

## 알루미늄 방열 파이프의 생산 목적의 포트홀 금형 압출공정의 유한요소해석

이민철<sup>1</sup>· 조주현<sup>2</sup>· 박정희<sup>3</sup>· 전만수<sup>#</sup>

### Finite Element Simulation of a Porthole Die Extrusion Process for Manufacturing Aluminum Heat Radiation Pipe

M. C. Lee, J. H. Cho, J. H. Park, M. S. Joun

#### Abstract

We carry out non-steady state finite element simulation of a porthole extrusion process for manufacturing a radiation pipe under isothermal assumption. It is assumed that welding takes place at the moment that the material contacts the plane of symmetry. Welding phenomena are revealed by observing the contacting mechanism of the material passed through the portholes. It is emphasized that mesh density control and intelligent remeshing during welding process govern the solution accuracy and the program applicability. AFDEX 3D is employed.

**Key Words :** Porthole Extrusion Process (포트홀 압출 공정), Radiation Pipe (방열 파이프), Welding phenomena (용접 현상), Intelligent Remeshing (지능적 요소망재구성)

#### 1. 서 론

알루미늄과 같이 성형성과 용접성이 뛰어난 재료의 중공축 제조 공법으로 포트홀 압출이 광범위하게 실시되고 있다. 이 공법은 컨테이너 속의 소재가 평면 금형(flat-faced die)에 나 있는 포트홀(porthole)를 지나면서 찢어졌다가 챔버(chamber)내에서 용접되어 금형의 출구와 평면금형에 붙어 있는 멘드렐 사이를 통과함으로써 중공축을 대량 생산한다. 이러한 중공축은 기계 및 자동차부품은 물론이고, 건설 구조용 봉재, 방열파이프, 조선 기자재 등의 다용도로 사용되고 있다. 그리고 원자재 가격의 지속적 상승과 에너지 효율 제고 및 환경 보존의 세계적 흐름 속에서 중량 감소가 시대적 정신이므로 그 응용이 점증하는 추세이다.

중공축 압출 제품은 일반적으로 용접부에 결함이 내포되어 있을 가능성이 많다. 이러한 용접부의 결함을 줄이기 위해서는 챔버 내의 일정 이상의 압력 유지가 중시되고 있다. 문제는 실험적 방법으로 챔버 내의 상황을 파악하는 것이 불가능하다. 이러한 이유로 다수의 연구자들이 유한요소법을 이용한 중공축 압출 공정의 해석을 시도하였다. Kim 등[1]은 강소성 유한요소법을 2 차원 및 3 차원 정상상태의 가정하에 포트홀 금형을 가진 중공축 압출공정의 해석에 적용하였다. 그리고 Jo 등[2]과 Liu 등[3]은 DEFORM 3D 를 이용하여 각각 원형과 사각단면 중공축의 포트홀 금형 압출 공정에 대한 비정상상태 해석을 수행하였다.

본 연구에서는 방열 파이프의 제조 공정을 저자들이 개발한 AFDEX 3D[4]를 이용하여 해석하고자 한다.

1. 경상대학교 기계공학과 박사후 과정  
2. 동은단조㈜ 기술연구소  
3. 경상대학교 기계공학과 대학원  
# 경상대학교 기계항공공학부/항공기부품기술연구소  
E-mail: msjoun@gnu.ac.kr

## 2. 문제의 정의와 유한요소해석

본 연구에서 해석한 공정의 개념도는 Fig. 1에서 보는 바와 같다. 총 4개의 금형 구성품으로 이루어져 있다. 포트홀의 입구는 반경 13.0 mm로 라운드처리되어 있다. 램과 컨테이너 그리고 분리된 소재가 용접되는 챔버와 포트홀이 있는 금형은 약간 겹치게 모델링함으로써 경계에서 발생할 수 있는 수치적 문제를 배제시켰다. 컨테이너와 포트홀이 있는 평면금형(flat-faced die)은 해석의 관점에서 일체형으로 모델링하였다.

