

원형 또는 사각 단면을 가지는 알루미늄 곡관 튜브제품의 열간금속압출굽힘가공

박대윤* · 진인태#

(2004년 7월 2일 접수)

Hot Metal Extrusion-Bending Process for Curved Aluminum Tube Products with Circular or Rectangular Sections

D. Y. Park and I. T. Jin

Abstract

The bending phenomenon has been known to be occurred by the difference 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. The difference of velocity at the die exit can be controlled by the two variables, the one of them is the different velocity of extrusion punch through the multi-hole container, the other is the difference of hole diameter of multi-hole container. In this paper the difference of hole diameter is applied. So it can bend during extruding products because of the different amount of two billets when billets would be bonded in the porthole dies cavity. And the bending curvature can be controlled by the size of holes. The experiments with aluminum material for the curved tube product had been done for circular or rectangular curved tube section. The results of the experiments show that the curved tube product can be formed by the extrusion-bending process without the defects such as distortion of section and thickness change of wall of tube and folding and wrinkling. The curvature of product can be controlled by shape of cross section and the difference of billet diameters. And it is known that the bonding and extruding and bending process can be done simultaneously in the die cavity by the experiments that rectangular hollow curved tubes could be extruded by porthole dies with four different size billets made of aluminum material. And it shows that bending phenomenon can happen during extruding with for different billets from the analysis by DEFORM-3D.

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

1. 서론

중공 튜브 제품의 굽힘 가공시에 발생하는 여러 가지 결함을 제거하기 위한 압출굽힘공정이 시도 되고 있다.^(1~6) 이러한 방법에는 펀치의 상대 속도 차이에 의한 압출굽힘 방법과 다구멍 콘테

이너의 상대직경 차이에 의한 압출굽힘 방법으로 가능하다는 것이 보고 되어 왔다.⁽⁷⁾ 그러나 이때 까지의 연구는 플라스틱인 재료를 사용한 모사 실험으로서 단면과 두께가 일정한 중공제품의 표면상의 굽힘 결함 없이 압출 할 수 있었고⁽³⁾ 또한 사각단면과 원형단면을 가진 튜브 그리고, 편 불

* 부경대학교 대학원 기계공학과
교신저자: 부경대학교 기계공학과

이 사각 단면을 가진 튜브와 편 붙이 원형단면을 가진 튜브 등 굽힘가공이 어려운 형태의 제품에 대해서 압출과 동시에 굽힐 수가 있었다.⁽⁴⁻⁵⁾ 본 연구에서는 실제 금속 재료인 알루미늄6063 재료를 사용하여 압출굽힘 방법 중에서 상대직경 차이를 이용한 방법을 사용하여 제품의 결함여부의 확인과 상대직경 차이의 의한 굽힘곡률의 변화와 단면 형상에 따른 굽힘곡률의 변화에 대해 알아보고 DEFORM-3D의 결과와 비교하고자 한다.

