

압출빌렛의 비대칭 형상에 의한 플랜지단면을 가지는 곡봉의 압출굽힘가공

박대윤¹ · 윤선홍² · 박중원² · 진인태[#]

Extru-Bending Process of Curved Product with Flanged Section by Asymmetric Shape of an Extrusion Billet

D. Y. Park, S. H. Yun, J. W. Park, I. T. Jin

(Received December, 7, 2004)

Abstract

It was investigated that curved aluminum products with 'ㄷ' section or with 'h' section could be bended during extrusion by the extru-bending process. In order to make bending at the exit section of die, the flow of billet inside die cavity was controlled by the shape of billet. As results of the analysis of DEFORMTM-3D, it was known that the bending phenomenon at the die exit can be happened by the asymmetric section of billet. And it was known by the experiment with plasticine or aluminum material that an symmetric product with 'ㄷ' channel section and the product with flanged 'h' section could be bended because of asymmetric shape of billet.

Key Words : Extrusion, Bending, Extru-Bending, Asymmetric Section, Aluminum, Billet, Flanged 'h' Section, 'ㄷ' Section

1. 서 론

오늘날 알루미늄을 이용한 압출공정에 있어서 압출 제품의 단면 형상이 직사각형이나 정사각형의 비교적 간단한 단순판 형태에서 특정 단면을 가진 복잡한 중공 형태의 단면 제품으로 발전하였다. 알루미늄 압출 공정은 일정한 단면 형상을 가지는 제품에 대해 높은 생산성과 품질, 가격 경쟁력 등을 보장하기 때문에 자동차나 건설 구조물 등의 생산에 많이 사용되어지는 효과적인 공정이다. 그러나 압출 제품은 기본적으로 직선형태의 제품이므로 굽어진 압출제품을 위해서는 굽힘공정을 거쳐 가공하게 된다. 하지만 제품 단면의 형상이 복잡해 질수록 굽힘시 발생하는 굽힘 결

함이 증가하며 굽힘의 방법과 공정에 많은 변수를 가지게 된다. 기존의 굽힘 방법은 직선봉을 압출한 다음에 굽힘가공기로써 굽혀야만 굽힐 수 있었다.

복잡한 단면을 가진 곡선형의 압출제품이 요구되는 구조재를 만들 경우 굽힘 공정을 추가하여 굽힐 수 밖에 없었다. 그러나 이러한 복잡한 단면들을 굽히기가 쉽지 않으므로 다양한 형태의 곡률을 가진 압출품을 압출과 동시에 굽히기 위해 압출굽힘 가공법을 제안 하였고 직사각형, 정사각형, T 형의 단순봉 형태의 단면에 대한 연구와 직사각형튜브와 정사각형튜브 같은 중공제품에 관한 연구가 있었다[1].

본 연구는 단순봉과 중공단면 부재의 중간형태

1. 부경대학교 대학원 기계공학과
2. 부경대학교 대학원 정밀기계공학과
교신저자: 부경대학교 기계공학부
E-mail: jint@pknu.ac.kr

인 ‘c’단면 형상과 플랜지가 붙은 비대칭 단면 형상의 굽히기가 힘든 압출 제품을 압출굽힘 가공을 통해 굽힘을 가능하게 하고자 한다. 굽힘 발생을 위해 소재의 비대칭 형상을 이용하여 다이 입구와 출구의 소재의 편심을 유도하여 굽히는 원리를 채택하였다. 사용하는 빌렛의 형상을 비대칭으로 설계하여 일반적으로 원형 환봉 빌렛을 사용하는 것에 비해 재료를 효율적으로 사용할 수 있게 함과 동시에 금형에 작용하는 가공하중 또한 감소하는 효과를 기대할 수 있다. 이를 위하여 제품의 단면형상과 같은 다이 출구 형상을 기준으로 경사형 다이의 입구형상을 비대칭 편심 단면으로 설계하여 경사형 다이 내부에서 소재가 유동할 때 빌렛의 비대칭 편심의 크기에 따라 출구단면에서의 압출속도가 편차되도록 하여 굽어지도록 다이를 설계하였다.

