

# 두개의 압출빌렛을 사용하는 ‘ $\wedge$ ’ 단면 앵글 구조재의 압출굽힘가공에 관한 연구

이경국<sup>1</sup> · 진인태<sup>#</sup>

## A Study on the Extrusion-Bending Process of the Angle Product with ‘ $\wedge$ ’ Section Using Two Extrusion Billets

K. K. Lee, I. T. Jin

(Received December 7, 2004)

### Abstract

In the present study about extrusion-bending of angle product, the bending of extruded angle products with the ‘ $\wedge$ ’ section and ‘ $\sqsupset$ ’ section can be obtained using two extrusion billets by the hot metal extrusion-bending machine with the two punches moving in the different velocity. The bending curvature can be controlled by the different velocity of billets through the two-hole container. This paper describes simulations and experiments of extrusion-bending process that can make bending during extruding by the difference of stem velocities. And they are applied to two kinds of dies, that is, one of them is conical dies with symmetry ‘ $\wedge$ ’ section and the other one is conical dies with asymmetry ‘ $\sqsupset$ ’ section. The results of the forming simulation by DEFORM<sup>TM</sup>-3D and results of experiments show that the bending phenomenon at the die exit during extrusion can be obtained with two extrusion billet by the two stems moving in the different velocity. And it is known that it is possible to design the structure of conical cavity of extrusion dies and to control the curvature of product through the simulation and experiment of extrusion-bending process.

**Key Words** : Extrusion-Bending Process, ‘ $\sqsupset$ ’ Section Extruded Product, Multi-Hole Container, Multi-Stems, Multi-Billet, Curvature, Relative Velocity, Curved Product

### 1. 서 론

일반적으로 복잡한 단면의 이형재 제품을 일정한 곡률을 가진 제품으로 굽힘가공할 때 주름이 발생하든지 단면의 두께가 현저히 변화되어 굽어진 형상을 만들기가 쉽지 않다. 또한 그 형상이 굽히기가 힘든 단면을 가진 제품이라면 그 결함이 더 심하게 발생할 것이다. 본 연구는 이러한 굽힘결함을 제거하기 위해서 압출가공중에 굽힐 수 있는 방법으로서 두 개의 빌렛을 사용하고 굽

속압출가공중 유입되는 빌렛의 유입량을 다르게 하는 방법으로 두 개의 펀치를 사용하였고 각각 두 개 빌렛의 상대편차속도의 차이를 이용한 압출굽힘원리를 적용한 굽힘해석과 실험으로 최적의 다이형상을 찾고자 하였다.

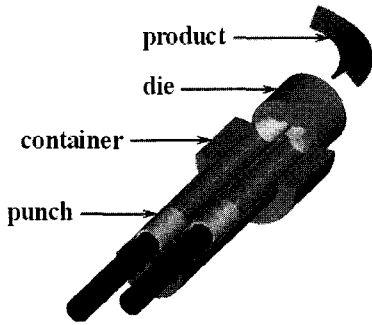
압출제품의 형상과 굽어진 형상에 따라 두 개의 펀치를 사용하여 좌우 펀치의 상대속도차이로 인하여 굽어지는 현상[1~6]에 대해서 3 차원 해석 프로그램을 사용하여 압출다이의 설계 등에 이용할 필요성이 있었다. 따라서 상용 소프트웨

1. 부경대학교 대학원 설계생산자동화전공  
# 교신저자: 부경대학교 기계공학부  
E-mail: jint@pknu.ac.kr

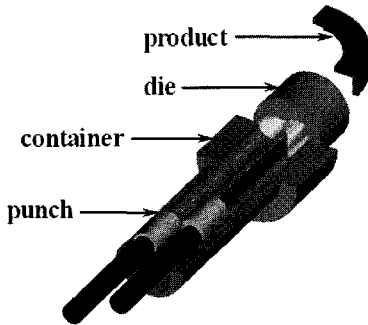
어인 DEFORM-3D 를 이용하여 해석하고 다이 설계를 최적화 하여 해석결과를 통하여 두 펀치를 이용한 압출굽힘가공에서 상대편차속도차와 굽힘곡률의 관계를 확인하고 실험모사소재인 플라스틱신을 이용한 실험결과와 비교하였다.

