

자동차 알루미늄 서스펜션 암 곡률압출공정에 관한 연구

A Study on The Curvature Extrusion for Automotive Aluminum Suspension Arm

이상곤¹, 김병민², 오개희³

Sang Kon Lee¹, Byung Min Kim² and Kae Hee Oh³

¹ 부산대학교 PNU-IFAM 국제공동연구소 (PNU-IFAM JRC, Pusan National Univ.)

² 부산대학교 기계공학부 (School of Mechanical Eng., Pusan National Univ.)

³ (주)동양강철 기술연구소 (R&D Center, Dongyang Gangchul Co. LTD.)

✉ Corresponding author: bmkim@pusan.ac.kr, Tel: 051-510-2319

Manuscript received: 2008.9.5 / Revised: 2008.10.27 / Accepted: 2008.11.6

In the automotive industry, aluminum is widely used to reduce the vehicle weight. Aluminum curved extruded components are used for the design of frame parts. This study investigates the curvature extrusion process to produce the aluminum curved suspension arm. In the curvature extrusion process, the bending process is simultaneously carried out with the extrusion process. Firstly, porthole extrusion was investigated by using FE analysis to produce aluminum suspension arm. And then the bending process condition was determined to produce the final suspension arm with the required curvature. In this research, the guide roll movement causes the bending of extruded product. The moving distance and velocity of guide roll were controlled to meet the required curvature of suspension arm. Finally, the curved suspension arm was manufactured by the curvature extrusion experiment under the proposed curvature extrusion condition.

Key Words: Curvature Extrusion Process (곡률압출공정), Suspension Arm (서스펜션 암), FE Analysis (유한요소해석), Guide Roll Movement (가이드롤 이동), Curvature Extrusion Experiment (곡률압출실험)

기호설명

R = curvature of extruded product

a = distance between grip tool and guide tool

U = moving distance of guide tool

l_1 = gap between guide roll and extruded product

l_2 = gap between grip tool and extruded product

1. 서론

연비향상을 위한 자동차의 경량화는 화석연료의 고갈 및 지구환경보호라는 세계적인 요구에 따라 진행되고 있다. 또한, 지속적으로 증가하고 있는 자동차 편의장비의 장착에 따른 무게 증가에도

불구하고 전체 차량의 무게를 줄여야 하기 때문에 차량 구조물의 경량화에 초점이 맞추어지고 있다.^{1,2} 이러한 구조물 경량화의 일환으로 알루미늄 압출품들이 활발하게 적용되고 있다. 알루미늄 압출품의 적용에 있어 직선압출품이 아닌 곡률을 가지는 부품의 경우, 일반적으로 압출공정 후 스트레치 벤딩 등의 후공정이 요구된다.^{3,4} 압출공정 후 상온상태에서 행해지는 스트레치 벤딩공정의 경우 스프링백에 의한 치수정도 저하 및 국부좌굴 발생 등의 문제점이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 최근 열간압출공정과 동시에 압출품에 벤딩을 가해주는 곡률압출공정에 대한 연구들이 진행되고 있다.⁵ 곡률압출공정의 경우 압출된 고온상태의 압출품에 다양한 방법으로 벤딩을 가해줌으로

써, 냉간 벤딩공정 시 발생하는 문제점을 해결할 수 있을 뿐만 아니라, 고가의 벤딩장비를 제거할 수 있어 생산비용도 줄일 수 있다.

본 연구에서는 곡률이 있는 자동차용 알루미늄 서스펜션 암을 생산하기 위한 곡률압출공정 조건을 설정하였다. 이를 위하여 먼저 유한요소해석을 통하여 중공단면의 서스펜션 암 생산을 위한 포트홀 압출공정에 대한 해석을 수행하여, 압출하중, 접합면에서의 접합압력, 그리고 금형 출구에서의 압출품 온도 등을 평가하였다. 또한, 벤딩공정 시 요구 곡률을 얻기 위한 벤딩 가이드롤의 이송조건을 설정하였다. 마지막으로 곡률압출실험을 실시한 후 최종제품의 치수평가를 통하여 본 연구에서 제시한 조건에 대한 타당성을 검증하였다.