이에 따라 소재의 형상은 다이 입구의 비대칭 형상과 일치 하도록 하였고 압출중 굽힘을 위하여 압출 스템의 형상은 다이 입구의 비대칭 형상과 동일하게 제작되었다. 이와 같은 굽힘 원리에 대해서 DEFORM-3D 소프트웨어를 사용하여 최적으로 설계 되어진 다이로써 플라스틱과 알루미늄을 사용하는 실험과 성형 해석을 통하여 굽힘현상을 확인하였다.

2. 압출굽힘 원리와 실험 및 해석

2.1 소재의 비대칭 형상과 비대칭 원추형 다이

Fig. 1은 압출굽힘 원리를 보여주는 그림으로 스템에 의해서 비대칭 형상 빌렛이 경사형 다이를 통해 압출될 때 굽어지도록 하는 압출굽힘 공정을 보여주고 있다.

Fig. 2는 실험에 사용된 ‘c’단면과 ‘h’단면 형상의 비대칭 단면 빌렛의 모양을 보여주는 것으로 일반적인 압출 소재가 원형환봉의 형상임에 반해서 비대칭 이형 단면을 보여주고 있다.

Fig. 3은 실험에 사용된 각각의 다이의 3D모델링 모양을 보여주는 것으로 경사형 다이를 사용하였고 Fig. 4에서 실선으로 나타낸 부분이 제품이 나오는 출구 부분이고 점선으로 표기한 부분은 빌렛이 들어가는 다이의 입구부분을 보여주고 있다. ‘c’단면을 가진 다이는 빌렛의 상하 비대칭 단면 형상과 제품의 대칭 단면이 편심된 형상을 보여주고 있고 ‘h’단면을 가진 다이는

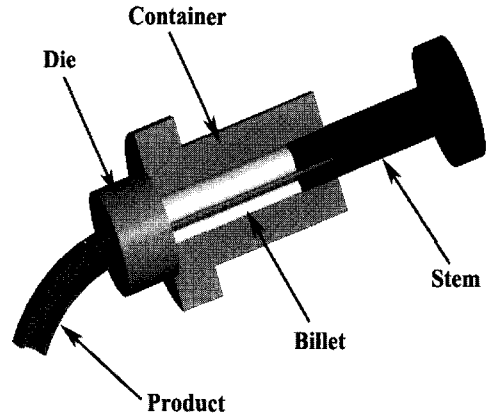


Fig. 1 The Principle of extru-bending process

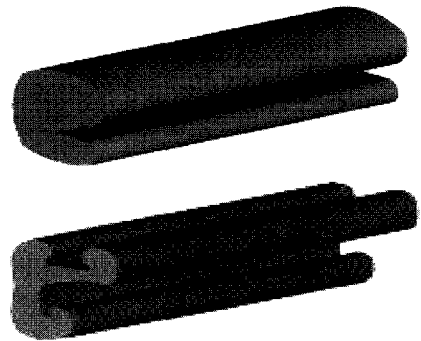
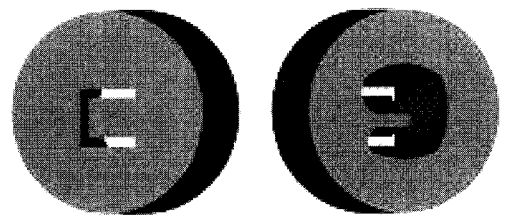
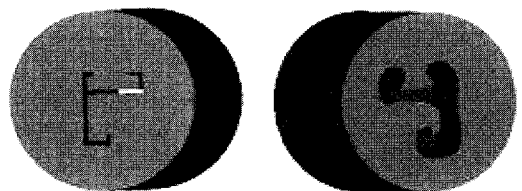