2. 압출굽힘 및 실험방법

2.1 두개의 빌렛의 상대적 크기 차이에 의한 압출굽힘원리

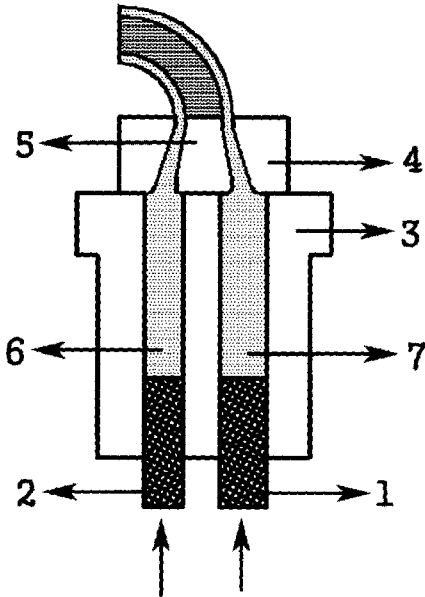


Fig. 1 The figure of extru-bending process

Fig.1에서 다구멍 콘테이너의 상대직경이 다른 경우 압출가공시 굽힘이 발생하는 과정을 보여주고 있다. 가열된 각각 다른 직경의 빌렛을 다구멍 콘테이너⁽³⁾에 삽입한 후 상대직경이 다른 다지형 펀치⁽¹⁻²⁾로써 가공하중을 가하도록 되어있다. 이때에 네개의 빌렛이 챔버로 이동하게 되지만 대칭되는 두개의 빌렛의 상대직경의 차이로 상대직경이 큰 빌렛⁽⁷⁾의 양이 상대직경이 작은 빌렛⁽⁶⁾의 양보다 크게 되어서 챔버의 좌우에 유입되는 양의 차이가 생기게 되고 경사형 다이⁽⁴⁾와 경사형 프러그⁽⁵⁾의 사이

를 지나면서 하나로 합쳐지면서 유입량이 적은 좌측방향으로 굽어져서 압출되게 된다. 이때 상하 축의 직경은 일정하게 되어 있으므로 상하방향으로의 굽힘은 발생하지 않게 되고 좌측방향으로만 굽어지면서 압출된다.

2.2 압출굽힘기

Fig.2는 실험에 사용된 200ton 열간 압출굽힘기로서 압출 하중과 압출 속도를 조절할 수 있는 다지형 펀치 제어 컨트롤 박스와 압출시 경사형 플러그를 가진 상대직경 차이가 있는 다구멍 콘테이너의 온도 조절을 위한 온도 제어장치, 유압회로장치 그리고 콘테이너에 삽입하기 전에 빌렛을 가열하는 전기로 등으로 구성되어있다.

Fig. 3은 위의 압출굽힘 원리를 적용하여 금속재료인 알루미늄6063을 이용하여 제품이 결함없이 압출굽힘 되어 나오는 모습을 보여 주고 있다.



Fig. 2 The photo of hot metal extru-bending machine

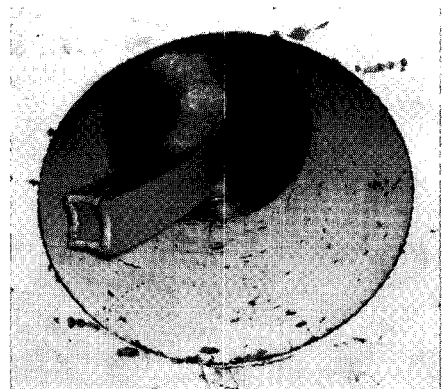


Fig. 3 The photo of extru-bending product

Fig. 4는 네개의 빌렛이 다구멍 콘테이너를 거쳐 다이 챔버 부분에서 접합되는 부분을 보여주고 있다.

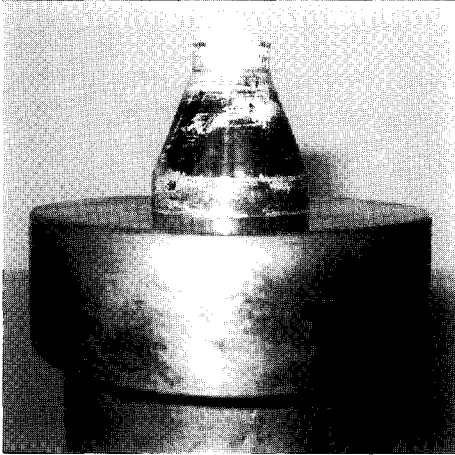


Fig. 4 The photo of conical die chamber part

2.2 압출금형과 다구멍 콘테이너

Fig.5는 가로× 세로가 각각 21mm인 정사각형 단면을 가지는 튜브제품의 압출굽힘실험에 사용된 금형을 보여주는 사진으로 금형의 입구부터 출구까지가 등각 표면으로 이루어진 경사형 구조의 압출금형이다. 금형의 재료는 STD61종 재료를 사용하여 와이컷 가공하였고 외부에 압축 링을 제작, 열박음하여 파손을 방지하였다. Fig.6은 원형단면을 가지는 튜브제품의 실험에 사용된 금형을 보여주는 사진으로 사각형 금형과 마찬가지로 입구부터 출구까지 등각 표면으로 이루어져 있다.

