

## 포트홀 다이를 이용한 컨덴서 튜브 직접압출 공정해석 및 금형강도 해석

이정민, 이상곤(부산대 대학원 정밀기계공학과), 김병민(부산대 ERC for NSDM),  
조형호, 조훈(한국생산기술원)

### Die stress and Process of Analysis for Condenser Tube Extrusion by using a Porthole Die

J. M. Lee, S. K. Lee(Precision Mech. Eng. Dept., PKU), B. M. Kim(ERC for NSDM, PNU)  
H. H. Jo, H. Jo(KITECH, Incheon)

#### ABSTRACT

In this study, it is important that we have an understanding of the metal flow for manufacturing condenser tube in porthole die extrusion, because this need to provide for household appliances market that is expected to grow into the major market of the cooling system hereafter. Condenser tube is mainly manufactured by conform extrusion. However, this method was not satisfied a series of the needs for manufacturing condenser tube as compared with porthole die extrusion. The deforming skill recently is required high-productivity, high-accuracy and reducing lead-time, thus it is essential to substitute conform extrusion by porthole die extrusion. Porthole die extrusion has many advantages such as improvement of productivity, reduction of production cost etc. In general, the porthole die extrusion process consists of three stages(dividing, welding and forming stages). In order to obtain the detailed mechanics, to assist in the design of proper die shapes and sizes, and to improve the quality of products, porthole die extrusion should be analyzed in as non-steady state as possible during the entire process to evaluate detailed metal flow, temperature distribution, welding pressure and extrusion load, and then stress analysis was practiced to obtain effective stress and elastic deformation value. A analytical results provide useful information the optimal design of the porthole die for condenser tube.

**Key Words** : Porthole die extrusion (포트홀 다이 압출), Non-steady state analysis (비정상상태 해석), Metal flow (금속유동), Welding pressure (접합력), Extrusion load (압출하중), Stress analysis (강도해석)

#### 기호설명

$T_1$  = Thickness of inner shell of condenser tube  
 $T_2$  = Thickness of outer shell of condenser tube  
 $W_1$  = Thickness of inner teeth of mandrel  
 $W_2$  = Thickness of outer teeth of mandrel

#### 1. 서론

국내에서 냉방기용 컨덴서 튜브는 대부분 컨폼 압출(conform extrusion)에 의해 생산되고 있으나,

이는 직접압출(direct extrusion)에 비해 단위시간 당 생산성이 떨어지고 초기 설비투자비가 많이 드는 단점을 가지고 있다. 더욱이 일부 자동차용 컨덴서 튜브의 국산화와 향후 막대한 시장으로 예상되는 가전용 냉방기기 시장에 적절히 대처하기 위해 고생산성, 고정도화 및 리드타임 단축을 실현할 수 있는 성형기술이 필요하다. 그러므로 기존의 컨폼 압출보다 원가적, 품질적인 측면에서 경쟁력 있고 저가, 고품질의 튜브를 생산할 수 있는, 포트홀 다이를 이용한 직접 압출로의 전환이 필수적이다.<sup>(1)</sup>

따라서, 본 연구에서는 다공단면을 가진 포트홀

다이 압출공정에 대해 비정상상태 유한요소 해석을 수행하여, 소재유동 및 가공 소요력, 그리고 접합면에서의 접합압력을 평가하였다. 또한 금형 강도 해석을 수행하여 금형의 응력 분포를 파악하고, 포트홀 압출공정 중 금형의 파손 가능성이 높은 부분을 미리 예측하였다.

## 2. 컨덴서 튜브 직접압출 공정

### 2.1 포트홀 다이 세트 및 소재의 유동

Fig.1에서 보듯이, 컨덴서 튜브는 두께가 0.5mm 이하이고, 단면 내부에 냉매의 유로인 홀(hole)을 가진 형상으로, 냉방기기 제품 특성상 알루미늄, 동(Cu)과 같이 열효율이 우수한 소재를 사용하고, 열효율 향상을 위해 구조적으로 얇은 벽 두께를 가진 다공 단면의 형태로 설계된다.

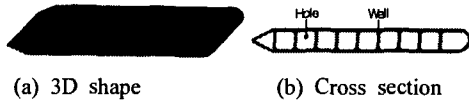


Fig. 1 Condenser Tube

Fig.2는 컨덴서 튜브 직접압출 공정을 위한 포트홀 다이의 구조를 나타내었다. 포트홀 다이는 컨테이너, 포트홀, 맨드릴 및 접합실로 구성되어 있다. 이는 기본적으로 중공압출 포트홀 다이의 구조와 유사하지만 튜브형상을 성형하기 위한 복잡한 하모니카 모양의 맨드릴을 가진 것이 특징이다.