Fig. 2 The asymmetric shape of billets

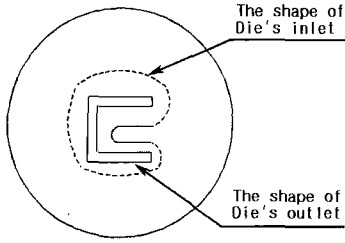


a) asymmetric 'c' section die

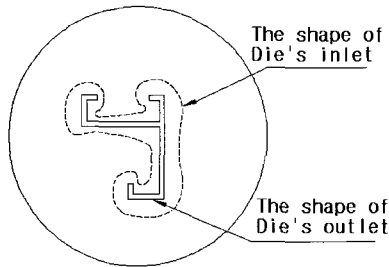


b) asymmetric 'h' section die

Fig. 3 The 3D modeling of extrusion dies



a) The eccentric extrusion dies with 'C' section



b) The eccentric extrusion dies with 'h' section

Fig. 4 The layout of extrusion dies

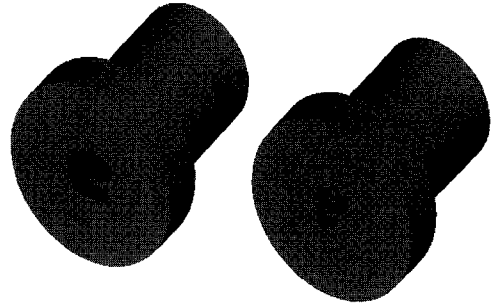
입구의 형상이 기본적으로 출구 단면 제품의 형상과 유사하게 하되 압출 될 수 있도록 입구 단면적을 크게 하고 압출 될 때 굽어지게 하기 위하여 굽어지는 바깥면 부분에서의 소재 유입이 많이 되도록 상대적으로 입구부의 바깥면을 부분적으로 크게 한 다이 설계 단면도를 나타낸다.

Fig. 5 와 Fig. 6 은 각각의 컨테이너와 스템을 3D 모델링으로 보여주는 그림으로 컨테이너의 빌렛 삽입 부분은 다이의 입구부분과 동일한 형상으로 되어있고 스템도 동일한 형상으로 되어 있음을 보여주고 있다.

Fig. 7은 압출굽힘가공 공정 중에 발생하는 소재 흐름도로서 다이의 입구 단면 형상과 동일한 형상의 빌렛이 사용되며 원추형 다이를 통과하여 굽어진 제품으로 압출되어지는 소재의 흐름도를 나타낸다.

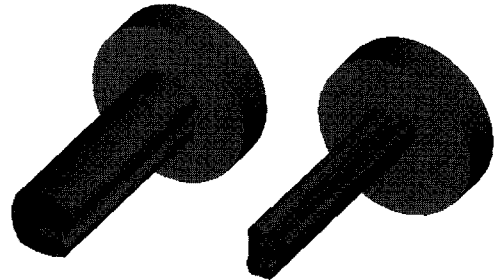
2.2 플라스틱을 이용한 압출 실험

'C' 단면형상과 플랜지가 붙은 비대칭 'h' 단면형상의 압출굽힘을 위하여 압출다이는 앞서 설명한 경사형 다이를 사용하였으며 일반적인 압출기의 스템형상인 원형 환봉대신에 빌렛의 단면형상과 같은 특수한 압출 스템형상을 사용하였다. 기본적으로 다이 입구형태는 다이 출구형상과 유사하게 설계하도록 하고 압출을 위해서