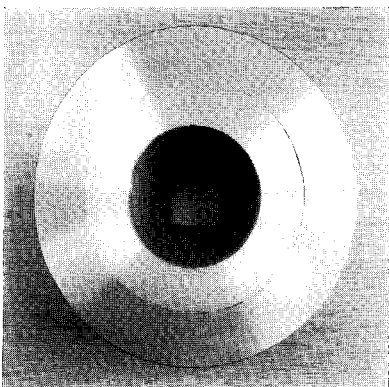


Fig. 5 The photo of square conical die

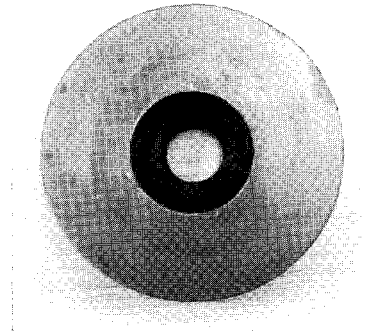


Fig. 6 The photo of circular die

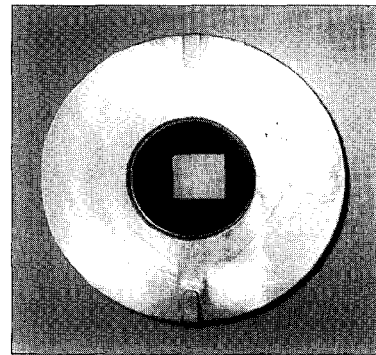


Fig. 7 The photo of rectangular conical die

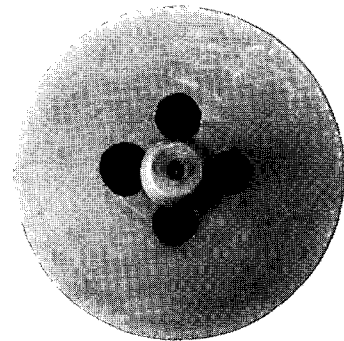


Fig. 8 The photo of multihole container with conical plug

Fig.7은 직사각형 단면을 가지는 튜브제품의 압출굽힘실험에 사용된 금형을 보여주는 사진으로 Fig.5의 정사각형 단면과 단면감소율과 금형의 길이 등 다른 조건은 같고 출구부분의 형상비를 다르게 한 금형이다.

Fig.8, 9, 10은 실험에 사용된 다구멍 콘테이너를 보여주는 사진으로 기본적으로 상,하의 직경은 같

고 좌,우측의 직경을 다르게 가공하였다.

Fig.8은 원형단면 경사형 플러그를 가지는 다구멍 콘테이너로 왼쪽의 구멍이 오른쪽의 구멍보다 더 크므로 재료의 유입량이 많아져서 오른쪽으로 굽어지는 제품을 얻을 수 있음을 예측할 수 있다. Fig.9는 직사각형 단면을 가지는 다구멍 콘테이너로 원형과 마찬가지로 왼쪽의 재료 유입 구멍이 오른쪽 보다 더 크므로 튜브 제품의 단면은 다르지만 원형과 같이 오른쪽으로 굽은 제품을 얻을 수 있음을 예측할 수 있다.

