

공 학 석 사 학 위 논 문

중공튜브의 압출굽힘가공에 있어서
소재 결합력에 관한 연구

2002년 8월

부 경 대 학 교 대 학 원

기 계 공 학 과

김 민 규

공 학 석 사 학 위 논 문

중공튜브의 압출굽힘가공에 있어서
소재 결합력에 관한 연구

지도교수 진 인 태

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함

2002년 8월

부 경 대 학 교 대 학 원

기 계 공 학 과

김 민 규

김민규의 공학석사 학위논문을 인준함

2002년 06월 29일

주 심 공학박사 권 오 봉 (印)

위 원 공학박사 한 규 택 (印)

위 원 공학박사 진 인 태 (印)

목 차

Abstract	1
1. 서 론	2
2. 네 개의 빌렛을 사용한 중공튜브의 압출 굽힘 가공	4
2-1 실험장치의 구성	4
2-1-1 수직형 압출 장치	4
2-1-2 원추형 압출 다이의 구조	7
2-1-3 상대직경의 차이가 없는 다구멍 컨테이너의 구조	9
2-1-4 상대직경의 차이가 있는 다구멍 컨테이너의 구조	11
2-2 실험방법	12
2-2-1 실험재료	12
2-2-2 구멍의 상대직경 크기의 차이에 의한 압출 굽힘 가공 원리	13
2-3 실험결과 및 고찰	15
2-3-1 컨테이너 구멍의 상대적 크기의 차이에 의한 압출 굽힘 가공 실험	15
2-3-1-1 핀볼이 원형 튜브	15
2-3-1-2 핀볼이 사각 튜브	17
2-3-1-3 압출굽힘 제품의 곡률	18

3. 네 개의 빌렛을 사용하여 압출한 중공튜브의 결합력	20
3-1 중공튜브 압출다이와 프리그의 형상	20
3-1-1 원추형다이와 원추형프리그의 형상	20
3-1-2 평다이와 평프리그 형상	23
3-2 실험에 의한 결합력 비교	26
3-2-1 플라스틱인에 의한 압출실험	26
3-2-2 플라스틱인 소재를 사용한 압출 제품의 접합표면과 결합력	27
3-3 납에 의한 압출실험	30
3-3-1 납 소재를 사용한 압출 제품의 팽창확대 실험과 결합력	33
3-3-2 납 소재를 사용한 압출 제품단면의 현미경 사진과 결합력	35
3-4 <i>DEFORMTM</i> - 3D의 해석에 의한 결합력 비교	39
3-4-1 다이 챔버 내의 변형 형상과 결합력	39
3-4-2 소재의 이동속도 벡터와 결합력	42
 4. 결 론	 45
 참고 문헌	 47

A study on the welding pressure of billets in the extrusion bending process of hollow tube

Min-Gyu Kim

*Department of Mechanical Engineering, Graduate School
Pukyong National University*

Abstract

The welding pressure in porthole die extrusion is affected by the shape of welding chamber. It is very important to increase the welding pressure when the tube is extruded particularly with four billets of the materials. The high circumferential stress of the tube can make the welding pressure increase during the porthole die extrusion. In order to increase the circumferential stress, it is necessary to make the billets pass through the narrow gap between the conical die and the conical plug. This paper describes the welding pressure by the experiments and the analysis with the two types of the chamber. One of them is the chamber between the flat die and straight mandrel, and the other one is the chamber between the conical die and conical plug. The results of the experiments and the analysis shows that the conical chamber makes the welding pressure increase by the effect of the reducing the diameters of tube. On the base of the welding pressure the bending process for the circular curved tube and rectangular curved tube with fins can be developed by the hot metal extrusion machine with the different type of holes. The results of the experiment show that the circular curved tube with fins and rectangular curved tube with pins can be formed by the extrusion process and that the curvature of the product can be controlled by the diameter of container.

1. 서 론

기계의 몸체, 석유·화학공장의 플랜트, 자동차의 바디와 같은 구조물을 제작하기 위해서는 굽힘(bending), 절단(cutting), 용접(welding), 볼팅(bolting), 리벳팅(riveting) 등과 같은 작업을 필요로 한다. 이러한 굽힘 가공 중에 발생하는 단면의 형상의 찌그러짐 및 좌굴 등의 결점을 해결하기 위한 새로운 굽힘 가공 방법이 시도되고 있다.

특히 최근 들어 기계의 구조물 자동차의 바디와 같은 부분에 경량화 추세에 의해 하이드로포밍(hydraulic forming) 기술이 많이 사용되고 있다. 이러한 하이드로포밍은 중공튜브 제품을 사용하므로 재료의 중량을 혁신적으로 줄일 수 있을 뿐 아니라, 금형에 의하여 생산되어지므로 일정한 형태의 제품을 생산할 수 있는 이점이 있다. 그러나 하이드로포밍의 가장 큰 단점은 금형의 형상에 맞게 튜브제품을 굽히는 과정에서 많은 결함이 발생한다. 즉, 직각으로 굽히거나 S자의 형태 등으로 굽힐 경우 안쪽은 압축에 의해 주름이 발생하고 바깥쪽 부분은 인장에 의해 재료가 수축하거나 찢어짐 현상이 발생한다. 이러한 이유 때문에 하이드로포밍 기술을 이용한 구조물의 제작에 어려움이 많은 실정이다.

일반적인 중공 튜브제품의 제작 방법으로는 전방 압출(forward extrusion), 후방 압출(backward extrusion), 천공(boring), 롤링(rolling)등의 작업을 수행한다. 이러한 작업에 의해 생산된 제품은 직선관을 만드는 형식만을 취한다. 따라서 기존의 굽힘 방법으로 직선관을 임의적으로 굽혀야만 굽힘 제품에 필요한 곡률을 만들 수 있다.

그러나 압출 과정 중 굽힘을 임의적으로 만들 수 있도록 하여 굽힘이 필요한 구조물에 결함이 없는 굽힘 제품을 얻을 수 있을 것이다.

본 논문에서는 압출 가공 중에 네 개의 빌렛을 사용하여 빌렛의 크기에 따라 굽힘을

조절하여 굽은 관을 만들 수 있는 방법과 이때의 결합력을 최대로 할 수 있는 방법에 대해 연구하였다.

네 개의 빌렛을 사용하여 중공형 제품을 압출 할 때 소재 자체의 결합력을 향상시키기 위한 방법으로써 여러 방법이 있겠으나 본 논문에서는 금속융합이 진행되는 챔버 내에서의 공간의 형태를 변형시켜 그 결합력을 향상시키고자 한다. 이런 목적을 위해서 기존의 포트홀 다이의 챔버 구조가 평다이의 형태로 되어 있는 부분을 원추형 다이의 형태로 바꾸고 중공 소재를 만들기 위한 프러그의 형태도 기존의 직경의 변화가 없는 봉재형에서 원추형 봉재로 만들어 일차적으로 직경이 큰 중공형 소재를 만든 후 계속해서 직경을 줄여나가는 원추형 챔버 형태로 바꾸어 실험을 통하여 결합력을 조사하였다.

따라서 원추형 챔버의 구조에 대해서 그 결합력의 변화를 살펴보기 위해서 열간에서 알루미늄이 유동과 비슷한 성질을 나타내는 플라스틱신소재를 사용하여 접합면을 조사하였으며, 또한 납을 사용하여 접합 면에서의 표면 상태와 조직형태를 비교하여 보았으며, 또한 접합 면에서의 접합 형태와 변형률을 해석하기 위하여 상용 해석 소프트웨어인 *DEFORMTM - 3D*를 이용하여 결합력을 해석하여 보았다.

2. 네 개의 빌렛을 사용한 중공튜브의 압출굽힘가공

2- 1 실험장치의 구성

2- 1- 1 수직형 압출장치



Fig. 1 The photograph of experiment device

기존에 사용되어 오는 중공튜브 압출기는 하나의 빌렛으로부터 보통 네 개의 소재로 나누어진 이후 하나로 합쳐지는 구조를 가지고 있으며, 이들은 Bridge Die, Porthole

Die, Spider Die등으로 분류된다. 이들 다이는 하나의 소재를 여러 개의 소재로 나눈 이후 다시 하나로 합쳐지는 구조를 하고 있다. 또한 펀치가 하나이기 때문에 빌렛이 입구로부터 출구까지 컨테이너와 다이 내부에서 이동속도가 같다. 따라서 좌우로 굽어지는 형상 보다 직선관을 뽑는데 사용되어진다. 그러나 본 논문에서는 압출 과정 중 임의로 굽어지는 제품을 뽑기 위해 Fig. 1과 같이 실험장치의 구조를 변형하였다.

Fig. 1은 실험에 사용된 압출 장치를 나타낸 것으로서 다이받침대와 컨테이너홀더 사이에 다이와 컨테이너가 삽입되는 구조를 가지고 있으며, 외부전원에 의해 가열을 할 수 있는 구조를 하고 있다. 가열 장치는 220V, 1300W 용량을 사용했으며, 온도제어 장치는 최대 400℃를 제어할 수 있도록 구성하였다.

