

## 12 홀 컨덴서 튜브의 열간 압출 공정해석 및 금형의 강도예측

이상호<sup>1</sup>, 조형호<sup>2</sup>, 김병민<sup>#</sup>

### Process analysis and prediction of die strength of condenser tube with 12 holes in hot extrusion

S. H. Lee, H. H. Jo, B. M. Kim

#### Abstract

Condenser tube has been used as a component of heat exchanger in automobile and air conditioning apparatus. In this paper, porthole die extrusion that is advantageous to form long hollow section tube is analyzed by direct extrusion of condenser tube with 12 holes. A study on extrusion process is performed through the 3D FE simulation at non-steady state and extrusion experiments. Especially, weldability, extrusion load and die defects were estimated by FE-simulation. This study present the redesigned die of direct extrusion in consideration of the results obtained from FE-analysis.

**Key Words** : Condenser tube, Hot Extrusion, Porthole Die, Welding Chamber, Extrusion Load , Normal Pressure, FE-simulation, Die strength

#### 1. 서 론

자동차용 냉난방기용 열교환기 부품으로 쓰이는 멀티셀 컨덴서 튜브는 효과적인 열교환을 위하여 열전도도가 높은 알루미늄 계열이나 구리 계열의 소재를 사용한다. 본 연구에서는 중공형 형상을 가지는 제품의 생산에 많이 사용되고 있는 포트홀 다이를 이용한 직접압출방식을 사용하였다. 멀티셀 튜브의 특징을 보면 단면의 미세한 홀에 의하여 열교환 영향과 동일한 단면적에 대하여 홀의 개수가 많을수록 열전달이 가능한 면적을 향상시킬 수 있다. 그러나 컨덴서 튜브 내부

의 홀의 개수를 늘일수록 내부 벽의 두께가 감소하게 된다. 이는 압출시 소재에 발생하는 높은 성형 압력에 의하여 내부 홀 성형시 미충전이나 접합부의 접합 압력 저하, 금형의 파손 등의 결함을 유발하게 된다[1, 2].

압출 다이를 설계함에 있어서 설계자의 경험에 의존하여 시작품 제작과 시험 생산을 거쳐 다이를 수정하는 방식으로 많은 시행착오에 의한 시간 낭비와 제작비의 상승, 인력의 낭비 등의 문제점을 가지고 있었다. 그러나 유한요소법 등에 의한 수치 해석적인 방법으로 인하여 금형을 제작함에 있어 중요시 되는 변수 설정 및 금형의 설계에 필요한 구체적인 데이터를 얻을 수 있다.

1. 부산대학교 정밀기계공학과

2. 생산기술연구원

# 교신저자: 부산대학교 기계공학부

E-mail : bmkim@pusan.ac.kr

본 연구는 A1100 빌렛을 이용하여 멀티셀 컨덴서 튜브의 생산에 함에 있어 상용 해석프로그램을 이용하여 비정상상태 3D 열간 압출 공정을 수행하였으며, 이때 발생하는 압출 하중 및 테드메탈 영역과 접합 압력 등을 확인하였다. 이를 토대로 맨드릴 부의 강도해석을 수행한 결과에 따라서 금형을 수정하였으며, 해석의 유효성 검증을 위하여 수정된 금형의 제작 및 시압출 시험을 수행하였다.

