

## 압출공정 및 제품 향상을 위한 유한요소 해석기법의 적용

배재호\*, 이정민(부산대 대학원 정밀기계공학과), 김병민(부산대 기계공학부)

FEM Method Application for Extrusion process and Product improvement

J. H. Bae, J. M. Lee(Precision Mech. Eng. Dept. PNU), B. M. Kim(Mechanical Eng. Dept., PNU)

### ABSTRACT

It have been proceeded that research of analysis of extrusion process using porthole die. recently it is performed partly through the finite element method in the non steady state that design variables. The subject of this research is integrity improvement of speaker body which is being produced by porthole die extrusion in my country. Extrusion load of speaker case, and welding pressure of billet in the chamber are estimated by the means of rigid-plasticity finite element method. And then extrusion of trial was performed to estimate the validity of FE analysis.

**Key Words** : Speaker body (스피커 바디), FEM (유한요소해석), Extrusion Load (압출하중), Welding pressure (접합압력), Welding line (웰딩라인)

### 1. 서론

일반 가정용 홈시어터 스피커 바디의 경우 제품 특성상 다이 마크(Die mark)나 웨이브(Wave), 스톱 마크(Stop mark), 웰드 라인(Weld line) 등과 같은 압출재의 표면결함 발생에 특히 주의가 요구된다. 이는 표면처리 후 결함발생 부위에서 부식발생이 높아 제품외관에 치명적인 손상을 가져올 수 있기 때문이다. 스피커 바디의 형상은 내부에 나사삽입용 보스가 있는 중공형으로 일반적으로 포트홀 다이 압출법을 사용한다.

포트홀 다이 압출은 스템에 맨드릴을 가진 재래식 방법으로는 생산하기 어려운 복잡한 단면을 가진 생산품의 경우에 큰 장점을 가지고 있으며 맨드릴의 길이에 상관없이 길이가 긴 제품을 연속적으로 생산할 수 있다. 포트홀 다이 내부의 소재유동은 매우 복잡하며 내부유동을 정확히 파악하지 않고 설계를 한다면 제품의 품질저하나 금형의 수명단축을 야기한다. 지금까지 산업체에서는 복잡한 다이 어셈블리와 빌렛유동의 복잡성 때문에 다이의 설계는 실험이나 전문 설계자의 경험에 의한 방식이 대부분이었다. 포트홀 압출에 있어서 가장 핵심적인 부분은 챔버안에서 이웃한 소재끼리 합쳐질 때 발생하는 접합면의 접합 압력이다. 접합면의 접

합강도는 제품의 기계적 성질 및 접합부 상태에 절대적인 영향을 끼치게 된다. 압출제품의 접합면의 접합압력에 영향을 미치는 인자들은 빌렛온도, 압출속도, 포트홀의 형상 및 개수, 포트홀의 길이, 챔버의 형상, 베어링길이, 압출비 등 다양한 조건들로 나타낼 수 있다.<sup>1)</sup>

포트홀 다이를 이용한 압출공정 해석에 대한 연구는 많이 진행되어 왔으며 근래에는 비정상상태의 유한요소 해석을 통하여 압출비, 베어링 길이, 다이 반각, 홀 개수, 접합실 높이, 챔버 형상 등의 설계변수나 초기 빌렛온도, 압출속도 등의 공정변수에 따른 소재유동이나 금형의 변형예측까지 일부 수행되고 있다.<sup>2~3)</sup>

따라서 본 논문에서는 웰드라인(Weldig line) 및 표면결함 등의 문제점을 가지고 있는 알루미늄 스피커 바디 압출재에 대하여, 압출공정개선 및 제품 성능 향상에 관한 연구를 수행하였다. 연구는 기존 다이의 재설계를 수행하고 각각의 다이에 대한 비정상상태 유한요소해석을 수행하였다. 그리고 가공 소요력 및 접합압력등의 해석 결과를 확인하였다. 그리고 결과를 기초로 다이의 제작과 시압출을 통하여 압출재의 성능향상 및 본 해석기법 적용의 유효성을 검증하였다.

