

# A6082소재의 압출 한계도 작성 및 서스펜션 암의 최적 압출 조건 설정 Framing The Extrusion Limit Diagram of A6082 & Setting up The Optimistic Extrusion Conditions of Suspension Arm

\*조영준<sup>1</sup>, 차승훈<sup>2</sup>, 이상근<sup>3</sup>, 오개희<sup>4</sup>, 박상우<sup>5</sup>, #김병민<sup>6</sup>

\*Y. J. Joe<sup>1</sup>, S. H. Cha<sup>2</sup>, S. K. Lee<sup>3</sup>, K. H. Oh<sup>4</sup>, S. W. Park<sup>5</sup>, #B. M. Kim(bmkim@pusan.ac.kr)<sup>6</sup>  
<sup>1,2,3</sup> 부산대학교 정밀기계공학과, <sup>4,5</sup> 동양강철 기술연구소, <sup>6</sup> 부산대학교 기계공학부

Key words : Extrusion Limit Diagram, Suspension Arm, A6082, Aluminum Hot Extrusion, FE simulation

## 1. 서론

최근 세계 각국의 환경 기준 강화로 인해 환경 공해를 적게 일으키고 연비 효율이 높은 자동차를 선호하는 경향으로 인식이 바뀌고 있다. 경량화는 이러한 것을 만족시키는 대안으로 각광받고 있다. 특히, 알루미늄 합금 소재는 경량화를 위해 현재 많이 사용되고 있다. 그러나 자동차 부품에 적용 시 원가 상승으로 인해 생산성 향상이 요구되어진다. 이러한 해결 방안 중 하나로 압출 공정은 공정수를 대폭 줄일 수 있으며, 고강도의 재료를 생산할 수 있다는 장점으로 인해 그 실효성을 인정받고 있다. Fig. 1은 서스펜션 암을 나타내었다.



Fig. 1 Shape of suspension arm

본 연구에서는 차량용 서스펜션 암의 소재인 A6082의 압출성을 평가하기 위해 압출 한계도를 작성하였으며, 이를 통해 생산성 향상을 위한 최적의 압출 조건을 설정하였다. 먼저 A6082소재의 물성치를 획득하기 위해 고온압축 실험을 수행하여 그 결과를 차량용 서스펜션 암 생산을 위한 포트홀 다이의 알루미늄 압출 공정 유한요소 해석을 하였다. 해석결과를 바탕으로 압출 한계도를 작성하였으며, 실험 결과와 해석 결과를 비교하여 압출 가능 여부를 평가하였다.

## 2. A6082소재의 고온 유동성 평가

A6082소재의 유동성을 평가하기 위해서 고온 압축 실험을 하였으며, 소재의 화학 조성은 Table 1에 나타내었다.

Table 1 Chemical compositions of A6082

Comp.	Si	Fe	Cu	Mn	Mg
Wt(%)	0.7~1.3	0.5	0.1	0.4~1.0	0.6~1.2
Comp.	Cr	Zn	Ti	Al	-
Wt(%)	0.25	0.2	0.1	Rem	-

본 연구에서는 Thernac Master-Z를 사용하여 고온 압축실험을 하였다. 시편의 크기는  $\varnothing 8 \times h 12 \text{mm}$ 로 제작하였다. 먼저 소재의 온도 300, 400, 500°C에서 변형률 속도 0.01, 0.1, 0.5, 3.0  $\text{sec}^{-1}$ 에 대하여 진응력 - 진변형률 선도를 구하였다. 진응력과 진변형률 속도를 다시 로그 값으로 변환하여 선형 보간 후 온도별로  $\log(\text{true stress})-\log(\text{strain rate})$  선도를 도출하여 Fig. 2에 나타내었다. 선도를 통해 일반화된 식을 도출하였다.

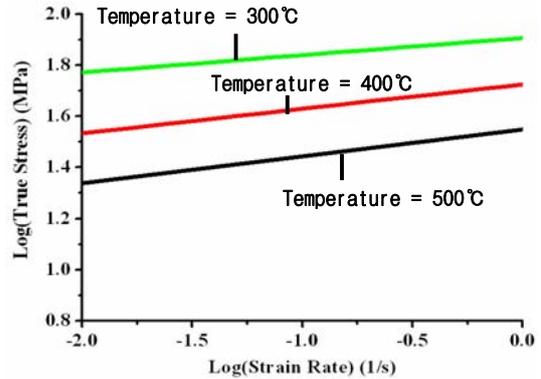


Fig. 2 Log(true stress) - log(strain rate) curve

일반화된 식은 식(1)과 같고 유동응력식을 식(2)-(4)로 표현하였다.

