

포트홀 형상이 컨덴서 튜브 직접 압출 공정 및 금형 탄성 변형에 미치는 영향

이정민*·김병민**·조훈***·조형호***

The Effect of Porthole Shape on Elastic Deformation of Die and Process at Condenser Tube Extrusion

J.M. Lee, B.M. Kim, H. Jo and H.H. Jo

Abstract

Recently, condenser tube which is used for a cooling system of automobiles is mainly manufactured by the conform extrusion but this method is inferior as compared with direct extrusion in productivity per the unit time and in the equipment investment. Therefore, it is essential for the conversion of direct extrusion with porthole die. The direct extrusion with porthole die can produce condenser tube which has the competitive power in costs and qualities compared with the existing conform extrusion. This study is designed to evaluate metal flow, welding pressure, extrusion load, tendency of mandrel deflection that is affected by variation of porthole shape in porthole die. Estimation is carried out using finite element method under the non-steady state. Also this study was examined into the cause of mandrel fracture through investigating elastic deformation of mandrel during the extrusion.

Key Words : Porthole Die Extrusion(포트홀 다이 압출), Condenser Tube(컨덴서 튜브), Welding Pressure(접합압력), Mandrel Deflection(맨드릴 변형), Stress Analysis(강도해석)

1. 서 론

컨덴서 튜브는 두께가 0.5mm이하이고, 단면 내부에 냉매의 유로를 가진 열교환기 핵심부품으로, 현재 국내에서는 컨폼압출법(conform extrusion)에 의해 생산되고 있다. 그러나 직접압출방식에 비해 단위시간당 생산성이 떨어지고 초기투자 비용이 많이 드는 단점을 가지고 있다. 그러므로 기존의 컨폼 압출보다 원가적, 품질적인 측면에서 경쟁력 있고 저가, 고품질의 튜브를 생산할 수 있는 포트홀 다이를 이용한 직접압출로의 전환이 필수적

이다.

포트홀 다이압출은 브릿지(Bridge)을 가진 접합실(Welding Chamber)방식으로, 맨드릴 길이에 상관없이 길이가 긴 제품을 연속적으로 생산할 수 있기 때문에 일반적인 중공형 제품 생산에 널리 사용되고 있다. 그러나 포트홀 다이를 이용한 컨덴서 튜브압출은 높은 단면 감소율과 접합실 형상에 의한 불균일한 소재의 유동 때문에 실제 현장에 적용하기에는 많은 어려움이 있다. 컨덴서 튜브압출에서 가장 일반적인 결함은 접합실 내 소재 유동에 의한 맨드릴 양끝의 파손과 다이 변형으로 인한

* 부산대학교 정밀기계공학과

** 부산대학교 기계공학부

*** 한국생산기술원

컨덴서 튜브의 치수오차가 있다.¹⁾ 일반적으로 컨덴서 튜브 압출에 대한 연구는 압출소재의 압출성향상 및 다이의 강성을 높이기 위한 연구와 포트홀 다이 형상 변화 및 압출 공정제어를 통한 소재유동에 관한 연구로 나눌 수 있다. 특히 포트홀 다이구조에서, 포트홀은 컨테이너에서 분리된 소재를 접합실로 유입시키는 통로로 소재유동제어와 다이의 탄성변형에 크게 영향을 미치는 곳이다.

따라서 본 연구는 포트홀 형상 변화에 따른 맨드릴 변형에 대해 비교, 평가하는 것을 목적으로 고안되었다. 평가 방법은 컨덴서 튜브 직접압출에 대한 유한요소해석을 실시하여 포트홀 다이 각 부(포트홀, 접합실 등)의 소재 유동 양상을 파악하고, 압출하중 및 접합부의 접합압력, 전압출 과정 동안의 맨드릴 탄성변형량을 조사하였다.

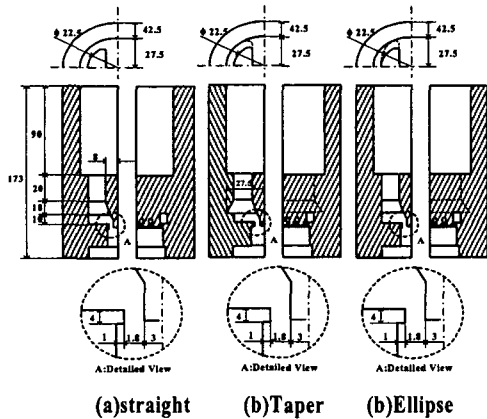
2. 유한요소해석

2.1 해석 모델

본 연구에서 사용될 컨덴서 튜브 단면형상을 Fig. 1에 나타내었다. 컨덴서 튜브는 열교환기의 핵심 부품으로 다공단면으로 이루어져 있으며 구멍을 통하여 냉매가 유동하게 된다. 본 연구에서는 5개의 홀을 가지며 해석의 용이성을 위해 두께를 1.8mm로 일정하게 하였다. 또한 상하좌우 모두 대칭으로 설계하였다.