a) 'C' section container b) 'h' section container

Fig. 5 The 3D modeling of container



a) 'C' section stem b) 'h' section stem

Fig. 6 The 3D modeling of extrusion stem

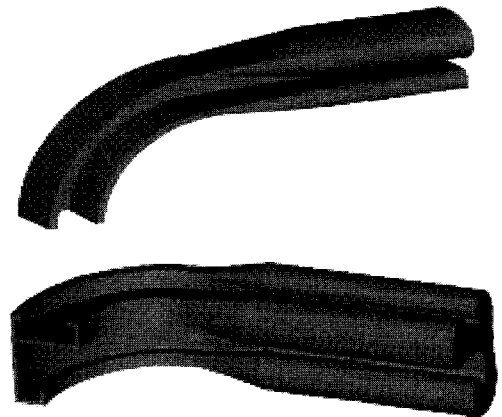


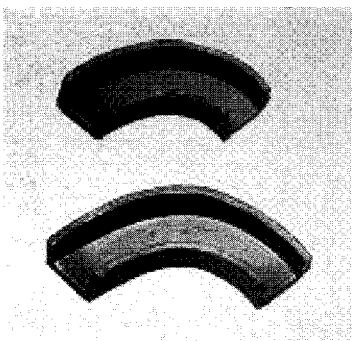
Fig. 7 The metal flow of extru-bending process

입구단면적을 크게 하였다. 이러한 형태를 바탕으로 굽어지는 형태에 따라서 굽어지는 바깥면의 플랜지 부분의 입구단면적을 크게하여 단면적의 편차를 주어 다이 출구면상에서 압출속도가 차이가 나도록하여 굽어지도록 하였다. 즉

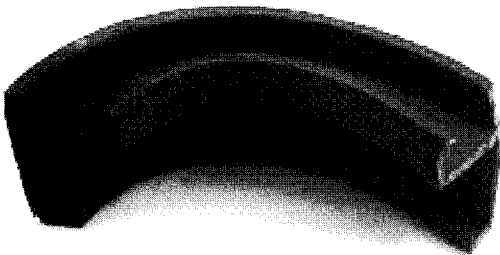
‘c’단면을 가지는 제품과 ‘h’단면을 가지는 제품 모두가 굽힘방향의 바깥면에 해당하는 다이 입구의 단면적을 크게 하여 출구 단면에서 빠르게 압출되도록 하였으며, 또한 빌렛의 균일한 초기 유입을 위해서 다이의 입구 형상과 빌렛 단면형상을 동일하게 설계하였다. 그리고 원형 빌렛이 아니므로 빌렛에 압력을 가하는 스템의 형상도 빌렛의 단면형상과 같이 설계되었다.

Fig. 8은 플라스틱신의 압출굽힘 실험결과로서 ‘c’단면 제품은 소재 유입부의 상하 비대칭 소재 형상으로 인하여 제품이 굽어져 나오는 것을 확인할 수 있었고 ‘h’단면 제품 또한 제품의 단면이 외형결함 없이 압출 중에 굽어졌으며 압출 초기부터 최종단계까지 제품단면의 찌그러짐이 없이 비대칭 단면 형상을 유지하였으며 제품의 단면 두께의 변화도 없는 것으로 나타났다.

Fig. 9는 압출 속도에 따른 곡률의 변화를 나타낸 것으로 2mm/s, 4mm/s, 6mm/s의 압출속도에서의 곡률이 변한 압출품의 모습으로서 압출 속도가 빠를수록 곡률이 작아짐을 볼 수 있으며 곡률의 크기는 압출 속도의 영향을 받는 것을 알 수 있다.

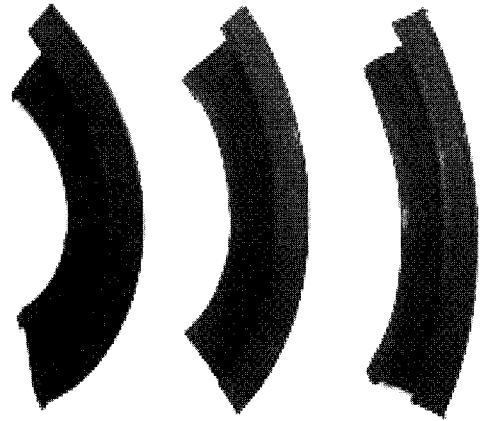


a) ‘c’section



b) flanged ‘h’ section

Fig. 8 The experimental results of curved product with plasticine



2mm/sec($\rho=20$) 4mm/sec($\rho=26$) 6mm/sec($\rho=50$)

