

## 열간금속 압출굽힘기를 이용한 금속곡관의 압출굽힘가공에 관한 연구

박대윤\* · 진인태\*\*

(2002년 1월 22일 접수)

## A Study on Extrusion Bending Process using Hot Metal Extrusion Bending Machine

D. Y. Park and I. T. Jin

### Abstract

The bending process for the rectangular and circular curved tube can be developed by the hot metal extrusion machine with the multiple punches moving in the different velocity. The bending phenomenon has been known to be occurred by the different of velocity at the die exit. The difference of velocity at the die exit section can be obtained by the different velocity of billets through the multi-hole container and by the cohesion of billet inside the porthole die chamber. The bending phenomenon can be controlled by the two variables, the one of them is the difference of velocity at the die exit section by the different velocity of billets through the multi-hole container. The other is the difference by the different hole diameter. The results of the experiment show that the rectangular curved tube can be formed by the extrusion process, that the curvature of the curved product can be controlled by the velocity of punch and the diameter of container hole, that the defects such as the distortion of section and the thickness change of the wall of tube and the folding and wrinkling of thin tube did not happen after the extrusion bending processing by the extrusion bending machine.

**Key Words** : Extrusion Bending Process, Rectangular Curved Tube, Multi-Hole Container, Multiple Punches, Circular Curved Tube

### 1. 서론

종래의 굽힘기계는 압출된 금속관을 회전 밴드머시인

으로 적당한 곡률로 가공한다.<sup>(1~2)</sup> 이런 회전 밴드머시인 으로서는 임의의 단면을 가진 금속관을 가공하기 어렵고 가공한다 하더라도 그 단면 또는 두께의 변화와 표면상

\* 부경대학교 대학원  
\*\* 부경대학교 기계공학부

의 좌굴로 인하여 주름이 발생하는 결점등이 나타난다. 이런 결점을 제거하기 위하여 경사형다이와 경사형 프로그의 입출구 단면의 편심의 차이를 조절함으로써 다이 출구상에서 속도차이에 의한 굽힘의 방향과 크기를 조절할 수 있는 굽힘 가공의 가능성에 대해서 연구한바 있다.<sup>(3-8)</sup>

그러나 편심에 의한 굽힘가공방법은 굽힘 방향과 굽힘 곡률을 압출제품의 길이에 따라 곡률의 변하는 굽힘을 제어 할 수 없어 압출가공중에 굽힘 발생과 굽힘 곡률을 임의로 조절이 가능한 구조와 기능이 필요하게 되었다.

따라서 본 연구는 금속압출가공중 유입되는 빌렛의 이동속도 차이에 의한 다이출구상에서 속도차이에 의한 굽힘 원리를 이용하여 굽힘 가공이 가능한 금속압출굽힘장치에 관한 것으로서 가공소재가 되는 가열된 네 개의 금속환봉 빌렛을 다른 속도로 밀 수 있는 다지형압출편치와 다구멍 컨테이너로 구성된 압출굽힘장치의 개발과 금속압출 가공중 유입되는 빌렛의 유입량을 다르게 하기 위하여 컨테이너의 상대 직경의 차이를 이용한 굽힘 원리에 대한 연구이다.<sup>(9-12)</sup>

## 2. 실험장치

### 2.1 열간금속압출굽힘기

일반적인 금속압출기의 기본원리는 압출편치에 의해 단면적이 큰 금속빌렛을 다양한 다이를 통과시켜 단면적이 작은 임의의 형상으로 밀면서 다양한 단면을 가진 금속봉이나 금속관을 만드는 공정이다. 그러나 일반적인 압출기로서는 단면적이 큰 한 덩어리의 빌렛을 컨테이너 내부의 한 개의 구멍에서 한 개의 편치로 밀게 되므로 제품 단면의 형상이 상하 또는 좌우 대칭형인 경우 다이 출구상에서의 굽힘이 발생하지 않는 것으로 알려져 있다.

