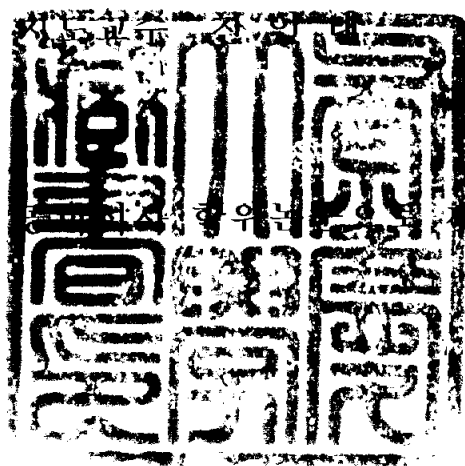


공 학 석 사 학 위 논 문

“ㄱ” 단면 앵글 구조재의 압출굽힘
가공에 관한 연구

이 논문을



출 함

2004 년 2 월

부 경 대 학 교 대 학 원

기계공학부(기계설계 · 생산자동화전공)

이 경 국

이경국의 공학석사 학위논문을 인준함

2003년 12월

주 심 공학박사 정 영 득



위 원 공학박사 한 규 택



위 원 공학박사 진 인 태



목 차

Abstract	1
1. 서 론	2
2. 압출급힘 이론	5
2-1 두 개의 빌렛을 사용하여 하나의 중실제품을 압출하는 원리	5
2-2 두 개의 빌렛의 상대이동속도 차이에 의한 압출급힘 원리	7
2-3 상대이동속도차이와 급힘곡률의 상관관계식	13
2-4 압출급힘원리를 이용하여 가공할 수 있는 제품의 형상	17
3. 좌우 대칭 '△' 단면 제품의 압출급힘가공	19
3-1 실험장치의 구성	19
3-1-1 압출급힘 실험장치	19
3-1-2 좌우 대칭 '△' 단면 경사형 다이의 구조	21
3-1-3 좌우 대칭 컨테이너의 구조	23
3-1-4 좌우 대칭 펀치의 구조	25
3-2 실험결과 및 고찰	27
3-2-1 실험 재료	27
3-2-2 좌우 대칭 '△' 단면 압출제품	28
3-2-3 직선과 곡률을 가진 제품의 단면형상	32
3-2-4 압출급힘 제품의 곡률의 변화	36
3-2-5 상대속도 차이에 따른 곡률의 변화	37

4. 좌우 비대칭 ‘ㄱ’ 단면 제품의 압출굽힘가공	39
4-1 실험장치의 구성.....	39
4-1-1 압출굽힘 실험장치	39
4-1-2 좌우 비대칭 ‘ㄱ’ 단면 경사형 다이의 구조	40
4-1-3 좌우 비대칭 컨테이너의 구조	42
4-1-4 좌우 비대칭 펀치의 구조	44
4-2 실험결과 및 고찰	46
4-2-1 좌우 비대칭 ‘ㄱ’ 단면 압출제품.....	46
4-2-2 압출굽힘 제품의 곡률의 변화	50
4-2-3 굽힘형상에 따른 접합부와 유입량의 비교	51
5. 결론	58
참고 문헌	59

A Study on the Extrusion-Bending Process of the Angle Product with 'ㄱ' Section

Kyeng-Kook Lee

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

Abstract

The bending process for the 'ㄱ' section product can be developed by the hot metal extrusion machine with the two punches moving in the different velocity. The bending phenomenon can be controlled by difference of velocity at the die exit section by the different velocity of billets through the two-hole container. This paper describes extrusion-bending experiments with two types of the dies. One of them is conical die with symmetry '△' section die and the other one is non-symmetry 'ㄱ' section die. The results of the experiment show that '△' and 'ㄱ' section product can be bended by the extrusion process and that the curvature of the product can be controlled by the velocity of punch, and that the defects such as the distortion of section and the thickness change of the product, and the folding and wrinkling of the product did not happen after the bending by the extrusion bending machine.

Key Words : Extrusion-Bending Process (압출굽힘가공), 'ㄱ' section('ㄱ'단면제품),
Multi-hole (다구멍컨테이너), Multi-Punches (다지형 펀치)

1. 서 론

기계공학에 주로 사용되어지는 금속재료를 원하는 형상으로 가공을 하는 데는 여러 가지의 방법이 이용되어진다. 소성 가공법으로는 단조(forging), 압연(rolling), 인발(drawing), 압출(extrusion), 판금가공(sheet metal forming) 등이 있고, 그 밖의 금속 재료 가공법으로는 주조법(casting), 분말 야금법(powder metallurgy), 절삭가공법(machining of material) 등이 있다.

기계가공의 대표적인 응용분야 중에 구조를 경량화할 필요가 있는 분야에는 자동차, 항공기, 고속철도차량, 각종 선박을 포함하는 수송 기계를 예를 들 수 있고, 냉장고, 에어컨, 히터 등의 에너지 변환장치, TV, 세탁기, 비디오 플레이어 등과 같은 가전제품의 경우에도 경량화를 요구하고 있다. 그리고 냉난방 배관 설계, 보일러와 같은 건축설비, 반도체 제조장비, 자동화 기계, 선반, 생산 로봇, 컴퓨터 제어 선반과 같은 생산기계 등에 여러 가지 압출형재가 사용되고 있다.

이러한 압출형재로 제작되어지는 제품 및 구조물 등은 여러 종류의 금속재료가 사용되어지고 또한 이런 재료들은 그 구성에 맞도록 설계 및 가공되어서 다양한 단면 형상으로 이루어져 굽힘(bending), 절단(cutting), 용접(welding), 볼팅(bolting), 리벳팅(riveting)등과 같은 작업과 함께 구조물을 제작하는데 사용되어지고 있다.