2. 곡률압출공정

곡률압출공정은 압출과 벤딩공정이 동시에 이루어진다. 곡률압출 시 압출품에 벤딩을 가해주는 방법은 여러 가지가 있다.⁶

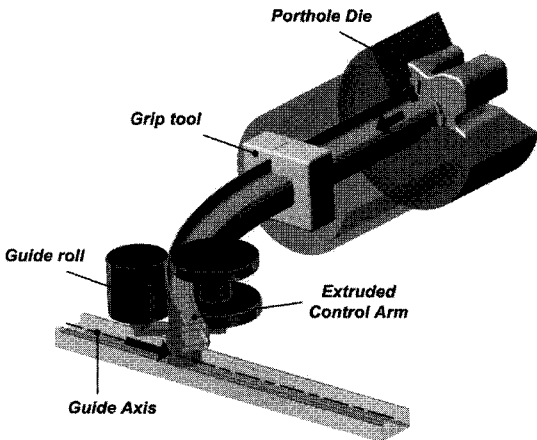


Fig. 1 Equipment for curvatures extrusion

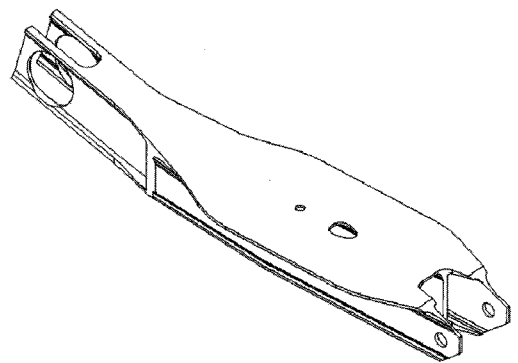
본 연구에서는 Fig. 1 에서 보듯이 압출된 제품에 대하여 가이드롤의 이송에 의해 벤딩을 가해주는 방법을 적용하였다. Fig. 1 에서 보듯이 압출금형 출구부를 빠져 나온 압출품은 그립틀을 통과한 후 벤딩을 가해주는 가이드롤에 이르게 된다. 압출품이 가이드롤을 통과하게 되면 요구곡률을 형성하기 위하여 가이드롤이 압출방향과 수직방향으로 이동한다. Fig. 1 의 곡률압출공정 시 요구곡률을 얻기 위해서는 가이드롤의 이송제어가 매우 중요하

다.

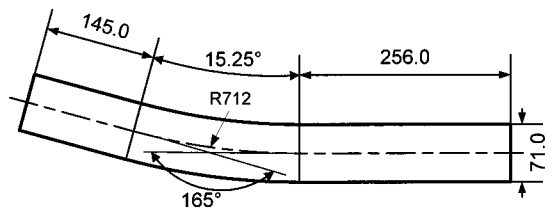
3. 포트홀 압출공정

3.1 서스펜션 암

Fig. 2 에 본 연구에서 생산하고자 하는 자동차용 알루미늄 서스펜션 암을 나타내었다. Fig. 2(b)에서 보듯이 중공형 단면의 서스펜션 암으로 중앙부에 반경 712mm의 곡률을 가지는 형태이다.



(a) 3D view of suspension arm



(b) Dimension of suspension arm

Fig. 2 Aluminum suspension arm

3.2 포트홀 압출공정 성형해석

Fig. 3 은 서스펜션 암의 단면형상을 나타낸 것이다. Fig. 3 에서 보듯이 단면이 중공형임을 알 수 있다. 중공형단면 제품을 생산하기 위해 일반적으로 포트홀 압출공정이 적용되고 있다.^{7,8} 본 연구에서는 먼저 중공형단면 서스펜션 암 생산을 위한 포트홀 압출공정에 대한 성형해석을 수행하여, 압출하중, 접합면에서의 접합압력, 금형출구부에서의 소재온도를 평가하였다.