그러나 네 구멍을 가진 컨테이너에 네 개의 금속빌렛을 삽입하여 각각의 압출편치로 따로 밀면 각각의 빌렛의 밀려들어가는 속도를 다르게 할 수 있으므로 각각의 빌렛이 경사형 다이를 통과 할 때 각각 다른 속도로 들어온 열간상태의 빌렛이 곧 바로 금속융합과정을 거쳐 합쳐져 바로 다이출구로 빠져나갈 때 속도차이가 나면서 굽힘이 발생한다. 이 때 출구속도차이로 말미암아 다이 출구면상에서의 굽힘 현상은 속도가 빠른 부분은 볼록한 형태의 굽힘 면을, 속도가 느린부분은 오목한 굽힘 면을 만들면서 굽어져 압출됨을 알 수 있다. 즉, 각각의 컨테이너 구멍속에서 빠져나온 각각 다른 속도의 빌렛이 경사형다이내부에서 열간상태로 곧바로 금속융합과정과 함

께 속도차이가 나면서 바로 다이출구로 빠져나갈 때 굽힘이 발생하도록 되어 있다.

이러한 금속압출굽힘을 가능하기 위한 구조로서는 네 개의 구멍을 가진 컨테이너와 각각의 구멍에 끼워질 속도가 다른 압출편치와 이 압출편치를 각각 다른 속도로 밀수 있는 유압실린더로 구성되어 있다. 이와 같은 압출굽힘가공을 위해서 편치의 이송속도를 각각 다르게 할 수 있는 유압실린더의 배치와 속도조절, 압출편치의 갯수, 램크로스헤드의 구조, 컨테이너구조등을 종래의 열간금속압출기와는 다르게 구성한 점이 본 연구의 실험장치인 열간금속압출굽힘기의 특징이다.

Fig. 1의 열간금속압출굽힘기의 구성은 동기형유압실린더(가), 형램크로스헤드(나), 변속도유압실린더(다), 가변속도램크로스헤드(라), 다구멍가열컨테이너홀더(마), 다이홀더(바), 지지대(사), 편치상대속도조절장치(아), 유압장치(자), 다지형편치(1), 가변속도편치(2), 다구멍컨테이너(3), 경사형다이(4), 경사형프로그(5)로 구성되어 있다.

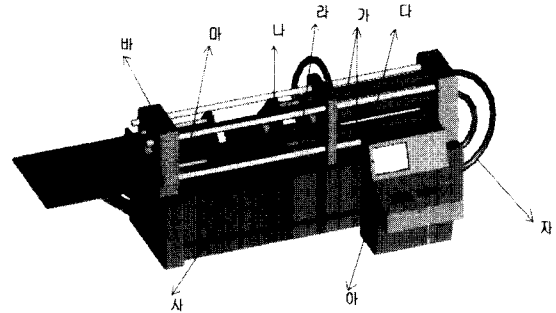


Fig. 1 The photo of hot metal extrusion bending machine

### 2.2 경사형 압출 다이의 구조

입구측과 출구측 단면의 경계선을 연결하는 원추형 곡면으로 구성된 다이로써 경사형 프로그가 삽입될 수 있다.

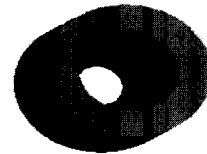


Fig. 2 The figure of conical die

### 2.3 경사형 프로그가 부착된 컨테이너의 구조

네 개의 구멍으로 구성된 컨테이너의 출구부분에 경사형 프로그가 부착되어 경사형 다이에 삽입된다.

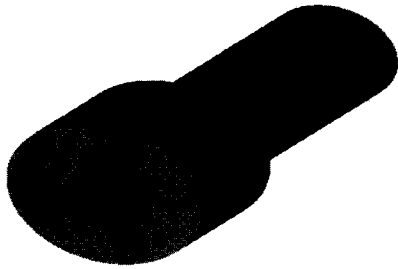


Fig. 3 The figure of conical plug and multihole container

2.4 사각형 단면 경사형 압출 다이의 구조

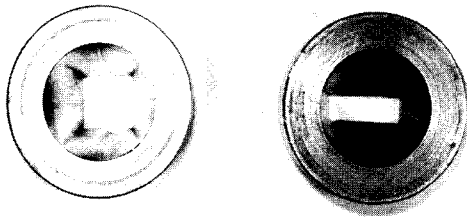


Fig. 4 The figure of rectangular conical die

Fig. 4는 실험에 사용된 경사형 다이로 원형인 다이의 입구에서부터 출구형상이 정사각형과 직사각형 모양의 단면을 가진 다이를 사용하였다.