(a) 3D shape (b) Cross section
Fig. 1 Model of condenser tube



(a)straight (b)Taper (c)Ellipse
Fig. 2 Schematic illustration used in process analysis

Fig. 2은 컨덴서 튜브 직접압출 공정해석을 위한 포트홀 다이 구조를 나타낸 것이다. Fig. 2의 (a)는 포트홀

다이의 접합실과 포트홀 사이를 직선으로 유지하였고(직선형), (b)는 포트홀 20mm까지는 직선으로 유지하고 나머지 구간에 대해서는 접합실까지 컨테이너 직경과 동일하게 반경방향으로 넓어지는 테이퍼형 구조를 가진다(테이퍼형). (c)는 테이퍼형과 동일한 위치에서 테이퍼를 가지지만 타원의 장축은 컨테이너와 동일한 길이를 가지고 단축은 포트홀 직경과 같게 하였다(타원형). 나머지 포트홀 다이 세부 치수는 모두 동일하게 설정하였다.

2.2 유한요소해석 조건

본 연구의 성형해석을 위해 강소성유한요소해석 코드인 DEFORM 3D를 사용하였다. 해석에 사용된 빌렛은 A11050을 채택하였고, 컨테이너, 챔버와 펀치는 열간 공구강인 SKD 61을 채택하였다.

Table 1 Extrusion Condition

Extrusion conditions		Value
Billet material		A11050
Tools material		SKD61
Initial temperature of billet(°C)		465
Initial temperature of tools(°C)		420
Extrusion velocity(mm/s)		833(exit velocity)
Reduction in area(%)	Bridge	75.36
	Exit	93.47
Dimension of billet(mm)		∅71×h200
Temperature of environment(°C)		20
Friction factor(m)		0.6

다이의 초기 온도는 420°C로 설정하였고, 빌렛의 초기 온도는 450~510°C로 설정하였다. 해석은 컨덴서 튜브 단면의 대칭성을 고려하여 1/4만 모델링 하였고 Table. 1에 나타낸 해석조건은 직선형, 테이퍼형, 타원형 다이 모두 동일하게 적용하였다.

3. 해석 결과

3.1 하중-스트로크 곡선

Fig. 3은 각각의 포트홀 다이에 대한 하중-스트로크 곡선을 나타낸 것이다. 압출하중의 상승경향은 동일하나 테이퍼형과 타원형이 직선형보다 포트홀이 넓으므로 접합단계의 상승경향이 다소 길게 나타난다. 최대하중은 성형단계 직전에서 테이퍼형과 타원형, 직선형이 각각 21.52, 21.24, 19.72ton으로 나타났다. 이러한 결과는 포트홀 전체의 체적이 커지면서 소재 유입량 많아져 소재와 다이의 마찰저항이 커지고, 또한 테이퍼 부위에서 충전

된 소재에서 응력 집중이 발생하고 약간의 데드메탈이 형성되기 때문이다.

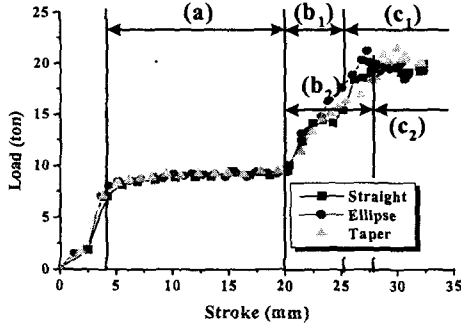
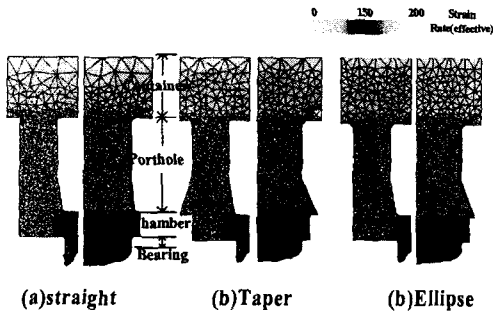