Fig. 9 The difference of curvature of curved product

2.3 DEFORM-3D를 이용한 압출굽힘 해석

Fig. 10은 상용 소프트웨어인 DEFORM-3D를 이용하여 다이 형상에 따른 알루미늄 소재를 해석한 결과로서 ‘c’단면 형상을 가진 제품의 압출 굽힘 공정해석을 통해 소재의 상하 비대칭에 의하여 일정한 곡률을 가진 제품을 압출할 수 있음을 확인하였다.

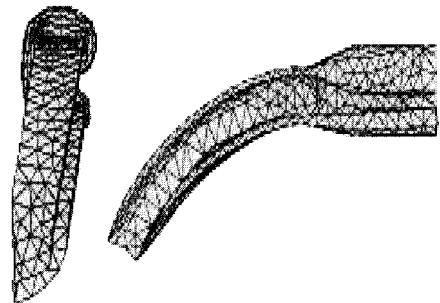


Fig.10 The analysis result by DEFORM-3D

Fig. 11은 ‘h’단면 형상을 가진 제품을 해석한 결과로서 다이 입출구의 형상에 편심이 되어 있는 다이의 입구를 통과한 소재는 다이 내부에서 유동 속도의 차이가 발생하며 그 결과로 다이 출구에서 굽어져 나옴을 볼 수 있다. 이러한 결과는 압출다이 설계시 입구와 출구의 형상이 굽힘 곡률을 결정짓는 중요한 변수가 됨을 알 수 있다.

압출빌렛의 비대칭 형상에 의한 플랜지단면을 가지는 곡봉의 압출굽힘가공

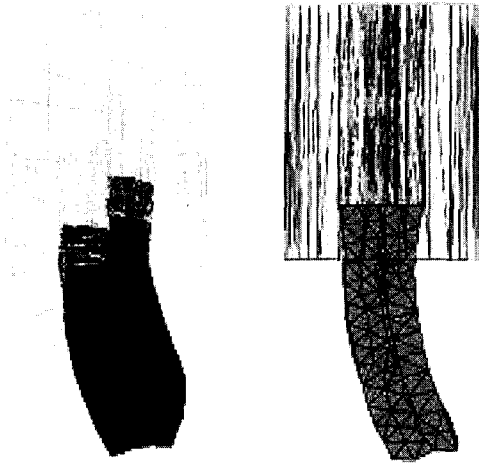


Fig.11 The analysis result by DEFORM-3D

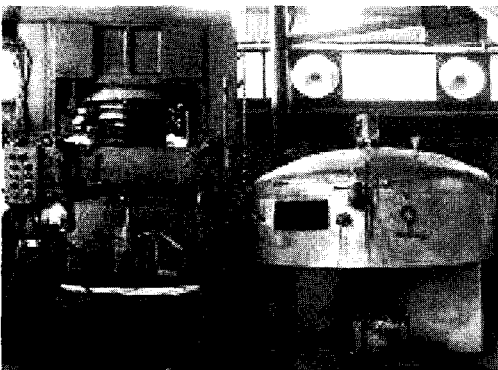
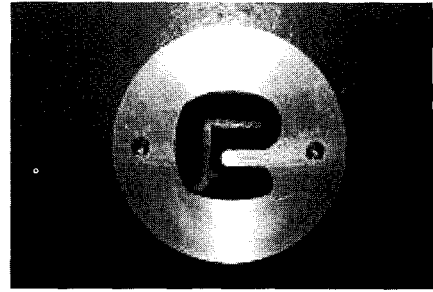