## 2. 유한요소해석

### 2.1 압출 다이의 재설계

Fig.1(a)에 기존 다이의 형상을 나타내었다. 본 연구대상인 스피커 바디는 단면이 그림과 같은 중공형상으로 두께는 1.6 mm로 일정하다.

기존 다이에서 시압출된 스피커 바디의 경우 각 웰딩부에 뚜렷한 웰딩라인(Welding line)이 형성되었으며 표면에 결정립 조대화와 같은 현상이 나타났다. 웰딩라인은 포트홀 다이를 이용한 압출공정시 접합실 내부의 압력이 낮아 소재간의 접합이 불완전한 것이며 이는 크랙 발생 및 산화계재물 유입 등의 원인이 된다. 그리고 결정립 조대화는 알루미늄의 낮은 용융점으로 인해 주로 발생하는데 변형량이 국부적으로 많을 시 온도상승으로 인해 빌렛의 표면에 나타난다.

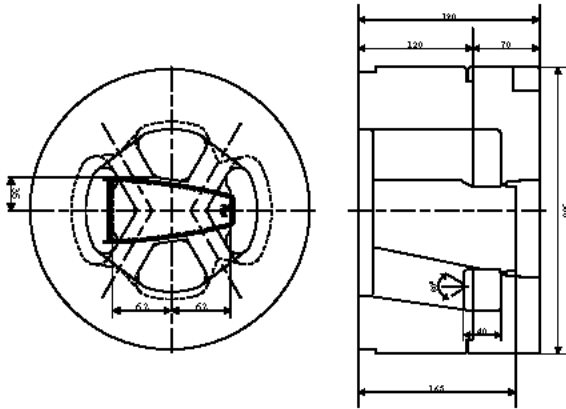


Fig. 1(a) Constructions of existing die set

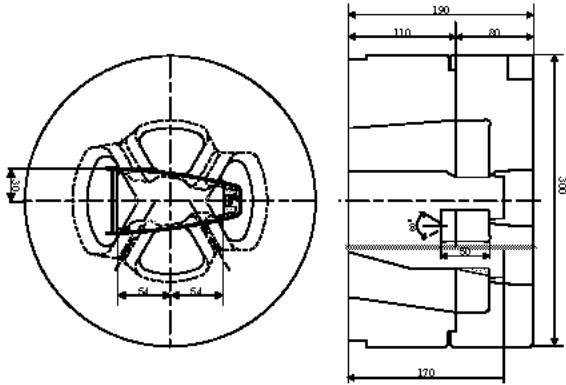


Fig. 1(b) Constructions of redesigned die set

Fig. 1 Constructions of porthole die set for speaker body

따라서 재설계의 경우 포트홀 내부의 소재유동을 균일하게 유지하고 접합강도를 향상시키는 방향으로 진행되었다. 재설계된 다이의 치수와 형상은 Fig. 1(b)에 나타내었다.

우선 브릿지 상단의 단차를 없애고 포트홀 외경

원 장축의 길이를 180 mm에서 170 mm로 줄였다. 빌렛의 외경( $\phi$  175 mm)보다 작은 포트홀 입구 외경은 컨테이너 부의 데드메탈 영역을 발생시켜 빌렛 표면의 이물질 유입 가능성을 줄일 수 있다. 그리고 소재 분리시간을 최소화하고 접합성을 개선하기 위해 포트홀 사이의 간격을 그림과 같이 각각 줄였다. 아울러 접합실의 높이를 40 mm에서 50mm로 증가시켜 접합면의 전체적인 면적을 넓혔다.