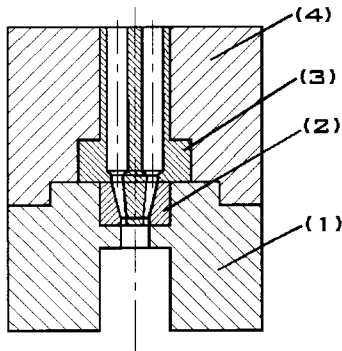


Fig. 5 The cross section of conical die and container

Fig. 5는 실험에 사용된 경사형 다이와 다구멍 콘테이너와의 결합된 상태의 단면을 보여주는 것으로서 (1) 다이홀더, (2) 경사형 다이, (3) 다구멍 콘테이너, (4) 콘테이너 홀더로 구성되어 있다.

2.5 사각형 단면 경사형 프러그가 부착된 상대 직경의 차이가 없는 다구멍 콘테이너의 구

Fig. 6는 실험에 사용된 사각형 단면 경사형 프러그가 부착된 상대직경의 변화가 없는 다구멍 콘테이너를 보여주고 있다.



Fig. 6 The figure of rectangular conical plug and multihole container with no difference of hole diameter

2.6 경사형 프러그가 부착된 상대직경의 차이가 있는 다구멍 콘테이너의 구조

Fig. 7은 압출가공 중에 굽힘을 발생시키는 상대직경의 차이가 있는 구멍을 가지고 있는 다구멍 콘테이너로서  $\phi 15\text{mm}$  구멍 3개와  $\phi 17\text{mm}$  구멍 하나로 되어있다.



Fig. 7 The figure of rectangular conical plug and multihole container with difference of hole diameter

3. 실험방법

3.1 압출제품의 굽힘 모양과 실험재료

실험에 사용된 재료는  $1000^{\circ}\text{C}$  열간 가공에서 연강과 유동특성이 유사한 플라스틱인을 이용하였으며 제품의 기본형상은 “U”, “S”, “ $\neg$ ”형으로 단면은 임의로 하되 본 실험에서는 원형관으로 하였다. Fig. 8은 제품 모양의 모델링을 보여주고 있다.

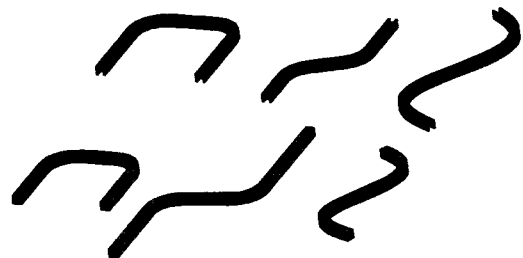


Fig. 8 The figure of sample products

### 3.2 열간금속압출굽힘기

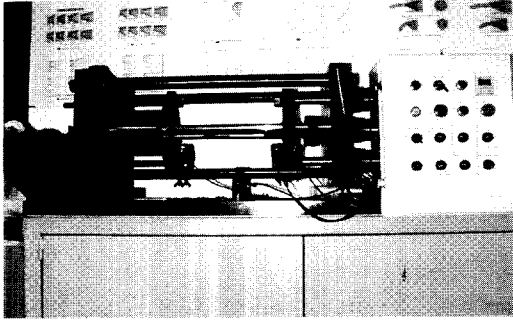


Fig. 9 The photo of hot metal extrusion bending machine

Fig. 9는 실험에 사용된 열간금속압출굽힘기로 3개의 일정속도를 가진 다지형 펀치와 가변속도로 조정 할 수 있는 하나의 가변속도펀치로 구성되어 있고 상대직경이 다른 콘테이너를 사용할 경우에는 4개의 일정한 속도를 가지는 다지형 펀치를 장착 할 수 있도록 되어 있다.

### 3.3 실험방법 및 압출굽힘원리

Fig. 10의 그림에서 금속곡관의 압출굽힘과정을 보면 가변속도펀치(2)의 속도를 느리게 할 경우 가변속도펀치가 부착된 좌측방향의 가열된 빌렛(7)의 속도가 우측방향의 가열된 빌렛(6)보다 콘테이너 내부에서 느리게 이동하게 되어 경사형다이(4)와 경사형 프로그(5)의 사이를 통과할 때 급속적으로 융합되어 합쳐지게 되면서 좌측방향으로 굽어져 압출되게 된다. 이 때 상하펀치는 상대속도의 차이가 없으므로 상하방향으로는 굽어지지 않고 단지 우측방향으로 굽어지면서 압출된다.