본 연구에서는 앞서 기술한 금속재료의 여러 가지 가공법 중에서 소성가공의 압출가공과 굽힘가공을 하나의 공정으로 하여 불필요한 공정 및 시간을 절약하여 가공과정을 줄임으로써 생산능력을 향상시키고자 한다. 또한 굽힘가공 중에서 발생할 수 있는 여러 가지 굽힘결함을 두 가지의 가공 공정을 동시에 시행함으로써 그 결함들을 없애고 재료의 특성을 살릴 수 있으며, 재

료 및 제품의 손상을 줄여서 보다 나은 제품 생산을 할 수 있을 것이다.

일반적으로 굽힘가공에서 파이프 및 형재를 굽힘 가공하는 경우 균열발생 이외의 굽힘변형에 따르는 단면형상의 변화, 주름의 발생과 같은 것에 의해 가공한계에 이르는 수가 많다. 예를 들면, 원형파이프를 굽히면, 단면은 편평화해서 타원형으로 되고, 또 두께는 외측이 얇아지고 내측이 두꺼워지는 한편으로 두꺼워지는 현상이 일어난다. 나아가 굽힘 변형을 심하게 하면, 굽힘의 내측에 좌굴에 의한 주름이 발생한다. 이 현상은 형재에 있어서도 같은 것이 일어나고, 단면형상에 각이 틀어지거나 굽힘 내측의 플랜지부에 좌굴에 의한 주름이나 접힘현상이 발생한다. 이것을 방지하기 위해서는 강제적으로 단면형상을 구속해서 굽힘을 행할 필요가 있다. 이 방법으로는 외형형상을 한 홈을 가진 형을 이용해서 단면의 변형을 외측에서 구속하거나 또는 파이프 등에 있어서는 내측에 베어링과 같은 변형이 자유로운 안쪽의 금속 또는, 가는 모래 형태의 물질을 넣거나 납 등의 저용융물을 흘려서 굳게하여 굽힘가공을 행하는 방법을 사용한다. 그러나 이러한 방법을 이용하더라도 외벽과 내벽의 두께가 얇아지는 현상은 막을 수가 없다.

기존의 압출품은 직선형태의 압출 제품이어서 곡선형의 압출제품이 요구되는 구조재를 만들 경우에는 굽힘가공 공정을 추가하여 굽힐 수 밖에 없었다. 그러나 굽힘가공을 하기가 어려운 제품들은 굽히기가 쉽지 않으므로 다양한 형태의 곡률을 가진 압출품을 얻기 위해서 압출과 동시에 굽히게 함으로써 가능함을 알 수 있었고, 산업현장의 요구에 부응하기 위한 노력이 필요하였다.

본 연구는 기계 산업 분야에 주로 사용되어지는 2차원적인 굽힘가공을 보다 능률적으로 하기 위하여, 금속압출가공중 유입되는 빌렛의 유입량을 다르게 하기 위하여 두 개의 펀치를 이용하고 또 압출되어지는 형상에 따라서 두 펀치의 스템을 같은 형상을 지닌 한 쌍과 서로 다른 형상을 지닌 것을 한 쌍으로 하여 사용하고 각각 두 쌍의 상대편차속도의 차이를 이용한 굽힘원리를

적용하였다. 그리고 플러그가 없는 컨테이너를 사용하여 중실단면으로서 굽히기 힘든 단면 형상인 'ㄱ'단면 앵글제품의 굽힘가공을 실험에 의해서 확인하고자 한다.

'ㄱ'단면 앵글제품은 비대칭 중실 단면으로서 일반적인 회전 굽힘기에서 굽힐 때 비틀어지거나 주름이 발생하며 또한 단면의 두께가 현저히 변화되어 굽어진 형상을 만들기가 쉽지 않다. 특히 굽힘곡률을 임의로 조정하여 원하는 굽힘형상을 자유자재로 만들기가 어려운 단면이다. 따라서 본 논문은 이런 단면을 가진 압출제품을 일반적인 회전굽힘기로써 굽힐 때 나타나는 결함이 없이 다양한 형태로 굽힐 수 있는 방법을 제시하고자 한다.

첫째로 좌우 대칭 'Λ'단면 제품을 좌우 대칭형의 금속환봉소재 두 개를 사용하고 각각 다른 속도의 펀치로써 압출하게 되면 두 개의 금속빌렛이 압출다이 내부에서 한 개의 제품으로 압출되면서 굽어지는 원리를 채택하여 실험을 통해 확인하고자 한다.

두 번째로 좌우 비대칭 'ㄱ'단면 제품을 좌우 비대칭형의 금속봉소재 두 개를 사용하고 각각 다른 속도의 펀치로써 압출하게 되면 두 개의 금속빌렛이 비대칭 압출다이 내부에서 한 개의 제품으로 압출되면서 굽어지는 원리를 채택하여 실험을 통해 확인하고자 한다.

2. 압출급힘 이론

2-1. 두 개의 빌렛을 사용하여 하나의 중실제품을 압출하는 원리

기존의 압출가공에서는 중실압출제품을 하나의 빌렛을 사용하여 직선의 형태로 압출하였다. Fig. 1은 두 개의 빌렛을 사용하여 종래의 직선형태의 압출제품을 가공할 수 있는 것을 나타낸 것이다. 기존의 압출가공은 하나의 빌렛이 평다이를 지나면서 그 크기나 형태가 변화되면서 압출되어졌다. 그러나 그림에서는 두 개의 빌렛이 경사형 다이를 지나면서 다이 내부에서 두 개의 빌렛이 결합이 일어나고 원하는 형태로 압출되어지는 것을 볼 수가 있다.