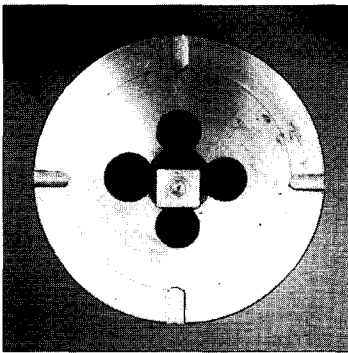


Fig. 9 The photo of multihole container with rectangular conical plug

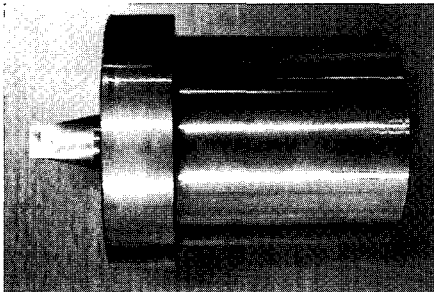


Fig. 10 The photo of multihole container with rectangular conical plug

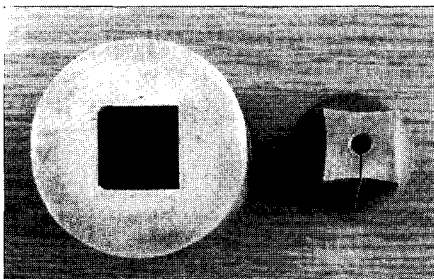


Fig. 11 The electrode of electric discharge machining

Fig.10은 원형 및 사각형 경사형 플러그를 가진 다구멍 콘테이너의 전체적인 모양을 보여주고 있다. 정사각형과 직사각형의 경사형 플러그 부분은 금형과 마찬가지로 등각표면을 가지게 하기 위해서 구리 재료를 사용하여 전극을 가공하여 형조 방전가공 하였다.

Fig.11은 사각형 경사형 플러그를 만들기 위해 제작한 형조 방전가공용 전극을 보여주고 있다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 원형단면을 가지는 튜브제품

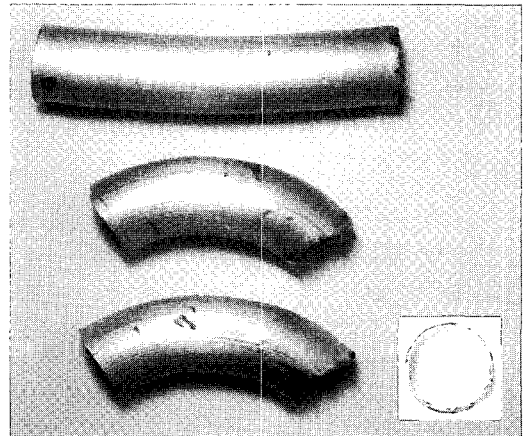


Fig. 12 The photo of the circular curved tube product

Fig.12는 열간 압출굽힘 가공을 통해 만들어진 원형단면을 가지는 튜브제품의 사진을 보여주는 것으로서 상대직경 차이가 있는 콘테이너를 사용하여 챔버에 유입되는 유입량의 차이로 인해 일정한 곡률을 가지는 곡선 관을 얻을 수 있음을 보여주고 있다. 사진에서 원형단면을 가지는 튜브 제품은 상대직경 차이의 크기에 따라 다른 곡률을 얻을 수 있음을 보여주고 있다, 이때에 제품 단면의 두께가 일정하고 굽어진 부분에서도 접힘 등의 다른 결함이 없음을 볼 수 있었다.

3.2 정사각형단면을 가지는 튜브제품

Fig. 13은 정사각형 단면을 가지는 튜브제품을 보여주는 사진으로 정사각형 단면을 가지는 사각 곡관 또한 압출 후 제품의 단면 두께의 일정함을 보여주고 있다.

Fig. 14는 직사각형 단면을 가지는 튜브제품의 모습을 보여주는 사진으로 압출굽힘 결과 일반적

인 튜브제품의 굽힘에서 발생하기 쉬운 접합과 면두께의 변화 등이 없이 일정곡률을 가지는 제품을 얻을 수 있음을 보여주고 있다.

