

CAE 를 이용한 컨덴서 튜브의 직접압출공정 해석 및 튜브 건전성 평가

배재호* · 이정민* · 김병민** · 조형호*** · 김장현**** · 조오제****

Extrusion Process Analysis and Evaluation of Integrity for Condenser Tube by Using CAE

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

Abstract

This paper describes the analysis of extrusion process and integrity for the condenser tube which is component of the heat exchanger in automobile and air conditioning apparatus. As development of the analysis method using computer, recently, It have been applied to the 3-dimensional hot extrusion process with complex section area of the non-steady statement and then results of the analysis have been applied to optimal die design and process design. As the result, this paper confirmed that used extrusion die of the research is satisfactorily designed to dimensional accuracy. And the stress point of view, condenser tube confirmed that it was influenced by the flow pressure of alternative regrigerants.

Key Words : Condenser Tube, Extrusion Process, Welding Pressure, Finite Element Method, Computational Fluid Dynamics

1. 서 론

CFC 계 및 HCFC 계 냉매가 성층권의 오존층 파괴의 주요 원인 물질로 밝혀짐에 따라 세계 각국은 새로운 대체냉매를 개발하여 적용 중에 있다. 현재까지 개발되어 사용되고 있는 신 냉매로는 R-134a, R-404, R-410a 등이 있으며 자동차용 냉동공조기의 신냉매로는 R-134a 를 사용하고 있다. 향후 보다 우수한 CO₂ 계열의 신냉매가 개발중에 있다. 이처럼 새로운 신냉매가 적용됨에 따라 열전달율, 압력손실 등의 유체특성향상과 응축 효율의 극대화에 부흥할 수 있는 부품설계와 소재 개발이 필요하게 되었다.

따라서 본연구에서는 금형설계부터 컨덴서 튜

브의 사용단계까지 각각의 공정마다 CAE 기법을 적용하여 검토하여 보았다. 이는 설계자가 시행착오 없이 어느 단계에서든지 피드백 하여 재설계를 할 수 있게 하여준다. Fig. 1 에 본 연구의 개략도를 나타내었다. 먼저 컨덴서 튜브의 직접압출공정에 대한 강소성 유한요소 해석을 수행하여 소재유동 및 접합압력등을 평가함과 동시에 금형 강도해석의 데이터를 확보하였다. 그리고 강도해석을 통하여 맨드렐 및 다이 랜드부의 탄성변형량과 응력분포를 확인하여 제작된 금형의 강성 설계적인 면을 검토하였다. 그 다음 압출공정 후 예측되는 튜브의 형상 및 치수를 결정한다음 CFD 해석과정을 거쳐 튜브홀 내부의 유동 및 내부압력 분포를 각 위치마다 확인하였으며

* 부산대학교 정밀기계공학과

** 부산대학교 기계공학부

*** 생산기술연구원

**** ㈜ 유창금속

최종적으로 이들 유동압력을 튜브 강도해석의 데이터로 활용하여 강도적 측면에서의 건전성을 평가하였다.

이러한 일련의 연구과정은 설계자가 금형설계 및 다이 제작의 시행착오나 시작품의 가공시간, 제작비 등을 최소화 할 수 있으며 더 나아가 생산공정의 단축 및 제품의 질적 향상에 많은 기여를 할 것으로 사료된다.

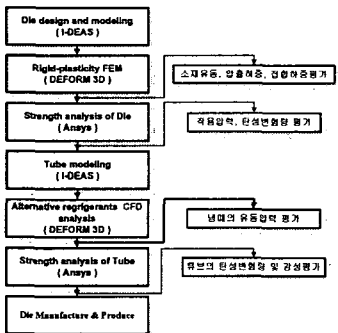


Fig. 1 A diagram showing a series of CAE analysis for condenser tube

2. 컨덴서 튜브의 직접압출공정 해석

2.1 다이 형상 및 강소성 유한요소 해석

Fig. 2 은 본 연구에서 목표로 하는 컨덴서 튜브의 단면형상을 나타낸 것이다. 단면은 10 홀을 가지며 홀사이의 벽두께는 0.35mm, 양단 끝의 벽두께는 0.5mm 이다. 열교환기형 부품의 특성상 알루미늄과 같이 열효율이 우수한 소재를 주로 사용하며 구조적으로 박막다공의 형태로 설계된다. 금형은 중공형의 단면제품을 압출 성형하기 위해 포트홀 방식을 채택하였다. Fig. 3 은 포트홀 다이의 구조를 나타낸다.