두 개의 빌렛을 사용하여 직선제품을 압출할 수 있는 원리는 그림에서와 같이 두 개의 빌렛이 동일한 속도로 이동을 하여 다이로 유입이 되면 다이의 내부에서 두 빌렛의 결합이 일어남과 동시에 빌렛이 동일한 유동속도를 지니게 되므로 다이를 지나 압출되어지는 직선제품을 얻을 수 있는 것이다.

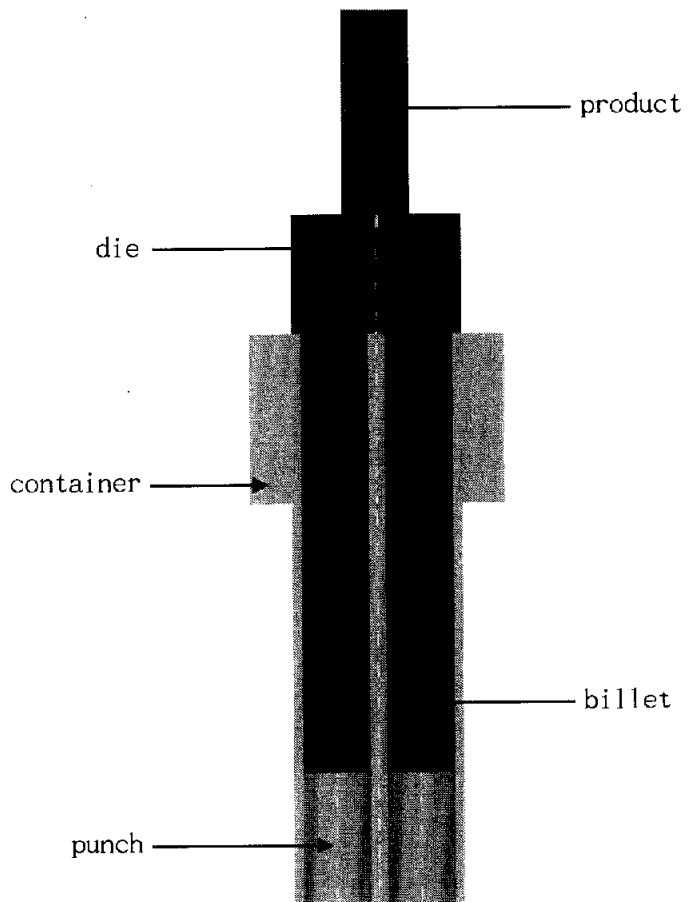


Fig. 1 The Principle of extrusion process using two billets

2-2. 두 개의 빌렛의 상대이동속도 차이에 의한 압출굽힘원리

Fig. 2의 그림에서 금속곡봉의 압출굽힘과정을 보면 가변속도펀치 ①의 속도를 느리게 할 경우 가변속도펀치가 부착된 좌측방향의 가열된 빌렛⑥의 속도가 우측방향의 빌렛⑤보다 컨테이너 내부에서 느리게 이동하게 되어 경사형 다이④를 통과할 때 서로 융합되어 합쳐지게 되면서 좌측방향으로 굽어져 압출되게 된다. 이 때 펀치는 한쪽 펀치만이 작용을 하므로 단지 좌측방향으로 굽어지면서 압출된다.

이와 반대로 가변속도펀치①의 속도를 빠르게 할 경우 좌측방향의 가열된 빌렛이 빠르게 이동하면서 상기의 압출굽힘과정의 굽힘 방향이 반대인 오른쪽으로 굽어지면서 압출되게 된다.

만약 가변속도펀치①의 속도를 펀치②의 속도와 일치시킬 때는 굽힘이 발생하지 않으면서 직선형으로 압출되어 종래의 압출가공과 같은 공정으로 일반적인 직선 형태의 제품을 압출하게 된다.

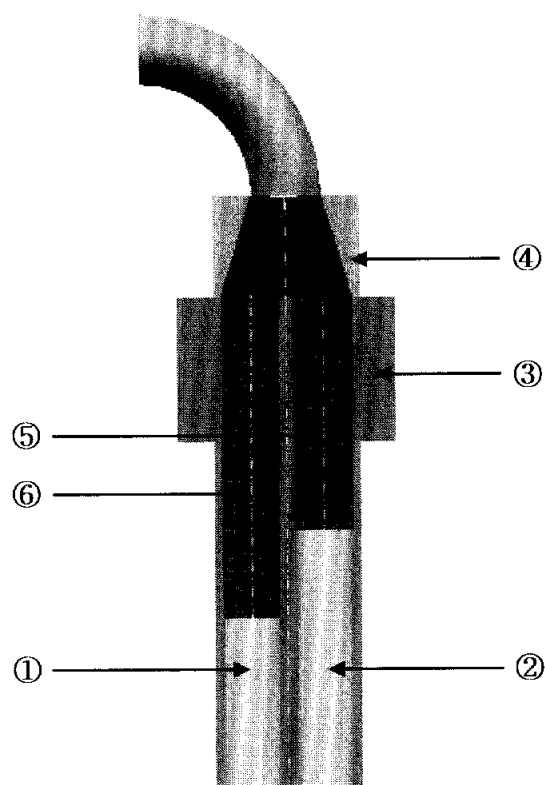


Fig. 2 The Principle of extru-bending process by the difference of relative velocity of the punches

Fig. 3은 좌우 대칭 '△'단면 압출압입 실험장치의 도면으로 두 개의 구멍을 가지는 컨테이너와 두 개의 펀치를 결합하여 구성되어 있다. 그리고 좌우 대칭 '△'단면 다이와 결합하는 컨테이너는 두 개의 구멍으로 되어있고, 각 구멍에 빌렛을 장착할 수 있는 구조로 되어있다. 각각의 펀치들은 두 개의 동일한 직경을 지닌 컨테이너 구멍으로 삽입되며 두 개의 같은 빌렛에 압력을 가할 수 있으며, 압출과정 중에서 소재의 유입의 속도차이를 발생시킬 수 있도록 각각 다른 속도로 움직일 수 있도록 구성하였다.