이와 반대로 가변속도펀치(2)의 속도를 빠르게 할 경우 좌측방향의 가열된 빌렛이 빠르게 이동하면서 상기의 압출굽힘과정의 굽힘 방향이 반대인 오른쪽으로 굽어지면서 압출되게 된다. 만약 가변속도펀치(2)의 속도를 다지형펀치(1)의 속도와 일치시킬 때는 굽힘이 발생하지 않으면서 직선형으로 압출되어 종래의 압출가공과 같은 공정으로 일반적인 직선관을 가공하게 된다.

이와같이 직선형으로 압출하다가 일시적으로 가변속도펀치(2)의 속도를 느리게 하든지 빠르게 하면 굽어졌다가 다시 가변속도펀치의 속도를 다지형펀치의 속도와 같이 압출하게 되면 다시 직선형으로 압출되면서 Fig. 7과 같은 일반적인 굽힘기에 의한 굽힘 가공의 효과를 가져 오게 된다. 이와같이 가변속도펀치(2)를 다지형펀치(1)속도보다 느리게 또는 빠르게 또는 같게 함으로써 Fig. 7과같은 다양한 곡률을 가진 굽어진 압출제품을 만들 수

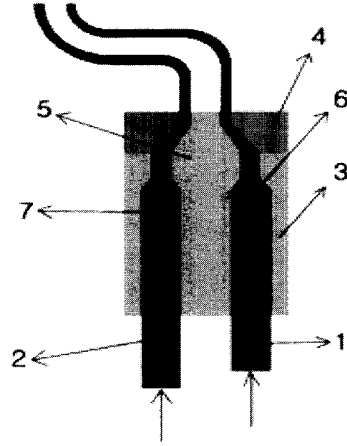


Fig. 10 The figure of curved tube extrusion and bending process

있으며 다양한 단면형상을 가진 압출제품의 곡선화가 가능하다.

굽힘 방향과 굽힘곡률의 조정을 위한 가변속도펀치(2)의 속도조절은 가변속도 유압실린더(다)에 연결된 가변속도조절장치(아)와 유량조절밸브를 포함하고 있는 유압장치(자)에 PLC를 사용하여 압출길이에 따른 제품의 곡률을 계획된 프로그램에 의해 자동적으로 조절하여 제품의 굽어진 형상을 얻을 수 있다.

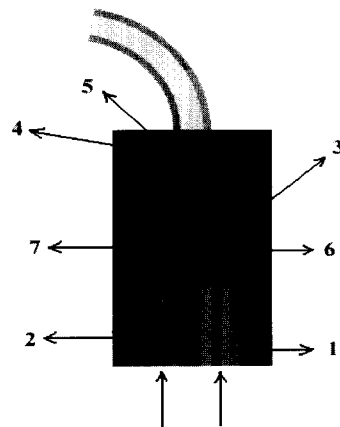


Fig. 11 The Principle of bending process by the difference of relative hole diameter of the container

Fig. 11에서 다구멍 콘테이너의 상대직경이 다른 경우 압출가공시 굽힘이 발생하는 원리를 보면 가열된 다른 직경의 빌렛을 다구멍콘테이너에 삽입한 후 상대직경이 다른 다지형 펀치(1), (2)에 가공하중을 가하면 같은 속

도로 빌렛(6)과 (7)이 챔버로 이동하게 되지만 상대직경의 차이로 챔버에 유입되는 양은 상대직경이 큰 빌렛(6)의 양이 크고 상대직경이 작은 빌렛(7)의 양은 적게 되어서 챔버에 유입되는 양의 차이가 생기게 되고 경사형 다이(4)와 경사형 프러그(5)의 사이를 지나면서 하나로 합쳐지면서 유입량이 적은 좌측방향으로 굽어져서 압출되게 된다. 이때 상하 축의 직경은 일정하게 되어 있으므로 상하방향으로의 굽힘은 발생하지 않게 되고 좌측방향으로만 굽어지면서 압출된다.