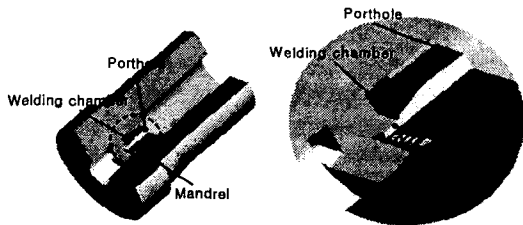
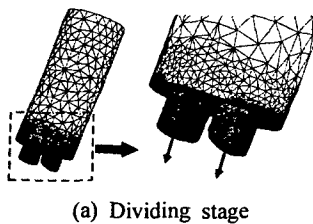


Fig. 2 Structure of Porthole die for condenser tube

컨덴서 튜브 직접압출 공정의 경우 소재유동에 따라 크게 세 가지 단계로 구분하는데, 초기 빌릿이 포트홀에서 나누어지는 분할 단계(Fig.3(a)), 분할된 소재가 다시 접합실로 유입, 소재유동을 구속하여 서로 합쳐지는 접합단계(Fig.3(b)), 그리고 맨드릴을 통과, 다이 베어링 부로 빠져 나와 최종형상을 성형하는 성형단계(Fig.3(c))로 구분한다.<sup>(2)-(4)</sup>



(a) Dividing stage

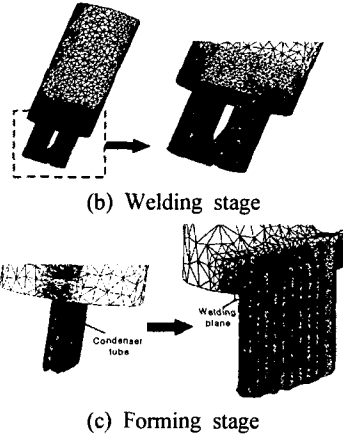


Fig. 3 Each stage of porthole die extrusion

### 2.2 컨덴서 튜브의 압출공정의 유한요소해석

본 연구에서는 가공소요력 및 접합압력, 압출하중을 평가하기 위해 대변형이 취급되는 강소성유한요소해석 코드인 DEFORM 3D를 사용하였다. 해석에 사용된 빌릿은 실제 현장에서 사용하는 A11050을 채택하였고, 컨테이너, 챔버와 펀치는 열간 공구강인 SKD 61을 채택하였다. 전반적인 해석조건은 Table.1에 나타내었다.

해석모델은 컨덴서 튜브 단면의 대칭성을 고려하여 1/2 모델로 하고, AI소재는 열연성 모델로, 그 외 다이 및 펀치 등은 전부 변형을 수반하지 않는 강체로 정의하였다.

Table 1 Extrusion condition for condenser tube

Extrusion conditions		Value
Material of billet		A11050
Material of tools		SKD61
Initial temperature of billet(°C)		550
Initial temperature of tools(°C)		465
Extrusion velocity(mm/s)		833(exit velocity)
Reduction in area(%)	Bridge	75.36
	Exit	93.47
Dimension of billet(mm)		φ 71 × h200
Temperature of environment(°C)		20
Friction factor(m)		0.6

## 3. 유한 요소 해석 및 고찰

### 3.1 접합실 내의 소재유동

Fig.4는 정상상태에서의 접합실 내의 Fig.3(c)의 소재 유동을 압출방향의 단면으로 나타내었다. 접합실로 유입된 소재가 압출 방향으로 구속되면서 반경방향으로 소재의 유동이 거의 발생하지 않는 데드 메탈 영역이 발생하는 것을 볼 수 있다. 특히 접

합면 부근(Fig.4(a),(b))의 반경방향의 양 끝 모서리에 국부적인 데드메탈이 생성되었다. Fig.5는 컨덴서 튜브의 압출 방향의 수직단면인 접합면에서 생성되는 데드메탈의 분포를 나타내었다. 접합면의 양 모서리와 컨덴서 튜브 셀 위 부분에서 데드메탈 영역이 생성됨을 알 수 있다