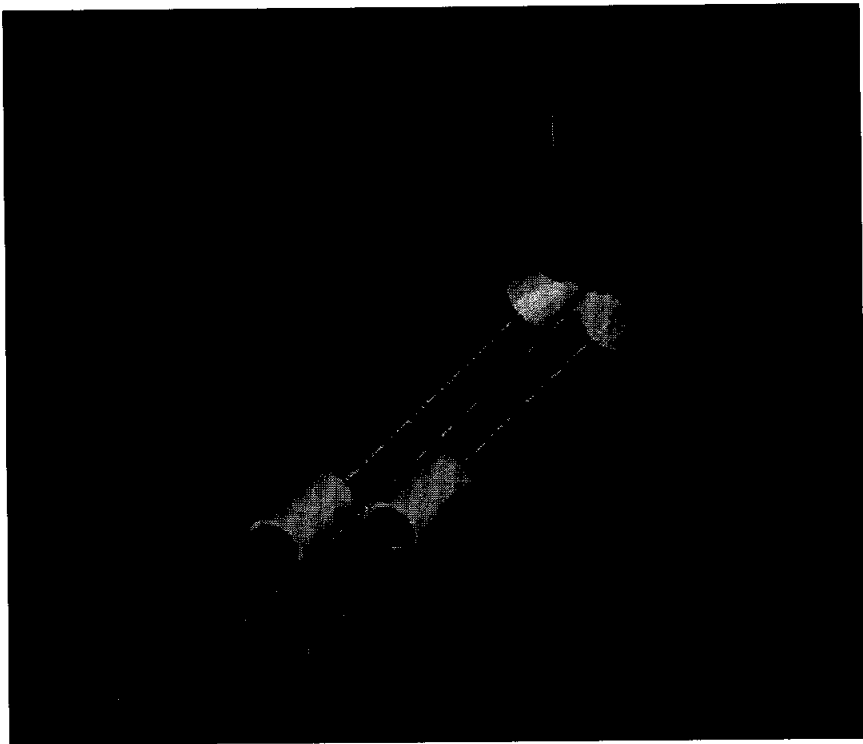


Fig. 3 The Sectional view of two-hole container with the punches of same section

Fig. 4는 비대칭 'ㄱ'단면 압출급힘 실험장치의 도면으로 두 개의 구멍을 가지는 컨테이너와 두 개의 펀치를 결합하여 구성되어 있다. 그리고 비대칭 'ㄱ'단면 다이와 결합하는 컨테이너는 두 개의 구멍을 있고, 각 구멍에 빌렛을 장착할 수 있는 구조로 되어있다. 각각의 구멍은 서로 형상이 다른 펀치에 의해서 압력을 가할 수 있으며, 압출과정 중에서 소재의 유입의 속도차이를 발생시킬 수 있도록 각각 다른 단면과 각각 다른 속도로 움직일 수 있도록 구성하였다.

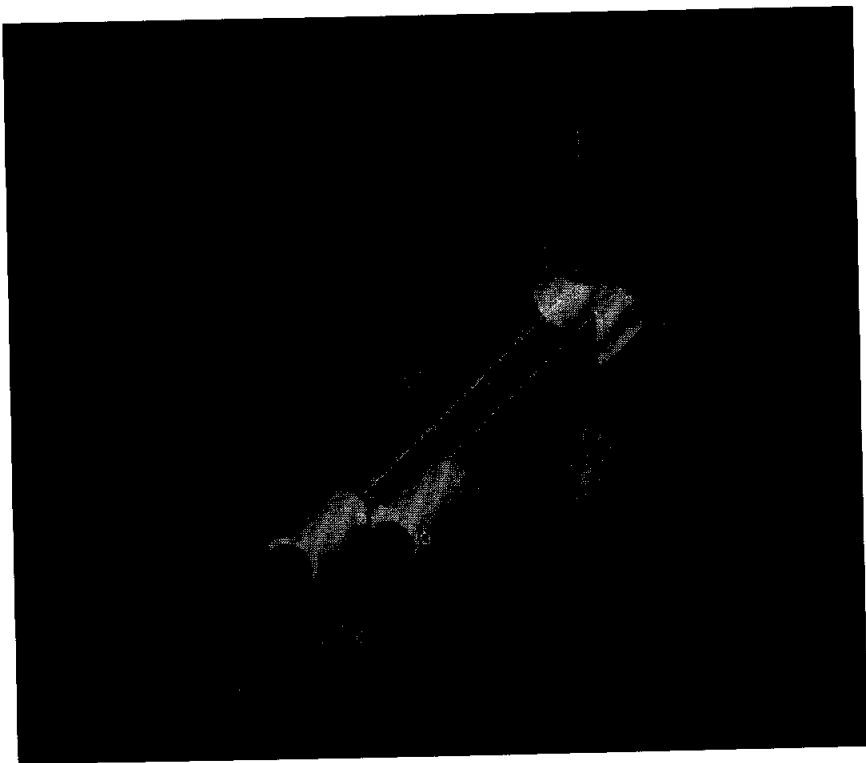


Fig. 4 The Sectional view of two-hole container with the punches of different section

Fig. 5는 Fig. 3에서의 좌우 대칭형 각 장치들에 의한 내부 재료의 흐름을 나타내고 있는 것이다. 그림의 좌측하단부분은 컨테이너 내부에서의 재료의 상태이고 가운데 두 재료가 결합하는 부분은 다이 내부에서의 재료, 그리고 우측상단부분은 압출압입가공에 의하여 곡률을 가진 제품이 압출되어지고 있는 것을 나타내고 있다.