$$\sigma = k(\dot{\epsilon})^m \quad (1)$$

$$\sigma = 80.841(\dot{\epsilon})^{0.068} \text{ at } 300^\circ\text{C} \quad (2)$$

$$\sigma = 53.104(\dot{\epsilon})^{0.096} \text{ at } 400^\circ\text{C} \quad (3)$$

$$\sigma = 35.269(\dot{\epsilon})^{0.105} \text{ at } 500^\circ\text{C} \quad (4)$$

온도가 증가함에 따라서 응력계수 k는 작아지는 반면에 변형률 속도민감지수 m은 커짐을 알 수 있다.

## 3. 압출 한계도 도출 및 실험 결과와의 비교

소재 온도와 압출 속도의 한계는 출구부 온도와 하중에 의해서 결정된다. 압출 속도가 증가하면 표면의 마찰증가로 인해 출구부 온도가 상승한다. 온도 상승은 최종 제품의 표면 결함의 원인이 된다. 또한 프레스 용량을 초과한 하중의 증가는 압출품 생산을 불가능하게 만든다. 이를 예측하기 위하여 압출 한계도를 작성하였으며 압출 한계도를 바탕으로 A6082 소재의 열간 압출 공정을 설계하였다. 또한 압출 한계도와 실험값을 비교하여 압출성을 평가하였다.

### 3.1 압출 한계도 도출

성형해석은 강소성 유한요소해석 상용코드인 DEFORM-3D를 사용하였다. 열간 압출 해석 조건은 Table 2에 나타내었다.

Table 2 Conditions of hot extrusion for FE simulation

Billet Temp. (°C)	350	400	460	480	500	520	540
Ram Speed (mm/s)	1.0	2.0	3.0	5.0	7.0	12.0	13.0

(Die Temp. : 450°C)

해석 모델은 좌우 대칭을 고려하여 1/2 단면을 대상으로 수행하였다. 성형해석 시, 금형은 변형을 수반하지 않은 강체로 설정하였다. Fig. 3은 압출 공정 해석을 위한 소재와 다이의 유한요소 격자를 나타낸 것이다. 금형 소재는 STD 61이고, 마찰상수(m)은 무운할 열간 압출시 적용되는 0.6으로 설정하였다.<sup>3</sup>

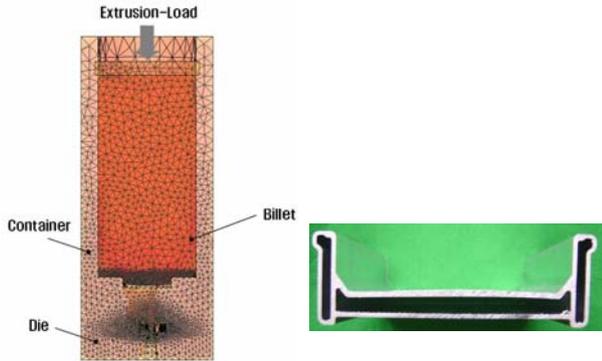


Fig. 3 Mesh system of porthole die extrusion and section shape

압출 한계도를 도출하기 위하여 최대 하중과 출구부 온도를 Table 3, Table 4에 나타내었다. Table 3는 소재 온도와 압출 속도에 따른 최대 하중을 나타낸 것이며, Table 4는 소재 온도와 압출 속도에 따른 출구부 온도이다.

Table 3 Maximum loading according to billet temperature and extrusion speed

Temp.(°C)	350		400		460		480		500	
Speed (m/min)	4.4	15.4	8.8	-	4.4	15.5	8.9	15.5	15.5	22.2
Load (Ton)	3250	2500	2500	-	2000	3100	2150	3100	2200	2550

Table 4 Exit temperature according to billet temperature and extrusion speed

Temp.(°C)	350	460		480		500		520	540	
Speed (m/min)	15.5	4.4	15.5	26.6	28.9	11.1	15.5	2.2	6.7	2.2
Exit temp.(°C)	502	504	535	545	556	524	558	513	560	556

프레스의 최대 용량을 고려하여 2500ton을 압출 하중 한계로 설정하였으며, 용융점 이상으로 출구부 온도가 상승되면 결함이 발생하므로 용융 온도 555°C를 표면 결함 발생 한계 곡선으로 설정하였다. Fig. 4 압출 한계도를 나타내었다.