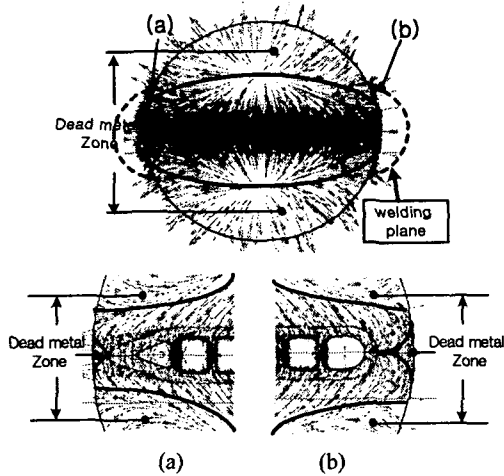


Fig. 4 Distribution of material flow at welding chamber



Fig. 5 Dead metal zone on welding plane

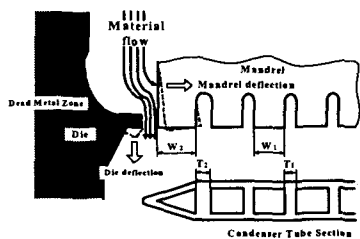


Fig. 6 Maximum deformation die and mandrel

Fig.6은 컨덴서 튜브압출 시 발생하는 일반적인 다이의 변형 및 접합실 내의 소재유동을 가시적으로 표현한 것이다. 접합면의 경우, 셀을 형성하는 부위보다 상대적으로 많은 소재의 양이 접합면에서 반경방향으로 유동한다. 이때 반경방향으로 유동하는 소재를 다시 압출방향으로 유동을 변화시키기 위해, 소재가 맨드릴 치형 양쪽 끝에 접촉하면서 심한 응력이 작용하여 안쪽으로 휘는 변형이 발생한다(Fig. 6 mandrel deflection).

맨드릴 치형이 안쪽으로 휘는 변형은 다이의 파손 및 최종제품 형상의 치수정도에도 크게 영향을 미친다. 따라서 실제 컨덴서 튜브를 위한 포트홀 압출 설계 시에는 맨드릴 및 다이변형을 염두해 두고 설계를 수행하여야 한다. Fig.6과 같이 맨드릴의 치형 폭(W1)을 안쪽 치형 폭(W2)보다 크게 하고, 또한 제품의 첫번째 셀 두께(T2)보다 다른 셀 두께(T1)를 크게 설계함으로써, 맨드릴의 치형부의 강성을 높이고 변형량을 보정할 수 있을 것으로 사료된다.<sup>(1)</sup>

### 3.2 압출하중 및 접합압력

Fig.7은 성형해석결과로 얻은 하중과 스트로크의 곡선이다. (a)는 압출의 초기 단계로 초기 소재가 컨테이너를 채우는 과정이다. (b)는 소재가 브릿지 부에서 분할되어 접합실 바닥에 닿기 직전으로 거의 균일한 하중변화를 나타낸다. (c)는 접합실로 유입된 소재가 접합실 내부를 채우면서 맨드릴과 다이 베어링부에서 접합하는 단계로 하중은 급격히 상승한다. (d)는 완전한 접합 후 소재가 다이 출구부로 빠져나와 최종 컨덴서 튜브 형상을 성형하는 단계로 하중은 정상상태로 접어들어 조금씩 완만하게 감소한다.

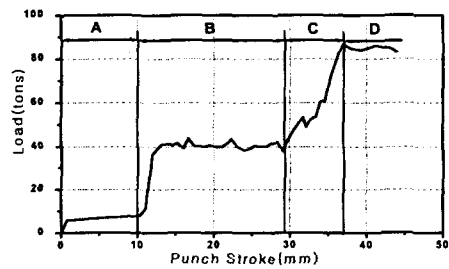


Fig. 7 Stroke-load curve

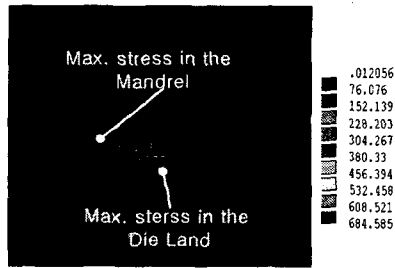
접합면의 접합압력은 맨드릴 양끝 단부에서 약 100 ~ 150MPa의 값을 나타내고 있고, 셀을 형성하는 부위에서의 접합압력은 약 50 ~ 100MPa로 맨드릴 양끝 단부에서의 접합압력보다는 다소 낮은 값을 나타내고 있다. 이것은 맨드릴의 치형 내부보다는 치형 양끝 단부쪽으로 유동하는 소재의 양이 많고 셀을 형성하는 소재의 변형저항이 높기 때문이다.

### 4. 포트홀 다이의 강도 해석

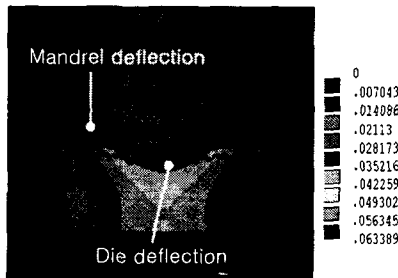
강도해석은 DEFORM 3D해석상에서 소재유동이 정상상태일 때, 소재 성형압력을 포트홀 다이의 유한요소 격자의 각 노드(node)에 작용하중으로 보간하였다. 해석은 구조해석용 상용유한요소 해석코드인 Ansys 5.5를 이용하여 수행하였다.