성형해석은 상용 유한요소해석 S/W 인 DEFORM-3D 를 이용하였다.⁹ Fig. 4 에 초기 해석모델을 나타내었다. Fig. 3 의 제품 단면에서 알 수 있듯이 대칭면을 고려하여 1/2 단면에 대한 해석을 수행하였다.

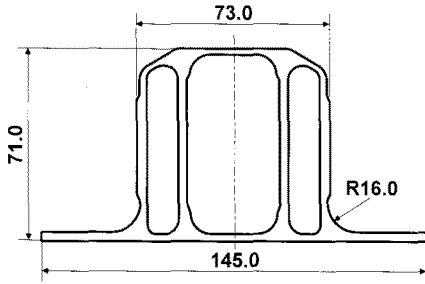


Fig. 3 Aluminum suspension arm

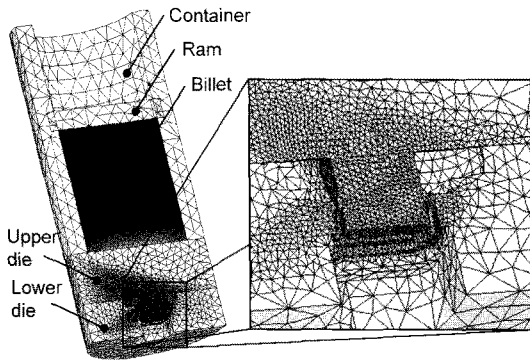


Fig. 4 Initial FE model for porthole extrusion

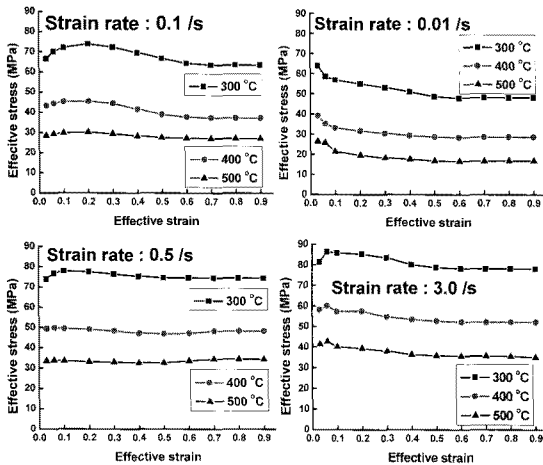


Fig. 5 Flow stress curve

6000 개 알루미늄 합금으로 성형해석을 위한 물성치는 열간압축시험을 통하여 획득하였다. 소재 온도 300 °C, 400 °C, 500 °C 에 대하여 변형률 속도 0.01s⁻¹, 0.1 s⁻¹, 0.5 s⁻¹, 3.0 s⁻¹ 에 대한 압축시험을 수행하여 유효변형률-응력관계를 확보하였다. Fig. 5 에 압축시험을 통해 구한 유동응력 곡선을 나타내

었다.

Fig. 6 은 스트로크에 따른 압출하중을 나타낸 것이다. 최대 압출하중은 약 1,800tons 으로 소재가 금형출구부를 빠져나와 제품을 형성하는 단계에서 발생하였다.