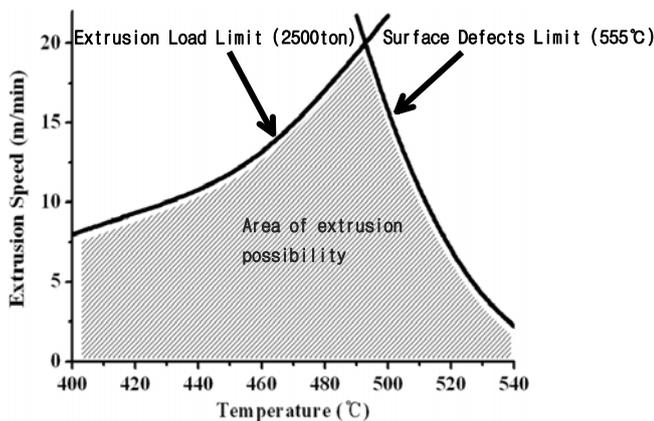


Fig. 4 Extrusion limit diagram for A6082 constructed from FE simulation results

압출 하중 한계 곡선과 표면 결함 한계 곡선과의 교점에서

최대 압출 속도가 결정된다. 또한 압출 가능 영역에서는 프레스 용량이 초과하지 않고 결함이 발생하지 않는 압출 속도와 소재 온도 확인이 가능하다.

### 3.2 압출 실험 및 결과

해석 결과 압출 한계도를 도출하여 제품의 건전성과 압출공정시 결함이 없는 최적의 조건을 설정한 이후 최대용량 2500ton의 수평식 압출기에 장착하여 압출 실험을 실시하였다. 금형의 예열 온도는 450°C, 소재의 예열온도는 480°C~500°C, 압출 속도는 11.1~14.4m/min로 설정하여 실험하였다. 압출실험 결과와 압출 한계도를 비교하여 압출이 가능함을 Fig. 5에 나타내었다. 압출비는 37이다.

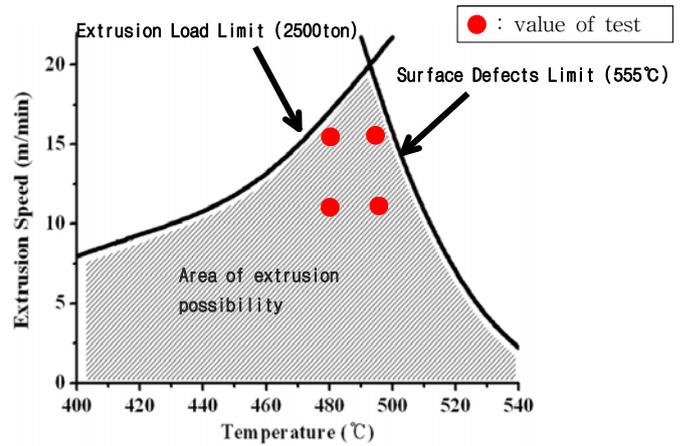


Fig. 5 Comparison between extrusion limit diagram and testing results

### 4. 결론

본 논문에서는 A6082소재의 서스펜션 압 최적 압출 공정 조건을 설정하기 위하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) FE simulation으로 A6082소재의 서스펜션 압 압출 한계도를 도출하였다.
- (2) 압출 한계도를 이용하여 생산성 향상을 위한 최적의 램 속도(18m/min)와 소재 온도(490°C)를 결정하였다.
- (3) 압출 한계도와 실험 결과를 비교하여 압출이 가능함을 보여주었다.

### 후기

본 연구는 과학기술부 지원하의 국가지정연구실 -Thixo/Rheo 성형연구실(NRL)- 사업 과제의 지원에 의해 수행되었습니다.

### 참고문헌

1. Chang, S.H, Heo, Y. M, Yoon, G. S, Shin, G. H, Lee, Y. M, Jung, W. C, Kang, J. J, Jung, T. S, Kim, D. S, " A Studyon Flow Characteristics of PBK40 for Glass Lens Forming Process Simulation Using a Plate Heating Type," Journal of the Korean society of Precision Engineering, Vol.24, No.4, pp. 115-122,2007.
2. R.Ye.Lapovok, M.R. Barnett, C.H.J. Davies, "Construction of extrusion limit diagram for AZ31 magnesium alloy by FE simulation," Journal of Materials Processing Technology, 146, 408-414, 2004.
3. Xie, J. X., Murakami, T., Takahashi, H. and Ikeda, K., "Theoretical Analysis in Fabrication Process of Pipe by Multi-Billet Extrusion," Journal of the Japan Society for Technology of Plasticity, Vol.34, No.390, pp. 823-829, 1993.