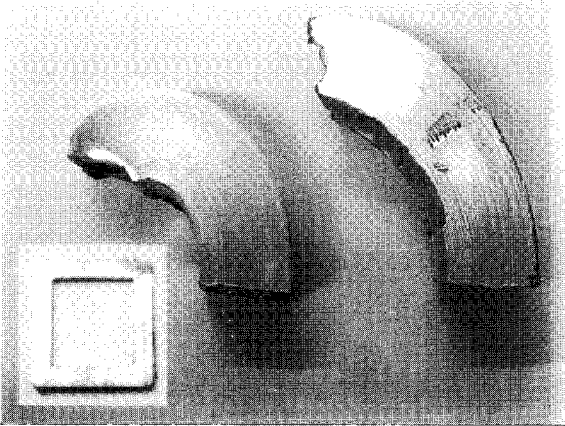


Fig. 13 The photo of the rectangular curved tube Product

3.3 직사각형단면을 가지는 튜브제품



Fig. 14 The photo of the rectangular curved tube product

3.3 대칭되는 좌우 두개의 소재의 직경 차이에 따른 굽힘정도

Fig.15는 상대직경 차이에 의한 압출굽힘 제품의 상대 직경차이가 각각 2mm, 4mm일 때 따라 정사각형단면을 가지는 튜브제품의 곡률차이를 보여주는 것으로 상대직경의 차이가 크면 제품의 굽힘 또한 커짐을 알 수 있다. 직경차이가 2mm일 경우는 4.14×10^{-3} 이고 4mm일 경우는 곡률이 19.2×10^{-3} 이다.

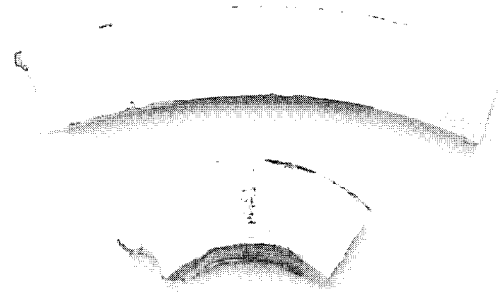


Fig. 15 The relation of curvature and different diameter

3.4 정사각형과 직사각형 단면의 형태에 따른 곡률비교

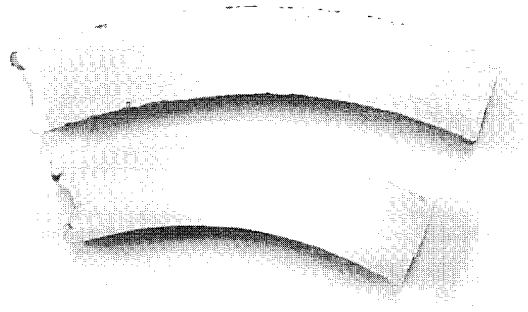


Fig. 16 The relation of curvature by cross section

Fig.16은 상대직경 차이와 단면감소율이 같은 경우에 압출굽힘 제품의 단면 형상에 따른 제품의 곡률의 차이를 보여주는 것으로 정사각형 단면 일때 보다 직사각형의 경우에 더 곡률이 큰 것을 알 수 있다. 정사각형 단면 제품의 경우는 곡률이 4.14×10^{-3} 이고, 직사각형 단면제품의 경우에는 곡률이 6.25×10^{-3} 이다.

4. DEFORM-3D™ 해석결과

4.1 원형단면을 가지는 튜브제품의 해석

Fig.17과 Fig.18은 원형단면을 가지는 튜브제품의 실제 실험에 사용된 다이와 다구멍 콘테이너의 형상을 모델링 하여 상용 소프트웨어인 DEFORM-3D를 이용하여 얻은 해석결과를 보여주는 그림이다.