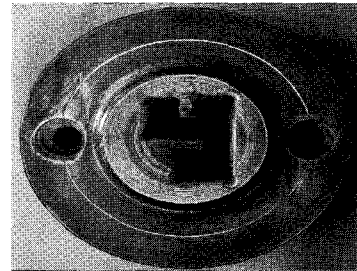
Fig.12 The photo of oil-hydraulic press and heater



Fig.13 The photo of hot metal extru-bending Machine



a) 'c' section



b) flanged 'h' section

Fig.14 The photo of extrusion dies

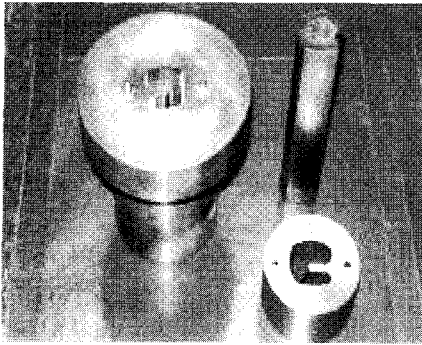
3. 알루미늄을 사용한 압출굽힘실험

3.1 실험장치

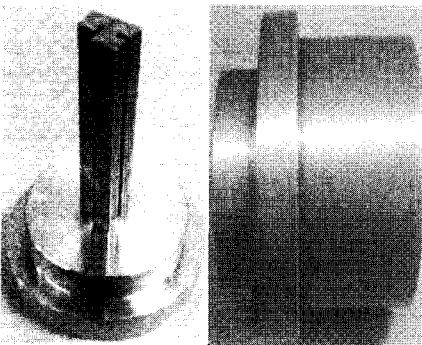
모사재료인 플라스틱으로 실험한 내용과 DEFORM-3D 해석을 바탕으로 알루미늄 6063 재료를 사용하여 'c' 단면 형상을 가진 제품과 'h' 단면 형상을 가진 제품에 적용하기 위해서 일반 유압 프레스와 열간 압출굽힘기를 사용하여 실험하였다.

Fig. 12는 'c' 단면 형상을 가진 제품의 압출 실험에 사용된 장치로 왼쪽은 일반 600Ton 유압 프레스이고 오른쪽은 컨테이너에 삽입될 빌렛을 가열하는 가열기이다.

Fig. 13은 'h' 단면 형상을 가진 제품의 실험에 사용된 열간 압출굽힘기로서 압출 하중 200ton과 압출 속도를 조절할 수 있는 콘트롤 박스와 압출시 컨테이너의 온도 조절을 위한 온도 제어장

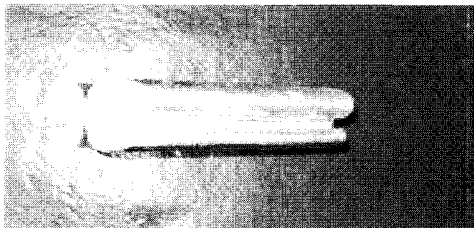


a) 'C' section die and extrusion stem

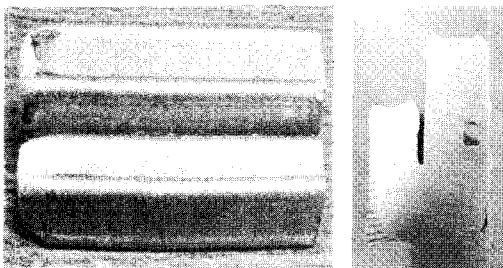


b) 'h' section die and extrusion stem

Fig.15 The photo of container and stem



a) asymmetric shape of 'C' section



b) asymmetric shape of 'h' section

Fig.16 The shape of aluminum billet

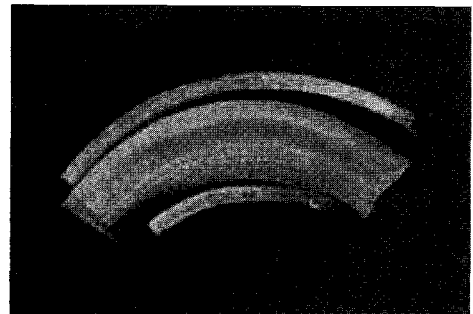
치, 유압회로장치 그리고 콘테이너에 삽입하기 전에 빌렛을 가열하는 전기로 등으로 구성되어 있다.