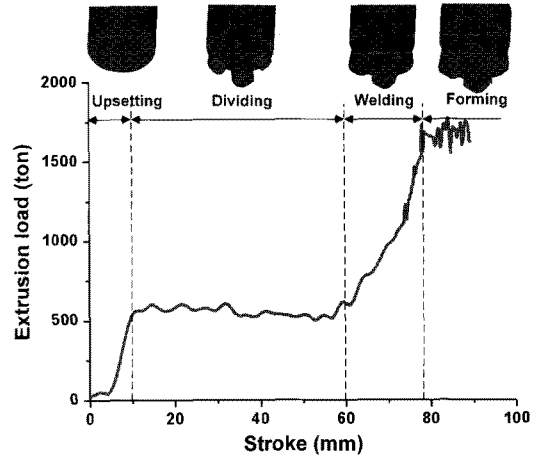


Fig. 6 Stroke-load curve

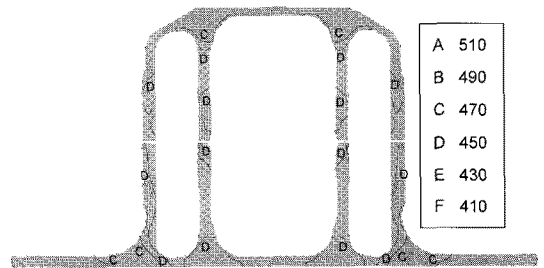


Fig. 7 Distribution of temperature (°C)

Fig. 7 은 성형해석결과 금형출구부에서의 소재 온도분포를 나타낸 것이다. 출구부에서 소재의 최대온도는 약 480 °C 로 적용소재의 용융온도인 555 °C 보다 낮기 때문에 과도한 온도상승으로 인한 표면결함은 발생하지 않을 것으로 판단된다.

포트홀 압출의 경우 포트홀에서 나누어진 소재가 접합실에서 고온 고압상태로 접합된다. Fig. 8 에 본 연구에서 적용한 서스펜션 암 포트홀 압출 시 생성되는 접합면을 나타내었다. 총 6 개의 접합면이 존재하며, 접합면의 접합강도를 평가하기 위하여 성형해석 시 접합면에서 발생하는 접합압력을 평가하였다.

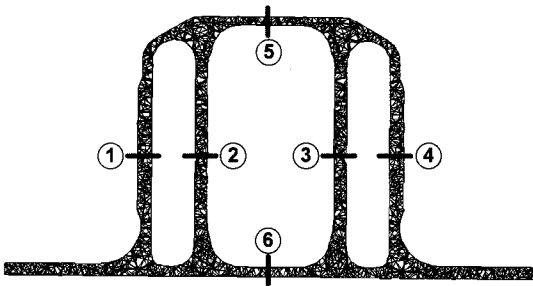
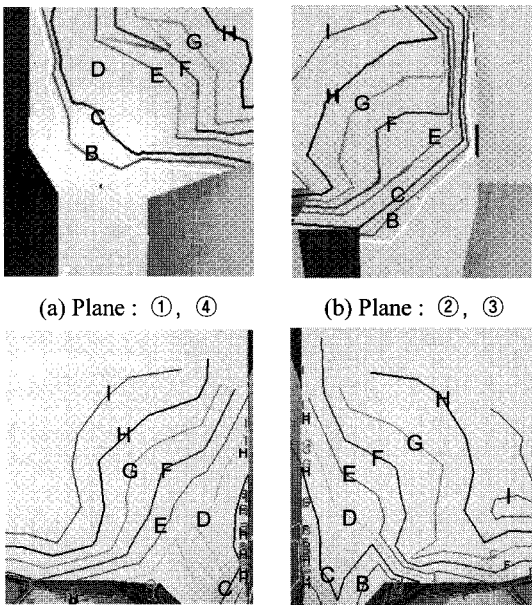


Fig. 8 Welding planes



(a) Plane : ①, ④

(b) Plane : ②, ③

(c) Plane : ⑤

(d) Plane : ⑥

Fig. 9 Welding pressure (MPa) (B=113, C=127, D=140, E=153, F=167, G=180, H=193, I=127)

Fig. 9 에 각 접합면에서 발생하는 접합압력을 나타내었다. 접합압력은 약 100~207MPa 로 소재유동응력의 약 2.0~4.1 배 정도였으며, 기존의 연구결과들로부터 충분한 접합강도를 가진다고 판단되었다.⁸