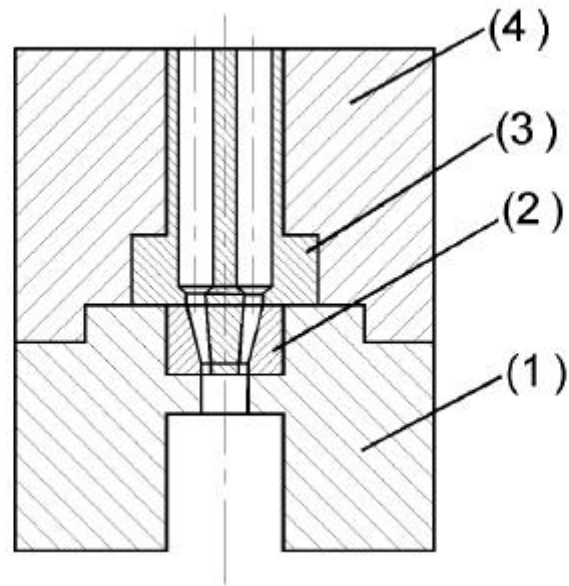


Fig. 2 The structure of vertical extrusion device

Fig. 2는 실험에 사용된 압출 장치의 도면으로 (1) 다이 받침대 (2) 다이 (3) 컨테이너 (4) 컨테이너홀더로 구성되어 있다. 그리고 이 컨테이너에 네 개의 구멍이 있어, 각각의 구멍에 빌렛을 장착할 수 있는 구조로 되어있다. 각각의 구멍은 각각의 펀치에 의하여 압력을 가할 수 있으며, 또한 3개의 구멍의 크기는 같고 하나의 구멍이 크게되어 있어, 압출 과정 중 소재 유입량의 차이에 의하여 굽힘이 일어날 수 있도록 구성하였다.

2- 1-2 원추형 압출 다이의 구조



Fig. 3 The photograph of circular conical die with fin

Fig. 3은 실험에 사용된 원추형 다이로 다이의 출구 단면이 핀불이원형과 핀불이사각형의 모양을 가진 다이를 나타낸 것이다. 이러한 형태는 결함 없이 굽히기 힘든 중공

소재의 단면 형상을 보여준다.

일반적으로 사용되는 평다이는 압출과정 중 굽힘을 발생시킬 수 없는 구조를 가지고 있다. 따라서 본 실험에서는 평다이 구조가 아닌 원추형 구조를 가지는 다이를 제작하였다. 또한 Fig. 3에서 보이는 형태의 단면을 가지는 제품은 일반적인 굽힘 장치로는 굽히기 힘들다. 이러한 형태의 제품이 굽히기 힘든 이유는 핀이 붙은 면에서 관성 모멘트가 크기 때문이다. 이러한 관성 모멘트를 줄이는 방법 보다 처음 제품을 생산할 때부터 굽어진 형상을 만든다면 결함이 없는 굽힘 곡관을 만들 수 있다.

2- 1-3 상대직경의 차이가 없는 다구멍 컨테이너의 구조

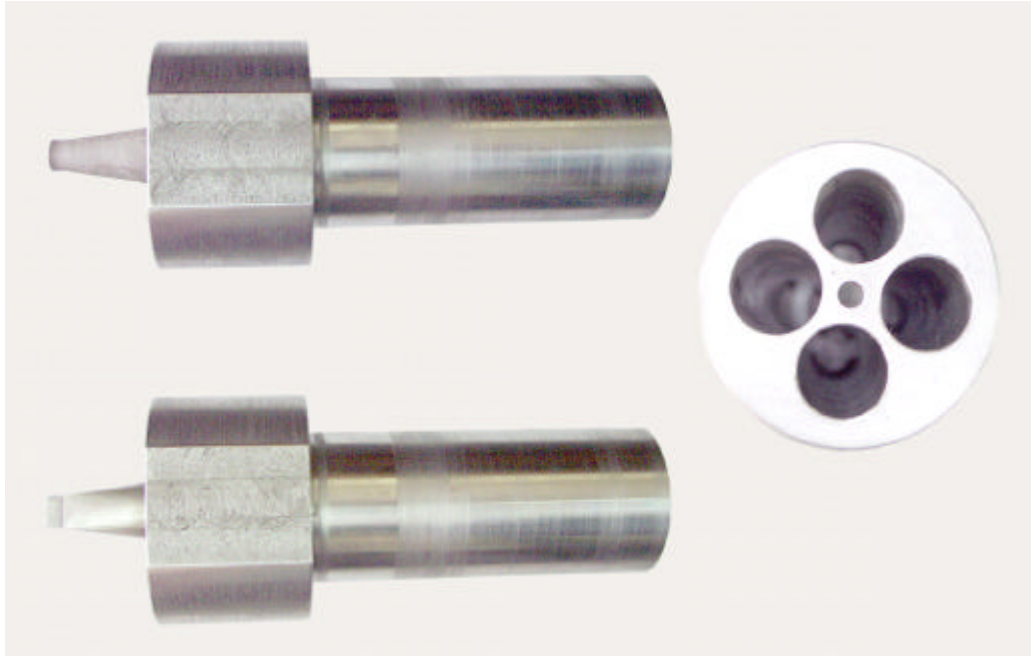


Fig. 4 The figure of circular conical plug with fin and rectangular multihole container with the same hole diameters

Fig. 4는 실험에 사용된 핀불이사각형 단면과 핀불이원형 단면에서 경사형 프러그가 부착된 네 개의 일정한 구멍을 가진 컨테이너로서 다지형 펀치에 의해 재료의 유입 속도의 차이가 없기 때문에 압출 가공 중에 제품의 굽힘 가공 할 수 없는 구조로 되어 있다.

기존의 컨테이너는 한 개의 빌렛을 사용하여 네 개로 나누어진 다음 다시 하나로 합쳐지는 구조를 가지고 있으나, Fig. 4의 형태는 네 개의 빌렛을 각각 삽입한 후 원추형 프러그와 원추형 다이에 의해 중공형 제품의 모양을 만들고 난 후 점차적으로 체적을 줄여 나가면서 압출 되는 방식이다. 이러한 구조를 가져야 되는 이유는 원추형다

이에서 한쪽의 유입 양이 많을 때, 유입 양에 대한 속도의 민감도가 높게 나타나기 때문에 압출 과정 중 굽힘을 발생시킬 수 있다. 반면 평다이에서는 빌렛이 챔버 공간을 채우고 난 이후에 압출이 되기 때문에 유입 량에 대한 속도의 민감도가 작게 나타난다.

2- 1-4 상대직경의 차이가 있는 다구멍 컨테이너의 구조



Fig. 5 The figure of circular conical plug with fin and multi-hole container with difference of hole diameters

Fig. 5는 압출가공 중에 굽힘을 발생시키기 위한 상대직경의 차이가 있는 구멍을 가지고 있는 네 개의 구멍을 가진 컨테이너로서 컨테이너 구멍의 상대직경의 차이에 의한 좌우 구멍에서 유입되는 빌렛의 양의 차이에 의해 굽힘을 발생하도록 하였다. 컨테이너의 구멍의 직경 차이에 의하여, 체적일정의 법칙으로부터 직경이 큰 쪽에는 유입 양이 많아지므로, 직경이 큰 쪽의 반대편으로 굽어져 나가는 구조를 나타낸다.

2-2. 실험방법

2-2-1 실험재료

실험에 사용된 재료는 1000°C 열간 가공에서 알루미늄과 유동특성이 유사한 특성을 지니는 플라스틱인 재료를 사용하였으며, 다구명컨테이너 구멍의 크기에 맞게 삽입하기 위해 직경 15mm와 직경 17mm의 두 종류를 만들었다. 소재의 길이는 100mm로 만들었으며, 재료내부의 공기를 빼기 위해 둔기를 사용하여, 1시간 이상 두들겨 공기를 빼낸 이후 압축기를 사용하여 재료내부의 공기를 빼내고 소재를 제작하였다.

2-2-2 구멍의 상대직경 크기의 차이에 의한 압출 굽힘 가공 원리

Fig. 6에서 다구멍컨테이너의 네 개의 구멍 중 좌우의 구멍의 상대직경이 다른 경우 압출 가공시 굽힘이 발생하는 원리를 보면 직경의 크기가 다른 빌렛을 다구멍컨테이너에 각각 삽입한 후 상대직경이 다른 다지형 펀치(1)와 (2)에 각각 같은 속도를 가하면 빌렛 (6)과 (7)이 챔버로 이동하면서 상대직경이 큰 빌렛(7)의 유입되는 양이 상대직경이 작은 빌렛 (6)의 양보다 많아 챔버에 유입되는 양의 차이가 생기게 되고 경사형 다이 (4)와 경사형 프러그 (5)의 사이를 지나면서 하나로 합쳐지면서 유입량이 적은 좌측방향으로 굽어져서 압출 되게 된다. 이때 상하 측의 직경은 일정하게 되어 있으므로 상하방향으로의 굽힘은 발생하지 않게 되고 좌측방향으로만 굽어지면서 압출 된다.

