

곡률압출공정을 이용한 알루미늄 Bumper Back Beam 개발

이상곤* · 조영준** · 김병민† · 박상우*** · 오개희***
(2008년 8월 20일 접수, 2009년 3월 15일 수정, 2009년 3월 18일 심사완료)

Development of Al Bumper Back Beam by Using Curvature Extrusion Process

Sang-Kon Lee, Young-June Jo, Byung-Min Kim, Sang-Woo Park and Kae-Hee Oh

Key Words : Curvature Extrusion(곡률압출), Predicting Curvature(곡률예측), Porthole Extrusion(포트홀압출), FE-Aalysis(유한요소해석), Curvature Extrusion Experiment(곡률압출실험)

Abstract

Curvature extrusion process has several advantages in comparison to the conventional extrusion and bending process. In the curvature extrusion, the extruded part is directly bent during extrusion. Therefore, it does not need additional bending process after extrusion. In the curvature extrusion process, it is possible to produce curved extruded products that have a constant or various curvatures. It is essential that we predict the curvatures of the extruded product to meet the required curvatures. This paper proposed a theoretical model that can predict the curvature of extruded product produced by the curvature extrusion process. Using the proposed model the movement of guide tool that causes the bending of extruded product was controlled to produce the required curved automotive Al bumper back beam. The effectiveness of the proposed prediction model and the movement of guide tool were verified by the FE analysis and curved extrusion experiment.

기호설명

- R : 곡률압출품의 곡률 반경
- U : 가이드 툴 이송거리
- a : 그립 툴과 가이드 롤 사이의 거리
- d_1 : 압출품과 가이드 롤 사이의 틈새 거리
- d_2 : 압출품과 그립 툴 사이의 틈새 거리

1. 서론

자동차 경량화의 일환으로 알루미늄 압출품들이 활발히 적용되고 있다.^(1,2) 직선형태의 압출품에 대하여 요구되는 형태를 가진 최종 부품을 만들기 위해서는 압출 후 후속공정이 요구된다. 곡률을

가진 부품을 만들기 위해서는 압출 후 벤딩공정이 가해진다.⁽³⁾ 압출 후 냉간상태에서 이루어지는 스트레치 벤딩 혹은 벤딩금형을 이용한 벤딩방법의 경우 추가 설비가 필요할뿐만 아니라 생산비용을 증가시킨다. 이를 대체하기 위한 방법으로 최근 열간압출과 동시에 압출품에 벤딩을 가해주는 곡률압출공정이 적용되고 있다. 이러한 공정의 경우 압출 다이를 빠져 나온 고온상태의 압출품에 벤딩을 가해주기 때문에 가공경화에 의한 영향을 줄일 수 있을 뿐만 아니라 냉간 벤딩 시 야기되는 스프링백에 의한 치수 오차를 최소화 시킬 수 있다. 이를 해결하기 위해 몇몇 연구들이 수행되었으나 곡률압출공정 시 곡률 예측에 관한 연구는 거의 수행되지 않았다.⁽⁴⁻⁷⁾

본 연구에서는 가변곡률압출공정에 대하여 압출품의 곡률을 정확히 예측할 수 있는 모델을 제안하였으며, 제안된 모델을 이용하여 요구곡률을 가진 자동차용 알루미늄 Bumper back beam을 생산하기 위한 곡률압출공정 조건을 설정하였다. 이를 위하여 요구되는 곡률을 얻기 위해 압출품에 벤딩

† 책임저자, 회원, 부산대학교 기계공학부
E-mail : bmkim@pusan.ac.kr
TEL : (051)510-2319 FAX : (051)581-3075