4. 곡률성형공정

4.1 곡률에측모델

Fig. 1 에서 보았듯이 본 연구에서 적용한 곡률 압출장비의 경우 압출방향과 수직방향으로 움직이는 가이드롤의 이송에 의해 곡률이 결정된다. Fig. 10 에 곡률형성 개략도를 나타내었다. 생성되는 곡

률의 반경은 Fig. 10 에서 보듯이 그립툴과 가이드롤 사이의 거리 a 와 가이드롤의 이동량 U 에 의해 다음의 식(1)로 계산된다.

$$R = \frac{a^2 + U^2}{2U} \tag{1}$$

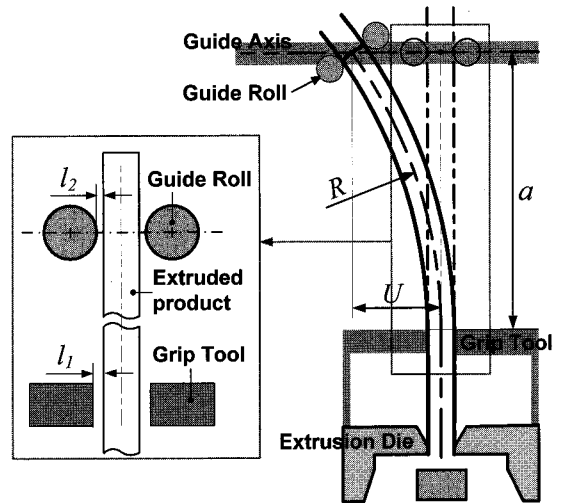


Fig. 10 Relationship between curvature and guide tool movement

Fig. 10 에서 보듯이 실제 곡률압출장비에서는 그립툴과 압출품 및 가이드롤과 압출품 사이에는 간극이 있으며, 이는 곡률의 치수정도에 영향을 미친다. 그립툴과 압출품 사이의 거리를 l_1 , 가이드롤과 압출품 사이의 거리를 l_2 라고 하면 식(1)은 다음의 식(2)로 표현할 수 있다.

$$R = \frac{[a + f(U, l_2)] + (U - l_1 - l_2)^2}{2(U - l_1 - l_2)} \tag{2}$$

식(2)에서 그립툴과 가이드롤 사이의 거리에 영향을 미치는 함수 $f(U, l_2)$ 는 가이드롤 이동량 U 와 가이드롤과 압출품 사이의 거리 l_2 를 변화시켜 성형해석으로 구하였다.

4.2 가이드롤 이송조건

본 연구에서 적용한 서스펜션 압의 경우 중앙에 반경 712mm 의 곡률부가 존재한다(Fig. 2 참조). 곡률압출공정으로 성형할 경우, 가이드롤은 Fig. 11

과 같이 ①→②→①의 경로로 이송되어야 한다.