## 2. 압출굽힘가공의 원리 및 굽힘해석

### 2.1 압출굽힘가공의 원리



(a) curved ‘^’ section extruded product



(b) curved ‘7’ section extruded product

Fig. 1 The Principle of extru-bending process by the difference of relative velocity of the punches

좌우대칭 ‘^’ 단면 압출굽힘기 Fig. 1(a)와 좌우비대칭 ‘7’ 단면 압출굽힘기 Fig. 1(b)의 그림에서 금속곡봉의 압출굽힘과정을 보면 우측의 속도를 빠르게 할 경우 우측방향의 가열된 빌렛의 속도가 좌측방향의 빌렛 보다 컨테이너 내부에서 빠르게 이동한다. 이 두 개의 빌렛들은 경사형 다이를 통과할 때 서로 접합되어 합쳐지게 되면서 좌측방향으로 굽어져 압출되게 된다.

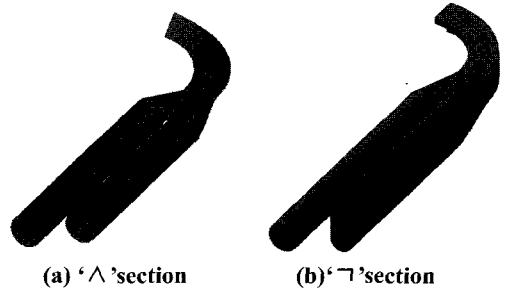


Fig. 2 The metal flow of extru-bending process using two billets

Fig. 2 (a), (b) 는 Fig. 1에서 좌우대칭과 좌우비대칭의 각 압출굽힘기들에 의한 내부 재료의 흐름을 나타내고 있다. 각 그림을 보면 두 개의 압출빌렛으로부터 가운데 압출다이에서 접합과 동시에 제품의 형태로 압출되면서 두 개의 빌렛의 유입속도차이로 말미암아 출구단면에서 속도차이로 인하여 굽어지는 것을 나타낸다.

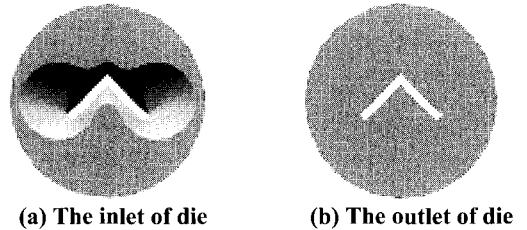
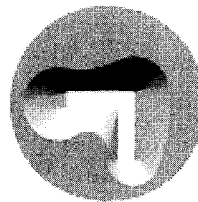


Fig. 3 The figure of ‘^’ section conical die



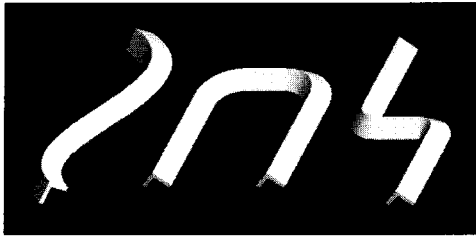
(a) The inlet of die



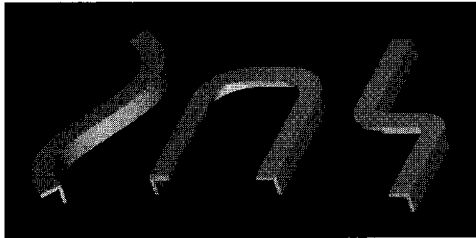
(b) The outlet of die

Fig. 4 The figure of ‘7’ section conical die

Fig. 3과 Fig. 4는 경사형 다리로 각각 두 개의 빌렛이 유입될 수 있도록 설계되어있는 좌우대칭 ‘^’ 단면 및 좌우비대칭 ‘7’ 단면 다이의 입구부와 출구부의 형상을 나타내었으며, 실제 압출굽힘가공 해석에 사용되어진 모델의 형태이다. 이들은 각각 입구부에서 출구부까지 등각으로 연결한 원추형 표면을 가지고 있다.



(a) symmetry 'A' section



(b) asymmetry 'Gamma' section

Fig. 5 The curved products by extru-bending process

Fig. 5는 압출굽힘가공에 의해서 가공될 수 있는 제품들의 형상이다. (a)의 그림은 좌우대칭 'A' 단면 제품의 굽힘형상을 보여주고 (b)의 그림은 좌우비대칭 'Gamma' 단면 제품의 굽힘형상을 나타낸다. 압출굽힘을 통하여 굽히기 힘든 단면을 다양한 형상으로 굽히게 되면 굽힘결합이 없는 그림과 같은 압출제품을 얻을 수 있다.