Fig. 14는 알루미늄 재료의 열간 압출을 위해 제작한 경사형 다이를 보여주는 그림으로 다이의 재질은 SKD 61종으로 압출하중과 고온에 견디도록 하였고 다이 내부형상은 다축 와이어컷으로 가공하였다. 그리고 진공열처리를 통하여 내부 강도와 경도를 증가시킨 것으로 Fig. 4의 설계에 따라 예비 실험과 해석을 통하여 다이를 수정 보완한 모양을 보여주고 있다.

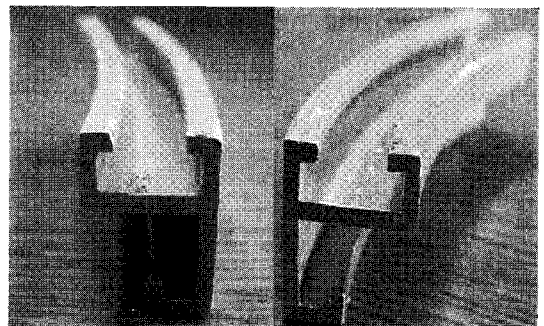
Fig. 15는 각각의 컨테이너와 스템의 모습을 보여주고 있는 그림으로 컨테이너는 다이의 열변형을 고려하여 같은 재료인 SKD 61종을 사용하여 열처리 하였다.

Fig. 16은 빌렛의 비대칭 형상을 보여주는 그림으로 알루미늄 6063을 사용하여 주조로 통해 만들어진 비대칭 단면을 가진 소재형상으로서 다이 입구의 면적과 같은 단면을 가진 봉으로 되어 있다.

3.2 알루미늄을 사용한 실험결과



a) 'C' section



b) flanged 'h' section

Fig.17 The experimental results of aluminum curved product

4. 결 론

Fig. 17은 알루미늄 빌렛을 사용하여 압출굽힘 실험결과이다. 그림에서 보면 대칭단면을 가진 'c' 형의 단면을 가진 알루미늄 제품을 비대칭 단면을 가진 알루미늄 소재를 사용하여 압출과 동시에 굽힐 수 있음을 알 수 있었다. 그리고 'h' 단면 형상을 가진 제품에서도 일정한 곡률을 가지는 제품을 압출과 동시에 얻을 수 있었고 이러한 단면들을 일반적인 굽힘 방법으로 굽힐 때 발생할 수 있는 결함들이 발견되지 않았다.

Fig. 18은 앞의 플라스틱신을 사용한 압출결과와 알루미늄을 사용한 결과를 비교한 그림으로서 그림 a)에서 왼쪽의 제품이 알루미늄을 사용한 실험 결과이고 오른쪽의 제품이 플라스틱신을 사용한 실험 결과이다. 그림 b)에서는 위쪽의 제품이 알루미늄을 사용한 실험 결과이고 아래쪽 제품이 플라스틱신을 사용한 실험 결과이다. 알루미늄과 플라스틱신을 사용한 실험가공에서 동일한 굽힘 현상을 얻을 수 있었다.