* 부산대-IFAM 국제공동연구소

** 삼성중공업 거제조선소 의장설계 1팀

*** (주)동양강철 기술연구소

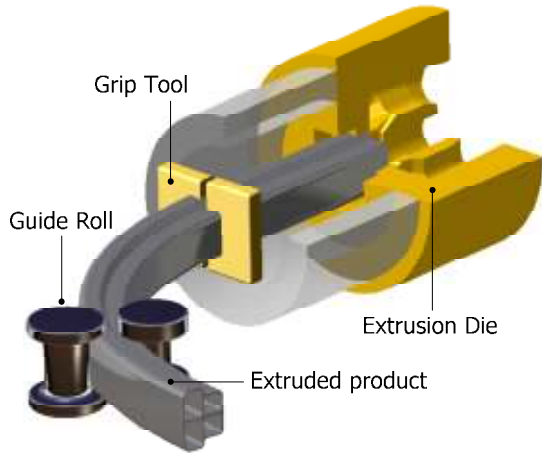


Fig. 1 Curvature extrusion equipment

을 가해주는 가이드 롤의 이송조건을 설정하였다. 제안된 공정조건에 대하여 유한요소해석 및 곡률 압출 실험을 통하여 그 타당성을 검증하였다.

2. 곡률 압출공정

2.1 곡률압출공정 원리

곡률압출은 일반적으로 압출공정 후 압출품에 곡률 가공이 가해지는 공정과 달리 압출공정과 동시에 곡률가공이 이루어진다. 현재까지 곡률가공에 대한 몇몇 연구들이 수행되었다. Fig. 1에 본 연구에서 적용한 곡률압출장치를 나타내었다. Fig. 1에서 보듯이 압출된 소재는 그립 툴을 거쳐 가이드 롤을 통과하게 된다. 소재가 가이드 롤을 통과한 후 가이드 롤이 압출방향과 수직방향으로 이동함으로써 곡률이 생성된다.

2.2 곡률예측모델

Fig. 2는 가이드 롤의 이동량(U), 그리고 그립 툴과 가이드 롤 사이거리(a)와 압출품 곡률(R)과의 관계를 나타낸 그림이다. 곡률은 기하학적인 관계에 의한 다음의 식 (1)로 예측할 수 있다.⁽⁸⁾

$$R = \frac{a^2 + U^2}{2U} \quad (1)$$

식 (1)의 경우 가장 이상적인 경우에 대한 곡률 예측 모델을 나타낸 것이다. 실제 곡률압출장치의 경우 Fig. 3에서 보듯이 가이드 롤과 압출품 사이(d_1) 및 그립 툴과 압출품 사이(d_2)에 미소한 간극이 존재한다. 보다 정확한 곡률예측을 위해서는 이러한 변수들에 대한 영향도 함께 고려해야만 한다. 이를 고려할 경우 식 (1)은 다음의 식 (2)로 표현할 수 있다.⁽⁸⁾

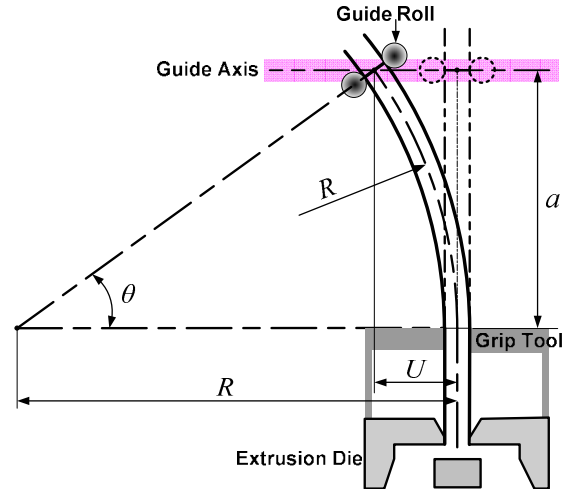


Fig. 2 Relationship between guide roll movement and curvature

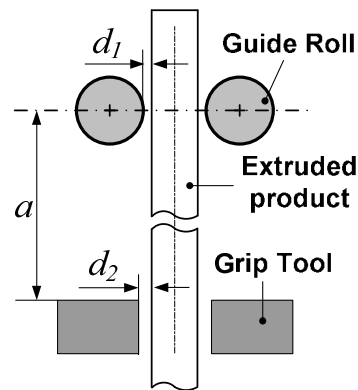


Fig. 3 Gaps between extruded product and tools

$$R = \frac{\left[a + A(d_2) \cdot \exp\left(-\frac{U}{B(d_2)}\right) + C(d_2) \right]^2 + (U - d_1 - d_2)^2}{2(U - d_1 - d_2)} \quad (2)$$