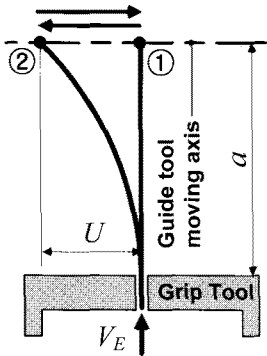


Fig. 11 Movement of guide tool for suspension arm

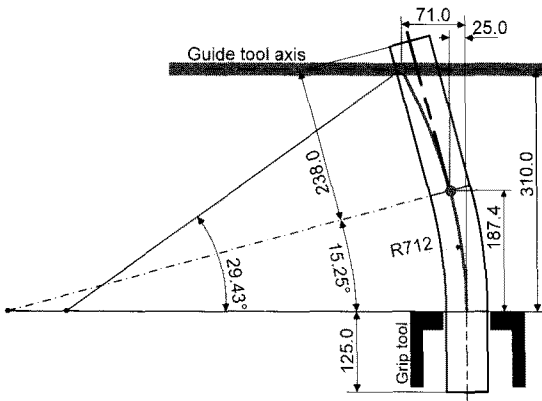


Fig. 12 Center angles

본 연구에서 적용한 곡률압출장비의 경우 그립 툴과 가이드롤 사이의 거리(a)가 310mm 로 일정한 값을 가진다. 이 경우 곡률반경 712mm 를 성형하기 위해서는 가이드롤의 이송거리(U)는 71mm 가 되어야 하며, 이때 성형되는 곡률의 최소 중심각은 29.43° 이다. 그러나, Fig. 12 에서 보듯이 서스펜션 암의 곡률구간 중심각은 15.25° 로 성형 가능한 최소 중심각 보다 작다. 따라서, 이를 해결하기 위해서는 가이드 이송과정 중에 곡률을 성형해야만 한다.

본 연구에서는 가이드롤 이송과정 중에 곡률을 형성하기 위하여 곡률성형공정에 대한 성형해석을 수행하여 가이드롤의 이송거리와 이송속도를 결정하였다.

Fig. 2(b)에서 알 수 있듯이 양쪽 두 직선구간이 만나는 중앙부의 외측 교차각은 165° 이다. 먼저,

본 연구에서는 곡률성형공정해석을 통하여 외측 교차각이 165° 가 되는 순간의 가이드롤 이송거리를 도출하였다. 곡률성형공정 해석모델은 Fig. 13 과 같으며, 포트홀 압출공정의 변형이력을 고려하여 곡률성형공정 해석을 수행하였다.

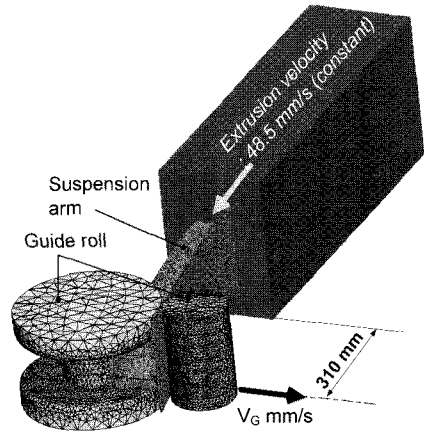


Fig. 13 Simulation model for bending process

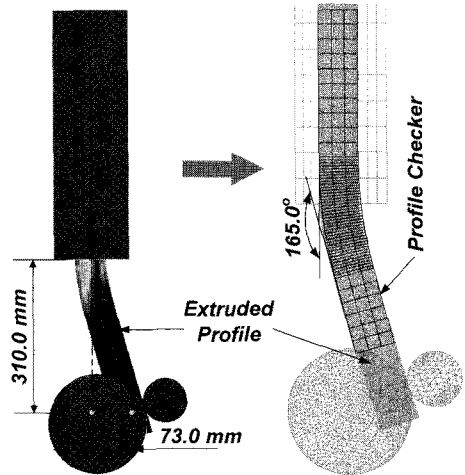


Fig. 14 Moving distance of guide tool

해석결과, Fig. 14 에서 알 수 있듯이 가이드롤의 이송거리가 73.0mm 일 때, 교차각이 165° 였다. 따라서, 가이드롤의 이송거리는 73.0mm 로 설정하였다.

이송거리 73.0mm 에 대하여 적합한 가이드롤 이송속도를 설정하기 위하여 가이드롤의 이송속도를 30mm/s, 60 mm/s, 그리고 100mm/s 로 설정하여 곡률성형성을 평가하였다. Fig. 15 의 해석결과에서

알 수 있듯이 이송속도 30mm/s 일 때 요구곡률인 712mm 를 확보할 수 있었다.