Fig. 5의 그림에서처럼 펀치의 상대속도차이에 의해서 컨테이너 내부의 우측의 재료가 좌측의 재료보다 빠른 속도로 이동하게 되면 비대칭 경사형 다이의 내부에서 결합과 동시에 유입량의 차이가 발생하게 되고 그림에서와 같이 좌측으로 굽어지는 제품을 얻을 수 있게 된다.

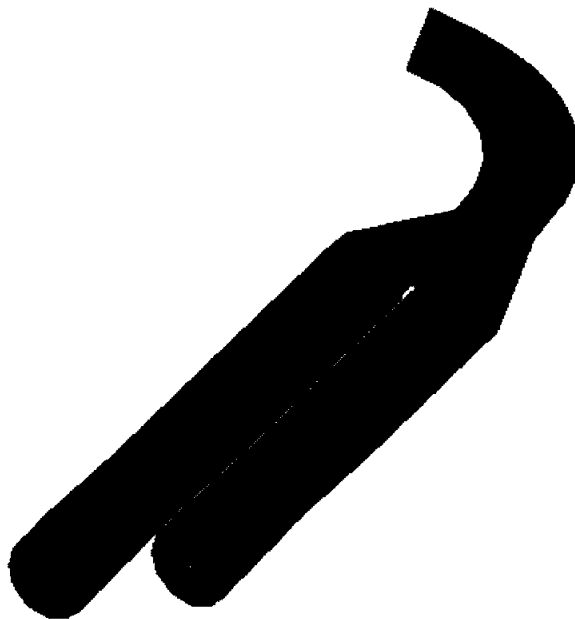


Fig. 5 The metal flow of symmetry

Fig. 6은 Fig. 4에서의 각 장치들에 의한 내부 재료의 흐름을 나타내고 있는 것이다. 그림은 앞서 보여진 좌우 대칭형 압출굽힘가공에서와는 달리 압출하고자 하는 제품이 좌우 비대칭 형상이므로 좌측하단부분의 컨테이너 내부에서의 재료인 빌렛이 비대칭형상이고 가운데 두 재료가 결합하는 부분인 다이 내부에서의 재료의 상태도 비대칭 형상이다. 그리고 우측상단부분은 압출굽힘가공에 의하여 곡률을 가진 비대칭형 제품이 압출되어지고 있는 것을 나타내고 있다.

Fig. 6의 그림도 Fig. 5에서처럼 펀치의 상대속도차이에 의해서 컨테이너 내부의 우측의 재료가 좌측의 재료보다 빠른 속도로 이동하게 되면 비대칭 경사형 다이의 내부에서 결합과 동시에 유입량의 차이가 발생하게 되고, 그림에서와 같이 좌측으로 굽어지는 제품을 얻을 수 있게 된다.

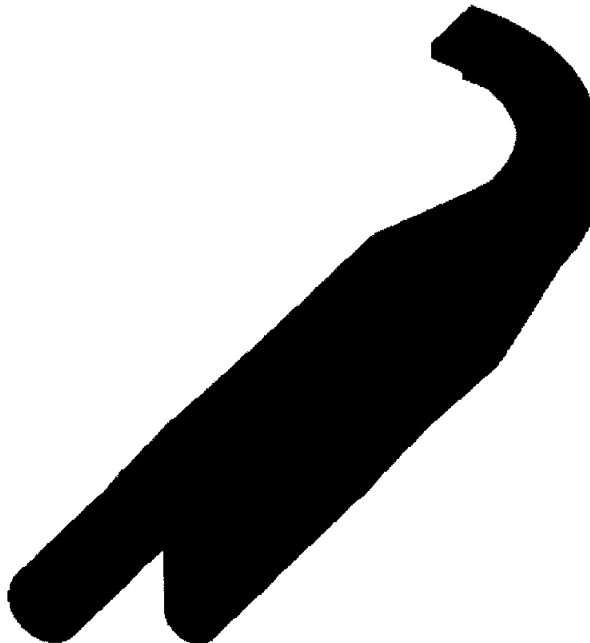
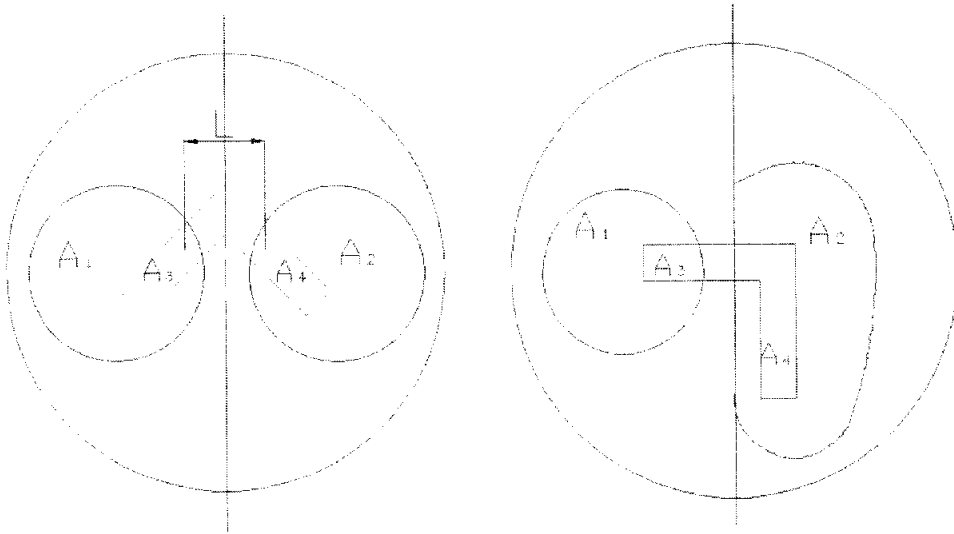