뿐만 아니라, 곡률압출 시 압출제의 굽힘력에 의해 발생하는 가이드 롤의 탄성변형 또한 곡률의 크기에 영향을 미친다. 따라서, 본 연구에서는 식 (2)의 예측모델에 가이드 롤의 탄성변형량을 고려한 보다 정확한 곡률예측모델을 제안하였다. Fig. 4에 가이드 롤의 탄성변형에 의한 가이드 롤의 이송량 및 그립 툴과 가이드 롤 사이의 거리 변화를 나타내었다. Fig. 4에서 알 수 있듯이 가이드 롤의 탄성변형에 의하여 가이드 롤의 이송량 U는 U'가 되고 그립 툴과 가이드 롤 사이의 거리 a는 a'가 된다. 따라서, 식 (2) 다음의 식 (3)으로 나타낼 수 있다.

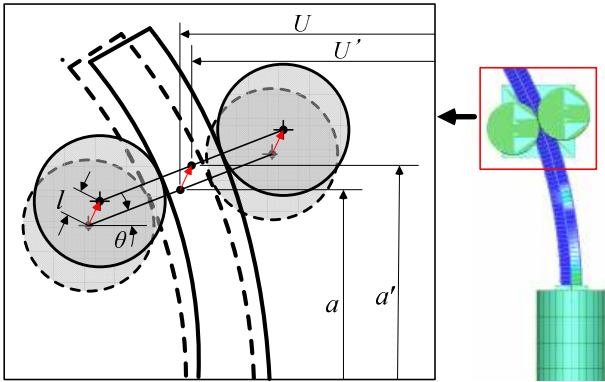


Fig. 4 Elastic deformation of guide tool

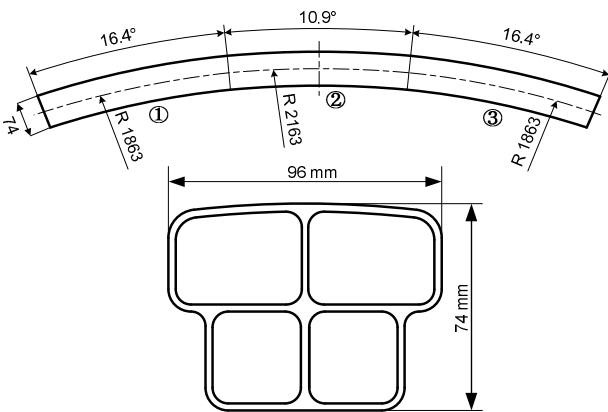


Fig. 5 Aluminum bumper back beam

$$R = \frac{a' + A(d_2) \cdot \exp\left(-\frac{U}{B(d_2)}\right) + C(d_2)}{2(U' - d_1 - d_2)} + (U' - d_1 - d_2)^2 \quad (3)$$

여기서, $U' = U - l \cdot \sin \theta$, $a' = a + l \cdot \cos \theta$ 이다. 식 (3)에서 계수 $A(d_2)$, $B(d_2)$, $C(d_2)$ 는 성형해석을 이용하여 구하였다.

3. Bumper Back Beam 곡률 압출

3.1 Bumper Back Beam 포트홀 압출 성형해석

Fig. 5 에 본 연구에서 적용한 자동차용 알루미늄 Bumper back beam 을 나타내었다. Fig. 5 에서 보듯이 곡률 1,863 mm 와 2,163 mm 로 이루어진 제품으로, 단면형상이 중공형이다. 본 연구에서는 우선 중공단면제품 생산을 위한 포트홀 압출공정에 대한 성형해석을 수행하여 압출하중, 출구부 소재 온도를 평가하였다.^(9,10)

적용소재는 A17108 로 성형해석을 위한 소재의 온도 및 변형률속도에 따른 유동응력은 고온압축

Table 1 FE simulation conditions

Simulation conditions	Value
Billet material	A17108
Die material	AISI-H13
Initial billet Temperature	480 °C
Initial Dies Temperature	460 °C
Friction factor(m)	0.6
Ram speed	1.0 mm/s
Dimension of billet	φ 279.4 mm × h700 mm