## 2.2 좌우대칭 'A' 단면 경사형 다이에서 굽힘해석

좌우대칭형 'A' 단면의 앵글 구조재의 굽힘을 해석하기 위해서 상용소프트웨어인 DEFORM-3D를 이용하였고, 실제 실험에서 사용되어진 형상을 적용하여 모델링 하였다. Fig. 6은 좌우대칭형 'A' 단면형상에 대해서 동일한 직경을 지닌 두 펀치의 같은 속도에 의한 압출굽힘가공한 해석 결과로서 펀치의 속도차이가 없기 때문에 직선으로 압출되어 나오는 형상이다. 이때 사용한 소재는 알루미늄 6063이고 mesh를 25000개로 나누어 해석한 결과이다.

Fig. 7은 좌우펀치의 상대속도편차에 의해서 굽힘이 발생하는 해석결과를 보여주는 그림으로서 좌우대칭 'A' 단면 형상을 가진 제품을 압출할 때 사용한 두 펀치의 상대속도편차로 인하여 일정한 곡률을 가진 제품을 압출할 수 있음을 해석을 통하여 알 수 있다.

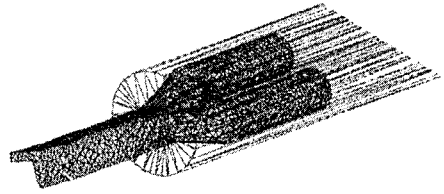


Fig. 6 The simulation of extru-bending process without difference of punch velocity

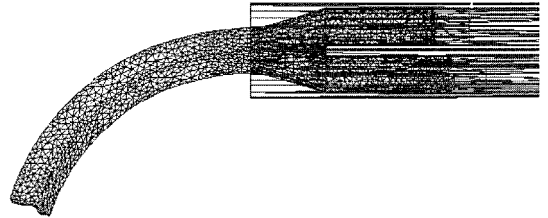


Fig. 7 The simulation of extru-bending process by the difference of velocity of punches

## 2.3 좌우비대칭 'Gamma' 단면 경사형 다이에서 굽힘해석

좌우비대칭형 'Gamma' 단면형상의 해석에서는 압출되어지는 제품의 단면구조가 좌우상하 비대칭을 하고 있으므로 다이의 구조가 비대칭으로 설계되었고, 두 펀치가 서로 다른 형상의 단면을 가지게 설계되었다. Fig. 8은 좌우비대칭형 'Gamma' 단면을 가진 제품생산에 있어서 서로 다른 형상을 지닌 두 개의 펀치에 의한 상대속도편차가 없는 압출굽힘가공 공정의 해석을 보여주고 있다.

Fig. 9는 서로 다른 형상을 지닌 두 펀치의 상대속도편차가 있는 경우의 해석결과를 보여주는 그림이다. 좌우비대칭형 'Gamma' 단면 형상을 가진 제품의 압출 굽힘에서도 두 개의 펀치에 의한 상대속도편차로 일정한 곡률을 가진 제품을 압출할 수 있음을 확인하였다.

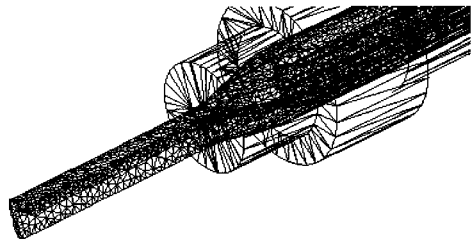


Fig. 8 The simulation of extru-bending process without difference of punch velocity

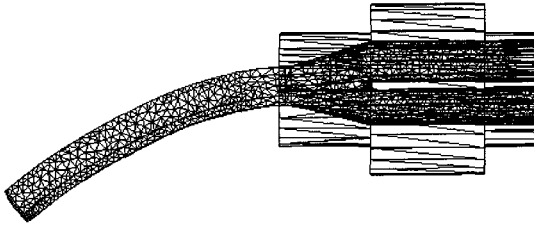


Fig. 9 The simulation of extru-bending process by the difference of punches

### 3. 압출굽힘실험장치

#### 3.1 플라스틱신 압출굽힘기

Fig. 10은 본 실험에 사용된 플라스틱신 압출굽힘기로 일정속도를 가진 한 개의 펀치와 가변속도로 조절할 수 있는 하나의 가변속도펀치로 구성되어 있다.

