

# 맨드렐이 있는 포트홀 압출의 소성유동에 관한 연구

임현조\* · 한철호\*\*

## A Study on the Plastic Flow for Porthole Extrusion with Mandrel

H. J. Lim and C. H. Han

### Abstract

In this study the plastic flow before welding stage in the chamber is analyzed by FEM and experiments during the porthole extrusion process. The analysis is concerned with plastic flow in the port and welding chamber of rectangular hollow section extrusion through the porthole die with mandrel. Numerical simulation by finite element code to investigate the plastic flow is discussed for both tapered inlet and straight inlet chamber. To visualize the flow in extrusion process split dies and punches are designed and manufactured by wire EDM. Experiments are carried out by using the plasticine as a model material at room temperature. The theoretical predictions are reasonable agreements with experimental results in the welding lines and the deformed profiles.

**Key Words** : Porthole die, Welding chamber, Welding line

### 1. 서 론

Fig. 1은 튜브나 중공 단면재를 제조하는 포트홀 웰딩 챔버 방식 압출 과정의 개략도이다. 포트홀 웰딩 챔버 방식은 3단계의 과정을 거쳐 최종 압출된다. 금속은 금형 입구부에서 웨브(Web)에 의해 여러 개로 갈라져 웨브를 타고 포트홀로 들어간다. 갈라져 들어간 금속은 고온 고압에 의해 웰딩 챔버 내에서 용접이 되면서 다이 랜드(Die land)와 맨드렐(Mandrel) 사이로 단면 형상을 만들며 압출된다. 이것은 다시 1, 2차 압출로 구분 할 수

있다. 금속이 포트홀로 갈라져 들어가는 과정을 1차 압출, 웰딩 챔버에서 용접되어 다이 랜드와 맨드렐 사이로 최종제품이 나오는 과정을 2차 압출이라고 할 수 있다.

이처럼 포트홀 금형 내부의 유동은 매우 복잡한 현상을 보이므로 그 내부유동을 알지 않고는 최적의 금형을 설계할 수 없다.

포트홀 압출은 새쉬, 난방용 핀 등의 제조공정으로 쓰이며 여러 연구가 활발히 진행되었다.<sup>(1~7)</sup>

본 논문에서는 상용 유한요소 프로그램을 이용하여 웨브의 형상의 변화에 대한 챔버 내 유동을 비교하고 웰딩

\* 금오공과대학교 대학원 생산기계과  
\*\* 금오공과대학교 기계공학부

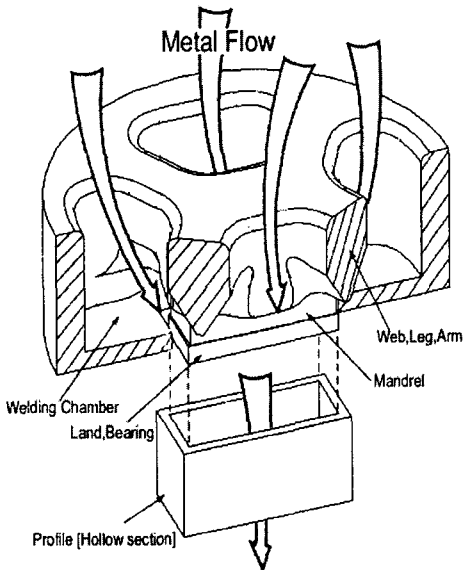


Fig. 1 Schematic description of a porthole die for the tube extrusion process

라인의 형성을 보여주고 플라스틱인 모사 실험을 통하여 검증하기로 한다.

FEM해석은 소성가공해석 소프트웨어인 미국 SFTC의 DEFORM 3D를 사용했다.

## 2. 이론해석

### 2.1 해석모델

본 연구에서는 Fig.2와 같이 직사각형재 압출시 웨브에 경사가 없는 Type 1과 웨브에 경사가 있는 Type 2 두 모형을 대상으로 해석하였다.

단면형상의 대칭성을 고려하여 중공재의 포트홀 다이 해석은 1/4 형상만을 기준으로 등온과정으로 해석했다. 램 속도는 1.6mm/sec로 하였다. 소재는 플라스틱인 재료로 유동응력(Flow stress)과 전단 마찰상수(Shear friction factor)는 각각로 하였다.

$$\bar{\sigma} = 0.15 \bar{\epsilon}^{0.097} \text{MPa}, m_f = 0.7 \quad (1)$$

재료는 강소성체로, 포트홀 다이, 펀치 및 컨테이너는 강체로 가정하였다. 메쉬(Mesh)수는 Surface 4000 메쉬를 나누었다.