Fig.8(a)은 금형의 강도해석 결과, 유효응력의 분포를 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 최대응

력은 접합된 소재가 접합실을 빠져 나올 때 다이 랜드 부위에서 발생하는 것을 알 수 있다. 또한 맨드릴의 치형 중 양 끝단의 치형부에서 가장 높은 응력이 발생하는데, 이러한 응력 분포는 접합실의 소재 유동에 기인하는 것으로 실제 금형 베어링부 및 맨드릴 치형 양 끝 단에서 금형의 파손 및 변형이 발생할 가능성이 가장 높음을 예상할 수 있다.



(a) Distribution of von-mises stress in the die



(b) Distribution of displacement in the die

Fig. 8 Result of stress analysis in the die

Fig.8(b)는 금형의 탄성 변형량을 나타내었다. 소재가 빠져 나오는 금형의 랜드부와 맨드릴 양 끝단부에서 최대 탄성 변형량이 나타났다. Fig.8에서 보듯이 접합실로 유입된 소재유동이 반경방향으로 바뀌면서 맨드릴 치형부에 닿게 되고, 다시 소재는 반경방향으로 구속되어 금형의 랜드부로 빠져 나간다. 이 때 맨드릴 양 끝단에 유입되는 소재의 양이 셀을 형성하는 부위보다 많으므로 상대적으로 맨드릴 양 끝단의 치형부에 높은 압력이 걸리고 탄성 변형량도 높아지게 된다.

이러한 치형의 변형은 최종제품의 치수 정도에 영향을 미치고, 금형의 파손을 불러올 수 있다. 특히 이러한 결과는 금형 설계 시 중요하게 고려해야 할 사항이다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 컨덴서 튜브의 직접압출을 위한 포트홀다이 압출의 비정상상태 유한요소해석을 수행하여, 가공소요력, 소재유동, 접합압력 등을 평가

하였다. 또한 포트홀 다이의 강도 해석을 수행하여 응력분포와 탄성변형량을 평가하였다. 이상의 연구 결과 다음의 결론을 도출할 수 있었다.

(1)컨덴서 튜브 직접압출 공정 시, 압출 하중은 크게 ①빌렛이 컨테이너를 채우는 단계, ②빌렛이 포트홀로 유입되는 단계③빌렛이 접합실을 채우며 접합되는 단계④다이랜드 부를 빠져나오며 튜브를 성형하는 단계로 나눌 수 있다.

(2)접합실에서의 소재유동의 경우 다이 랜드 부에서 변형저항이 가장 크게 나타났고, 맨드릴의 치형부 양 끝단에서는 셀을 형성하는 치형부 보다 상대적으로 많은 소재의 유동이 있음을 알 수 있다.

(4)접합면의 접합압력은 맨드릴 치형 양 끝단 부가 치형내부에서 발생하는 접합압력보다 다소 높게 나타났다.

(3)금형의 강도해석 결과, 다이 랜드부에서 탄성 변형량이 가장 크게 나타났고, 맨드릴 치형 중에서는 양 끝단의 치형이 탄성변형량이 가장 큰 것으로 나타났다. 이는 맨드릴 치형 양 끝단부에 소재의 유동량이 많기 때문이다.

(5)이상의 연구를 통하여 컨덴서 튜브 직접압출을 위한 포트홀 다이 및 맨드릴의 설계에 기초가 되는 데이터를 확보 할 수 있었으며, 향후 지속될 연구에 많은 도움이 되리라 사료된다

#### 후기

본 연구는 부산대학교 정밀정형 및 금형가공 연구센터를 통한 한국과학재단의 우수연구 센터의 지원금에 의한 것입니다..

#### 참고문헌

1. Kojima, F, Takenouchi, S, Kobayashi, H, "熱交換器における塑性加功技術の動向," Journal of JSTP, Vol. 42, No. 488, pp 2-6. 2001.
2. Murakami, S, Isogai, M, Inagaki, T, Takatsuji, N, Tokizawa, M, Murotani, K, "Simulation of Retangular Extruded Pipes by porthole Die," Journal of the JSTP, Vol. 38, No. 36, pp. 517-521, 1997.
3. Murakami, T, Xie, J, Takahashi, H, "Multi-Billet Extrusion and Load in Forming of Circular Tube from Four Billets," Journal of the JSTP, Vol. 31, No. 351, pp. 495-501, 1990.
4. 조형호, 이상근, 이선봉, 김병민, "포트홀 다이 압출방식에 의한 A17003 튜브의 접합강도예측," 한국정밀공학회지, 제18권, 제7호, pp. 179-185, 2001.