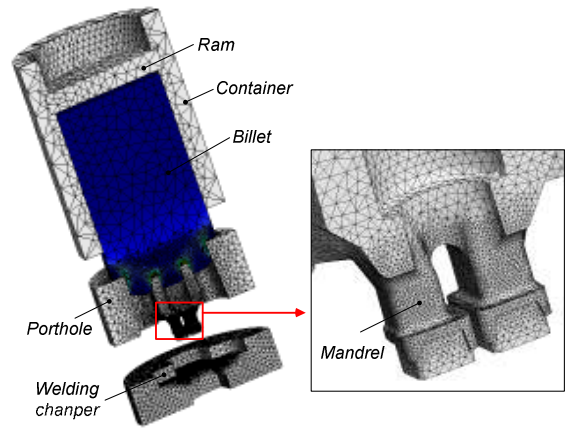


Fig. 6 Initial FE model for porthole extrusion process

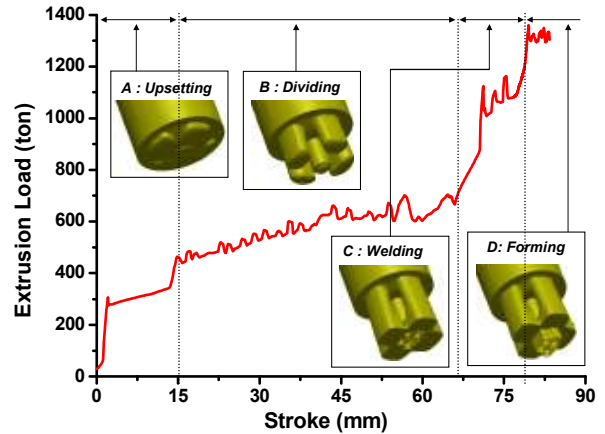


Fig. 7 Stroke – Load curve

시험을 통해 확보하였다.⁽⁸⁾ 성형해석은 상용유한요소 해석 S/W DEFORM-3D 를 이용하였으며, Fig. 6 에서 보듯이 제품의 대칭성을 고려하여 1/2 단면에 대한 해석을 수행하였다.⁽¹¹⁾ Table 1 에 해석조건을 나타내었다.

Fig. 7 은 성형해석에 의한 포트홀 압출하중을 나타낸 것이다. Fig. 7 에서 압출하중은 각 단계별로 증가하는 것을 알 수 있다. 최대하중은 소재가 다이 출구부를 빠져나올 때의 약 1,320 ton 이었다.