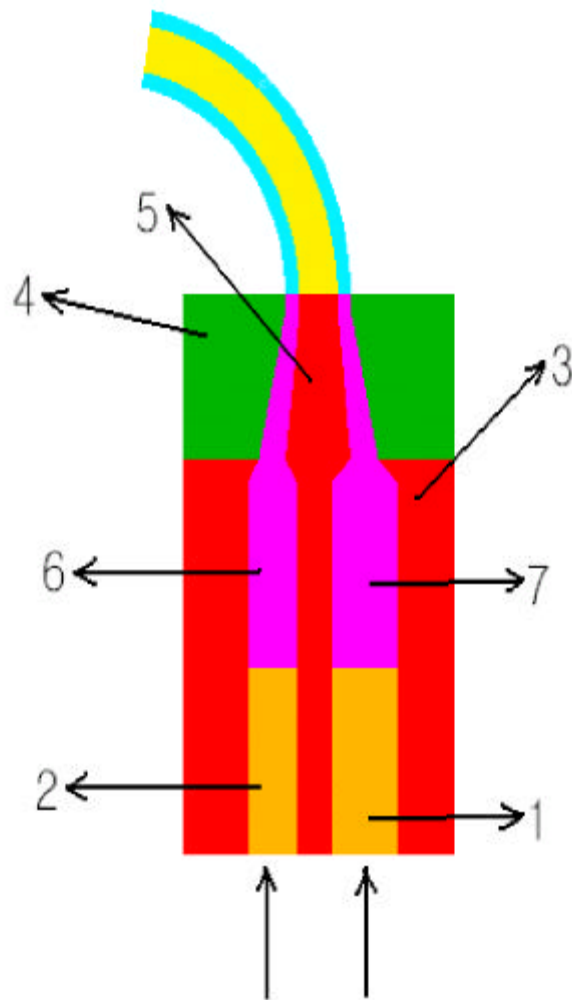


Fig. 6 The principle of bending process by the difference of relative hole diameters of the container

2-3 실험결과 및 고찰

2-3-1 컨테이너 구멍의 상대적 크기의 차이에 의한 압출 굽힘 가공 실험

2-3-1-1 핀붙이 원형 튜브



Fig. 7 The photograph of the curved circular-tube with fin extruded by extru-bending process

Fig. 7은 컨테이너 구멍의 상대적 크기의 차이에 의해 압출된 원형에 핀이 붙은 튜브 제품의 형상을 나타낸 것으로서 네 개의 펀치의 속도를 일정하게 하고, 네 개의 펀치 속도를 차츰 증가 시켰을 때의 형상을 나타낸 것이다.

Fig. 7에서 왼쪽이 속도가 제일 빠르고 오른쪽으로 갈수록 속도가 느린 형상을 나타

낸다. 그림에서 보듯이 핀이 붙은 단면에서 찌그러짐이나 부피의 줄음이 없이 깨끗하게 굽힘이 발생한 것을 볼 수 있다. 전체의 속도가 빠를수록 굽힘이 작게 발생한 것을 볼 수 있는데, 이는 빌렛의 유입속도가 빠를수록 유동마찰이 줄어들기 때문이다.

2-3- 1-2 핀붙이 사각 튜브



Fig. 8 The photograph of the curved square-tube with fin extruded by extru-bending process

Fig. 8은 핀이 붙은 사각튜브제품을 압출한 것으로서, 왼쪽이 네 개 펀치의 이동속도가 제일 빠르고 오른쪽으로 갈수록 속도가 느린 것이다. Fig. 7과 같이 핀이 붙은 사각 중공튜브 제품에서도 전체의 속도가 빠를수록 굽힘이 작게 나타남을 알 수 있다. 또한 사각튜브 제품을 굽힐 때 주로 나타나는 폴딩, 링클링 등의 결함 발생없이 깨끗하게 압출된 것을 확인 할 수 있다.

2-3- 1-3 압출굽힘 제품의 곡률

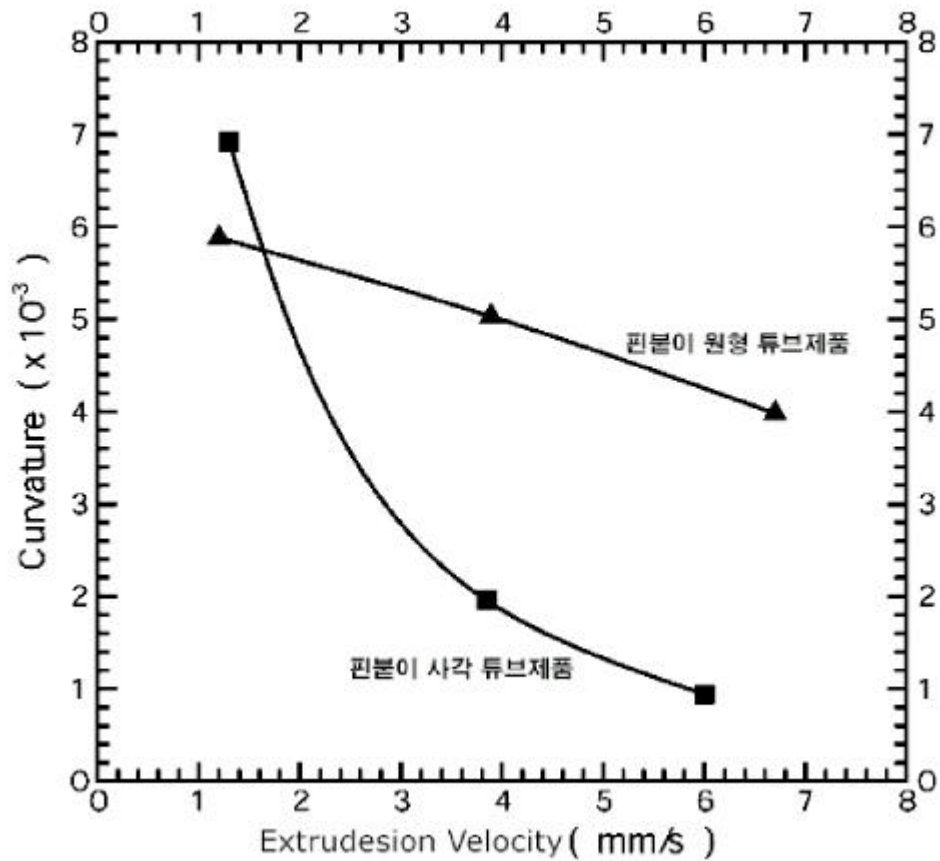


Fig. 9 The relation between difference velocity and curvature

Fig. 9는 상대직경의 차이에 따른 편불이원형 및 편불이사각형 단면을 가진 튜브제품의 곡률을 나타낸 것으로 전체 유입 속도가 빠를수록 굽힘 곡률이 작아짐을 보여주고 있다. 또한 편불이 사각튜브제품 보다 편불이 원형제품의 굽힘이 더 잘 일어나는 것을

알 수 있다. 편불이 사각튜브제품 보다 편불이 원형제품의 굽힘이 잘 일어나는 이유는 경사형 다이에서 빌렛의 유입방향의 수직으로 긴 단면형상을 가지고 있기 때문에 편 불이 사각튜브제품 보다 속도에 민감하기 때문이다.

3. 네 개의 빌렛을 사용하여 압출한 중공튜브의 결합력

3- 1 중공튜브 압출다이와 프리그의 형상

3- 1- 1 원추형 다이와 원추형 프리그의 형상

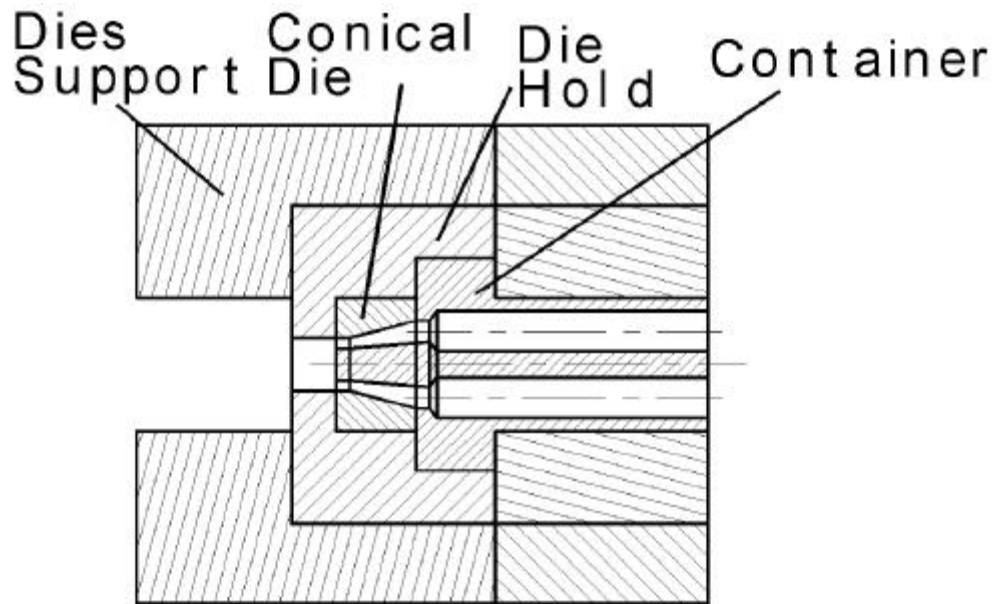


Fig. 10 The structure of chamber using the conical dies and conical plug for the experiment

Fig. 10은 실험에 사용된 원추형다이와 원추형프리그를 사용한 챔버의 구조의 단면을 나타내는 그림이다. 이 구조를 보면 네 개의 구멍에 각각 네 개의 빌렛이 유입되어 소재가 일차적으로 직경이 큰 중공소재로 만들어진 후 점차 작은 직경의 중공제품으로 압출 될 수 있는 구조를 나타내고 있다.