직접압출공정을 위한 해석 모델은 크게 초기 빌렛이 삽입되는 컨테이너, 컨테이너 바닥을 구성하고 포트홀 다이를 삽입하는 다이 홀더, 압출 방향의 강도를 유지하는 베커 그리고 맨드릴 등으로 구성이 되어있다. 모델의 대칭성을 고려하여 1/4 단면만을 취하였다. 빌렛과 금형의 재료는 각각 A11100, AISI H13(STD61)을 사용하였다. 성형해석 시, 빌렛은 열연성 모델로, 금형은 전부 변형을 수반하지 않는 강체로 설정하였다. Table 1 에 전반적인 해석 조건을 나타내었다.

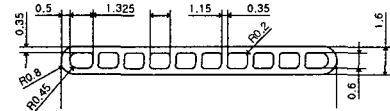


Fig. 2 Section of condenser tube

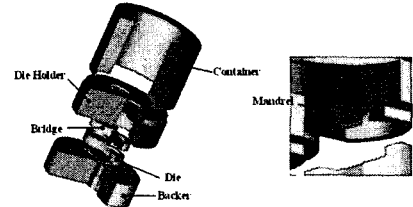


Fig. 3 Porthole die

Table. 1 Condition of DEFORM simulation

| Extrusion condition | value |
|-------------------------------|-----------------|
| Material of billet | A11100 |
| Material of tools | STD61 |
| Ram speed | 4 mm/s |
| Initial Temperature of tools | 420 °C |
| Initial Temperature of billet | 450 °C |
| Friction factor (m) | 0.6 |
| Dimension of billet | φ 152 x h150 mm |
| Temp. of environment | 20 °C |

2.2 직접압출 공정해석 결과

2.2.1 빌렛 유동 및 압출하중

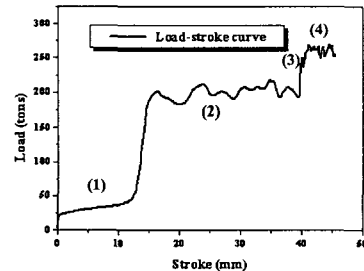


Fig. 4 Load-stroke curve

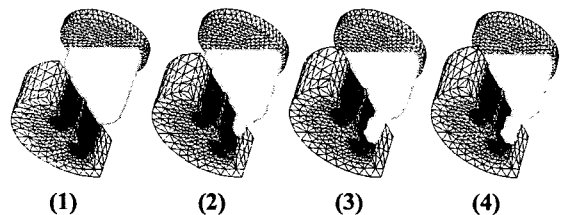


Fig. 5 Metal flow according to various of stroke

Fig. 4 은 직접압출공정해석결과 나타나는 하중-스트로크 곡선이다. 포트홀 다이의 압출과정은 (1) 빌렛이 컨테이너에서 업세팅되는 단계, (2) 빌렛이 브릿지 부에서 분할되어 포트홀로 유입되는 단계, (3) 분할된 빌렛이 접합실 내부를 채워나가며 접합하는 단계, 그리고 (4) 맨드렐을 통과하여 다이 베어링을 빠져나오면서 최종단면 형상을 성형하는 단계로 크게 구분할 수 있다. 컨테이너 튜브의 압출시 소요되는 하중은 약 300ton 정도임을 알 수 있다. Fig.5 에 각 단계에서의 빌렛의 변형과정을 나타내었다.