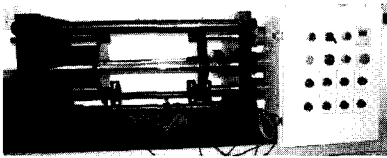


Fig.10 The photo of plasticine extru-bending machine

#### 3.2 실험재료

실험에 사용된 재료는 열간상태의 금속재료를 사용해야하나 압출하중이 과다한 관계로 소성 모사재료를 사용하였다. 즉, 1000℃ 열간 가공에서 연강과 유동특성이 유사한 플라스틱신을 이용하였으며 컨테이너에 삽입하기 위해 컨테이너 구성에 맞는 환봉 형태와 컨테이너의 형상에 맞도록 구성하여 재료 내의 기포를 제거한 후에 사용하였다.

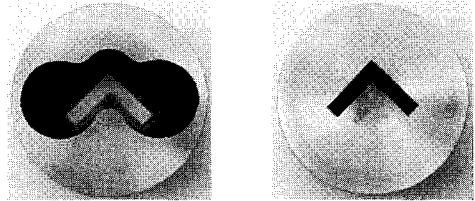
#### 3.3 좌우대칭 '∧' 단면 경사형 압출다이의 구조

Fig. 11은 실험에 사용된 경사형 다이로 두개의 빌렛이 유입될 수 있도록 설계되어 있으며, 다이의 출구형상이 '∧' 형상인 단면과 입구 형상을 연결하는 면으로 구성된 좌우대칭 원추형 다이이다.

이 다이는 '∧' 형상 압출제품을 가공할 때 좌우 대칭으로 압출되도록 다이의 출구 부분을 설계하였으며, 이에 따라 다이 내부로 유입되는 빌렛의 입구부 역시 좌우가 대칭이 되도록 설계를 하였다. 입구부는 다이의 출구 부분에 맞추어 다

이의 입구부와 출구부가 좌우대칭 형태로 서로 등각표면을 이루도록 설계하였다.

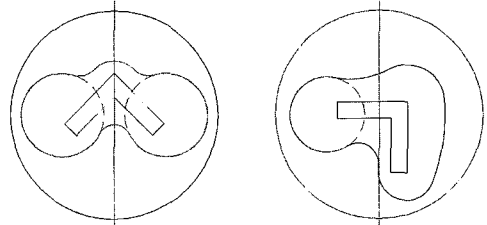
Fig. 12는 좌우대칭형과 좌우비대칭형에서 빌렛의 단면형상과 제품의 입구부와 출구부의 단면형상을 나타낸 것이다.



(a) The inlet of die

(b) The outlet of die

Fig.11 The figure of '∧' section conical die



(a) symmetry

(b) asymmetry

Fig.12 The layout of a conical die

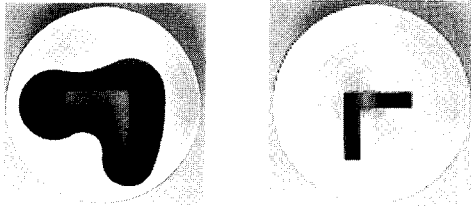
#### 3.4 좌우비대칭 '∧' 단면 경사형 압출다이의 구조

Fig. 13은 실험에 사용된 경사형 다이로 입구 부분에서 서로 다른 형상의 두개의 빌렛이 유입될 수 있도록 설계되어 있으며, 다이의 출구부에서는 좌우상하 비대칭 '∧' 형상인 단면으로 설계되었다.

Fig. 13의 다이는 '∧' 형상 압출제품을 가공할 때 '∧' 형상 그대로 즉, 앵글제품을 압출가공할 수 있도록 설계제작된 것이다. 제품이 압출되어 생산될 때 제품 자체가 Fig. 11의 다이에서와 같이 좌우 대칭형으로 압출되지 않고 '∧' 형상을 그대로 유지하는 앵글제품을 생산할 수 있는 다이이다. 이 다이의 출구부와 입구부는 상하좌우 비대칭형으로 설계제작 되었으며, 입구부와 출구부가 일정한 형태의 등각표면을 이루면서 연결되어 있다.