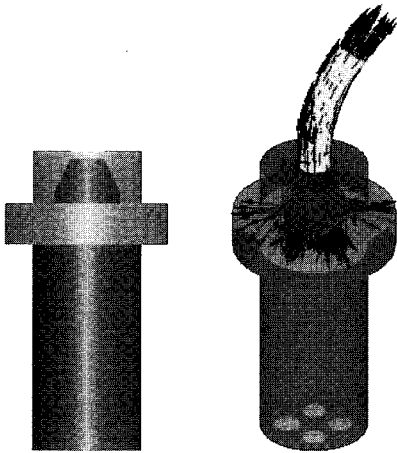


Fig. 17 The result of simulation by circular curved tube

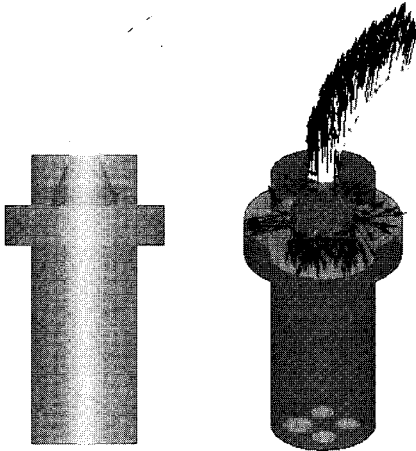


Fig. 18 The result of simulation by circular curved tube

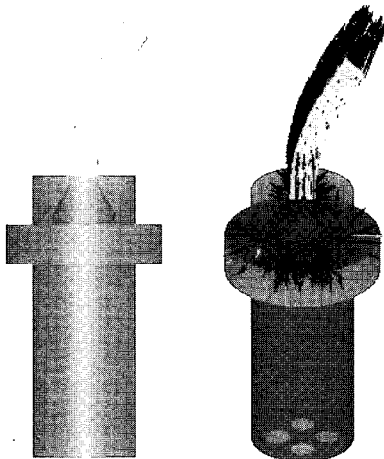


Fig. 19 The result of simulation by rectangular curved tube

Fig.17은 대구멍 콘테이너의 직경의 차이가 18mm과 20mm로 상대직경의 차이가 2mm인 경우에 왼쪽이 크므로 인해서 실제 압출에서와 같이 직경이 작은 오른쪽으로 압출과 동시에 굽어져 나오는 것을 확인 할 수 있고 이때의 속도벡터의 모습으로도 제품의 굽어지는 현상을 알 수 있다. Fig.18은 대구멍 콘테이너의 직경의 차이가 18mm와 22mm로 상대직경의 차이가 4mm로 Fig.17의 상대 직경의 차이보다 2mm 더 큰 것으로 해석 결과가 실제 실험의 결과와 마찬가지로 상대직경의 차이가 더 커짐으로 인해서 제품의 압출굽힘 곡률이 더 큰 것을 보여주고 있다.

4.2 정사각형 단면을 가지는 튜브제품의 해석

Fig.19와 Fig.20은 정사각형 단면을 가지는 튜브 제품의 압출굽힘 해석결과를 보여주는 그림으로 정사각형 단면을 가지는 튜브 제품에서도 마찬가지로 상대직경 차이에 의해 굽힘이 압출과 동시에 발생함을 알 수 있다.

Fig.19는 상대직경 차이가 2mm이고 Fig.20은 4mm일 때의 해석결과이다. 정사각형 단면을 가진 튜브제품의 해석결과에서도 실제 실험과 마찬가지로 상대직경의 차이에 의해서 유입량이 큰 왼쪽에서 작은 오른쪽으로 굽어져 나옴을 확인 할 수 있다.

Fig.20에서 상대직경의 차이가 4mm로 상대직경의 차이가 더 크므로 인해서 압출굽힘 제품의 곡률이 상대직경 차이가 2mm일 때 보다 더 큰 것을 확인 할 수 있다.