## 2. 직접압출 공정해석

### 2.1 포트홀 다이 형상

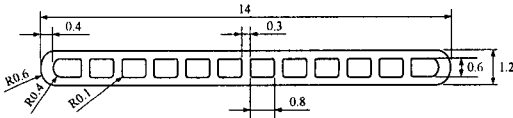


Fig. 1 section of condenser tube

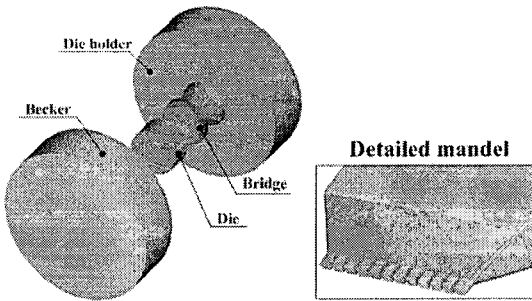


Fig. 2 3D model of porthole die

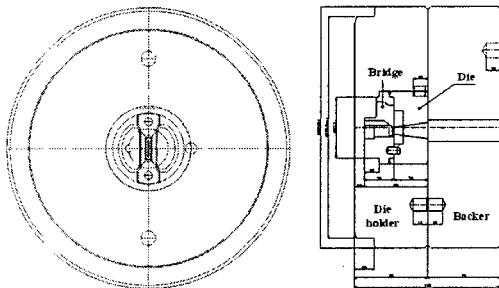


Fig.3 Construction of porthole die

Fig. 1 은 본 연구에 사용된 컨덴서 튜브의 단면 형상을 나타낸다. 총 너비가 14 mm 높이가 1.2 mm의 크기를 가진다. 냉매가 흐르는 미세홀의 개수는 12 개이며 홀사이의 벽의 두께는 0.3 mm, 양쪽 끝에서의 벽의 두께는 0.4 mm이다.

Fig. 2 는 설계된 다이를 I-DEAS 9.0 을 이용하여 3D 모델링한 것이다. 다이는 복잡한 단면 형상을 가지고 있는 중공형 제품을 생산에 장점을 가지고 있는 포트홀(Porthole)방식을 선택하였다.

Fig. 3 은 본 연구에서 사용된 다이의 도면을 나타낸다. 도면에서 나타나듯이 생산방식은 1 홀방식을 사용하고 있으며 빌렛의 직경은  $\Phi 152$  mm (6inch)을 사용하였으며 브릿지와 다이가 체결되어 있으며, 다이 홀더는 브릿지와 다이를 감싸는 형상을 가지고 있다. 압출방향의 강도를 유지하는 베커는 다이 홀더와 체결되어 있다.

### 2.2 유한요소 해석

해석 모델은 다이의 대칭성을 고려하여 1/4 형상을 해석하였다. Table 1 에서 해석조건을 나타내고 있다. Fig. 4 는 열간 압출해석을 위한 유한요소격자를 나타낸다. 해석은 강소성 유한요소 해석 코드인 DEFORM3D 를 이용하였다.

Table 1 Condition of simulation

Extrusion condition		Value
Material	Billet	A1100
	Tools	Mandrel - Gti50 The others - AISI H-13
Initial temp.	Billet	470 °C
	Tools	450 °C
Ram speed		6 mm/s
Fiction factor(m)		0.6
Dimension of Billet		$\Phi 152 \times h150$

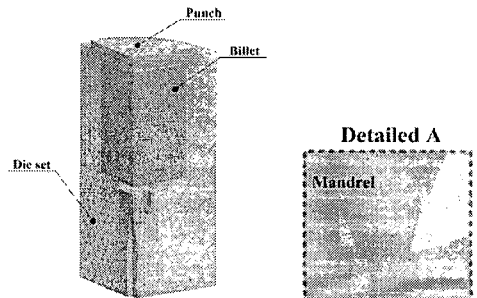


Fig. 4 Initial mesh system

### 3. 해석결과

#### 3.1 압출하중

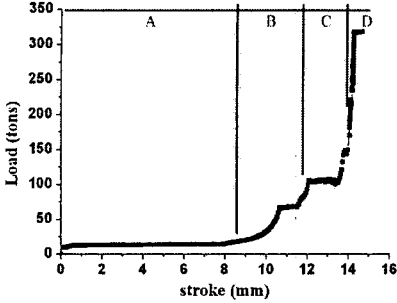


Fig. 5 Load - stroke curve

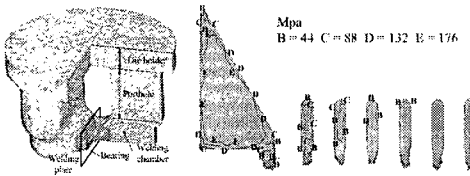


Fig. 6 Normal pressure at the welding plane (Existing die)

Fig. 5 는 열간 직접압출공정해석 결과, 즉 하중 스톱크 곡선을 나타낸다. 포트홀의 형상에 의하여 다이 압출하중 유동양상은 하중 스트로크에 따라서 4 가지 단계로 구분되어 진다. (A)는 빌렛이 업세팅되는 단계이며, (B)브릿지에 의해 빌렛이 분할되는 단계이다. (C)는 분할된 빌렛이 챔버를 채우고 접합이 이루어지는 단계이며, (D)는 맨드릴을 통과 하여 성형이 이루어지는 단계를 나타낸다. 성형 단계에서부터 정상 상태로 이어져 일정한 하중 수준을 유지하면서 서서히 감소한다[3, 4].