### 2.2 포트홀 다이 압출공정 해석

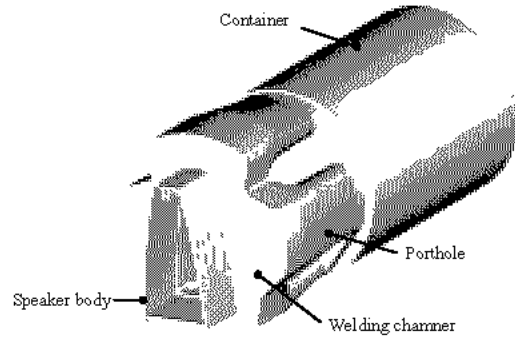


Fig. 2 Billet geometry associated with the porthole die

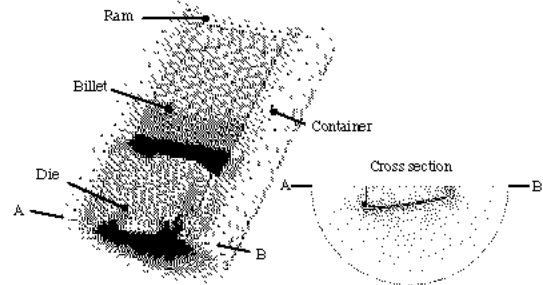


Fig. 3 Initial meshes of the billet, container, die and ram and cross-section of die bearing

Fig. 2 는 포트홀 다이 내부에서 성형되는 빌렛의 형상을 나타낸 것이다. 그림과 같이 4 개의 포트홀을 통해 나뉘어진 빌렛은 접합실 내부를 채운 후 다시 접합하면서 다이 내부를 빠져나오게 된다.

3 차원 열간 압출공정 해석을 위한 유한요소 격자를 Fig. 3 에 나타내었다. 해석시간을 줄이기 위해 격자를 밀도를 달리하여 변형이 많을 것으로 예상되는 부위에만 상대적으로 많은 격자를 생성하였다.

Table 1 에 FEM 해석을 위한 공정조건을 나타내었다. 압출공구인 다이, 컨테이너와 스템의 재료는 AISI H-13(std61)을 사용하였다. 빌렛은 실 공정과 동일한 Al6061 을 사용하였다. 빌렛은 열연성 재료로 그리고 공구는 모두 탄성 변형을 무시한 강체로 설정하였다. 그리고 DEFORM3D 코드 패키지에 포

함된 온도와 변형률 속도의 함수로 유동응력식을 적용하였다. 빌렛과 각 공구의 3 차원 모델링은 I-DEAS9 를 사용하였다. 해석은 빌렛이 접합실 내부에서 접합하는 단계까지 수행하였다.

Table 1. FEM simulation data for Porthole die extrusion.

Extrusion condition	value
Material of billet	Al6061
Material of tools	AISI H13(STD61)
Ram speed	4 mm/s
Initial Temperature of tools	430 °C
Initial Temperature of billet	460 °C
Friction factor (m)	0.6
Dimension of billet	φ 175 x h250 mm
Reduction in area (%)	94.56

### 2.3 압출공정 해석 결과

Fig. 4 는 앞선 압출공정 해석 결과로 나타난 압출하중-스트로크 곡선을 나타낸 것이다. 두 가지 경우 모두 램 스트로크에 따라 동일한 하중상승 곡선을 나타내나 재설계된 다이의 경우 가공소요력이 50tons 정도 더 높음을 알 수 있다. 특히 초반 업세팅 공정의 스트로크가 짧은 데 이는 단차가 없으며 빠른 분할로 인한 하중의 상승으로 사료된다. 그리고 챔버 내부에서 접합시 빠른 하중 상승을 나타내는데 기존의 다이 경우 더 급격한 상승폭을 나타냄을 알 수 있다. 따라서 변형량이 많은 빌렛의 베어링부위 등의 열발생이 더 많이 일어날 것으로 사료된다.