Fig. 3 Extrusion load - stroke curve

Fig. 3에서 (a), (b), (c)는 Fig. 4의 분할, 접합, 성형의 3단계 과정의 각 영역을 나타낸 것이다. 그중 (b1), (c1)은 직선형 다이의 접합·성형단계의 영역을, (b2), (c2)는 테이퍼와 타원형 다이의 접합·성형단계의 영역을 각각 나타낸다. 포트홀 다이 압출의 경우 소재유동에 따라 크게 세 가지 단계로 구분하는데, 초기 빌렛이 포트홀에서 나누어지는 분할 단계(Fig. 4(a)), 분할된 소재가 다시 접합실로 유입되어, 소재유동을 구속하여 서로 합쳐지는 접합단계(Fig. 4(b)), 그리고 맨드릴을 통과 한 후, 다이 베어링 부로 빠져 나와 최종형상을 성형하는 성형단계(Fig. 4(c))로 구분한다. 이후 하중은 정상상태로 접어들어 조금씩 완만하게 감소한다.



(A) Dividing (B) Welding (C) Forming
Fig. 4 Each stage of a porthole die extrusion

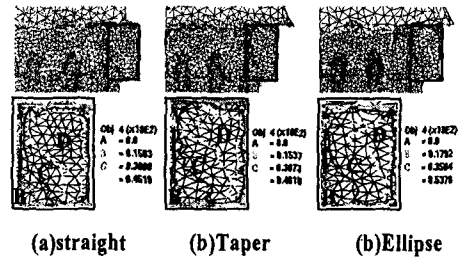


(a)straight (b)Taper (b)Ellipse
Fig. 5 Distribution of strain rate

Fig. 5는 각각의 포트홀 다이에 대해 컨테이너에서 최종 다이 출구로 압출되는 전 과정의 변형도를 변형률 속도분포로 나타낸 것이다. 직선형은 접합실 바닥과 다이 출구부 근처에서 변형률 속도분포가 집중되는 반면, 테이퍼, 타원형은 테이퍼 포트홀 부위에도 변형률 속도분포가 집중됨을 알 수 있다. 이것은 전체적으로 다이에 작용하는 소재의 작용하중을 반경방향으로 작용시키는 역할을 한다.²⁾

3.2 접합압력

Fig. 6(a),(b),(c)는 각각의 포트홀 다이에 대한 접합면의 수직압력 분포를 나타낸 것이다. 유한요소해석에서 소재의 수직압력이 소재의 항복강도 이상이면 양호한 접합압력을 가지는 것으로 판단한다.³⁾



(a)straight (b)Taper (b)Ellipse
Fig. 6 Normal pressure at the welding plane

접합면에서 접합압력은 직선형이 15~45MPa, 테이퍼형이 15~46MPa, 타원형이 17~53MPa로, 타원형이 가장 크게 나타났다. 접합압력은 소재의 유동양상과 밀접한 관련이 있다. 그러나 이 경우, 접합면의 면적이 모두 같고 이미 하중곡선이 안정화된 상태이므로 접합압력의 차이는 그리 크지 않다.

4. 강도 해석

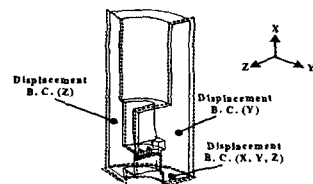


Fig. 7 Boundary condition

강도해석은 구조해석 상용유한요소 해석코드인 Ansys 5.5를 이용하였다. Fig. 7은 강도해석 시 경계조건을 나타낸 것이다. 실제 압출공정을 고려하여 금형의 하단부는 변위가 없는 것으로 가정하여 X, Y, Z축 모두 구속시켰다. 하중 경계조건은 성형해석에서 구한 소재의 성