이 다이들의 특징은 일반적인 압출기에 사용하는 평다이를 사용하지 않고 입구 측에서 출구 측으로 원추형 단면을 구성하고 있어서 두 개의 금속빌렛이 입구 측에서 삽입되어 출구쪽으로 압출

될 때 금속적으로 압력접합이 생기면서 하나의 압출제품으로 압출되는 특징을 가지고 있다.

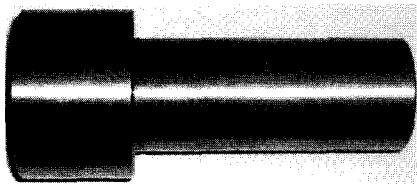


(a) The inlet of die (b) The outlet of die

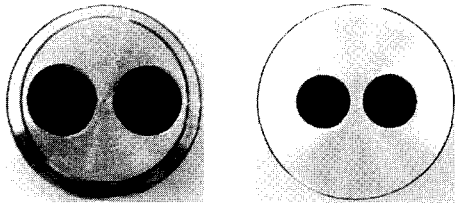
Fig.13 The figure of 'ㄱ' section conical die with asymmetry

3.5 좌우대칭 '△' 단면에서의 컨테이너 구조

Fig. 14는 실험에 사용된 컨테이너로 플러그가 없는 형태로 제작되어 증실제품을 압출할 수 있도록 제작되었으며, 컨테이너 2개의 구멍의 상대 직경의 차이가 없는 것으로 제작되었다.



(a) The Container



(b) The inlet of container (c) The outlet of container  
Fig.14 The two-hole container with no difference of hole diameter

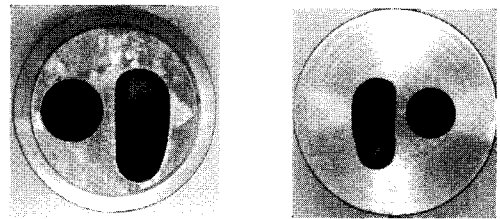
컨테이너의 두 개의 구멍은 좌우대칭 경사형 다이와 결합하여 다이의 입구부 형상에 맞추어서 두 개의 빌렛이 다이내부로 유입되도록 설계제작되어졌다.

3.6 좌우비대칭 'ㄱ' 단면에서의 컨테이너 구조

Fig.15의 컨테이너는 외부의 모양과 치수는 Fig. 14의 좌우대칭 컨테이너와 같으나 빌렛이 유입되

어지는 컨테이너 내부가 비대칭 경사형 다이와 결합하고 또한 경사형 다이의 압출되어지는 형태에 맞추어 컨테이너 구멍 형상이 비대칭적으로 설계제작되어졌다.

좌우비대칭형 구멍의 형상을 가진 컨테이너는 두 개의 구멍에 삽입되는 두 개의 빌렛이 컨테이너 내부를 지남에 경사형 압출다이의 입구로 유입되도록 하며 다이 내부에서 강한 압력으로 잘 접합되도록 경사형 다이의 입구형상과 일치하여 배치하였다.



(a) The inlet of container (b) The outlet of container  
Fig.15 The two-hole container with each different shape

3.7 좌우대칭 '△' 단면에서의 가변속도 조정을 위한 압출스텝 구조

좌우대칭 '△' 단면에서 사용된 스텝은 일반적인 압출스텝의 형태로 되어있지만, 그 구성을 두 개로 하여 각각 다른 속도로 컨테이너 구멍에 삽입되도록 되어있다.

3.8 좌우비대칭 'ㄱ' 단면에서의 가변속도 조정을 위한 압출스텝 구조

Fig. 16의 압출스텝들은 비대칭 컨테이너 구멍의 형상과 맞추어 제작되어져 있고 비대칭 경사형 다이와 비대칭 구멍을 지닌 컨테이너와 결합되어 작동되도록 제작하였다.

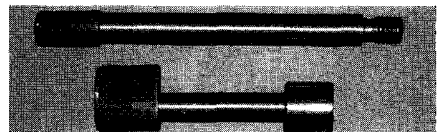


Fig.16 Extrusion stems with different velocity

4. 해석결과 및 실험결과

4.1 좌우대칭 '△' 단면 경사형 다이에서의 압출굽힘 해석결과

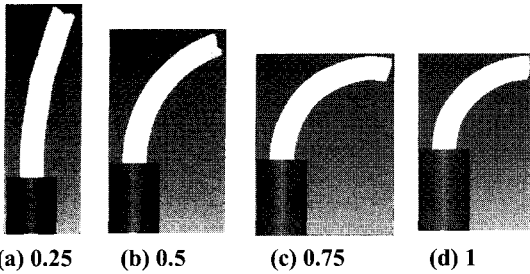


Fig.17 The simulation of extru-bending process by the velocity difference of stems (mm/s)