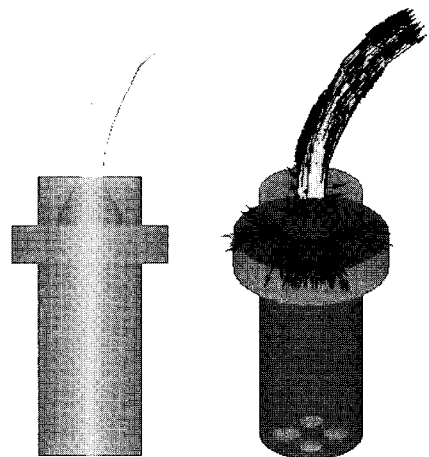


Fig. 20 The result of simulation by rectangular curved tube

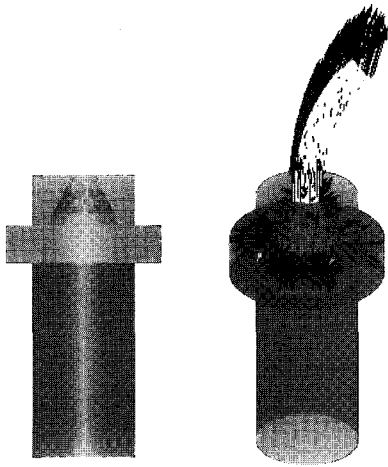


Fig. 21 The result of simulation by rectangular curved tube

4.3 직사각형 단면을 가지는 튜브제품의 해석

Fig.21은 압출굽힘 튜브제품의 단면이 직사각형 단면을 가지는 제품의 해석결과를 보여주는 것으로 실제실험에서 나타난 결과와 유사하게 유입량이 많은 쪽에서 적은 쪽으로 굽힘이 발생하고 같은 상대직경 차이를 가진 정사각형 단면 튜브제품에 비해 굽힘 곡률이 다소 큰 것을 확인할 수 있다.

4.4 성형해석과 실험결과와의 비교

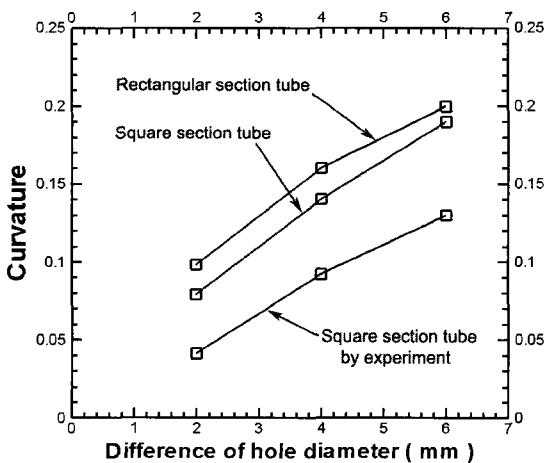


Fig. 22 The comparison of curvature by simulation and experiment

Fig.22는 성형해석 결과와 실제 실험을 통해 얻은 제품의 굽힘 곡률을 나타낸 그래프를 보여주는 그림으로 상대직경의 차이를 이용한 압출굽힘에 있어서 실제 열간 압출굽힘 실험을 통해 얻은 제품의 곡률도 성형해석의 결과와 유사한 기울기를 보여주고 있다.

4. 결론

플라스티신을 사용한 종래의 모의실험에서 얻은 결과를 바탕으로 실험 장치를 제작하고 금속 소재인 알루미늄6063 소재를 사용하여, 압출과 동시에 굽힘이 가능한 압출굽힘가공의 방법중의 하나인 상대직경차이를 이용한 방법으로 실험하였다. 중공 제품을 압출과 동시에 굽히기 위하여 상대직경 차이가 있는 다구멍 콘테이너를 이용하여 네개의 환봉소재를 가지고 각각의 환봉소재 중 대칭되는 환봉소재의 크기를 다르게 하여 챔버 내에 유입량의 차이로 인한 제품의 굽힘 압출을 확인할 수 있었다. 또 금속재료인 알루미늄 6063 재료를 사용한 압출굽힘 가공실험에 있어서 상대직경차이에 따른 곡률의 변화나 제품의 형상에 따른 곡률의 변화를 다음과 같이 확인 하였다

(1) 정사각형 단면을 가진 제품의 경우에 상대 직경차이가 2mm, 4mm인 경우의 실험의 결과에서 4mm인 경우에 있어서 더 많이 굽어짐을 알 수 있었다.

(2) 단면감소율이 같을 때 단면 형상에 따라 정사각형 단면일 때의 경우와 직사각형 단면일 경우에 직사각형의 경우가 더 많이 굽어짐을 알 수 있었다.