Fig. 11 The photograph of the conical dies and conical plug for the experiment

Fig. 11은 실제 실험에 사용되어진 원추형 다리와 원추형 플러그의 형상을 나타낸 사진으로 오른쪽 상단의 그림은 원추형 다리를 나타낸다. 또한 하단의 그림은 원추형 플러그를 가진 원추형컨테이너의 형상을 나타내고 있다.

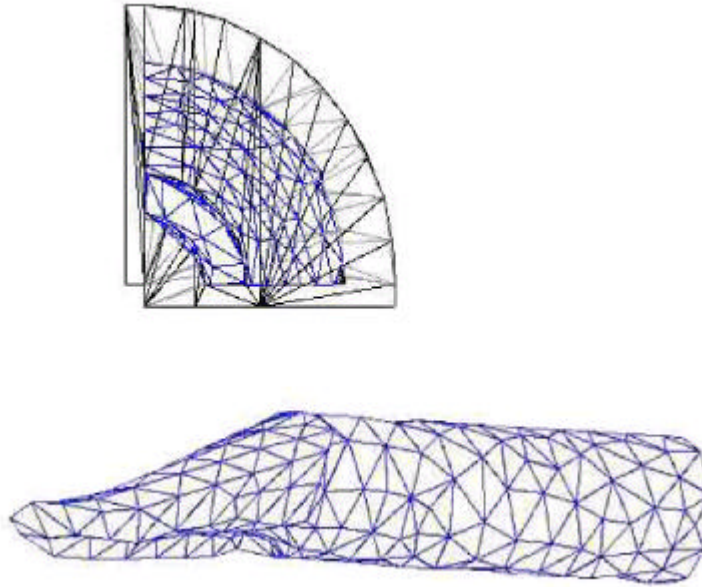


Fig. 12 The deformed shape of the conical chamber

Fig. 12는 원추형 다이와 원추형 프리그에서의 빌렛이 압출될 때의 챔버 형상을 나타낸 것으로서 처음 원형 빌렛이 챔버 형상에 의해 1/4의 원형튜브 형상으로 형성된 후 차츰 길이 방향으로 압축되면서 압출 되는 형상을 보여주고 있다.

3- 1-2 평다이와 평프러그 형상

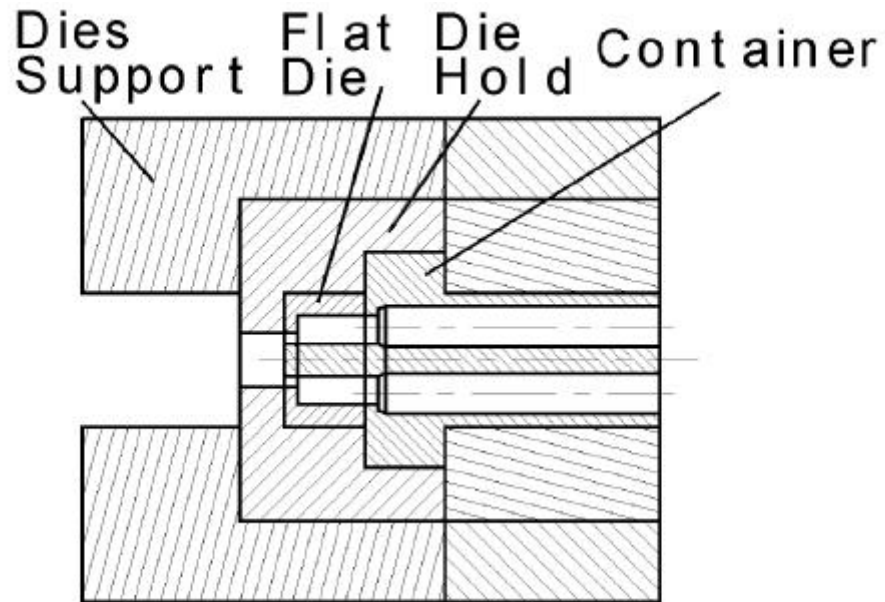


Fig. 13 The structure of chamber using the flat dies and straight mandrel for the experiment

상기 Fig. 13 실험에 사용된 평다이 및 평프러그를 사용한 챔버의 구조를 나타내며 이 형태는 일반적으로 포트 홀 다이에 사용되는 챔버의 구조와 같다. 실험에서 동일 조건을 맞추기 위하여 네 개의 구멍을 가진 컨테이너형상에 일반적인 포트홀 다이의 구조를 사용하였다.



Fig. 14 The Photo of the flat dies and straight mandrel for the experiment

Fig. 14는 실험에 사용된 평다이와 평프리그의 형상을 나타낸 것이다. 오른쪽 상단의 그림은 평다이의 형상을 나타낸다. 오른쪽 하단의 그림은 직경의 변화가 없는 평프리그를 가진 컨테이너의 형상을 나타낸다. 평다이구조는 일반적으로 소재와 다이가 만나는 면이 직각으로 이루어진 것을 말한다.

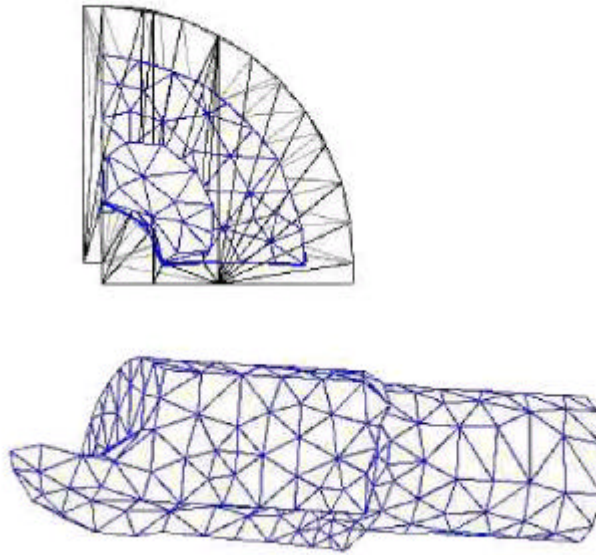


Fig. 15 The deformed shape of the flat chamber

Fig. 15는 평다이와 평프러그에서 빌렛이 압출될때의 챔버형상을 결합 면을 기준으로 1/4만 나타낸 것으로서 빌렛이 공간을 채운 이후 압출 되는 것을 알 수 있다. 또한 소재와 다이가 만나는 면이 직각으로 이루어져 출구 단면상에서 부분적으로 압출되는 형상을 보여 주고 있다.

3-2 실험에 의한 결합력 비교

3-2-1 플라스틱인에 의한 압출실험

실험에 사용된 소재는 플라스틱인으로서 열간 상태에서 알루미늄의 변형특성과 비슷한 성질을 나타낸다. 본 실험에서는 다이의 출구지름을 각각 $\phi 14\text{mm}$, $\phi 16\text{mm}$, $\phi 18\text{mm}$, $\phi 20\text{mm}$, $\phi 22\text{mm}$ 으로 제작하였으며, 유동특성을 파악하기 위해 투명아크릴을 사용하였다. 또한 프리그의 출구지름은 $\phi 12\text{mm}$ 로 고정하여 여러 단면 감소율에 대해 각각의 접합 면의 상태를 조사하였다.