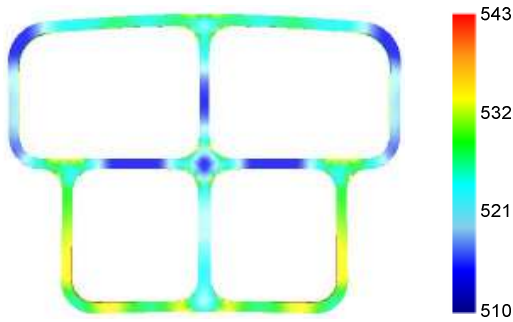


Fig. 8 Temperature(°C) distribution

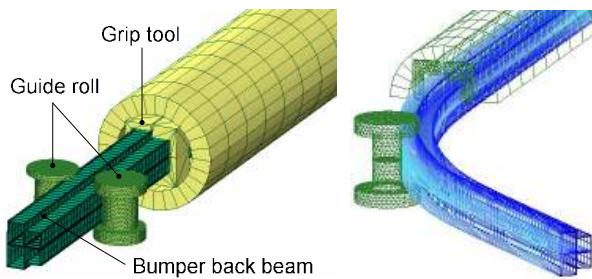


Fig. 9 Analysis model for bending process

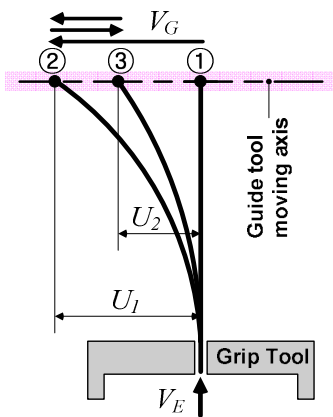
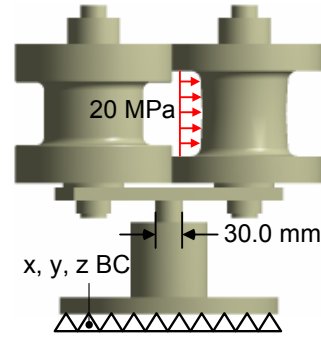


Fig. 10 Moving path of guide tool

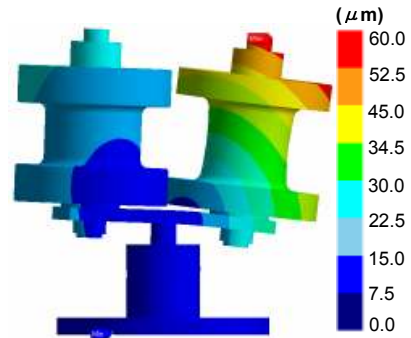
Fig. 8 은 압출다이 출구부에서 소재 온도분포를 나타낸 것이다. 출구부에서 최대온도는 약 535°C로 소재의 용융온도인 610°C 보다 낮음을 알 수 있었다.

3.2 가변곡률공정 해석

본 연구에서는 포트홀 압출공정과 곡률성형공정을 분리하여 성형해석을 수행하였다. 먼저, 포트홀 압출공정해석 수행 후 변형이력을 고려하여 곡률성형공정에 대한 해석을 수행하였다. Fig. 9 에 곡률성형공정해석을 위한 초기모델 및 곡률성형 후의 Bumper back beam 형상을 나타내었다.



< Initial condition >



< Result of analysis >

Fig. 11 Initial condition and result for elastic deformation

3.3 Bumper Back Beam 생산을 위한 가이드 이송 조건

Fig. 5 에서 보듯이 본 연구에서 적용한 Bumper back beam 의 경우 곡률이 다른 세 구간으로 이루어져 있다. 따라서 이러한 제품의 곡률을 연속적으로 생성하기 위해서는 압출진행 중에 가이드 툴의 위치를 적절하게 제어해야만 한다.

Fig. 10 에 가이드 툴의 이송경로를 나타내었다. 먼저 압출된 Bumper back beam 이 그립 툴을 통과한 후 첫 번째 구간의 곡률 1,863mm 를 형성하기 위해 가이드 툴은 위치 ①에서 ②로 이동하게 된다. 가이드 툴이 위치 ②에 머무는 동안 첫 번째 구간이 성형되고, 이후 중앙의 곡률 2,163 mm 를 형성하기 위해 가이드 툴은 다시 위치 ③으로 이동한다. 이 후 마지막 세 번째 곡률 1,863 mm 를 성형하기 위해 다시 가이드 툴은 위치 ②로 되돌아 가게 된다.

식 (3)을 이용하여 가이드 툴의 위치제어를 위하여 먼저 가이드 툴의 탄성변형량을 평가하였다. 탄성변형량은 Fig. 9 의 곡률성형공정 시 가이드 롤에 가해지는 하중을 적용한 강도해석을 통해 평가하였다. 해석은 상용해석 S/W ANSYS 를 이용하였다. Fig. 11 에 강도해석조건 및 해석결과를 나타내었다. Fig. 11 에서 알 수 있듯이 가이드 롤은 직경 30.0 mm 의 원형단면 기둥으로 고정되어 있

Table 2 Guide tool movement condition

Movement	Guide position (mm)	Moving distance (mm)	Time(s)
① → ②	-	+45.66	0.11
②	45.66	0.00	15.07
② → ③	-	4.30	15.08
③	41.36	0.00	24.77
③ → ②	-	+4.30	24.78
②	45.66	0.00	35.22