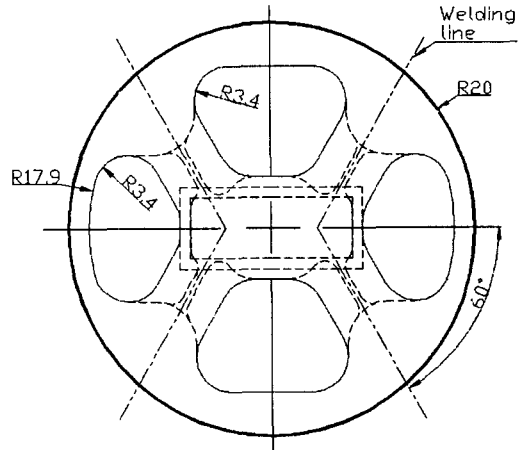


Fig. 2 A top view of porthole die

포트홀 다이 압출은 대부분 압출비가 크고 유동변화가 심하므로 스텝이 진행되면서 격자재구성(Remesh)작업이 필요하다. 격자재구성은 자동리메쉬를 사용하였고 리메쉬가 불가능한 스텝에서는 수동으로 나누어주는 형식(Manual remesh)으로 했다. 이상과 같은 조건으로 웰딩 챔버에서 용접이 이루어지기 전까지를 해석하였다.

## 3. 실험

### 3.1 실험 장치

포트홀 및 챔버내의 유동을 가시화하기 위하여 분할된 금형을 2조 설계하여 wire 방전가공으로 제작하였으며 만능시험기(Schmadz 25ton)에 장착 실험을 수행하였다.

### 3.2 실험 재료

실험재료는 소성유동 모델링 재료로 널리 쓰이는 플라스틱인을 사용하였으며, 플라스틱인은 열간 상태에서의 소성유동 및 변형 특성을 상온에서 쉽게 예측하는 것으로 적당하다. 유동을 보기 위하여 그리드 시편과 디스크 셀 시편을 제작하였다. 실험 조건은 Table 1과 같다.

Table 1 Extrusion condition

Condition	value
Billet material	Plasticine(φ 39.5×H40mm)
Tem.	20±1 °C
Ram speed	1.6 mm/s

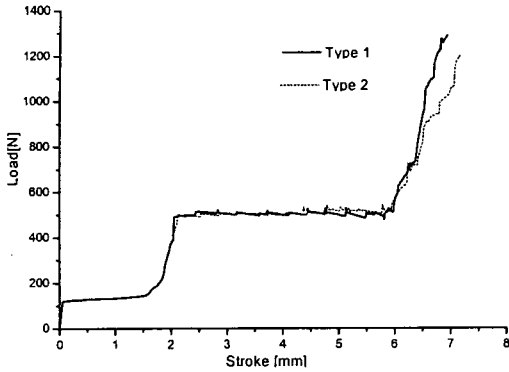


Fig. 3 Load curve of FEM analysis

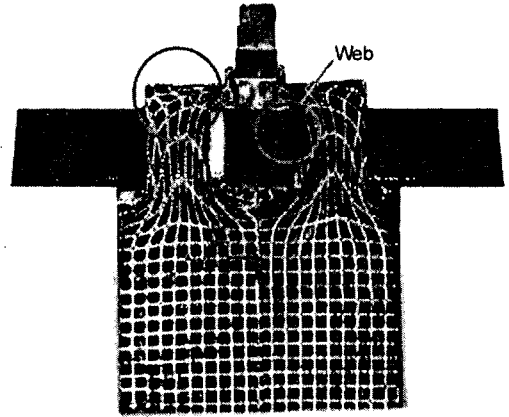
#### 4. 결과 및 토론

본 연구의 FEM 해석결과와 하중-스트로크 커브를 Fig. 3에 보였다. Type 2의 경우가 챔버 바닥에 닿은 후 Type 1보다 하중이 작게 나타남을 볼 수 있다. 포트홀을 통과한 재료가 챔버 바닥면에 닿아 다이 출구 쪽으로 향할 때 Type 2의 유동이 Type 1에 비하여 급격하지 않기 때문에 하중이 작게 나타난다.

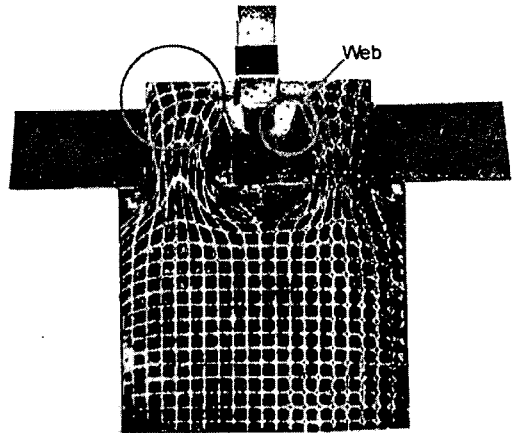
한편 그리드 시편 실험에서도 Type 2의 그리드의 찌그러짐이 작은 것을 볼 수 있다. 그리드실험에서는 Fig. 4와 같이 나타났다. 그리드의 변형을 보면 경사가 없는 경우가 그리드의 변형이 심한 것을 볼 수 있다. 이것 역시 Type 1과 Type 2의 웨브의 형상이 다르기 때문이다. Fig. 5는 해석 결과와 실험 결과 중 챔버 바닥면을 나타낸 것이다. Fig. 5에서 볼 수 있듯이 해석 결과와 실험 결과 모두에서 웰딩 라인을 확실히 볼 수 있고 웰딩 라인의 양상도 비슷함을 알 수 있다. Murakami<sup>(6)</sup> 등의 연구논문에서도 최종 압출단면이 같은 형태의 것은 아니지만 웰딩라인의 형성이 비슷하게 나타남을 보여 주었다.