3-2-2 플라스틱인 소재를 사용한 압출 제품의 접합표면과 결합력

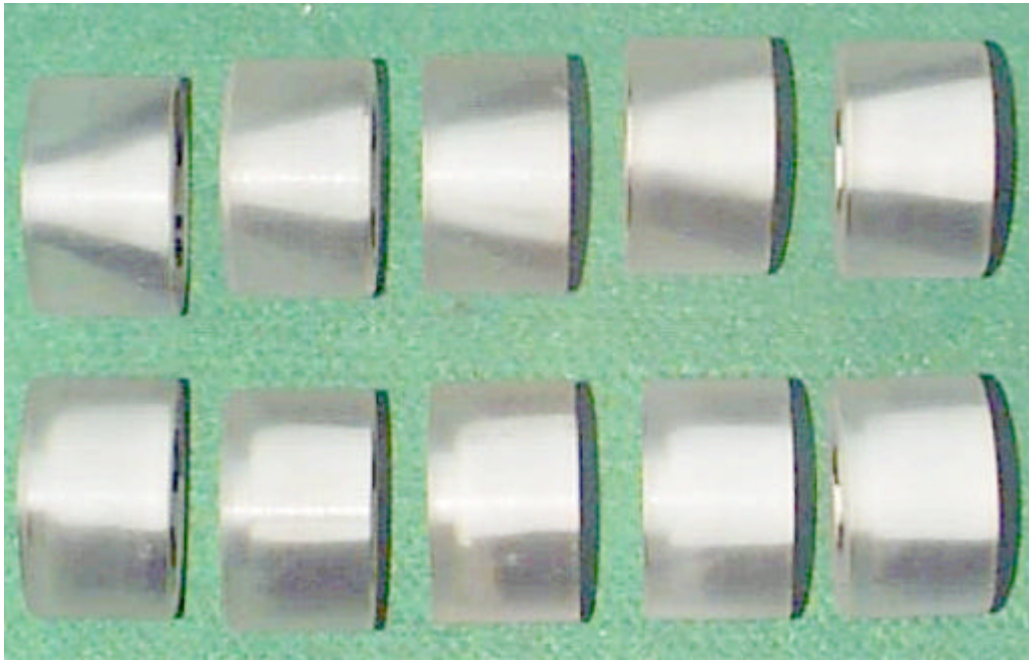


Fig. 16 The plasticine flow patterns inside two typed dies



Fig. 17 The plasticine flow shape of diameters

플라스티신의 유동 특성을 시각화하기 위해 Fig. 16, Fig. 17과 같이 아크릴을 이용하여 원추형다이와 평다이를 제작하고 접합 면을 확인하기 위해 소재의 색깔을 구분하여 컨테이너의 네 개의 구멍에 대칭적으로 흰색과 검은색의 플라스티신을 넣고 압출 실험을 수행하였다. Fig. 16과 Fig. 17의 위쪽 그림은 원추형 다이의 형상을 나타낸 것이고 아래쪽은 평다이의 형상을 나타낸 것이다.

이 실험에 의하여 압출한 실험결과가 Fig. 18에 나와있으며 이것은 제품의 첫 압출 단면에서부터 40mm의 거리에 있는 부분을 절단하여 촬영한 사진이다.

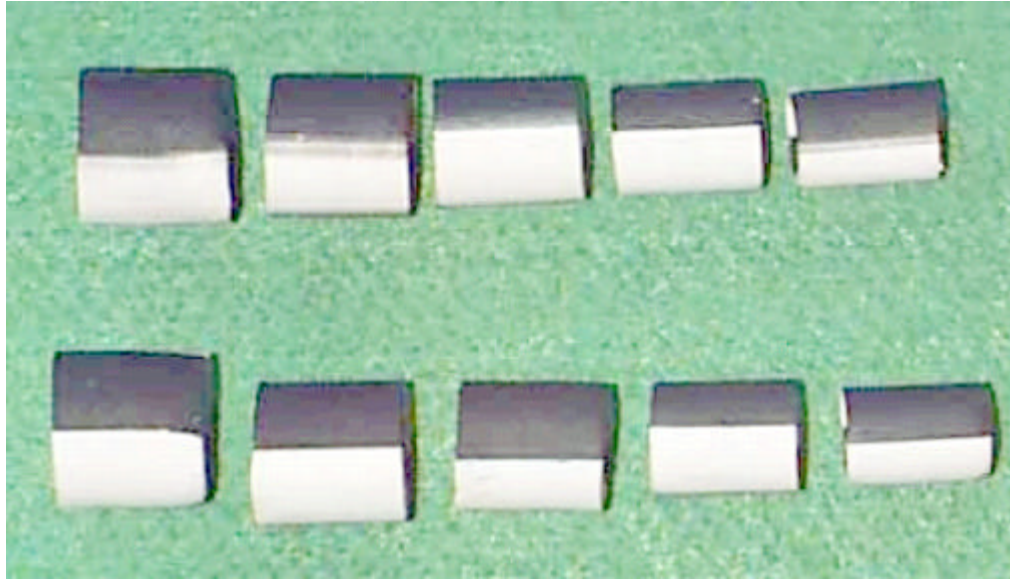


Fig. 18 The surface patterns around the welding line

Fig. 18의 그림의 상단의 제품은 원추형다이에서 압출된 플라스틱인 소재의 제품이고, 하단의 제품은 평다이에서 압출된 플라스틱인 소재의 제품이다. 이 제품의 표면을 살펴보면 원추형 다이의 경우 소재의 접합 면에서 불규칙한 선이 발견된다. 이러한 현상은 큰 원형의 단면으로부터 작은 원형의 단면으로 압축되어 줄면서 원환 압축 응력이 높아지기 때문에 발생하는 접합형상이라고 볼 수 있다.

반면 평다이에 의해 압출된 중공제품의 표면을 살펴보면 소재간의 접합 면이 깨끗함을 볼 수 있다. 이러한 현상은 여러개의 소재가 접합되어 압출될 때 소재 사이에 압축 응력이 작용하지 않고 압출이 되었음을 의미한다. 원추형다이의 경우 입구에서 들어온 소재의 전부가 원환 압출 응력을 받으면서 압출 되는 반면 평다이는 데드메탈영역이 형성되어 원환 압축 응력의 작용보다는 소재가 압축 응력에 의한 출구 방향으로 평형하게 압출 되어 접합 면에서 소재의 불규칙적인 이동이 생기지 않음을 볼 수 있다.

3-3 납에 의한 압출실험

플라스티신을 사용한 실험에서는 소재의 유동 특성을 파악 할 수 있지만 접합 강도를 알아보는 것은 힘들었다. 따라서 접합강도를 알아보기 위하여 납을 이용하여 압출실험을 시행하였다. 실험에 사용된 납은 온도의 오차를 줄이기 위하여 300℃로 1시간 동안 유지 다이와 실험소재간의 온도가 일정하게 유지되게 한 후 압출실험을 행하였다. 압출실험 장치로는 Fig. 1에 나타낸 수직형 압출실험 장치를 사용하였으며, 컨테이너와 다이는 Fig. 11과 Fig. 14에 나타낸 컨테이너와 다이를 사용하였다.



Fig. 19 The first end-section of extruded products

Fig. 19 그림의 왼쪽은 원추형다이와 원추형프러그에 의한 중공제품의 첫 단면 형상을 나타낸 것이며, 오른쪽 그림은 평다이와 평프러그를 사용하여 압출한 중공 제품의 첫 단면을 나타낸 것이다. Fig. 19을 보면 평다이와 평프러그를 사용하여 압출한 중공 제품의 접합 면의 첫 단면이 갈라져 있음을 알 수 있다. 반대로 원추형다이와 원추형

프러그를 사용한 중공형 제품에서는 접합 면의 간격을 눈으로 확인하기 어려울 정도로 양호한 접합 면을 얻을 수 있었다. 이러한 현상은 원추형다이와 원추형프러그를 가진 압출공정에서는 계속해서 원형 중공단면의 면적을 줄여 나가는 원환압축의 형태로 압출 되는 반면, 평다이와 평프러그를 가진 압출공정에서는 원환 압축보다는 길이 방향의 압축으로 압출이 되는 부분에서만 압력을 받아 압출 되기 때문에 이러한 현상이 발생한다.

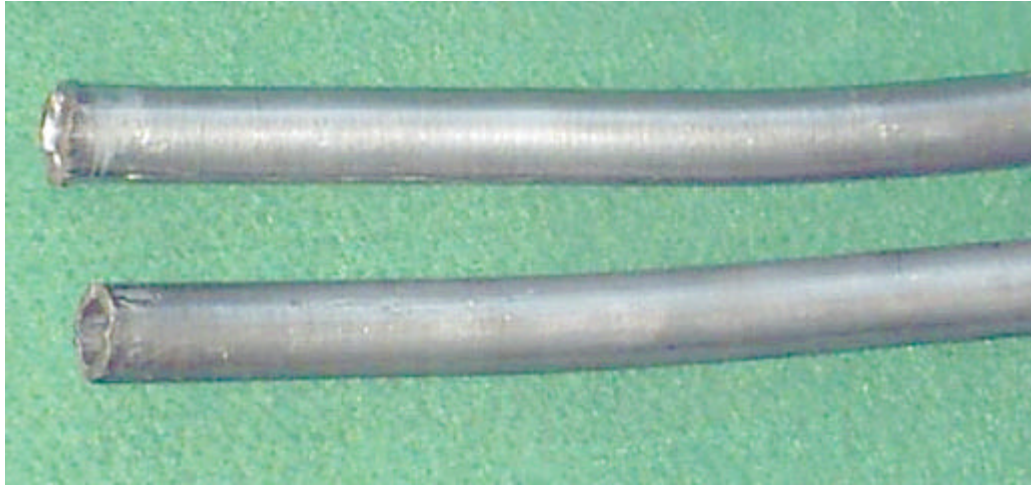


Fig. 20 The hollow tube products

Fig. 20은 납으로 가공된 중공제품을 나타낸 것으로 위 그림은 평다리와 평프러그를 이용한 제품, 아래 그림은 원추형다리와 원추형 프러그를 이용한 제품을 나타낸 것이다. 위의 그림에서 평다리와 평프러그를 사용한 압출제품에서는 표면에 파형이 압출방향의 직각으로 나타나는 것을 알 수 있는데, 이것은 접합 면에서의 원환응력 보다는 압출 방향 쪽으로 힘을 많이 받은 것을 보여준다. 또한 아래의 경사형다리와 경사형 프러그를 사용한 제품에서는 표면이 깨끗하고, 압출 방향 쪽으로 결이 나타난 것을 볼 수 있다. 이것은 반대로 원환 응력이 크게 작용하고, 압출 방향 쪽으로는 응력이 많이 작용하지 않은 것을 나타낸다.