본 연구에서 해석한 공정은 4 개의 포트홀이 대칭적으로 배열되어 있기 때문에 1/8 즉,  $45^\circ$ 에 대해서 해석을 수행하였다. 또한 압출과정에서 소재의 온도변화는 크지 않다는 가정하에 등온해석을 수행하였다. 시뮬레이션에 사용된 소재의 유동응력, 마찰조건, 램의 속도 등을 다음과 같다[1].

- 유동응력:  $\bar{\sigma} = 24.71\dot{\varepsilon}^{0.1619}$  MPa
- 마찰상수: 0.3
- 램의 속도: 5 mm/sec

해석 중에 요소망의 수를 30000개 내외로 통제하였다. 그리고 포트홀 주위와 챔버 내에서의 요소밀도를 크게 함으로써 경제적인 해석이 가능하도록 하였다. Fig. 2는 초기소재의 요소망과 금형의 요소망을 나타내고 있으며, 해석결과를 Fig. 3과

Fig.4에 걸쳐서 나타내었다. Fig. 3은 성형 공정 해석 중의 요소망을 나타내고 있으며, 챔버 내에서 일어나는 용접 현상을 강조하여 나타내었다. Fig. 4는 최종 소재의 바닥면과 단면을 나타내고 있다.

용접은 대칭면에 소재가 접촉하는 것으로 해석되었으며 그 결과는 요소망재구성 기술에 민감할 수밖에 없다. 따라서 대칭면을 지닌 포트홀 압출 공정의 해석에서 요소망재구성 기술은 요소망 밀도제어 기술과 함께 매우 중요하다. 본 연구에 사용된 AFDEX 3D는 최적 요소망 생성 기술에 바탕을 두고 있으므로 Fig. 3과 Fig. 4에서 보는 바와 같이 매우 정교한 해석 결과를 예측하고 있다. 이러한 섬세하고 지능적인 해석을 위하여 변형률, 변형률속도 등의 상태변수는 물론이고, 곡률, 금형-소재 접촉경계 등의 형상변수도 고려해야 한다. 이러한 상태변수와 형상변수에 근거한 요소망밀도제어는 AFDEX 3D의 기본 기능에 속한다. 그리고 압출의 경우 컨테이너 내에 위치한 소재의 변형이 상대적으로 매우 작기 때문에 사용자 지정의 요소망 밀도제어 기능의 사용이 불가피하다.

본 논문에서는 AFDEX 3D가 가지고 있는 일반 요소망 밀도제어 기능과 함께 사용자 지정 요소망 밀도제어 기능을 사용하였다. 즉, 컨테이너의 내부의 요소망 밀도를 상대적으로 작게 하였으며, 포트홀이 있는 평면금형에서 출구까지의 주 변형 구간에는 요소망 밀도를 크게 하였다.

