 시스템은 3차원 형상의 CAD모델링의 기능은 제외하였다. 모

델의 생성은 기존에 사용하고 있는 3차원 모델러를 사용하고 여기서 제작된 모델을 단순히 삼각형 조각(patch)으로 이루어져 있는 STL파일을 이용하여 전처리기에서 입력을 받도록 설계하였다. 이는 다양한 상용CAD프로그램이 존재하고 있으므로 각 프로그램에서 공통적으로 지원하는 3차원 모델 파일 포맷을 지원하기 위한 것이다.

이와 같이 3차원 형상의 인식이 전처리기에서 가장 중요한 기능이라고 볼 수 있다. 그러나 입력된 형상으로 해석에 필요한 격자를 구성하고, 경계조건을 부여하며, 신빙성 있는 유한 요소 해석결과를 얻기 위한 해석 조절 변수들을 입력하는 것 또한 중요하다. 이런 일련의 과정을 어떻게 현장 기술자들이 이해하기 쉽고, 현장의 상황과 잘 조화가 되는 가에 따라 시스템의 활용도가 결정된다. 따라서 전처리기의 기술적인 기능 개발에 앞서, 해석을 위한 입력 파일 준비과정을 모사(simulation)하고, GUI를 디자인하여 현장 기술자의 의견을 수렴하였다. 이러한 작업은 기술적인 부분의 개발과 함께 병행하여 진행하였다. Fig. 1은 전처리기에서 해석을 준비하기 위한 작업 순서도(flow-chart)를 나타낸 것이다. 해석 작업의 진행이 가급적 현장에서 실제로 단조 작업을 진행하는 것과 유사하도록 하였다.

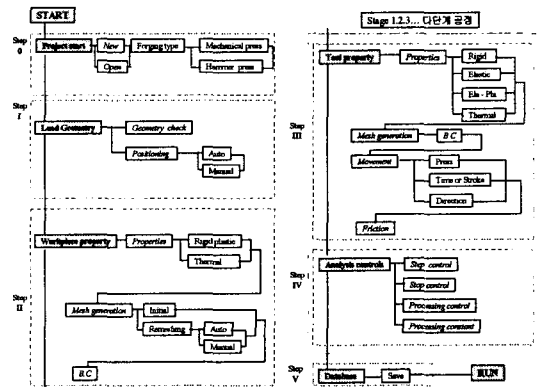


Fig. 1 Flow chart of pre-processor

Fig. 2는 개발된 전처리기에서 해석할 소재와 금형의 형상을 가져온 결과이다. 화면의 왼쪽 부분은 현재 진행하고 있는 작업의 단계(history)를 실시간으로 나타내어 설계자가 현재 어떤 작업을 하고 있으며 앞으로 진행할 작업이 어떤 것인지 나타내는 히스토리 트리(history tree)와, 각 단계에서 필요한 작업을 수행 할 수 있게 하는 창이 나타나 있다. 오른쪽에는 현재 작업이 진행되는 소재와 금형을 형상을 나타내고 있다.

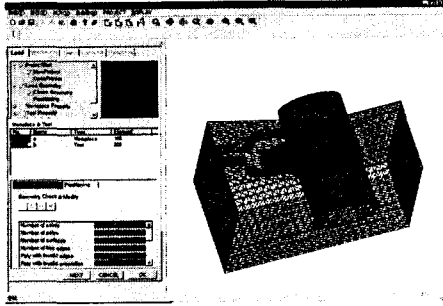


Fig. 2 Pre-processor - Importing geometries

3.2 3차원 단조 해석

개발된 3차원 단조 해석 시스템은 유한요소 해석을 위하여 10절점의 사면체 요소를 사용하고 있다. 사면체 요소는 육면체 요소에 비해 해석의 정도가 떨어진다. 단점을 가지고 있다.[3] 그러나 현재까지는 육면체 요소만을 이용하여 3차원 형상을 유한요소로 구성하는 것의 일반성이 떨어지므로, 대변형에 의해 격자 퇴화가 심한 단조해석에 대해서는 격자 재구성(remeshing) 측면에서 볼 때 사면체 요소를 사용하는 것이 안전하다.

개인용 컴퓨터(PC)의 메모리의 크기가 예전에 비해 비약적으로 증가하였다 해도, 해석시간을 단축하기 위해서 메모리를 최소로 사용하는 고효율의 행렬 해법의 적용이 필요하다. 본 연구에서는 다중선단행렬 해법(Multi-frontal solver)을 적용하여 해석 시간을 단축하였다.[4] Fig. 3은 절점의 개수에 따라 각 행렬 해법에서의 계산 시간을 비교한 것이다. 절점의 개수가 많을 수록 다중선단 행렬 해법의 시간 단축 효율이 높아진다. 절점 10000개 정도(자유도 30000)에서 스카이라인 해법(skyline solver)보다 10배 이상의 속도 향상을 가져온다.

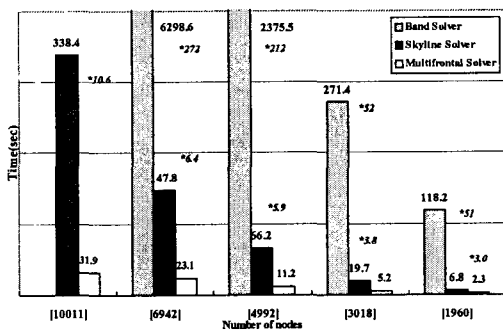


Fig. 3 Comparison of CPU time for solving equations

3.3 3차원 단조 해석 예제

Fig. 4는 볼조인트 소켓의 공정을 보여준다. 소성변형이 가장 크게 유도되는 2공정에 대해 해석을 수행하였다. 대칭면을 이용하여 전체형상의 1/2을 해석하였고, 초기 절점의 개수는 약 5000개이다.