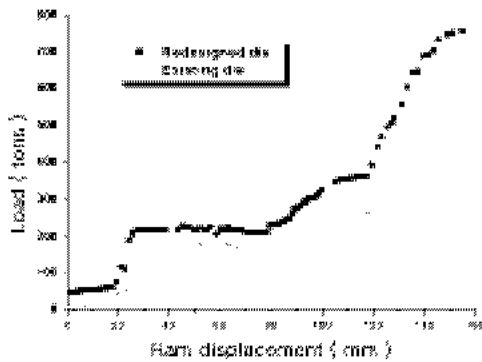


Fig. 4 Block diagram of multi-modal chatter model

포트홀 다이의 압출성형에서 접합상태의 평가는 고려되는 중요한 사항으로 접합시 높은 접합강도는 접합면의 조직을 치밀하게 하여 웰딩라인 등 압출재 결합 가능성을 줄일 수 있다. 유한요소 해석의 경우 접합면의 수직압력을 소재의 항복강도와 비교하여 접합성을 판단한다.<sup>5-6)</sup> Fig. 5 에 접합면의 수

직압력을 나타내었다.

기존다이의 경우 접합면에서 항복강도(52.2 Mpa) 의 1.27~1.91 배, 재설계된 다이의 경우 항복강도의 1.27~2.54 배로 설계 변경 후의 접합압력이 상승하였음을 알 수 있다. 이는 상대적으로 재설계 다이의 접합면적이 크므로 늘어난 면적 만큼 소재의 압력 또한 증가하였기 때문이다. 따라서 수정된 다이의 스피커 바디의 경우 접합성은 기존 다이 보다 양호하다고 판단된다.



Fig. 5(a) Existing die Fig. 5(b) Redesigned die  
Fig. 5 Normal pressure

## 3. 스피커 바디 시압출

### 3.1 실험과정

설계 변경된 다이를 제작하여 압출실험을 수행하였다. 압출에 사용된 장비는 수평식 단동압출기로 최대 용량은 1800 ton 이다. 압출기에는 예열된 빌렛 외 컨테이너에도 가열 장치가 있으며 상시 일정 온도를 유지하기 위해 등은 압출 시스템 (Isothermal Extrusion System)을 갖추고 있다. 실험에 사용된 소재는 Alcan 사에서 제조된 Al6061 빌렛을 사용하였으며 열간압출공정 해석 시와 동일한 공정 조건을 사용하였다.

### 3.2 스피커 바디 성능 평가



Fig. 6(a) Cross-section Fig. 6(b) Surface of product  
Fig. 6 The extruded speaker bodies in existing die and redesigned die

Fig. 6 은 압출된 스피커 바디의 외관 형상을 나타내었다. 제품 치수 측정결과 두 다이에서 모두 일반공차(±0.2 mm) 범위 이내의 양호한 치수정밀도를 가진 스피커 바디 압출체를 얻을 수 있었다. 그

리고 육안관찰 결과 표면 상태는 재설계된 다이의 경우에서 웰딩라인이 보이지 않는 만족한 상태를 나타내었다.

굴곡이 없는 스피커 바디의 바닥면만을 채취하여 표면 조도측정을 수행한 결과를 Fig. 7에 나타내었다. 수정 다이의 경우 Ra(평균거칠기) 값은 이전 다이의 2.29에서 1.27로 매우 향상되었음을 알 수 있다. 또한 접합부 및 표면상태의 세밀한 관찰을 위해 조직촬영을 수행한 결과를 Fig. 8에 나타내었다. 사진에서 관찰되는 것과 같이, 재설계된 다이에서 압출된 제품의 표면에서 보다 결정립이 미세한 것을 알 수 있으며 웰딩라인의 골(Valley)은 기존 다이의 경우처럼 깊게 나타났지 않았다. 일반적으로 공정 후 압출방향으로 변형된 Grain 들은 내부에서 아결정 성장을 하지만 다이 설계가 적절하지 못한 경우 많은 변형 및 열발생을 야기하며 결정립 영역을 벗어나 성장한 결정립들은 인장강도 및 피로강도 등의 기계적 성질을 저하시킨다. 그리고 접합압력이 충분치 못해 접합면의 조직이 치밀하지 못한 경우 그 부위의 크랙 및 강도적인 문제를 가질 수 있다. 따라서 본 압출시험결과 재설계된 다이에서 생산된 스피커 바디의 제품 성능이 전반적으로 향상되었음을 알 수 있다.