#### 4. 실험결과 및 고찰

##### 4.1 원형단면을 가진 금속곡관의 압출굽힘가공의 실험결과 및 고찰

###### 4.1.1 가변속도 펀치의 속도 조절에 따른 굽힘현상

Fig. 12은 가변속도 펀치의 조절에 의한 압출제품을 보여주는 것으로 굽힘 방향과 굽힘곡률의 조정이 가능한 것을 보여주고 있다.

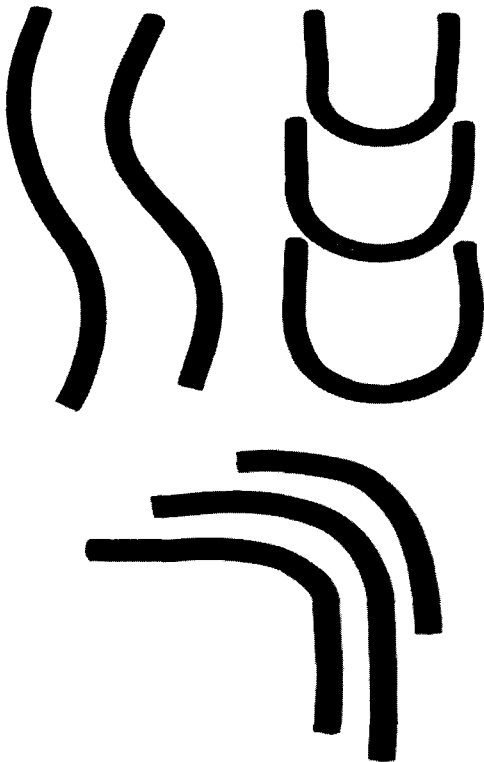


Fig. 12 The photo of curved tube product

##### 4.1.2 굽힘 부분에서의 표면 및 단면의 형상

Fig. 13는 가변속도 펀치의 속도 조절에 의해서 얻은 곡률을 가지는 제품의 굽힘이 발생한 부분의 모습과 그때의 단면을 보여주는 사진으로 곡면부분이 주름이 없이 매끈한 것을 볼 수 있고, 단면에서도 타원형으로 일그러지지 않은 정원의 단면과 두께가 일정하게 유지되고 있음을 확인 할 수 있었다.

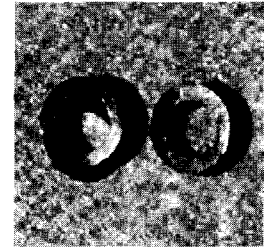
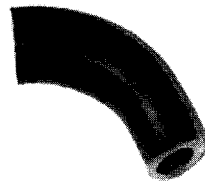
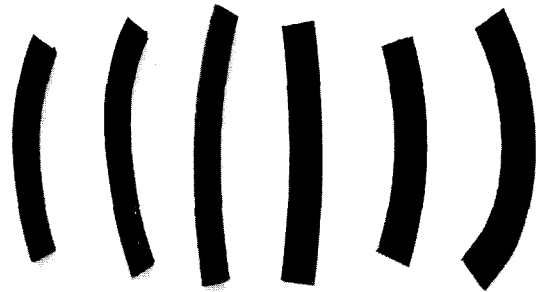


Fig. 13 The photo of curved tube product

##### 4.2 사각단면을 가진 금속곡관의 압출굽힘가공의 실험결과 및 고찰

###### 4.2.1 가변속도 펀치의 속도 조절에 따른 굽힘현상



a) Square Tube Product b) Rectangular Tube Product

Fig. 14 The photo of the rectangular curved tube

Fig. 14는 가변속도 펀치의 조절에 의한 정사각형 단면과 직사각형 단면을 가진 튜브 압출 제품을 보여주는 것으로 가변속도펀치의 상대속도차이에 의해 굽힘 곡률이 다른 제품을 얻을 수 있음을 보여주고 있다.

##### 4.1.2 제품의 곡률과 상대속도

Fig. 15는 가변속도 펀치의 속도 조절에 의해서 얻은 제품의 굽힘 곡률과 상대속도와의 관계를 보여주는 것으로 직사각형 단면 튜브제품은 작은 상대속도의 차이에도 많은 곡률의 변화를 얻을 수 있음을 알 수 있었고,

정사각형 단면 튜브 제품은 직사각형 단면 튜브제품의 상대속도 차이보다 더 커야 비슷한 곡률을 얻을 수 있을 수 있다. 그리고 두 제품 모두 상대속도 차이가 클수록 제품의 곡률이 커짐을 알 수 있다. 제품의 곡률은 곡률반경의 역수이다.