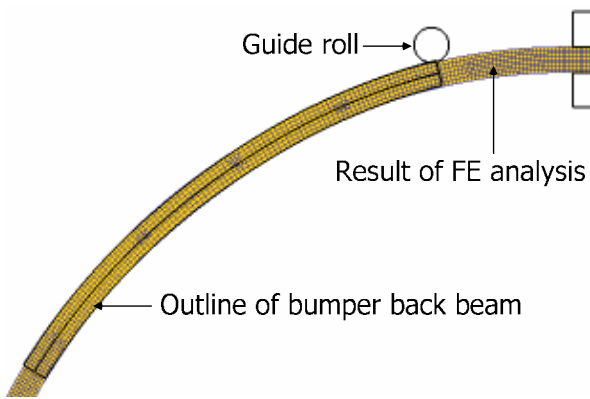


Fig. 12 Result of FE analysis for bending process

며, 해석결과 가이드 롤 상단부의 최대 탄성변형량은 약 57 μm 였다.

이상의 결과를 이용하여 Table 2 에 가이드 툴의 이송조건을 나타내었다. 본 연구에서 적용한 곡률압출 장비의 경우 가이드 툴의 최대 이송속도가 417.0 mm/s 이며, 이를 고려하여 이송조건을 설정하였다.

4. 유한요소해석 및 곡률 압출실험

본 연구에서 제안한 곡률예측모델의 타당성을 검증하기 위하여 먼저 Table 2 의 가이드 툴 이송조건으로 벤딩공정에 대한 성형해석을 수행하였다.

Fig. 12 에 해석 결과를 나타내었다. Fig. 12 에서 알 수 있듯이 해석결과 제품의 형상이 요구 Bumper back beam 의 형상과 잘 일치한다는 것을 알 수 있다.

마지막으로 가이드 툴 이송조건 및 해석결과와의 타당성을 검증하기 위하여 실제 Bumper back beam 에 대한 곡률압출 실험을 실시하였다. Fig. 13 에 곡률압출장비 및 Bumper back beam 생산공정 사진을 나타내었다.

Fig. 14 는 Fig. 13 의 곡률압출장비를 이용하여 생산된 Bumper back beam 을 나타낸 것이다. 생산된 제품에 대하여 제품의 외곽선을 기준으로 프로

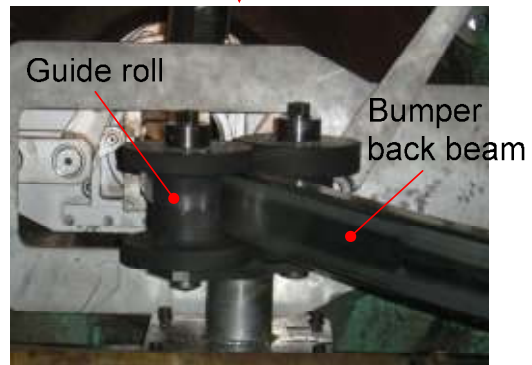


Fig. 13 Curved extrusion equipment



Fig. 14 Extruded products

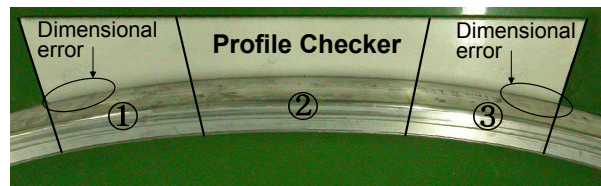


Fig. 15 Evaluation of curvatures

파일 측정기를 제작하여 제품의 곡률을 평가하였다. Fig. 15 에 프로파일 측정기를 이용한 곡률 비교결과를 나타내었다. 제품의 양끝단부에서 최대 2.5 mm 의 오차가 발생하였다. 탄성변형량을 고려하지 않은 경우 치수 오차가 약 3mm 로 다소 증가하였으나, 최종제품의 허용 치수오차 이내의 값으로 최종제품의 품질에는 영향을 미치지 않았다.