Fig. 6 The metal flow of extru-bending with non-symmetry

2-3. 상대이동속도차이와 굽힘곡률의 상관관계식



(a) $A_1 = A_2$, $A_3 = A_4$

(b) $A_1 \neq A_2$, $A_3 \neq A_4$

Fig 7. The layout of a conical die

소성변형 영역내의 소재의 흐름속도는 입구 및 출구에서의 연속방정식을 만족하므로 다음과 같은 식(1)로 표시되며 출구속도는 식(2)로 표시할 수 있다.

$$Q = A_{in} V_{in} = A_{out} V_{out} \quad \text{-----(1)}$$

$$V_{out} = \frac{A_{in} V_{in}}{A_{out}} \quad \text{-----(2)}$$

그러나 이 경우 출구단면의 대칭선상에서 소재의 이동이 없다고 가정한 경우이므로 출구단면을 정확히 결정할 수 없기 때문에 이론적으로 출구속도를 정확하게 예측하기가 힘들다. 따라서 출구단면상에서 소재의 이동이 없다고 가정한 경우의 상대속도차이와 굽힘곡률의 상관관계를 유도하면 다음과 같다.

$$\begin{cases} Q_1 = A_1 V_1 = A_3 V_3 \\ Q_2 = A_2 V_2 = A_4 V_4 \end{cases}$$

A_1 과 V_1 은 가변속도로 유입되는 빌렛의 단면과 속도

A_2 와 V_2 는 일정속도로 유입되는 빌렛의 단면과 속도

A_3 와 V_3 는 가변속도로 유입되는 빌렛에 의해 압출되어지는 제품의 단면과 속도

A_4 와 V_4 는 일정속도로 유입되는 빌렛에 의해 압출되어지는 제품의 단면과 속도

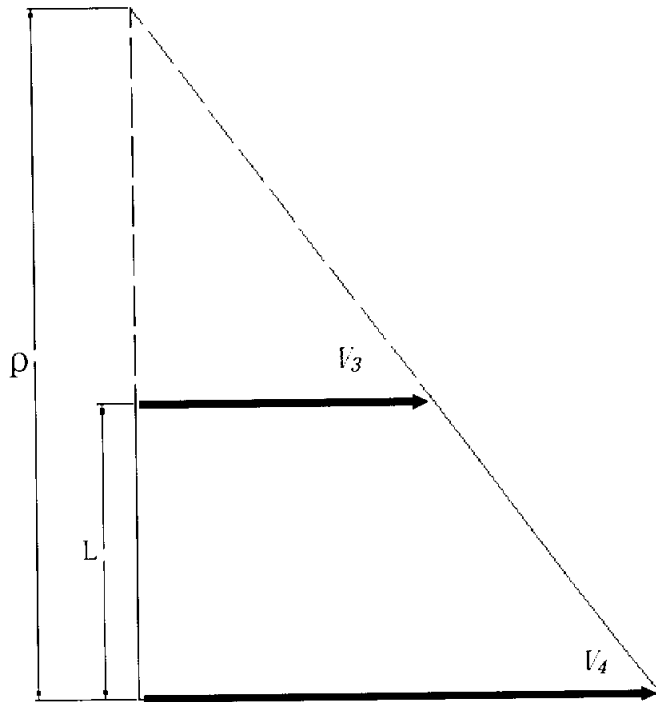


Fig 8. Generalized analytical model with different velocity

$$V_3 = \frac{A_1 V_1}{A_3} \quad \text{-----}(3)$$

$$V_4 = \frac{A_2 V_2}{A_4} \quad \text{-----}(4)$$

Fig 8에서 속도와 곡률의 관계를 비례식으로 표현하면

$$\rho: V_4 = (\rho - L): V_3$$

$$\begin{aligned} \rho V_3 &= (\rho - L) V_4 \\ &= \rho V_4 - L V_4 \end{aligned}$$

$$\rho = \frac{L V_4}{V_4 - V_3}$$

$$\therefore \frac{1}{\rho} = \frac{V_4 - V_3}{L V_4} = \frac{\Delta V'}{L V_4} \quad \text{-----}(5)$$

(3), (4)식에서 V_4 , V_3 의 값에 의해서 (5)식은

$$\frac{1}{\rho} = \frac{\frac{A_2 V_2}{A_4} - \frac{A_1 V_1}{A_3}}{L \cdot \frac{A_1 V_2}{A_4}}$$

이 되고 $A_1 = A_2$, $A_3 = A_4$ 이므로

$$\therefore \frac{1}{\rho} = \frac{\frac{A_1 (V_2 - V_1)}{A_4}}{\frac{L A_1 V_2}{A_4}} = \frac{V_2 - V_1}{L V_2}$$

이 된다.