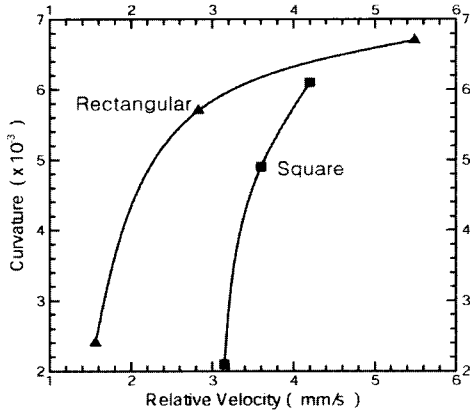


Fig. 15 The relation of relative velocity and curvature

#### 4.3 사각단면을 가진 금속곡관의 다구멍 콘테이너의 상대직경 차이에 의한 굽힘 실험결과 및 고찰

##### 4.3.1 압출 굽힘 가공 제품의 모양

Fig. 16은 다구멍 콘테이너의 구멍 크기의 차이로 얻은 정사각형 및 직사각형 단면을 가진 튜브 제품으로 콘테이너의 상대직경의 차이로도 곡률을 가진 제품을 얻을 수 있음을 보여주고 있다.

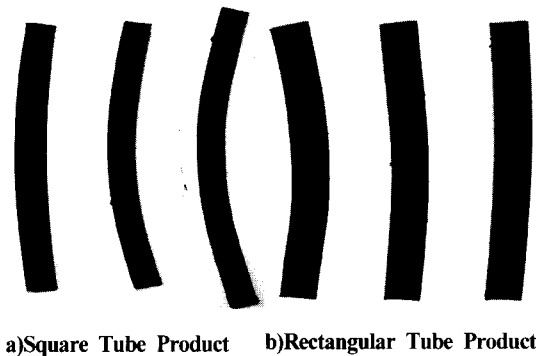


Fig. 16 The photo of the rectangular curved tube

##### 4.3.2 제품의 곡률

Fig. 16은 상대직경의 차이에 따른 다지형 펀치의 속도 변화에 의한 정사각형 및 직사각형 단면을 가진 튜브 제품의 곡률을 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이

직사각형 제품이 낮은 속도에서도 더 잘 굽어짐을 알 수 있었고 상대 직경 차이가 있는 경우에도 압출속도의 변화로 원하는 제품의 곡률을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

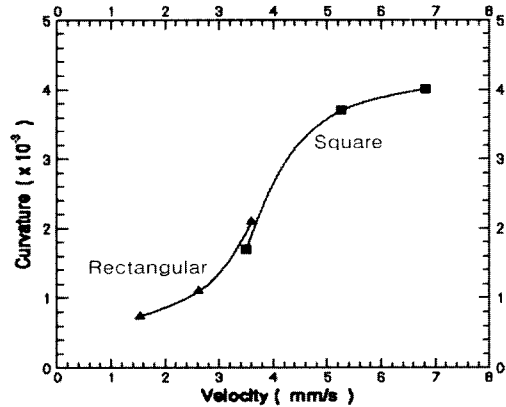


Fig. 17 The relation of difference velocity and curvature

## 5. 결론

임의의 단면을 가진 금속곡관을 압출가공과 동시에 굽힘이 발생하도록 하는 새로운 열간압출굽힘장치를 구성하고 이를 이용하여 압출가공한 단면의 변화와 표면의 주름이 없는 원형 및 사각단면 금속곡관을 플라스틱을 사용한 실험으로써 가공 할 수 있었고 다음의 결과를 얻었다.

(1) 이형재 단면형상을 굽힐 때 발생하는 단면형상의 변화 및 얇은 곡면의 굽힘가공시에 발생하는 주름발생 및접합발생, 두께변화 등의 단점을 제거하기 위하여 임의의 단면을 가진 금속곡관을 압출가공과 동시에 굽힘이 발생하도록 하는 새로운 열간압출굽힘장치를 구성 할 수 있었다.

(2) 압출가공으로써 단면의 변화와 표면의 주름이 없는 금속곡관을 가공 할 수 있는 방법을 플라스틱을 사용한 모의실험을 통하여 확인 할 수 있었다.