2.2.2 접합단계의 유동 및 접합하중

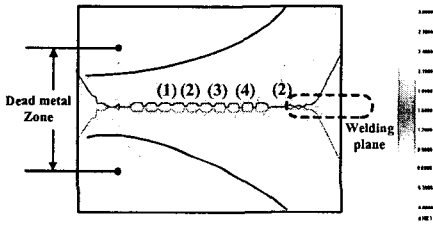


Fig. 6 Metal flow in chamber



Fig. 7 Normal Pressure

Fig. 6 은 챔버 바닥에서 빌렛의 속도 분포와 맨드렐의 충전과정을 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 속도 분포가 고르며 소재의 유동이 원활함을 알 수 있다. 그러나 챔버 바닥이나 포트홀 형상의 비 대칭성으로 인해 데드메탈 영역이 챔버 바닥 좌측의 아래위 끝단면에 형성되었고 맨드렐을 충전하는 과정이 고르지 못하다. 챔버에 충전된 빌렛은 왼쪽끝의 맨드렐을 가장 먼저 충전하게 되고, 치형은 충전된 빌렛의 유동을 제한시켜 밸런스를 맞추게 된다. 그림에 맨드렐 치형을 충전하는 순서를 표시하였다.

포트홀 금형의 압출성형에서 접합상태의 평가는 고려되는 중요한 사항이다. 접합단계에서 접합면상의 수직압력을 Fig. 7 에 나타내었다. 유한

요소 해석에서 접합압력은 소재의 항복강도와 비교하여 판단한다. 맨드렐 양끝단에서 최종출구부의 접합압력은 53~80Mpa 나타났으며 그 이외의 부근에서는 80~93Mpa, 그리고 각 치형부위에선 53Mpa 로 충분한 항복강도 이상의 접합압력을 나타내었다. 따라서 본 압출공정 해석의 결과들을 고려하여 볼 때 생산되는 컨테이너 튜브의 건정성은 전반적으로 양호함을 알 수 있다.

3. 포트홀 다이 강도해석

3.1 강도해석 결과

강도해석 결과 다이의 변형량은 포트홀 입구 부위에서 0.062mm 로 가장 크게 나타났다. 빌렛이 분할하는 과정에서 발생하는 압력으로 인한 금형의 구조적인 변형이며 이는 맨드렐의 deflection 을 유발하는 한 원인이 된다. Fig. 8 에 컨테이너 튜브의 치수정밀도에 가장 영향을 미치는 맨드렐 부위의 탄성변형량을 x,y 축으로 분할하여 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 Y 방향으로서는 맨드렐 중간부위로 0.0036mm 아래방향으로 변형이 발생하였다. 그리고 X 축방향은 앞서의 유동해석에서 예측되었듯이 맨드렐은 전체적으로 오른쪽으로 변형이 되었으며 오른쪽 끝 부위의 치형의 최대 변형량은 0.01mm 이다. 최대 유효응력은 다이 출구부 챔버 왼쪽 끝단 부위에서 481Mpa 로 나타났으며 이는 STD61 금형강의 항복강도 (1650Mpa) 이하이다. 따라서 본 연구에서 설계된 금형의 경우 강도적인 측면에서 매우 양호하게 설계되었음을 알 수 있다.

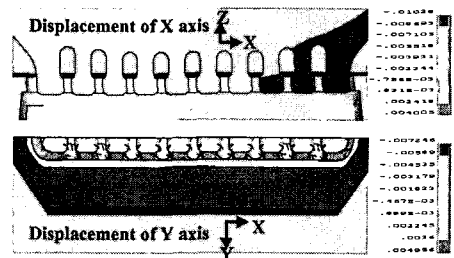


Fig. 8 Distribution of displacement

4. 컨테이너 튜브의 CFD 해석

4.1 CFD 해석과 컨덴서 튜브 강도해석

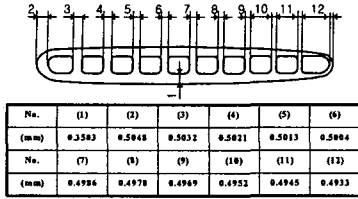


Fig. 9 Dimension of condenser tube

Fig. 9 은 이전의 직접압출 공정 및 금형강도해석을 고려하여 예측되는 튜브 제품의 단면치수를 나타내었다. 튜브의 전체 길이는 15mm 이며 직선형으로 모델링 하였다.