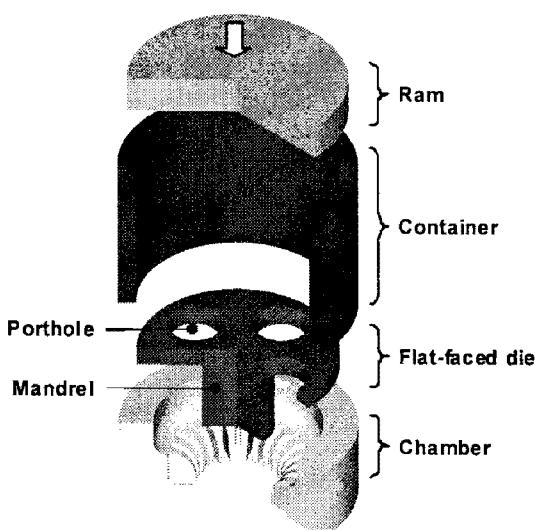


Fig. 1 Tool assembly for the porthole die extrusion

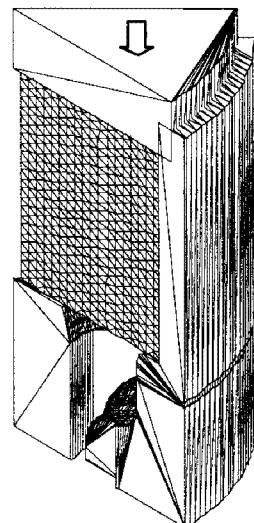


Fig. 2 Mesh system and setup of the process

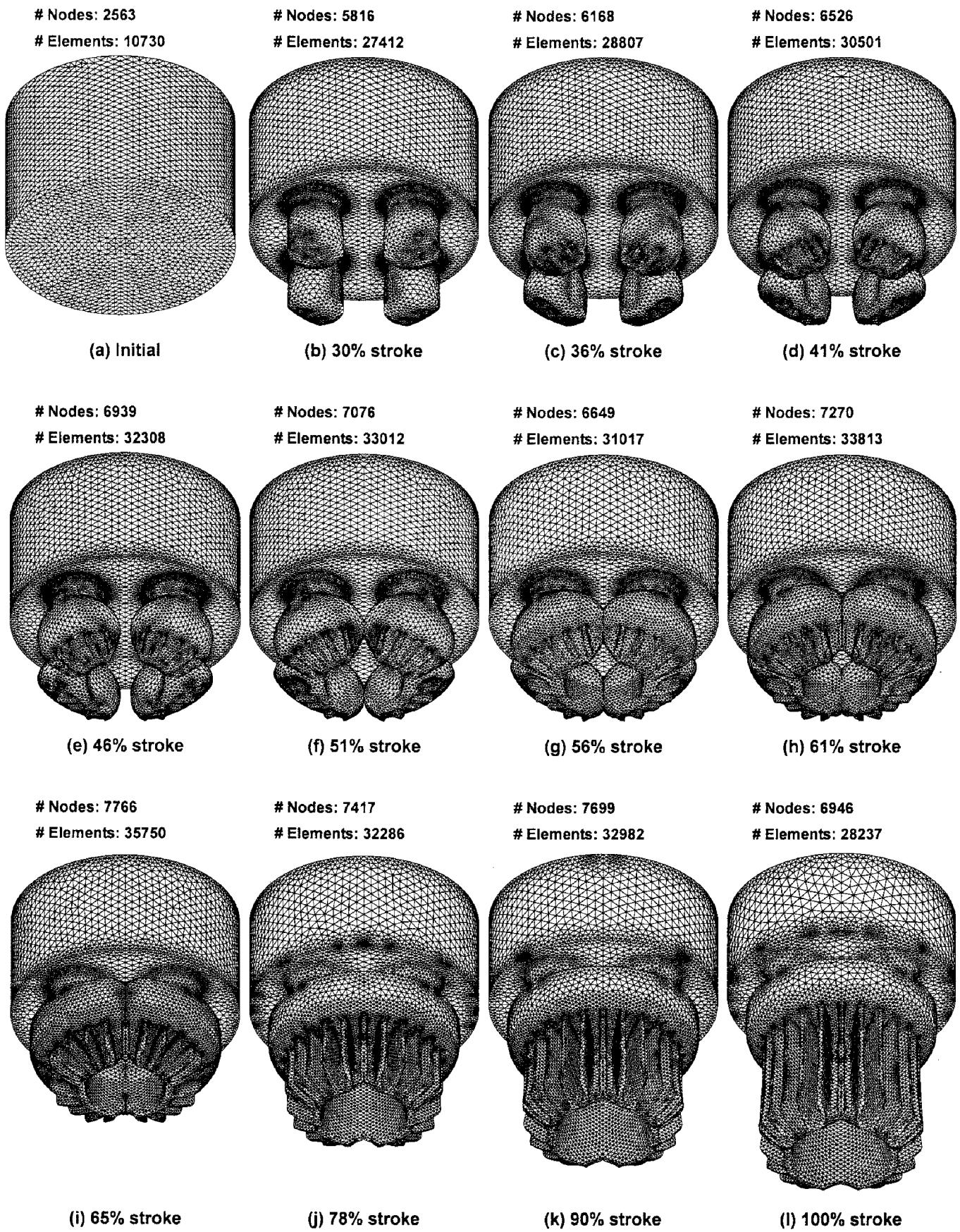
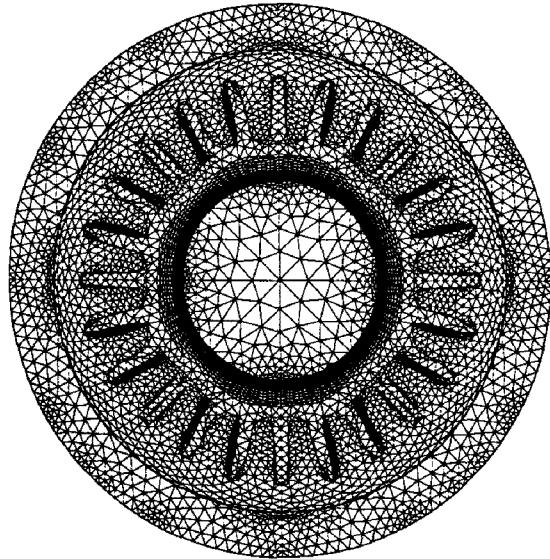
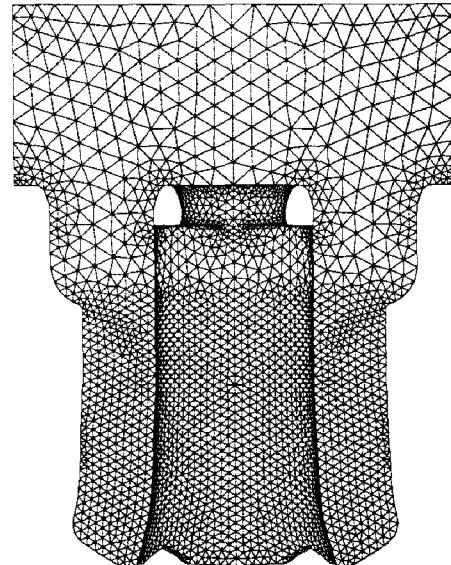