본 연구에서 적용한 가이드 툴의 경우 최대 탄성변형량이 약 57 μm 로 제품의 치수변화에 큰 영향을 미치지 않았으나, 탄성변형량이 큰 경우에는 탄성변형에 의한 치수변화를 고려해야만 보다 우

수한 곡률압출품을 생산할 수 있을 것을 판단된다.

참고문헌

5. 결 론

본 연구에서는 유한요소해석 및 실험을 통하여 곡률을 가진 자동차 Bumper back beam 을 생산하기 위한 곡률압출공정조건을 설정하였으며, 이를 통하여 다음의 결론을 도출하였다.

(1) 곡률압출공정에서 가이드 툴의 위치 및 이송거리, 압출재와 가이드 툴 및 그립 툴 사이의 거리, 그리고 가이드 툴의 탄성변형량을 고려한 곡률예측모델을 제안하였다.

(2) 곡률예측모델을 이용하여 3 가지의 곡률을 가진 자동차 Bumper back beam 생산을 위한 가이드 이송조건을 설정하였다.

(3) 설정된 조건으로 실제 곡률압출실험을 통하여 3 구간의 곡률이 각각 1,863 mm, 2,163 mm, 1,863 mm 인 Bumper back beam 을 생산하였다.

(4) 곡률압출공정으로 생산된 Bumper back beam 에 대하여 제작된 프로파일 측정기를 이용하여 치수를 평가한 결과 끝단부에서 약 1~2.5 mm 의 공차가 발생하였다. 탄성변형량을 고려하지 않은 경우보다 약 0.5mm 치수오차가 감소하였으며, 제품의 품질에는 큰 영향을 미치지 않는 범위였다.

(5) 이상의 연구결과로 곡률압출공정을 이용하여 Bumper back beam 뿐만 아니라 곡률을 가지는 다양한 압출품에 대하여 확대적용이 가능할 것으로 판단된다.

후 기

이 논문은 정부(교육과학기술부)의 재원으로 국제과학기술협력재단의 지원을 받아 수행된 연구(No. K20601000004-07E0100-00410)이며, 실험을 지원해주신 (주)동양강철 관계자 분들께 감사를 표합니다.

- (1) Lange, K., 1985, Handbook of Metal Forming, R. R. Donnelley & Sons Company.
- (2) Kleiner, K., Chatti, S. and Klaus, A., 2006, "Metal Forming Techniques for Lightweight Construction," *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 177, pp. 2~7.
- (3) Clausen, A. H., Hopperstad, O. S and Langseth, M., 2000, "Stretch Bending of Aluminum Extrusion for Car Bumpers," *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 102, pp. 241~248.
- (4) Peter, G., Herber, B., David, K. H., Anjali, K. M. D. S., 2005, "Free-Bending Technique in the Hydroforming Process Chain," *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 46, pp. 1238~1242.
- (5) Müller, B. K., 2006, "Bending of Extruded Profiles during Extrusion Process," *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol. 46, pp. 1238~1242.
- (6) Müller, B. K., 2003, "Investigation of Material Flow During the Concurrent Bending and Extrusion Process of Al-Profiles," *Proceeding of ESAFORM Congress*, April.
- (7) Murata, M. and Mochizuki, T., 1999, "Noncontrasted Bending of Square Tube Using MOS Bending Method," *Proceeding of Japanese Spring Conference for the Technology of Plasticity*, May.
- (8) Jo, Y. J., Lee, S. K., Kim, B. M., Oh, K. H. and Park, S. W., 2008, "Process Development of Variable Curvature Extrusion for Automotive Aluminum Bumper," *Trans. of the KSME (A)*, Vol. 32, No. 5, pp. 327~332.
- (9) Jo, H. H., Lee, S. K., Lee, S. B. and Kim, B. M., 2002, "Prediction of Welding Pressure in the Non-Steady State Porthole Die Extrusion of Al7003 Tubes," *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol. 22, pp. 753~759.
- (10) Jo, H. H., Lee, S. K., Jung, C. S. and Kim, B. M., 2006, "A Non-Steady State FE Analysis of Al Tubes Hot Extrusion by a Porthole Die," *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 173, pp. 223~231.
- (11) SFTC, 2004, DEFORM-3D, Ver. 5.0.