여기서 Fig 7의 (b)에서 $A_1 \neq A_2$, $A_3 \neq A_4$ 처럼 단면의 형상이 다른 경우에는 유입되어지는 빌렛의 단면형상과 압출되어져 나오는 단면형상 사이에는 비대칭형상에 대한 단면적계수(C_f)를 고려하여야 한다. 이 단면계수를 포함하여 상대속도차이와 굽힘곡률의 상관관계를 유도하면 다음과 같다.

$$A_1 = A_2 \times C_f$$

$$A_3 = A_4 \times C_f$$

가 되므로 식(5)는

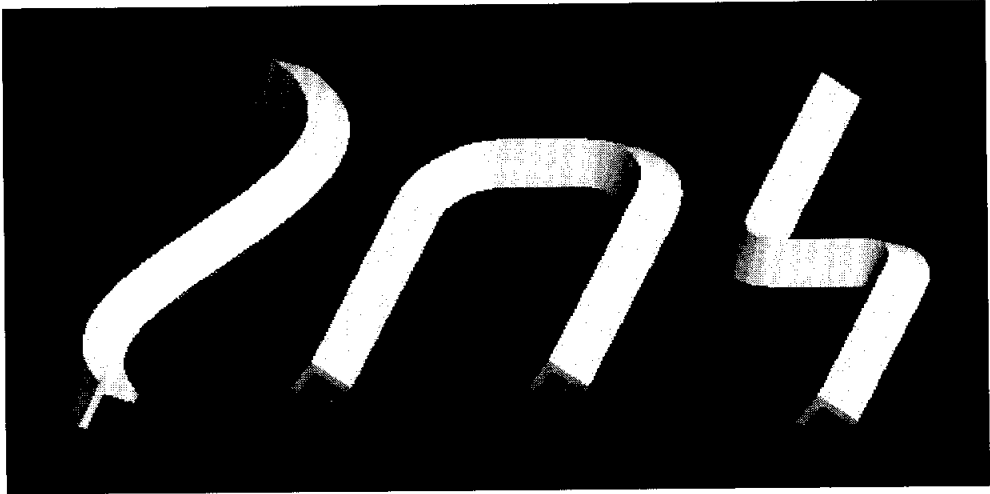
$$\frac{1}{\rho} = \frac{\frac{A_2 V_2}{A_4} - \frac{A_2 C_f V_1}{A_3 C_f}}{L \cdot \frac{A_2 C_f V_2}{A_4}}$$

$$\therefore \frac{1}{\rho} = \frac{V_2 - C_f^2 V_1}{L C_f V_2}$$

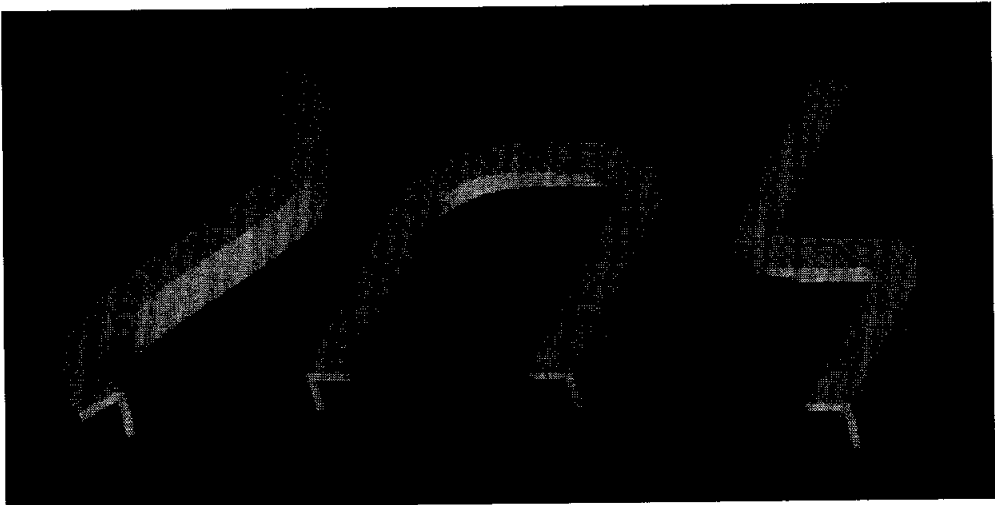
으로 표현할 수 있다.

2-4. 압출굽힘원리를 이용하여 가공할 수 있는 제품 의 형상

Fig. 9의 그림은 압출굽힘가공에 의해서 생산될 수 있는 제품들의 형상이다. (a)의 그림은 좌우 대칭 ‘^’단면 제품의 굽힘형상을 보여주고, (b)의 그림은 좌우 비대칭 ‘ㄱ’단면 제품의 굽힘형상을 보여주고 있다. 일반적으로 한 개의 빌렛을 이용하는 압출에서는 이러한 형상은 가공이 될 수 없는 형상이고 그림과 같이 원하는 형상으로 가공을 하기 위해서는 압출된 중실제품의 일반적인 굽힘가공이 사용된다. 하지만 기존의 굽힘가공 방식은 균열발생 이외의 굽힘변형에 따르는 단면형상의 변화, 주름의 발생과 같은 것에 의해 가공한계에 이르는 수가 많다. 위의 그림은 압출과 동시에 굽힘가공을 함으로써 여러 가지의 굽힘형상을 보여주고 있으며, 또한 굽힘시 발생하는 결함을 배제하고 있음을 알 수 있다.



(a) symmetry section



(b) non-symmetry section

Fig. 9 The curved products by Extrusion Bending Process

3. 좌우 대칭 'Λ' 단면 제품의 압출급힘가공

3-1. 실험장치의 구성.

3-1-1. 압출급힘 실험장치

기존의 압출에서는 제품을 압출가공하기 위해서 한 개의 빌렛이 사용된다. 보통 중공튜브의 압출시에 하나의 빌렛이 멘드렐을 지나면서 네 개의 재료로 나뉘어지고 다시 합쳐지는 구조를 가지고 있고, 중실단면제품의 압출에서도 역시 한 개의 빌렛이 다이를 지나면서 압출가공되어지는 것이 일반적이다. 이러한 기존의 다이는 하나의 소재가 여러 소재로 나뉘어져서 하나로 합쳐지거나, 단순히 한 소재가 단면의 크기가 줄어들거나 변화되어지는 것이다. 이런 이유로 기존의 압출가공에서 빌렛은 다이의 입구에서부터 출구까지의 압출속도에 속도구배가 거의 발생하지 않기 때문에 보통 직선형태의 제품을 압출하는데 사용되어진다.