3-3-1 납 소재를 사용한 압출 제품의 팽창확대 실험과 결합력

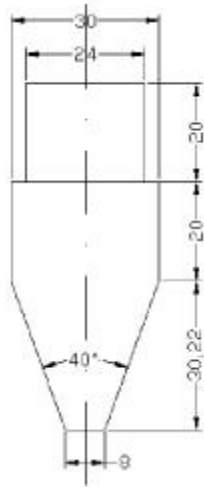


Fig. 21 The test utensil for the expansion of
tube

Fig. 21은 팽창확대 실험기를 나타낸 것으로서 Fig. 20에 압출 되어진 제품의 팽창확대 실험을 위하여 사용되었다. 사진에서 펀치부분은 베어링을 장착하여 제품의 확대시 비틀림 하중이 걸리지 않도록 제작하였다.



Fig. 22 The results of the expanding test by the compression in to the hole using conical punch

Fig. 22는 접합력의 크기를 알아보기 위하여 팽창확대 실험한 결과로써 좌측의 상하는 원추형다이와 원추형 프리그를 사용한 중공형 제품이고 우측의 상하는 평프리그와 평다이를 실험한 결과이다. 좌측의 원추형 챔버를 사용한 결과는 어느 일정한 팽창에 의해서도 찢어짐이 없었으나 우측의 평다이를 사용한 제품은 초기 팽창 단계에서 찢어짐이 발생하였다. 즉 원추형 다이와 원추형 프리그를 사용한 중공제품에서 평다이와 평프리그를 사용한 제품보다 결합력이 높게 나타남을 알 수 있었다.

3-3-2 납 소재를 사용한 압출 제품단면의 현미경 사진과 결합력

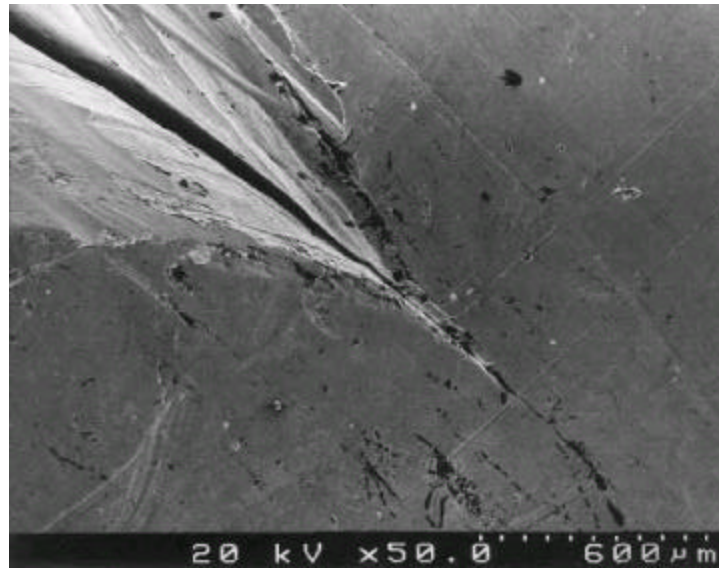


Fig. 23 - (a) First section

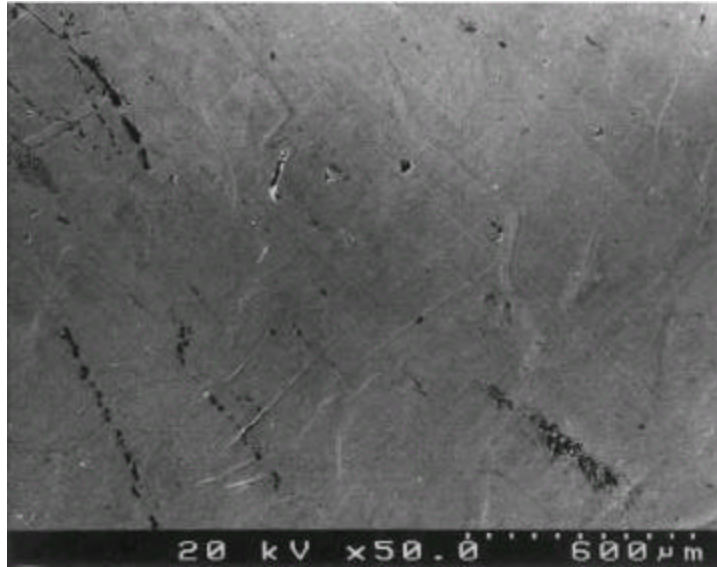


Fig. 23 - (b) Second section

Fig. 23 The micro structure around welding line of tube extruded by the conical die and conical plug

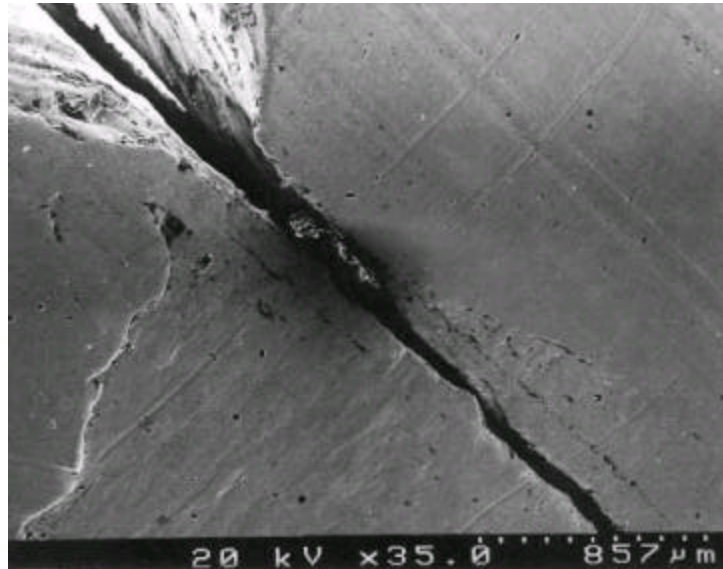


Fig. 24 - (a) First section

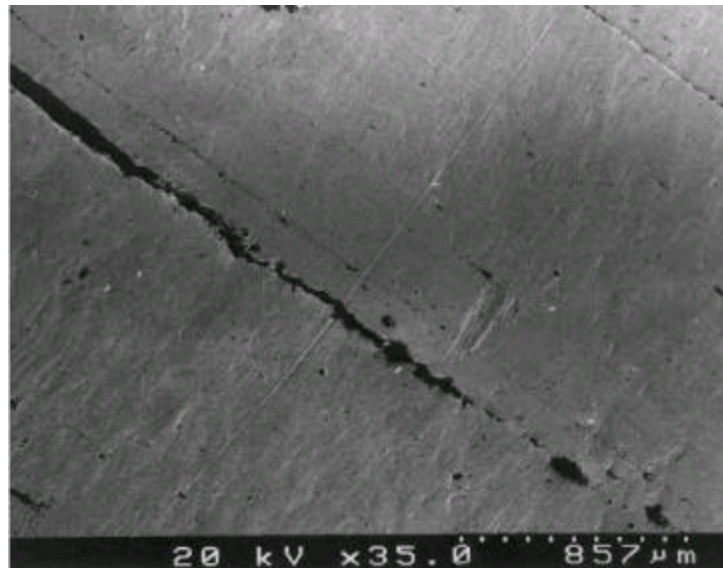


Fig. 24 - (b) Second section

Fig. 24 The micro stricture around welding line of the extruded by the flat die and straght mandrel

상기 Fig. 23과 Fig. 24는 현미경 조직 검사를 수행한 것으로 중공 압출 제품의 출구 부분에서 소재가 접합되는 부분을 촬영하였다.

Fig. 23의 그림은 원추형다이에서 나온 제품이며, Fig. 24는 평다이형다이에서 빠져 나온 제품이다.