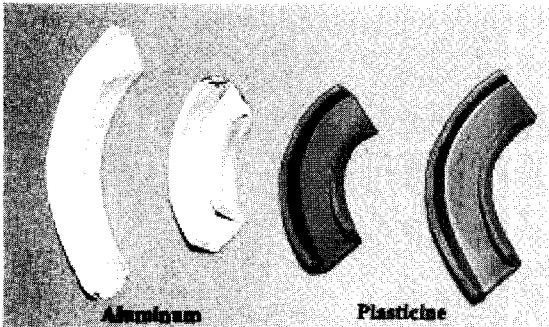
본 연구는 알루미늄 6063을 사용한 'c' 단면 형상을 가진 제품과 플랜지가 붙은 비대칭 'h' 단면 형상을 가진 제품을 압출 굽힘 가공을 통해 일정한 곡률을 가진 제품으로 압출할 수 있었으며 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 알루미늄을 사용한 압출 굽힘 실험에서 압출빌렛의 비대칭 형상을 이용하여 다이의 입출구의 편심에 따른 소재의 유입량을 조절하여 다이 내부에서 빌렛의 유동량을 변화시켜 다이 출구에서 압출속도가 단면상에서 편차되도록 하여 굽힘을 발생시키도록 하였다.

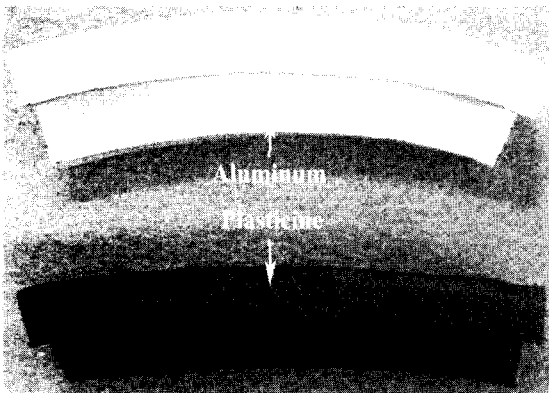
(2) 플라스틱신을 사용한 실험결과에서도 소재의 비대칭 형상으로 인하여 다이출구에서 굽어져 나오는 것을 확인할 수 있었다.

(3) 알루미늄 6063을 사용한 압출 실험의 결과와 같이 DEFORM™-3D를 이용한 압출굽힘 해석에서도 빌렛의 비대칭 단면형상으로 인하여 굽힘이 발생함을 알 수 있었다.

따라서 상기 결과로서 알루미늄 6063을 이용하여 비대칭 단면 소재의 형상을 조절하여 압출과 동시에 굽히게 되면 굽히기 힘든 단면형상을 가진 제품을 굽힘결함 없이 굽힐 수 있음을 알 수 있었다.



a) 'c' section products



b) flanged section products

Aluminum $\rho=86.5$, Plasticine $\rho=179$

참 고 문 헌

- [1] 김진훈, 진인태, 1998, 편심압출굽힘가공법에 의한 사각형 단면을 가진 중공 튜브제품의 U형굽힘가공에 관한 연구, 한국소성가공학회지, Vol.7, No.2, pp. 177~185.
- [2] 박대운, 진인태, 2002, 열간금속 압출 굽힘기를 이용한 금속곡관의 압출굽힘가공에 관한 연구, 한국소성가공학회지, Vol. 11, No.3, pp. 262~268.
- [3] 박대운, 진인태, 2004, 원형 도는 사각 단면을 가지는 알루미늄 곡관 튜브제품의 열간금속압출굽힘가공, 한국소성가공학회지, Vol. 13, No.8, pp. 663~670.
- [4] J. S. Gunasekera, S. Hoshino, 1980, Analysis of Extrusion of Non-Circular Section through Shaped Dies, Analysis of CIRP, Vol. 29, pp. 141~145.

Fig.18 The experimental results of curved products

- [5] T. Sheppard, 1999, Extrusion of Aluminum Alloys, Kluwer Academic Publishers.
- [6] Pradip K. Saha, 2000, Aluminum Extrusion Technology, ASM International.
- [7] N. R. Chitkara, K. F. Celik, 2001, Extrusion of non-symmetric T-shaped section, an analysis and some experiments, Int. J. Mech. Sci., Vol. 44, pp. 217~246.