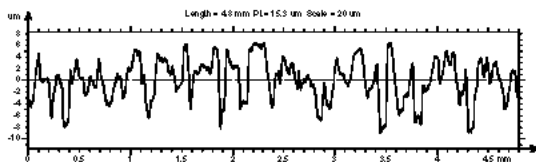


Fig. 7(a) existing die

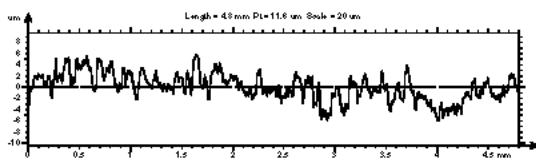


Fig. 7(b) Redesigned die

Fig. 7 Roughness profile of extruded speaker bodies

Fig. 8(a) Existing die      Fig. 8(b) Redesigned die  
Fig. 8 Microstructures of welding area (x100)

#### 4. 결론

본 연구에서는 홈시어터 스피커 바디의 제품 향상을 위해 FEM 해석을 수행하여 가공소요력, 접합압력등을 확인하였다. 그리고 압출실험을 수행하여 해석결과와의 타당성 및 제품의 기계적 특성을 평가하였다. 이상의 연구 과정에서 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 적접압출 공정 해석 결과 재설계된 다이의 경우 가공소요력이 50tons 정도 더 높음을 알 수 있다

(2) 수정된 스피커 바디의 접합압력을 확인한 결과 항복강도의 1.27~2.54 배로 접합압력이 기존의 다이보다 상승하였음을 알 수 있다.

(3) 재설계된 다이의 압출시험 결과 결정립 조대화 및 깊은 웰딩라인등의 압출재 결함이 없으며 표면 조도 역시 매우 향상된 스피커 바디를 얻을 수 있었다.

(4) 제품 성능향상을 위한 FEM 해석 기법의 타당성을 입증하였으며 또한 이러한 개발과정을 통해 압출다이 설계 및, 수정작업의 감소, 그리고 압출재의 향상에 기여하였다.

#### 참고문헌

1. H. Takahasi, T. Murakami, J.X. Xie, "Multi-Billet Extrusion and Forming of Circular Pipe from Four Billets", Advanced Technology of Plasticity of Plasticity, Vol. 1, pp 323-328, 1990
2. J. Xie, T. Murakami, H. Takahashi, "Measurement of Pressure Distribution on Forming of Pipe by Four Billets Extrusion", Journal of the JSPT, Vol. 31, No. 359, pp 1469-1474, 1990
3. T. Yoneyama, K. Takatsuka, M. Kitagawa, Y. Hatamura, "Measurement of the Contact Pressure in Aluminum Hot Extrusion", Journal of the JSPT, Vol. 36, No. 419, pp 1397-1402, 1995
4. K. Ikeda, J.X. Xie, T. Murakami, K. Kakaku, H. Takahashi, "Welding state of 7475 aluminum alloy pipes formed by hot multi-billet extrusion method", Journal of Japan Institute of Light Metals, Vol. 43, No.2 pp 76-81, 1993
5. H. H. Jo, J. M. Lee, S. B. Lee and B. M. Kim, "Prediction of welding pressure in the non steady state porthole die extrusion of Al7003 tubes," International Journal of the KSTP Vol. 4, No.3. may 2003.
6. 이정민, 김병민, 정영득, 조훈, 조형호, "접합실 바닥형상이 컨테이너 튜브 직접압출 공정 및 금형 탄성변형에 미치는 영향," 한국정밀공학회지, 제 20 권, 제 5 호, pp. 66-72, 2003.