CFD 해석에 사용되는 신냉매는 자동차용 중압 냉매로 현재 적용중인 HFC-134a 를 사용하였다. 해석에서 냉매는 비압축성 유체로, 유동은 층류 유동으로 가정하였다. 그리고 홀내부의 벽면에는 슬립이 없으며, 튜브 입구에 100mm/s 의 유체속도를 부여하였고 출구에는 압력을 0 으로 설정하였다. Fig. 10 에 신냉매의 CFD 해석결과 및 강도해석 결과를 나타내었다.

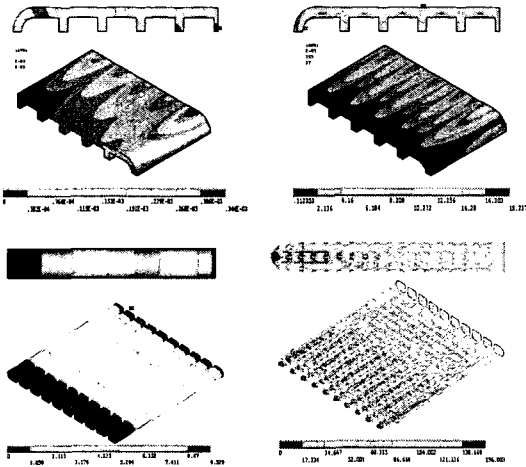


Fig. 10 Results of CFD simulation

신냉매의 속도 분포는 각 홀의 중앙 부위에서 최대유속 156mm/s 을 나타내었고 유동압력은 입구 부근에서 최대압력 9.520Mpa 로 확인되었다. 그리고 컨덴서 튜브의 탄성변형량은 컨덴서 튜브 양 끝 지점에서 0.0344mm, 같은 지점에서 유효응

력값은 18.322Mpa 로 양호하게 나타났다.

5. 결론

이상의 연구를 통하여 다음과 같은 연구 결과를 도출하였다.

(1) 직접압출공정 해석결과, 가공소요력은 약 280ton 으로 나타났고 포트홀 및 챔버바닥면의 비 대칭성으로 접합실 내부에 불균일한 소재유동이 발생되는 것을 알 수 있었다.

(2) 접합단계에의 빌렛의 충전순서는 맨드릴 왼쪽 끝단부터 먼저 접합하였고 이후에 다른 부위의 치형을 충전하였다.

(3) 접합면에서의 접합압력 분포를 검토한 결과 소재의 항복강도 이상의 충분한 수직압력 분포를 나타내었다.

(4) 금형의 강도해석을 통하여 다이의 최대 변형량은 0.062mm 맨드릴의 변형량은 최대 0.01mm 로 나타났으며 유효응력분포를 확인하여 본 연구에서 사용된 금형은 강도적인 측면에서 적절하게 설계되었음을 확인하였다.

(5) HFC-134a 냉매의 CFD 해석을 통하여 튜브의 탄성변형량이나 응력분포는 강도적으로 양호한 결과를 확인할 수 있었다.

참고 문헌

- (1) Kurt Laue, Helmut Stenger, "Extrusion", American Society for Metals, 1976.
- (2) Xie Jianxin, Murakami Tasadu and Takahasi Hiroo, "Metal flow in the forming of Hollow Cylinder by Four-Billet Extrusion, " Journal of the JSPT, Vol. 31, No. 351, 1990
- (3) Jo hyung Ho, Lee Sang Gon, Lee Sun Bong, Kim Byung Min, "Prediction of Welding Pressure in the Non Steady State Porthole Die Al7009 Tubes, "Journal of the KSPE, Vol. 18, No. 7, pp.179-185, 2001.
- (4) 이정민, 김병민, 정영득, 조훈, 조형호, "접합실 바닥형상이 컨덴서 튜브 직접압출 공정 및 금형탄성변형에 미치는 영향," 한국정밀공학회지, 제 20 권, 제 5 호, pp. 66-72, 2003.