이 조직 검사에서 알 수 있듯이 접합면에 나타난 크랙의 간격이 평다이형다이에서 빠져나온 제품에서 넓을 뿐만 아니라 계속해서 그 결합면에 균열이 확인되었으나, 원추형다이와 원추형프러그를 사용한 제품은 그 결합면이 잘 접합되어 있음을 보여주고 있다. 이것은 소재의 결합력이 원추형다이와 원추형 프러그를 사용한 중공제품에서 높게 나타남을 직접적으로 알 수 있게 하는 것이다.

3-4 $DEFORM^{TM}$ - 3D의 해석에 의한 결합력 비교

3-4-1 다이 챔버 내의 변형 형상과 결합력

포트홀 다이의 챔버 형태인 원추형다이와 원추형프러그를 사용한 챔버구조와 평다이와 평프러그를 사용한 챔버의 구조 두 종류에서 유동 특성을 파악하기 위하여 상용 소프트웨어인 $DEFORM^{TM}$ - 3D를 이용하여 소재의 접합부분을 기준으로 1/4의 형상만으로 해석하였다.

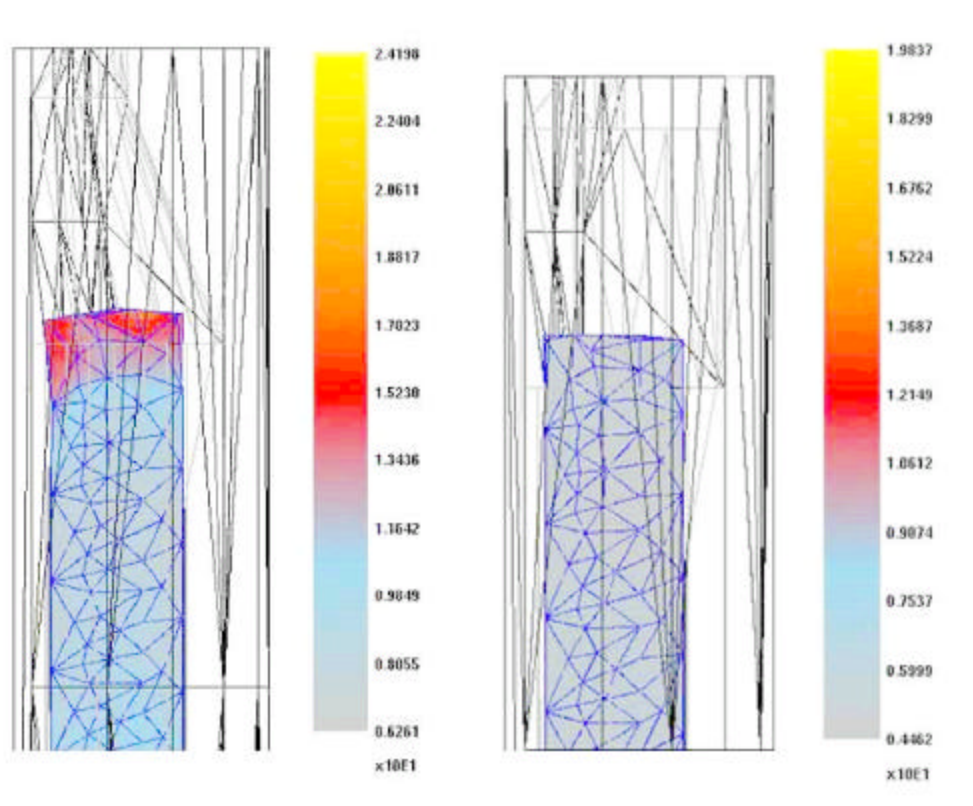


Fig. 25 The pressure distribution in billet at the die entrance

Fig. 25는 압출 시작 부분에서 나타나는 압력의 크기를 나타낸 것으로서 좌측의 그림은 원추형다이와 원추형프러그의 챔버내의 빌렛의 압력 분포를 나타내며, 우측의 그림은 평다이와 평프러그에서 나타나는 챔버내의 빌렛의 압력 분포를 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이 압출 시작부터 원추형은 중공 형상을 형성하기 위해서 큰 압축하중이 작용하는 것을 알 수 있다.

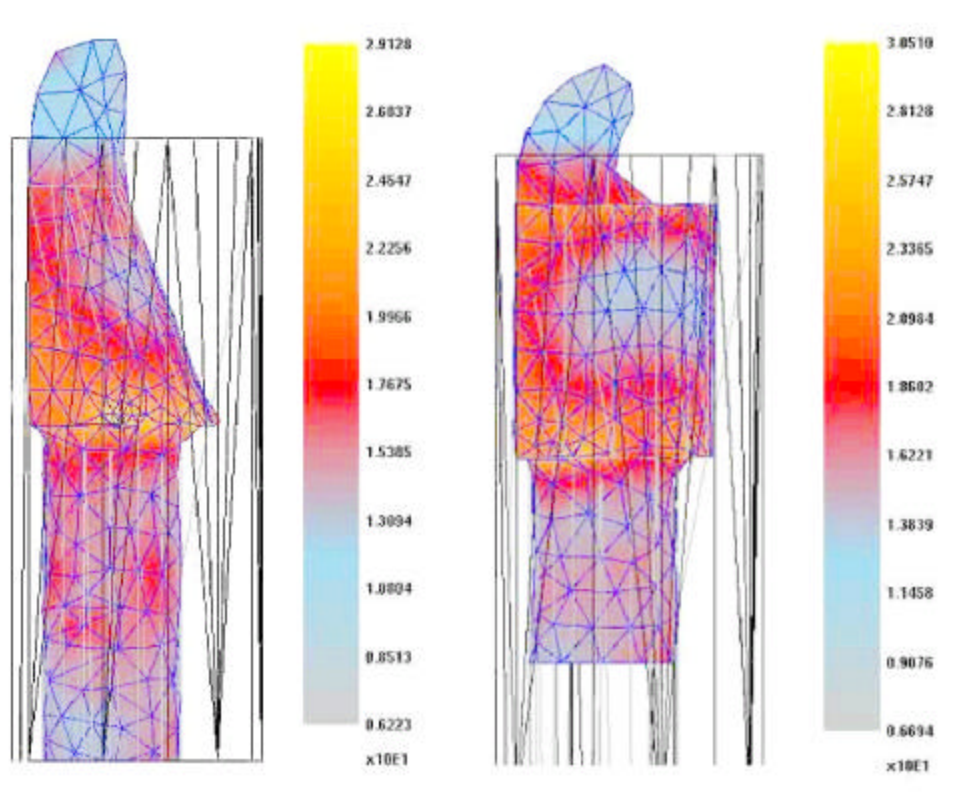


Fig. 26 The deformed shape at the die exit on the welding line

Fig. 26은 출구에서 압출 제품이 나올 때의 상태로 좌측은 원추형다이와 원추형프러그, 우측은 평다이와 평프러그를 나타낸다. 그림에서 빌렛의 좌측 직선 부분은 소재의 접합 면이며 이 면을 기준으로 변형 상태를 살펴보면 오른쪽에 있는 평다이와 평프러그를 사용한 경우의 출구에서 소재의 굽은 모양이 접합 면의 반대편으로 많이 굽어져 접합력이 원추형다이와 원추형프러그의 사용했을 때 보다 작아질 수 있음을 보여준다.