웰딩 라인은 포트홀 설계에서 기준이 되는 선으로 아주 중요한 요소 중에 하나이다. 이런 웰딩 라인을 결정하는 것은 포트홀의 배치와 관계 있다.

여기 실험 및 해석에서는 포트홀 모양과 배치는 같고 웨브의 모양이 다른 경우이기 때문에 Type 별 웰딩 라인의 차이는 크게 나타나지 않는다. 그림에서 설계시 웰딩 라인은 산업체에서 설계단계에 적용한 예이며 본 연구의 시뮬레이션 결과와 비교적 잘 일치하고 있다. 그러나 우측의 실험결과와 웰딩라인은 사각형의 좁은 쪽으로 치우



(a) Type 1



(b) Type 2

Fig. 4 Grid specimen extrusion

치는 경향을 보이고 있다.

#### 5. 결론

- (1) 비정상상태의 포트홀 압출공정의 소성유동을 수치 해석 및 실험을 통하여 가시화하였다.
- (2) 웨브의 형태는 소성 영역 및 테드 메탈 영역을 변화시켜 소성유동에 영향을 준다.
- (3) 웰딩라인은 좁은 단면쪽으로 치우치는 경향이 있으며 웨브 경사가 있는 경우가 없는 경우 보다 심한 편이다.

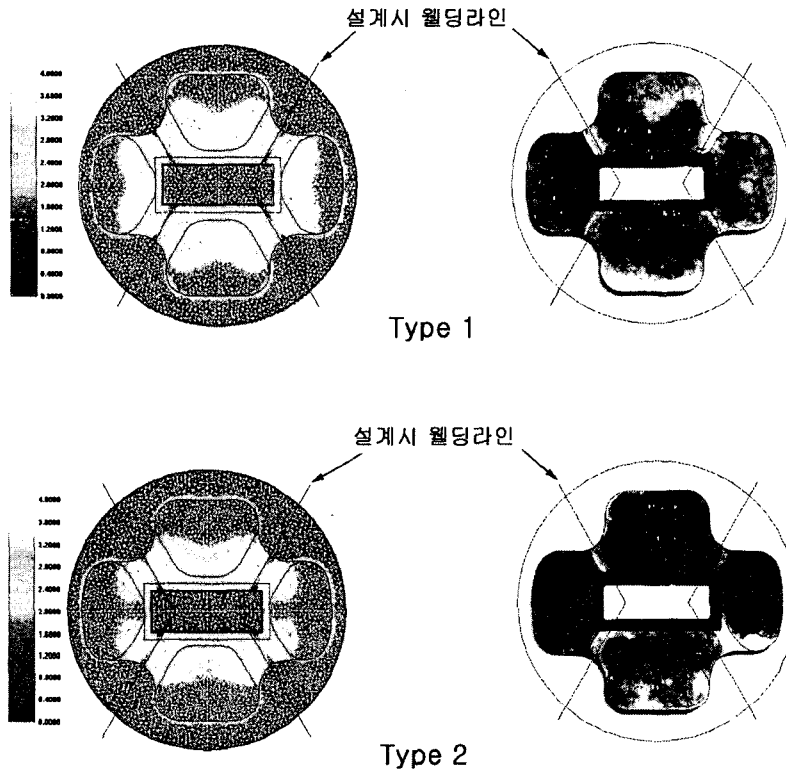


Fig. 5 Welding lines in welding chamber by FEM and experiments

### 참 고 문 헌

- (1) Kurt Laue, 1981, "Extrusion-Processes, Machinery, Tooling", ASM
- (2) J. X. Xie et al., 1995, J. Materials Processing Tech. Vol.49, pp.1~11
- (3) J. X. Xie et al., 1995, J. Materials Processing Tech. Vol.49, pp.371~385
- (4) Igor Duplancic, 1996, Profiles of Change Vol. II, pp.169~177
- (5) Rafael Rodriguez et al., 1996, 6 Profiles of Change Vol. II, pp.179~181
- (6) S. Murakami et al. 1997, JSTP Vol .38 no. 436
- (7) H.G. Mooi, et al., 1999, JMPT 88, pp. 67~76.