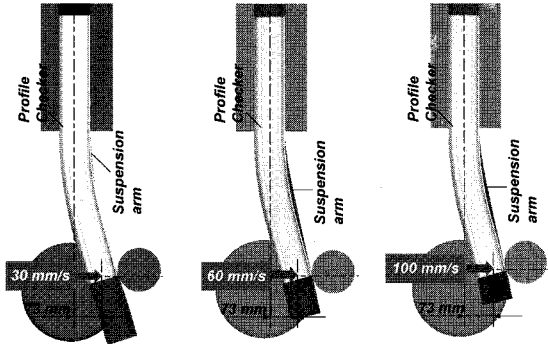


Fig. 15 Geometries according to guide tool moving velocity

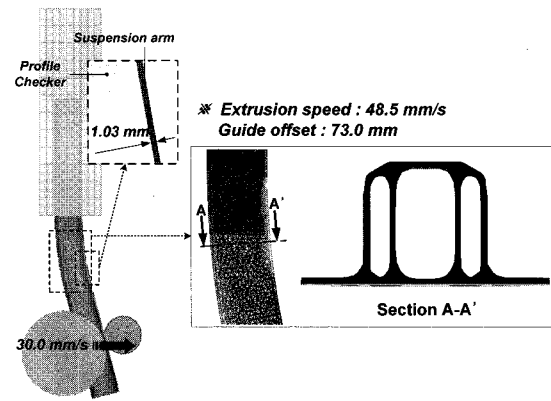


Fig. 16 Geometric error of simulation result

Fig. 16 은 가이드롤 이송거리 73.0mm, 이송속도 30.0mm/s 에 대하여 성형해석에 의한 서스펜션 압의 형상오차 및 단면형상을 나타낸 것이다. Fig. 16 에서 내측 플렌지부에서 실제 요구되는 형상과 약 1.03mm 의 형상오차가 발생하였으나 제품의 품질에는 별다른 영향을 미치지 않았다. 단면형상 또한 국부변형 혹은 비틀림 없이 양호함을 알 수 있었다.

5. 서스펜션 압 곡률압출 실험

이상의 곡률압출조건에 대하여 실제 곡률압출 실험을 실시하였다. 본 연구에서 사용한 곡률압출 장비를 Fig. 17 에 나타내었다.

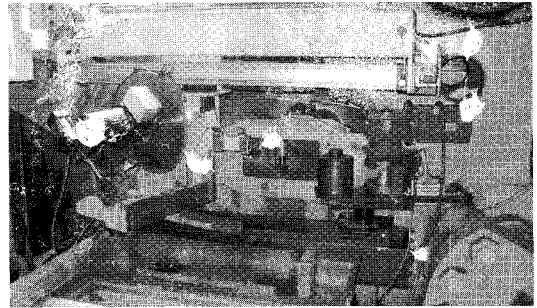


Fig. 17 Curvature extrusion equipment

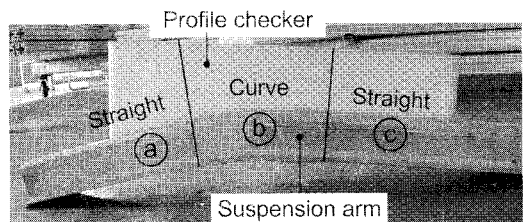


Fig. 18 Curved extruded suspension arm

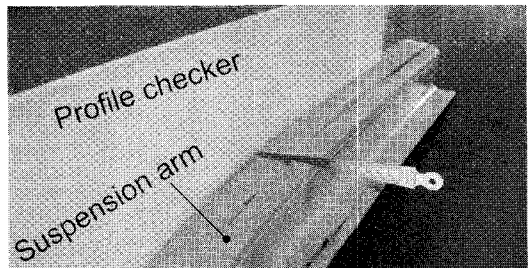


Fig. 19 Measurement of the gap between suspension arm and profile checker

Fig. 18 에 곡률압출실험으로 생산된 서스펜션 압과 프로파일 체크를 함께 나타내었다. 생산된 서스펜션 압에 Fig. 19 와 같이 프로파일 체크와의 간극을 측정된 결과 직선부 ㉠에서는 0.2~0.6mm, 곡선부 ㉡에서는 1.1~1.2mm, 직선부 ㉢에서는 0.6~0.8mm 의 간극이 발생하였다. 이는 해석결과와 잘 일치하며, 제품의 품질에 영향을 미치는 않는 범위이다.