(3) 실제 실험에 사용된 금형과 다구멍 콘테이너의 크기와 같은 크기로 모델링 하여 DEFORM-3D를 이용한 압출굽힘 유한요소 해석에서도 실제 실험과 유사한 결과를 얻을 수 있었다.

이상과 같은 결과로서 압출과 동시에 굽힘을 발생시키는 굽힘 원리 중의 하나인 소재들의 크기를 조절함으로써 금속소재의 일종인 알루미늄을 소재로 한 금속곡관을 얻을 수 있었다. 그리고 종래의 모의 실험결과에서처럼⁽¹⁻⁷⁾ 실제 알루미늄을 이용한 압출에서도 제품의 결함 없이 압출과 동시에 굽힘을 발생시킬 수 있음을 확인할 수 있었고 대칭되는 좌우 2개의 소재의 직경의 차이에 따라 굽힘곡률을 조정 할 수 있음을 알

수 있었다. 그리고 가공하고자 하는 제품의 형상에 따라서 굽힘곡률이 달라짐을 알 수 있었다. 따라서 알루미늄6063 소재를 사용하여 압출굽힘 실험을 체계적으로 실행하게 되면 얻고자 하는 굽힘곡률과 사용되는 좌우 두개의 대칭되는 빌렛의 직경차이와의 상관관계를 얻을 수 있게 됨을 알 수 있었다.

후 기

본 연구는 두뇌한국 21 의 지원을 받아 수행 된 것으로 이에 관계자 제위께 감사 드린다.

참 고 문 헌

- (1) 진인태, 1995, “원형제품의 압출가공시 제품의 굽힘현상에 관한 연구” 부산공업대학교논문집, 제37집, pp. 371~380.
- (2) 진인태, 최재찬, 1997, “사각형 단면의 편심압출시 제품의 굽힘현상에 관한 연구”, 한국소성가공학회지, Vol.6, No.1, pp. 46~52.
- (3) 박대운, 진인태, 2001, “다지형 압출편치의 상대이동속도 차이에 의한 금속 곡관의 열간금속압출굽힘가공에 관한 연구”, 한국소성가공학회 2001추계학술대회논문집, pp.102~105.
- (4) 김민규, 박중원, 진인태, 2001, “편이 부착된 금속곡관제품의 열간압출 굽힘가공에 관한 연구”, 한국소성가공학회 2001 추계학술대회논문집, pp.204~207.
- (5) 박대운, 윤선홍, 진인태, 2001, “사각단면 금속 곡관제품의 열간압출 굽힘가공에 관한 연구”, 한국소성가공학회 2001추계학술대회논문집, pp. 212~215.
- (6) 김민규, 진인태, 정영득, 하만경, 2001, “포트홀 다이를 이용한 중공튜브 압출 제품의 다이 챔버 형상에 따른 결합력에 대한 연구”, 한국소성가공학회 2001추계학술대회논문집, pp. 110~114.
- (7) 박대운, 진인태, 2002, “열간금속 압출 굽힘기를 이용한 금속곡관의 압출굽힘가공에 관한 연구”, 한국소성가공학회지, Vol. 11. No.3, pp. 262~268.
- (8) 박대운, 진인태, 2003, “알루미늄 중공 곡관제품의 열간압출굽힘가공”, 한국소성가공학회 2003 추계학술대회논문집, pp. 359~362.
- (9) 박대운, 진인태, 2003, “사각단면을 가지는 알루미늄 튜브제품의 압출굽힘가공”, 한국소성가공학회 2003 추계학술대회논문집, pp. 285~288.
- (10) Mansfield, Eric Harold, 1989, "The bending and stretching of plate".
- (11) Gillanders, John, 1984, "Pipe and tube bending manual".
- (12) T. Sheppard, 1999, "Extrusion of Aluminum Alloys", Kluwer Academic Publishers.
- (13) Pradip K. Saha, 2000, "Aluminum Extrusion Technology", ASM International.