Fig. 17은 '∧' 단면 경사형 다이에서의 압출굽힘가공의 해석결과이다. 두 소재의 속도차이를 0.25~1(mm/s)로 하여 압출을 하였을 때, 그 상대속도차에 의하여 굽어지는 것을 DEFORM-3D의 해석결과로 알 수 있다. Fig. 18에 나타낸 바와 같이 상대속도차이가 증가함에 따라 곡률도 증가하는 것을 알 수 있다.

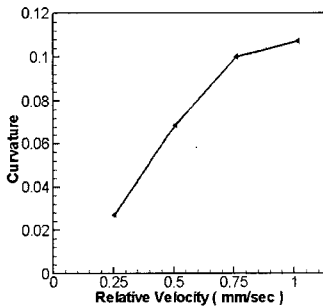


Fig.18 The relation of curvature and relative velocity

#### 4.2 좌우비대칭 'ㄱ' 단면 경사형 다이에서의 압출굽힘 해석결과

Fig. 19는 'ㄱ' 단면 경사형 다이에서의 압출굽힘가공의 해석결과이다.

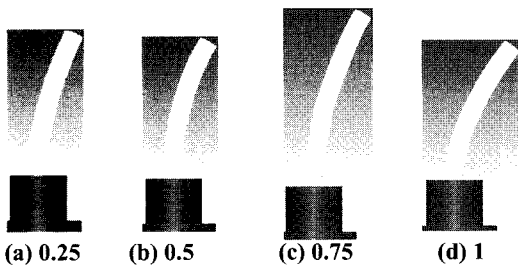


Fig.19 The simulation of extru-bending process by the velocity difference of stems (mm/s)

좌우비대칭 단면의 해석결과에서도 두 소재의 속도차이를 0.25~1(mm/s)로 하여 압출해석을 하였고, 그 상대속도차에 의하여 굽어지는 것을 DEFORM-3D의 해석결과로 알 수 있었다. 상대속도 차이가 증가함에 따라 곡률도 증가하는 것을 알 수 있고, 이것을 Fig. 20의 그래프로 나타내었다.

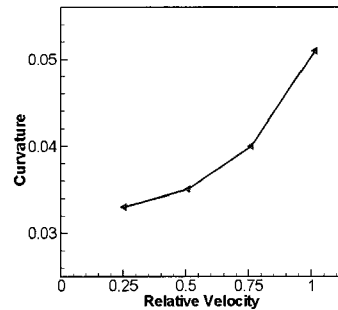


Fig.20 The relation of curvature and relative velocity

#### 4.3 좌우대칭 '∧' 단면 경사형 다이에서의 압출굽힘가공 제품의 모양

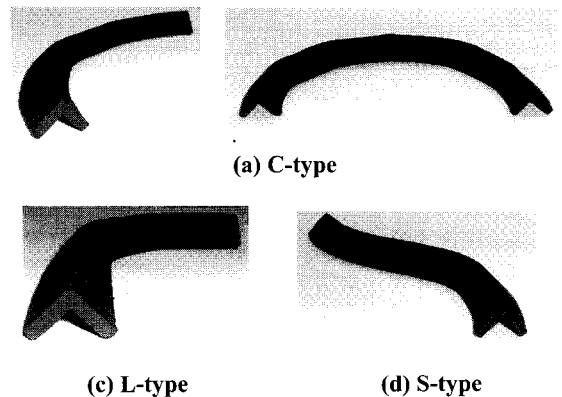


Fig.21 Curved shape of 'ㄱ' section product

Fig. 21은 좌우대칭 경사형 다이에 의해서 압출되어진 제품들이다. 이것은 가변속도 펀치의 조절에 의한 좌우대칭 '∧' 형상의 단면 가진 압출제품을 보여주는 것으로 가변속도펀치의 상대속도차이에 의해 굽힘곡률이 다른 제품을 얻을 수 있음을 보여주고 있다. 또한 일반에서 이런 형태의 제품을 굽힘처리할 경우 일어나는 접힘 현상이나 형상의 찌그러짐이나 찢어짐 현상 등의 굽힘 결함이 나타나지 않음을 확인할 수 있다.