본 해석결과에서 나타나듯이 컨테이너튜브 성형시 요구되는 압출하중은 320 tons 임을 알 수 있다.

#### 3.2 접합 압력

Fig. 6 은 접합부에서의 접합 압력을 나타내는 그림이다. 맨드릴 양끝 쪽에서 A1100 의 항복강도 (34.4 Mpa)의 5.1 배의 압력분포를 보였다. 그러나 중심부로 갈수록 압력이 현저히 떨어지는 것을 확인할 수 있었다.

중공형 제품을 생산하는데 있어서 접합부의 접합강도가 매우 중요한 요소이다. 접합실 내부에서

불균일한 소재의 유동이 발생하여 제품의 접합 불량 및 표면 결함 등이 발생할 수 있다. 따라서 접합 압력이 현저히 낮은 부위에서 결함이 발생할 가능성이 높다고 판단됨으로 다이의 재설계가 요구된다.

### 4. 포트홀 다이의 재설계 및 해석결과

접합실 내부의 소재의 유동 양상을 균일하게 유지하기 위하여 접합실 내의 형상을 수정하는 방법을 수행하였다. Fig. 7 은 기존의 다이와 재설계된 다이의 치수를 나타낸다. Fig. 7(a)에서 베어링부의 랜드부 곡률을 줄여 랜드부의 소재의 유동을 줄이고 중심부의 유동량을 높였으며, 맨드릴 치형의 치수를 변경하여 유동을 조정하였다. 이는 중심부에서 부족한 접합 압력을 높일 수 있다. 재설계된 다이의 해석조건은 이전 공정해석과 동일하다. 접합실의 내부가 기존의 다이보다 좁기 때

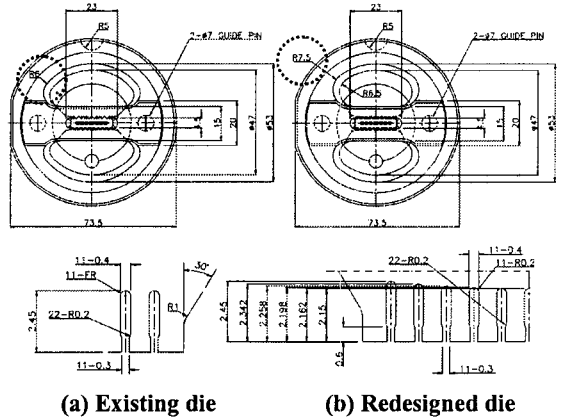


Fig. 7 Dimension of Existing and Redesigned die

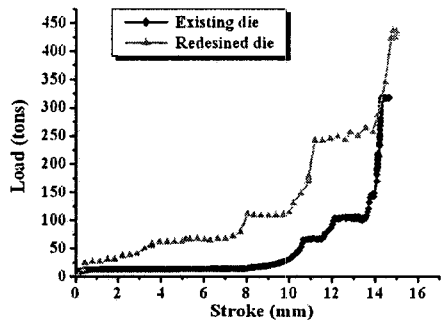


Fig. 8 Load - stroke curves

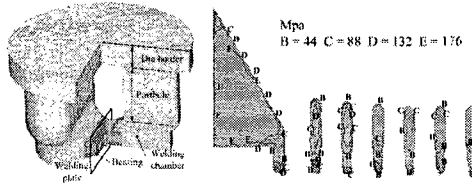
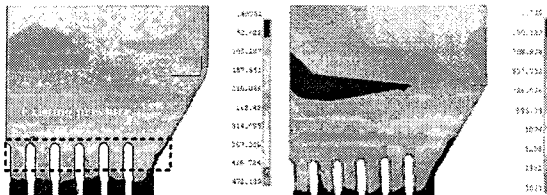


Fig. 9 Normal pressure at welding plane (Redesigned die)

문에 Fig. 8의 하중 스트로크 곡선에서 보여지듯이 재설계된 다이(580tons)가 기존의 다이(320tons)보다 압출 하중값이 약 1.8 배 정도 높게 나타났다. Fig. 9는 재설계된 다이의 접합 압력을 나타내고 있다. 기존의 다이와는 달리 중심부에서 소재의 항복강도(34.4 MPa) 이상이 분포를 보여 양호하다 할 수 있겠다.