(3) 압출굽힘기에서 각각의 압출펀치의 상대속도를 제어함으로써 압출제품의 곡률 및 굽힘 방향의 조절을 가능하게 하여 다양한 단면을 가진 압출제품의 곡선화가 가능함을 실험을 통하여 확인 할 수 있었다.

(4) 압출시의 압출펀치의 상대 속도를 제어하는 방법 뿐 아니라 상대직경을 변화시켜 유입량을 다르게 함으로써도 압출 제품의 곡선화가 가능함을 알 수 있었다.

(5) 상대속도차를 이용한 압출방법에서는 상대속도차가 클수록 제품의 곡률이 커짐을 확인 할 수 있었고, 정사각형 튜브제품 보다 직사각형 튜브제품이 작은 속도편

차에서 많이 굽어짐을 알 수 있었다.

(6) 상대직경을 이용한 압출 방법에서도 직사각형 튜브제품이 정사각형 튜브제품 보다 잘 굽어 지는 것을 알 수 있었고 속도가 증가할수록 굽힘 곡률 또한 증가함을 알 수 있었다.

(7) 압출가공과 굽힘가공을 동시에 수행함으로써 두 공정을 한 공정으로 줄일 수 있는 새로운 복합소성가공 방법의 도입으로 생산성 향상에 기여 할 수 있는 가능성이 있음을 확인 할 수 있었다.

이상과 같은 결과로 상대속도차를 이용한 방법과 상대직경을 이용한 압출굽힘방법으로 원형 및 정사각형과 직사각형 같은 굽히기 힘든 튜브제품을 하나의 압출굽힘 공정으로 원하는 곡률을 얻을 수 있음을 알 수 있었다.

### 참 고 문 헌

- (1) Mansfield, Eric Harold, "The bending and stretching of plate", 1989.
- (2) Gillanders, John "Pipe and tube bending manual ", 1984.
- (3) 진인태, "원형제품의 압출가공시 제품의 굽힘현상에 관한 연구", 부산공업대학교 논문집, 제37집, pp.371~380, 1995.
- (4) 木内 學, 陳 仁泰, 新谷 賢, 1996, "壓出しT形の曲がり 豫測", 塑性と加工, vol.37, No.426, pp. 711~716. 1996.
- (5) 진인태, 최재찬, "사각형 단면의 편심압출시 제품의 굽힘현상에 관한 연구", 한국소성가공학회지, Vol.6, No.1, pp.46~52, 1997.
- (6) 김진훈, 진인태, "평다이를 이용한 편심 압출가공에 의 비유동 영역의 형성과 굽힘 속도 분포에 관한 상계해석", 한국소성학회지, Vol7, No2, pp.177~185, 1998.
- (7) 김진훈, 진인태, "편심압출굽힘가공법에 의한 사각형 단면을 가진 중공 튜브제품의 U형굽힘가공에 관한 연구", 한국소성가공학회지, Vol7, No5, pp. 496~504, 1998.
- (8) 김진훈, 김한봉, 진인태, "곡봉의 편심압출가공에 대하여 상계굽힘해석과 DEFORM<sup>TM</sup>-3D에 의한 굽힘해석비교", 한국소성가공학회 97추계학술대회논문집, pp. 45~48, 1997.
- (9) 김민규, 진인태, 정영득, 하만경 "포트홀 다이를 이용한 중공튜브 압출 제품의 다이챔버 형상에 따른 결합력에 대한 연구", 한국소성가공학회 2001추계학술대회논문집, pp. 110~114, 2001.
- (10) 박대운, 진인태 "다지형 압출편치의 상대이동속도 차이에 의한 금속 곡관의 열간금속 압출굽힘가공에 관한 연구", 한국소성가공학회 2001추계학술대회논문집, pp. 102~105, 2001.
- (11) 김민규, 박중원, 진인태 "편이 부착된 금속곡관 제품의 열간압출 굽힘가공에 관한 연구", 한국소성가공학회 2001 추계학술대회논문집, pp. 204~207, 2001.
- (12) 박대운, 윤선홍, 진인태 "사각단면 금속곡관 제품의 열간압출 굽힘가공에 관한 연구", 한국소성가공학회 2001추계학술대회논문집, pp. 212~215, 2001.