4.4 좌우비대칭 ‘ㄱ’ 단면 경사형 다이에서의 압출굽힘가공 제품의 모양

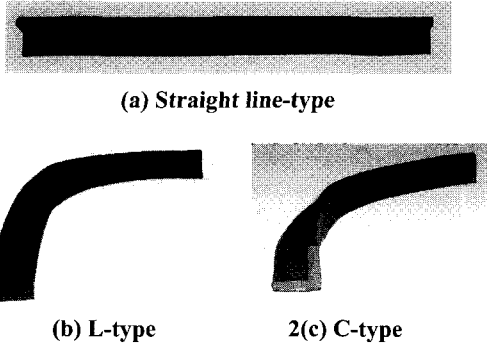


Fig.22 Curved shape of 'ㄱ' section product with asymmetry

Fig. 22는 비대칭 경사형 다이를 이용하여 압출 굽힘가공한 제품의 형상이다.

이 또한 굽힘가공을 하였음에도 좌우대칭형 경사형 다이와 마찬가지로 굽힘시에 나타나는 결함들이 없는 것을 알 수 있다.

4.5 좌우대칭 ‘^’ 단면 제품 압출시스템 상대속도에 따른 굽힘 곡률의 크기



Fig.23 The curved ‘^’ products with each different curvature

Fig. 23은 단면 형상의 변형 없이 일정한 곡률을 가지며 압출된 형상으로서 좌우대칭 경사형 다이를 이용하여 압출굽힘가공 되어진 제품의 곡률변화를 보여주는 것이다. 좌측에서 우측으로 곡률의 크기가 증가함을 알 수 있다.

4.6 좌우비대칭 ‘ㄱ’ 단면 제품의 압출시스템상대속도에 따른 굽힘 곡률의 크기

Fig. 24의 그림은 비대칭 경사형 다이를 이용하여 압출굽힘 가공되어진 제품의 곡률변화를 보여

주는 것이다. 이 사진에서도 그림의 우측으로 갈수록 곡률의 크기가 증가함을 알 수 있다. 좌우비대칭형상의 제품도 다이의 설계를 적절하게 한다면 상대 속도차에 의한 곡률 조정이 가능하다.

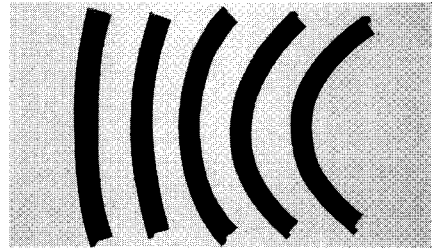


Fig.24 The curved ‘ㄱ’ products with each different curvature

4.7 직선형 제품과 굽어진 제품의 단면형상 및 접합부의 비교

Fig. 25는 좌우대칭 경사형 다이에서 ‘^’ 단면형상의 단순압출시와 압출굽힘시의 단면의 형상을 비교한 것이다. 단순압출 제품과 압출굽힘 제품의 단면을 비교하여 볼 때 제품이 굽어지더라도 단면의 형상이 굽어짐에 의한 변형이 없이 그대로 유지되는 것을 알 수 있고, 단면의 두께가 일정함을 사진으로 확인할 수 있다

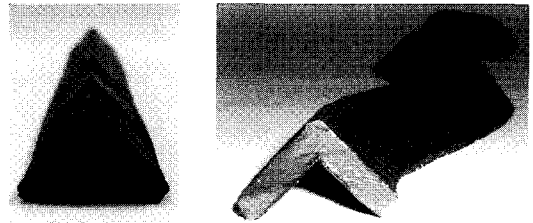


Fig.25 The curved products of two kinds section

Fig. 26은 두 개의 소재의 색상을 다르게 하여 두 빌렛이 굽힘가공될 경우 제품의 유입량의 변화와 접합부를 조사한 사진이다. 이 사진을 보게 되면 직선적으로 압출한 좌측의 경우 접합부의 선이 균일하게 되어 있어 유입되는 소재가 직선적으로 압출하기 위해서 균일하게 되는 것을 볼 수 있으나 우측의 굽힘이 발생하는 제품의 단면을 보면 검은색의 플라스틱신과 흰색의 플라스틱신의 비가 점점 차이가 나서 굽힘에 따라 소재의 유입이 점점 차이가 났음을 알 수 있다. 이러한 소재의 유입차이가 굽힘을 발생시킴을 알 수 있

으며, 중실제품이라 할지라도 두 개의 소재를 사용하여 접합과 동시에 굽힐 수 있음을 알 수 있다.