Fig. 4 Forging procedure of ball-joint socket

소재는 AISI1045를 사용하고, 초기소재온도는 900 °C, 마찰계수는 0.3으로 하였다. 해석결과는 fig. 5와 같다. 성형이 진행되면서 국부적으로 소재의 변형이 크게 유도되었다. 이 부분은 금형의 형상으로 재료가 바깥쪽으로 흐르면서 버(burr)형태로 유동이 발생하였고, 실제 공정에서 결함발생이 예측되는 곳이다.

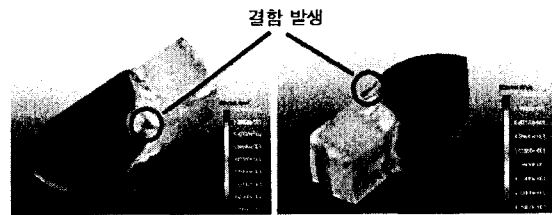


Fig. 5 Distribution of effective strain(17th step)

Fig. 6은 성형이 완료되었을 때의 유효변형률 분포이다. 해석시간은 Pentium-4 1GHz급 PC로 6시간이 소요되었다.



Fig. 6 Distribution of effective strain (final step)

3.4 후처리기

3차원 단조 해석 결과는 후처리기를 통해 다양한 방법으로 시각화된 정보로 분석 검토되어야 설계에 적용할 수 있다. 따라서 효과적이고 사용이 편리하며, 사용자의 관심기능을 반영한 후처리기는 3차원 단조해석 시스템의 효율적인 활용을 위해서 필수적인 요소이다.

기본적인 기능으로, 격자의 가시화 및 등고선(contour) 기능, 동영상(animation)기능, 절단면 표시(section view)기능, 그래프 기능 등이 구현되어 있으며, 해석 결과의 보고서작성과 단면에서의 유동의 추적기능을 구현하고 있다.

본 후처리기에서는 각 공정의 소재와 금형의 모든 상태를 사용자가 한눈에 알아볼 수 있도록 MeshBar를 이용하여 표현하였고, 대화상자(Dialog box)를 이용하여 사용자가 실시간으로 모든 상태를 바꿀 수 있도록 하였다. Fig. 7은 후처리기의 실행 화면을 나타낸 것이다.

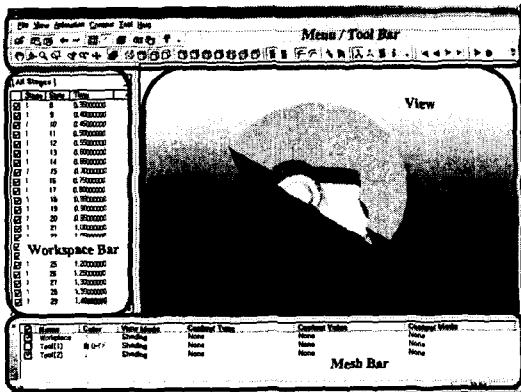


Fig. 7 Post-processor - Main view

4. 결론

본 연구에서는 단조제품을 생산하고 있는 국내의 중소기업에서 활용할 수 있는 개인용 컴퓨터(PC)기반 3차원

단조공정 유한요소해석 프로그램을 개발하였다. 이는

- (1) CAD접속기술, 전처리기 개발,
- (2) 객체지향 유한요소 해석 시스템, 고효율 해석기술,
- (3) 그래픽 사용자 환경

등을 단계적으로 개발함으로써 실현할 수 있었다. 개발된 3차원 해석 시스템을 이용하여 실제 생산하고 있는 제품을 해석하여 유용성을 검증하였다. 향후 현재 개발된 시스템의 현장 사용성 검증과 신뢰성 검토단계를 거치고, 전처리기, 소재 및 금형 해석 프로그램, 후처리기의 통합화를 성공적으로 수행한다면 현장에서의 활용성을 극대화한 시스템으로 3차원 단조 제품 설계에 널리 활용될 것으로 사료된다. 또한 신제품 개발 기간의 단축, 개발 경비 절감 및 제품 신뢰성 향상 등이 실현되어 관련 중소기업의 국제 경쟁력 향상에 크게 기여할 것으로 기대 된다.

참고 문헌

- (1) D.Y. Yang, Im, Lee, Lee, Park, Song, Lee, Yoh, Kim, Hong, Kim, Suh, Kang, 1999, "Development of computer integrated system supporting design of process and dies of multiple stage forging processes", International Conference on Technology of Plasticity.
- (2) 양동열, 임용택, 이영규, 이창희, 박철현, 송종호, 이용신, 여은구, 1998, "볼스터드 단조공정 및 금형 설계 자동화 시스템 구축", 한국정밀공학회, 98추계학술대회 논문집, p. 801~807.
- (3) A. O. Cifuentes, A. Kalbag, 1992, "A performance study of tetrahedral and hexahedral elements in 3-D finite element structural analysis", Finite Elements in Analysis and Design, Vol. 12, p. 313~318.
- (4) 안병기, 박용복, 김정호, 양동열, 2001, "직접 행렬해법에 대한 일반적 비교", 한국소성가공학회 2001년도 추계학술대회 논문집, p. 113~116.