Fig. 3 Simulation results of the process



(a) Bottom view



(b) Cross-sectional view

Fig. 4 Deformed shape of the workpiece

### 3. 결 론

본 논문에서는 알루미늄 중공 봉재의 포트홀 압출공정에 관한 유한요소해석을 실시하였다. 선택된 공정은 방열 목적으로 파이프에 핀이 달린 알루미늄 파이프이며, 비교적 복잡한 단면 형상과 금형 구조를 가지고 있다. 이 공정의 특징은 정상적인 공정일 경우 용접면이 대칭면을 형성한다는 점이다.

중공 봉재의 포트홀 압출 시 비정정상태의 거동, 특히 초기의 제품 결함을 상세하게 예측하였으며, 유한요소해석 기법이 중공제품의 포트홀 압출공정의 해석에 유용하게 활용될 수 있는 길을 열었다. 적용성의 측면에서 요소밀도 통제 기술과 포트홀을 지난 재료가 대칭면에서 용접되는 과정에서 발생하는 복잡한 기하학적 형상을 감안한 요소망재 구성 기술의 섬세함이 의미있는 포트홀 압출공정의 해석에 선행되어야 함이 강조되었다.

### 후 기

본 논문은 2 단계 BK21 사업 및 산업자원부 지역혁신 인력양성사업에 의해 지원되었음.

### 참 고 문 헌

- [1] K. J. Kim, C. H. Lee and D. Y. Yang, 2002, Investigation into the improvement of welding strength in three-dimensional extrusion of tubes using porthole dies, *J. Mat. Proc. Tech.*, Vol. 130-131, pp. 426-431.
- [2] H. H. Jo, C. S. Jeong, S. K. Lee and B. M. Kim, 2003, Determination of welding pressure in the non-steady state porthole die extrusion of improved Al7003 hollow section tubes, *J. Mat. Proc. Tech.*, Vol. 139, pp. 428-433.
- [3] G. Liu, J. Zhou, and J. Duszczyk, 2008, FE analysis of metal flow and weld seam formation in a porthole die during the extrusion of a magnesium alloy into a square tube and the effect of ram speed on weld strength, *J. Mat. Proc. Tech.*, Vol. 200, pp. 185-198.
- [4] <http://www.afdex.com>