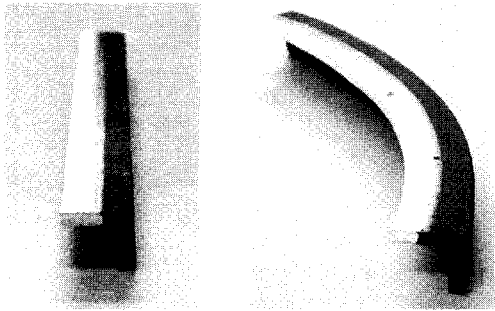


Fig.26 The section of curved products of two kinds with asymmetry

## 6. 결 론

본 연구는 좌우대칭 ‘^’ 단면과, 좌우비대칭 ‘1’ 단면을 가진 압출제품의 압출굽힘가공 해석을 위해서 DEFORM-3D를 이용하여 굽힘해석 하였고 모사소재를 이용한 실험을 통하여 두 개의 빌렛의 상대속도차이에 따라 곡률의 크기가 다르게 됨을 다음과 같이 알 수 있었다.

(1) 두 개의 빌렛을 사용한 압출굽힘 해석에서 각각의 압출편치의 상대속도를 제어함으로써 압출제품의 곡률 및 굽힘 방향을 조절할 수 있었으며 이를 통하여 ‘^’, ‘1’ 단면을 가진 압출 제품의 곡선화가 가능함을 알 수 있었다.

(2) 상대속도편차와 곡률의 관계는 편치의 상대속도편차가 크면 클수록 곡률도 크게됨을 DEFORM-3D해석과 실험을 통하여 증가함을 알 수 있었다.

(3) 각각의 좌우대칭 ‘^’ 단면과, 좌우비대칭 ‘1’ 단면을 가진 압출제품의 압출굽힘가공을 위해서는 다이의 형상, 컨테이너 및 편치의 좌우대칭과 좌우비대칭 형상을 DEFORM-3D 해석 결과를 분석하여 최적의 형상을 찾을 수 있었다.

이상과 같은 결과에 따라 편치의 상대속도편차를 이용하여 굽히기 힘든 좌우대칭 ‘^’ 단면과

비대칭 ‘1’ 단면의 봉재를 굽힐 수 있는 굽힘원리에 대해서 DEFORM-3D의 해석과 실험을 통하여 확인할 수 있으며, 굽히기 힘든 복잡한 단면형상을 가진 중실제품일지라도 경사형 다이의 설계와 편치의 상대속도편차를 이용하면 압출과 동시에 굽힐 수 있음을 해석 및 실험 결과로써 알 수 있었다.

## 후 기

이 논문은 부경대학교 발전기금재단의 연구비 지원사업으로 수행되었습니다.

## 참 고 문 헌

- [1] 박대운, 진인태, 2001, 다지형 압출편치의 상대 이동속도 차이에 의한 금속 곡관의 열간금속 압출 굽힘가공에 관한 연구, 한국소성가공학회 2001 춘계 학술대회논문집, pp.102~105.
- [2] 박중원, 진인태, 2002, 플랜지가 붙은 비대칭 단면형상 제품의 압출가공에 관한 연구, 한국소성가공학회 2002 추계학술대회논문집, pp. 78-81.
- [3] 이경국, 진인태, 2003, ‘1’ 단면 형상 제품의 압출굽힘가공에 관한 연구, 한국소성가공학회 2003 춘계학술대회논문집, pp. 371~374.
- [4] 윤선홍, 이경국, 진인태, 2002, ‘2’ 단면형상의 알루미늄 제품의 열간 금속 압출굽힘가공에 관한 연구, 한국소성가공학회 2002 추계학술대회논문집, pp. 86-89.
- [5] 김진훈, 진인태, 1998, 편심압출굽힘가공법에 의한 사각형 단면을 가진 중공 튜브제품의 U 형 굽힘 가공에 관한 연구, 한국소성가공학회지, Vol7, No5, pp. 496~504.
- [6] 박대운, 진인태, 2002, 열간금속 압출굽힘기를 이용한 금속 곡관의 압출굽힘가공에 관한 연구, 한국소성가공학회 2002 춘계학술대회논문집, pp. 262~268.