### 5. 금형 강도해석

강도해석은 구조해석용 코드인 ANSYS 7.0을 이용하여 해석을 수행하였다. 맨드릴부의 치수가 작고 압력을 많이 받는 것을 고려하여 압축강도가 우수한 Gti50을 적용하였다. 이 재료의 탄성계수는 500 GPa, 그리고 프와송 비는 0.23이다. Fig. 10은 Von-Mises stress 분포를 나타내는 그림이다.



(a) Existing die (b) Redesigned die  
Fig. 10 Distribution of von-mises stress

Fig. 10(a)에서 기존의 다이의 경우 최대응력 분포 472.139 MPa를 가진다. Gti50는 압축항복강도 2800 MPa로 압축력에는 강하지만 극한인장강도 344 MPa로 인장력에는 약한 특성을 가지고 있다. 강도해석을 통하여 기존의 다이에서 국부적으로 인장력이 발생하여 파손의 위험이 있으나 재설계한 다이의 경우 최대 응력분포는 1611 MPa로 다소 높으나 Gti50의 압축항복강도에 미치지 못 함으로 양호하다 할 수 있다.

### 6. 압출실험

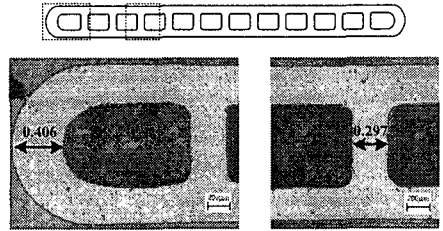


Fig. 11 Cross-sectioned shape of product

재설계된 다이에 대하여 압출실험을 수행하였다. Fig. 11의 압출된 제품의 단면에서 끝단부 두께(0.406 mm)와 홀 사이의 벽 두께(0.297 mm)로 목표 치수(0.4, 0.3 mm)에 만족함을 알 수 있다.

### 7. 결론

본 연구에서 A1100의 12 홀 컨덴서 튜브 압출에 있어서 기존의 다이에서 접합 압력과 금형의 강도해석에서 결함이 발생의 가능성을 확인하고 금형을 재설계하였다. 재설계한 다이의 경우, 압출하중은 1.8 배 가량 높게 나타났으나 접합 압력은 소재의 항복강도보다 높아 양호한 접합상태를 보였다. 또한 강도해석을 통하여 맨드릴 치형부에 발생하는 응력분포가 재설계된 다이에서 양호한 분포를 보임을 확인할 수 있었다. 압출실험을 통하여 원하는 치수정밀도의 제품을 확인하였다.

### 참고 문헌

- [1] J.Xie, T. Murakami, H. Takahasi, 1990, "Metal Flow in the forming of Hollow Cylinder by Four-Billet Extrusion", *Journal of the JSPT*, Vol. 31, No. 351, pp 502-508.
- [2] T. Yoneyama, K. Takatsuka, M. Kitagawa, Y. Hatamura, 1995, "Measurement of the Contact Pressure in Aluminum Hot Extrusion", *Journal of the JSPT*, Vol. 36, No. 419, pp 1397-1402.
- [3] J. M. Lee, B. M. Kim, Y. D. Jeong, H. Jo, H. H. Jo, 2003, "The effect of chamber bottom shape on die elastic deformation and process in condenser tube extrusion", *KSPE*, Vol. 20, No. 5, pp. 66-72.
- [4] 조종래, 이성열, 최일동, 2000, "컨덴서 튜브용 알루미늄 소재와 압출공정개발", 3th 압출 및 인발 심포지엄, 한국소성가공학회, pp.72~81.