형압력을 금형의 각 격자점에 부여되는 하중으로 보간하여 해석을 수행하였다.⁴⁾

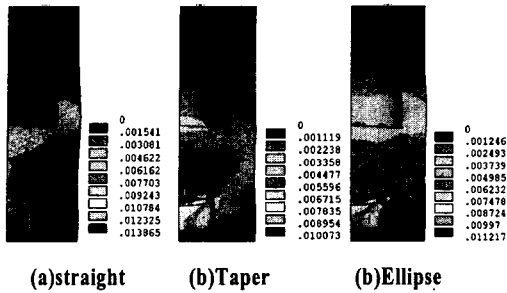


Fig. 8 Distribution of displacement in the porthole die

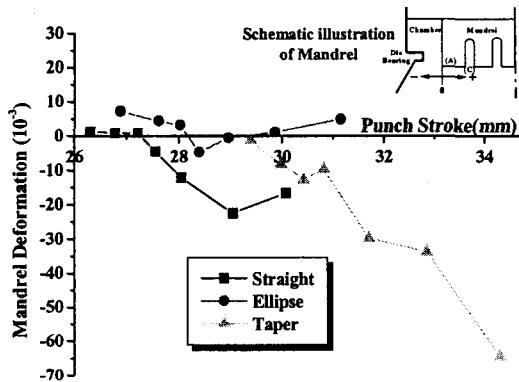


Fig. 9 Displacement of the mandrel

Fig. 8은 Fig. 5의 접합단계에서 강도해석결과, 변위분포를 나타낸 것이다. 최대변위량은 직선, 테이퍼, 타원형 포트홀 다이, 모두 다이 베어링 부위에서, 0.013, 0.01, 0.011mm로 나타났다. 테이퍼형과 타원형이 직선형에 비해 상대적으로 적은 변위량을 나타내었다, 테이퍼형 포트홀 경우, 소재가 테이퍼 부위에 충전되면서 포트홀 내부에 반경방향으로 힘이 상당부분 작용하여 접합실 바닥 및 다이 베어링을 압출 반대방향으로 들어올리는 역할하기 때문에 직선형보다 적은 변위량을 나타내는 것으로 판단된다. Fig. 9는 압출 스트로크에 따른 맨드릴의 변위량을 나타낸 것이다. Fig. 9에서와 같이 맨드릴 양끝이 가운데로 중심을 향할 경우 (+), 반경방향으로 향할 경우 (-)로 하였다. 해석결과는 테이퍼형이 가장 크게 나타났다. 이것은 포트홀과 접합실, 다이 출구부 전체를 하단 모서리에 개구부가 존재하는 실린더 형상으로 가정해보면, 실린더 내부에서 반경방향으로 힘이 커질 때, 실린더는 배럴형상(barrel)으로 변하게 되고 모서리 입구는 좁아지게 된다. 이와 같이 포트홀 다이 압출에서도 포트홀 내 반

경방향의 힘이 증가할 경우, 다이 베어링의 변형은 감소하고, 맨드릴 변형은 입구가 좁아지는 형상을 유지하기 위해 가운데로 향하는 변형을 나타낸다. 이에 반해 타원형인 경우, 반경방향의 힘은 크게 증가시키지 않으면서 맨드릴 양끝 접합면에 닿는 소재의 유동량을 초기에 어느 정도 완화시키는 역할을 하여 맨드릴의 변형을 감소시키는 것으로 판단된다.

5. 결론

이상의 연구에서 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다

- (1) 압출하중은 포트홀 체적이 커질수록 내부 마찰증가와 포트홀 내 데드메탈 생성으로 증가한다.
- (2) 접합면의 접합압력은 포트홀 형상변화에 따른 영향을 크게 받지 않는다.
- (2) 다이 베어링의 탄성변형량은 포트홀 형상이 접합실 반경보다 커질 수록(테이퍼 형, 타원형), 포트홀 내부에 반경방향으로 힘이 작용하여 감소한다.
- (3) 맨드릴 양끝 탄성변형량은 포트홀 형상이 접합실 반경보다 커질 수록(테이퍼 형) 증가한다, 그러나 타원형일 경우, 포트홀 내에서 맨드릴 양끝 방향으로만 힘이 작용하기 때문에 직선형에 비해 맨드릴 양끝 변형은 오히려 감소한다.

참고 문헌

- (1) Inagaki Toshiyuki, Murakami Gatoshi, "Effect of Entry Porthole Shape on Extrusion Pressure and Dimensional Accuracy of Extruded Pipes at Hollow Die Extrusion," Journal of JSTP Vol.42, No.482, 2001.
- (2) Satoshi Murakami, Mistuyuki Isogai, Toshiyuki Inagaki, "Simulation of Rectangular Extruded Pipe by Porthole die," Journal of JSTP, Vol.38, No.435, pp.79-83, 1997.
- (3) Kobayashi S., Oh S. I., Altan. T., "Metal forming and The Finite-Element Method," Oxford Univ. Press. 1989.
- (4) Lee Jung Min, Lee Sang Gon, Kim Byung Min, Jo Hyung Ho, Jo Hoon, "Die Stress and Process Analysis for Condenser Tube Extrusion by using Porthole Die," Proceedings of 2002 Spring Symposium of KSPE, pp. 1030-1033, 2002