6. 결론

본 연구에서는 곡률을 가진 알루미늄 서스펜션 압 생산을 위한 곡률압출공정조건을 제안하였으며, 이를 통하여 다음의 결론을 도출하였다.

(1) 가이드롤의 이송에 의해 곡률이 형성되는 곡률압출장비에 대하여 그립틀과 가이드롤 사이의 거리, 압출품과 가이드롤 사이의 간극, 그리고 압출품과 그립틀 사이의 간극을 고려한 곡률예측모델을 제안하였다.

(2) 중공단면의 서스펜션 암 포트홀 압출공정에 대한 성형해석을 통하여 압출하중, 금형 출구부에서의 소재온도, 그리고 접합면에서의 접합압력을 정량적으로 평가하였다.

(3) 성형해석을 이용하여 중앙부에 곡률을 가진 서스펜션 암을 생산하기 위한 가이드롤 이송거리 및 이송속도를 예측한 결과, 최적 이송거리 및 이송속도는 각각 73.0mm 와 30.0mm/s 였다.

(4) 제시된 가이드롤 이송속도 및 이송거리에 대하여 곡률압출 실험을 통하여 서스펜션 암을 생산하였다. 생산된 서스펜션 암에 대하여 프로파일 체크를 제작하여 형상 오차를 측정 한 결과 성형해석결과와 유사하였으며, 직선부에서는 0.8mm, 곡선부에서는 1.2mm 이내였다. 이는 실제품의 품질에 영향을 미치지 않는 범위였다.

(5) 이상의 연구결과로부터 향후 곡률을 가진 다양한 압출품에 대하여 곡률압출을 적용하여 생산할 수 있을 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 지식경제부 부품소재기술개발사업 및 교육과학기술부의 재원으로 국제과학기술협력재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. K2060100004-08E0100-00410)

참고문헌

1. Miller, W. S., Zhuang, L., Bottema, J., Wittebrood, A. J., De Smet, P., Haszler, A. and Vieregge, A., "Recent Development in Aluminum Alloys for the Automotive Industry," *Material Science and Engineering*, Vol. 280, No. 1, pp. 37-49, 2000.
2. Seo, P. K., Kim, H. C. and Kang, C. G., "Numerical Integration Design Process to Development of Suspension Parts by Semi-Solid Die Casting Process," *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 183, No. 1, pp. 18-32, 2007.
3. Clausen, A. H., Hopperstad, O. S. and Langseth, M., "Stretch Bending of Aluminum Extrusions for Car

Bumper," *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 102, No. 1, pp. 241-248, 2000.

4. Paulsen, F. and Welo, T., "A Design Method for Prediction of Dimensions of Rectangular Hollow Section Formed in Stretch Bending," *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 128, No. 1-3, pp. 48-66, 2002.
5. Müller, K. B., "Bending of Extruded Profiles During Extrusion Process," *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol. 46, No. 11, pp. 1238-1242, 2006.
6. Vollertsen, F., Sprenger, A., Kraus, J. and Arnet, H., "Extrusion, Channel, and Profile Bending: A Review," *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 87, No. 1, pp. 1-27, 1999.
7. Jo, H. H., Lee, S. K., Lee, S. B. and Kim, B. M., "Prediction of Welding Pressure in The Non-Steady State Porthole Die Extrusion of Al7003 Tubes," *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol. 42, Issue 6, pp. 753-759, 2002.
8. Joe, Y. J., Lee, S. K., Kim, B. M., Oh, K. H., Park, S. W., Lee, W. S. and Jang, G. W., "Development of Porthole Die on Aluminum Extrusion for The Automotive Control Arm," *Journal of the Korea Society for Precision Engineering*, Vol. 24, No. 4, pp. 102-108, 2007.
9. SFTC, DEFORM-3D™ Ver. 5.0, Scientific Forming Technology Corporation, 2004.