3-4-2 소재의 이동속도 벡터와 결합력

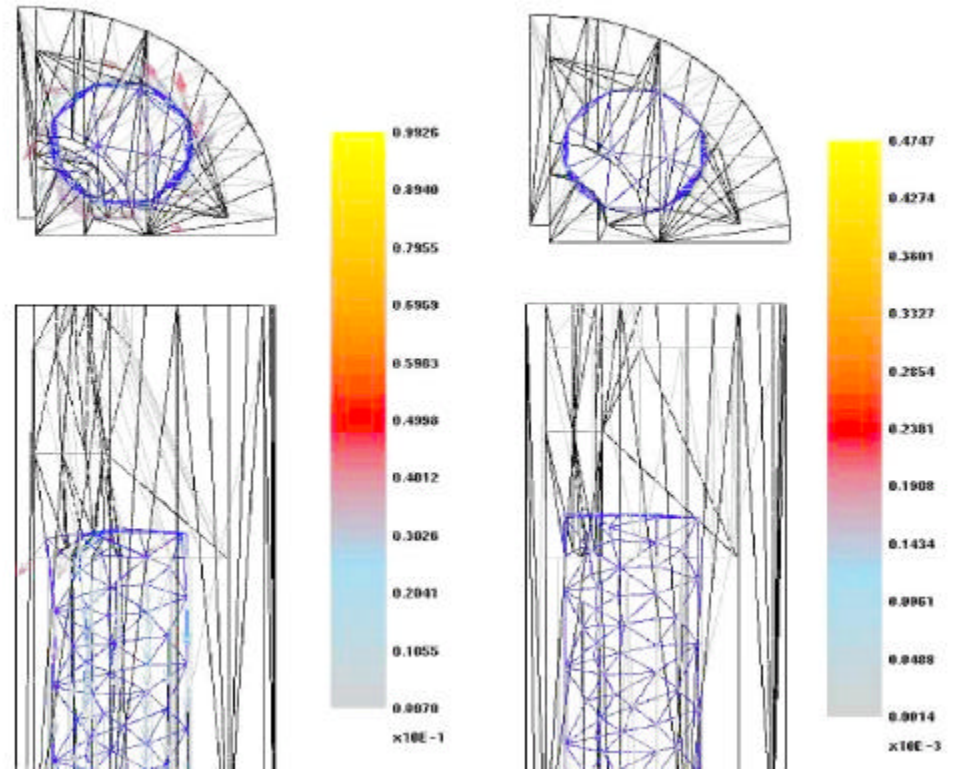


Fig. 27 The strain rate distribution at the first stage of extrusion

Fig. 27에서는 빌렛의 유입초기에 나타나는 변형률을 나타낸 것으로 왼쪽의 그림은 경사형다이와 경사형프러그에서의 변화를 나타낸 것이고, 오른쪽은 평다이와 평프러그에서의 변형률을 나타낸 것이다. 원추형다이와 원추형프러그를 사용한 제품에서 유입 초기부터 원환응력이 발생하여 변형률이 크게 나타남을 알 수 있다. 반면 평다이와 평프러그를 사용한 경우에는 소재의 유입이 아직 다이와 부딪히지 않기 때문에 변형이

나타나지 않음을 알 수 있다.

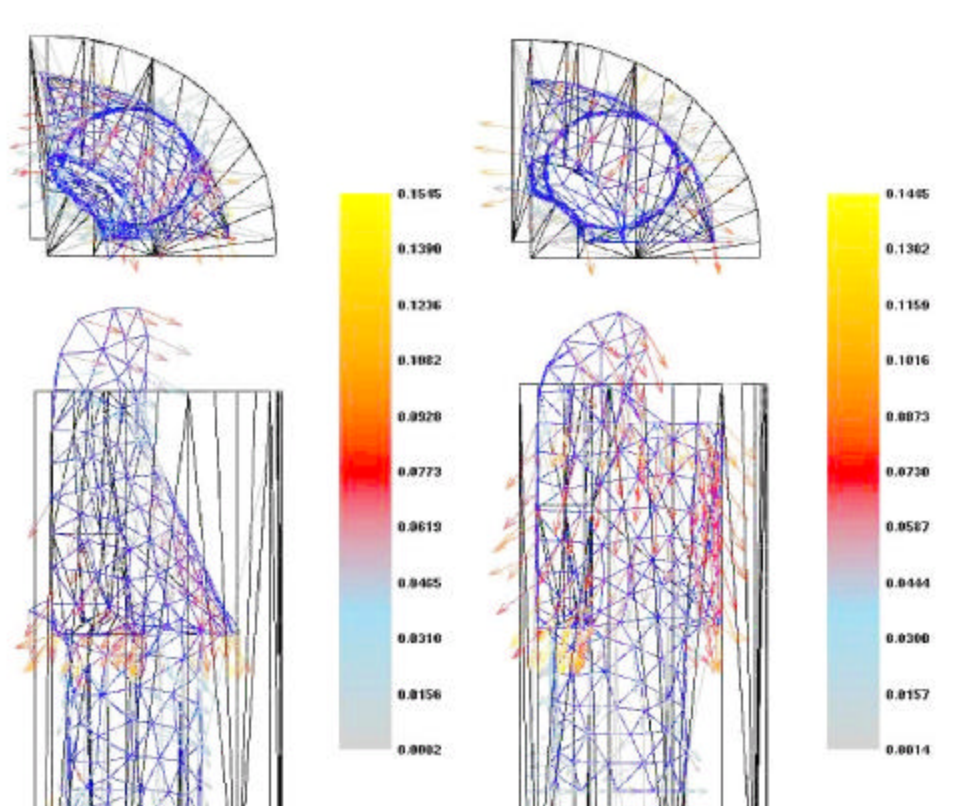


Fig. 28 The velocity distribution of the end stage of extrusion

Fig. 28은 빌렛이 다이를 빠져나가기 시작할 때의 소재의 이동속도를 벡터 표시로 나타낸 것으로 왼쪽의 원추형다이와 원추형프러그를 사용한 제품에서는 입구측의 접합부에서 소재의 이동속도 벡터가 집중적으로 접합면쪽으로 크게 나타났으며, 출구 끝단 면에서는 평다이형 제품의 접합부의 반대 방향으로 변형이 많이 일어나는 것을 알 수 있었다. 따라서 접합부에서의 속도분포를 보더라도 원추형다이와 원추형프러그를 사용한 제품에서 결합력이 높아짐을 알 수 있다.

4. 결 론

1. 네 개의 빌렛을 사용한 중공튜브의 압출 굽힘의 실험에서 구멍의 크기를 다르게 하여 압출 가공 중 굽힘이 발생하도록 한 실험결과와 다음과 같다.
 - 1) 구멍이 큰 쪽에서 작은 쪽으로 굽어짐을 알 수 있었다.
 - 2) 핀불이 원형튜브 제품이 핀불이 사각튜브 제품 보다 잘 굽어짐을 알 수 있었다.
2. 네 개의 빌렛을 사용하여 압출한 중공튜브의 결합력의 실험에서 원추형 다이와 원추형 프리그를 사용한 실험의 결과와 평다리와 평프리그를 사용한 실험결과를 비교한 결론은 다음과 같다.
 - 1) 플라스틱인에 의한 실험결과로서 그 접합 면이 평다리와 평프리그를 사용한 중공 제품의 표면보다 원추형다이와 원추형프리그를 사용한 중공제품의 표면이 접합 면에서 소재의 이동 선이 불규칙하여 접합효과가 큼을 알 수 있었다.
 - 2) 납에 의한 실험결과로서 원추형다이와 원추형프리그를 사용한 소재의 실험결과로서 제품의 초기접합단면에서 갈라짐이 없었으며, 팽창확대실험 및 현미경사진으로 본 실험 결과로서도 그 접합력이 크게 나타났다.
 - 3) $DEFORM^{TM} - 3D$ 에 의한 해석 결과로서 접합 면에서의 접합 압력이 원추형다이와 원추형프리그를 사용할 때 크게 나타났으며 접합 면에서의 변형상태로 보아 원추형다이와 원추형프리그를 사용할 때에 접합 면을 향한 방향으로 변형됨을 알 수 있었다.
3. 상기 실험 및 해석 결과로 볼 때 포트 홀 다이를 사용하여 중공소재를 가공 할 때 챔버의 형태를 원추형으로 하면 그 접합 효과가 더 크게 나타남을 알 수 있었으며, 따라서 압출굽힘가공을 위해서 네 개의 빌렛을 사용하여 압출굽힘가공하는 경우에

원추형 챔버를 사용해야 함을 알 수 있다.

참고문헌

- (1) Kurt Lange, 1985, "HANDBOOK of Metal Forming", McGraw-Hill, inc, p. 16.
1 16.66
- (2) Manabu Kiuchi and Michihiko Hoshino, 1991-2, "Numerical Simulation of Forward Extrusion of Pipes through Bridge Die", Journal of the JSTP, Vol. 32 No. 361, pp. 174 181
- (3) H. H. Cho, C. S. Jeong 2000, "포트 홀 다이에 의한 튜브 Al 열간 압출 공정 해석", 한국소성가공학회, 2000년도 제 3회 압출 및 인발 심포지엄, pp. 108 118
- (4) 김진훈, 진인태, 1998, "평다이를 이용한 편심 압출가공에서의 비유동 영역의 형성과 굽힘 속도 분포에 관한 상계해석", 한국소성학회지, Vol.7, No.2, pp.177 185
- (5) 진인태, "원형제품의 압출가공시 제품의 굽힘 현상에 관한 연구", 부산공업대학교 논문집, 제37집, pp.37 1 380, 1995
- (6) 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
- (7) 진인태, 최재찬, "사각형 단면의 편심압출시 제품의 굽힘 현상에 관한 연구", 한국소성가공학회지, Vol.6, No.1, pp.46 52, 1997
- (8) 김진훈, 진인태, "편심압출굽힘가공법에 의한 사각형 단면을 가진 중공 튜브제품의 U형 굽힘가공에 관한 연구", 한국소성가공학회지, Vol7, No5, 496 504, 1998
- (9) 박대운, 진인태 "다지형 압출편치의 상대이동 속도 차이에 의한 금속 곡관의 열간금속 압출굽힘 가공에 관한 연구", 한국소성학회 2001춘계학술대회는

문집, pp.102 105, 2001

- (10) 김민규, 진인태, 정영득, 하만경 “포트홀 다이를 이용한 중공튜브 압출제품의 다이 챔버 형상에 따른 결합력에 대한 연구”, 한국소성학회 2001 춘계 학술대회 논문집, pp.110 114, 2001