그러나 본 논문에서는 압출과정 중에 임의의 곡률을 가지면서 굽히기 위해서 두 개의 압출시스템을 가지고 있는 압출급힘실험 장치를 Fig. 10과 같이 제작하였다.

Fig. 10은 본 실험에 사용된 플라스틱인 압출급힘기로 일정속도를 가진 한 개의 펀치와 가변속도로 조정할 수 있는 하나의 가변속도펀치의 두 개의 압출펀치로 구성되어 있다. 일정속도를 가진 한 개의 펀치와 가공중에는 속도를 제어할 수 있는 가변속도펀치로써 두 펀치의 상대속도를 조절할 수 있도록 하였다.

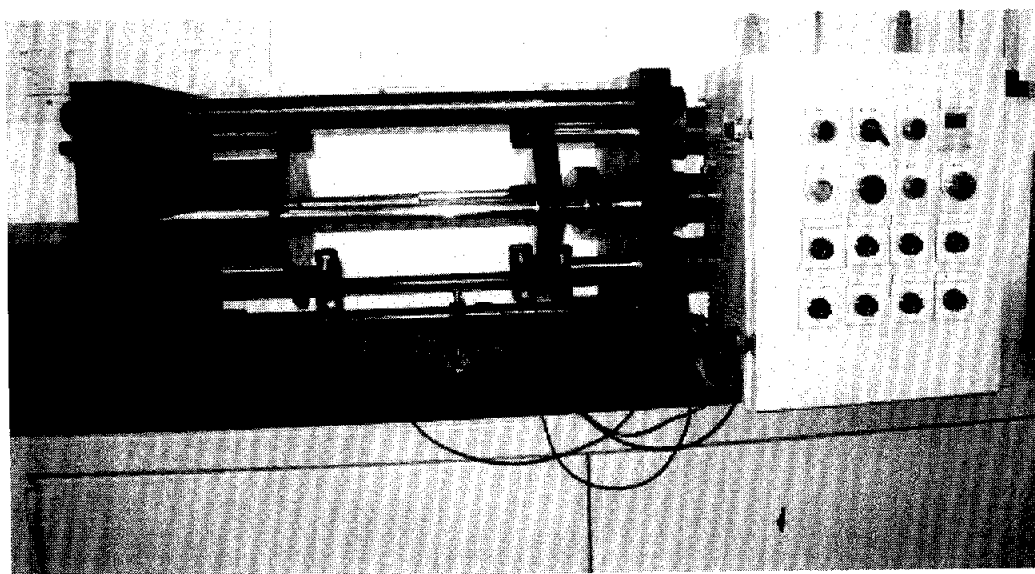


Fig. 10 The photo of plasticine extru-bending machine

3-1-2. 좌우 대칭 '∧'단면 경사형 다이의 구조

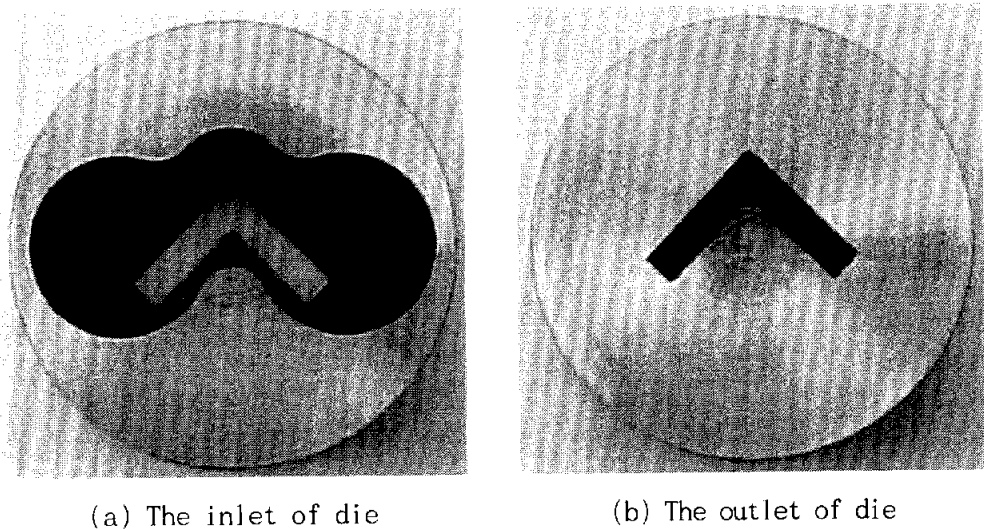


Fig. 11 The figure of '∧' section conical die

Fig. 11은 실험에 사용된 다이로 일반적인 압출에 사용되는 평다이와는 다른 경사형 다이로 두 개의 빌렛이 유입될 수 있도록 설계되어 있으며, 다이의 출구형상이 '∧' 형상인 단면과 입구 형상을 연결하는 면으로 구성된 좌우 대칭 원추형 다이이다. 일반적으로 사용되는 평다이는 압출과정 중에 굽힘을 발생시킬 수 없는 구조를 가지고 있다. 이에 본 실험에서는 평다이의 구조가 아닌 원추형 구조를 지닌 경사형 다이를 제작하여 사용하였다.

이 다이는 '∧'단면 압출제품을 가공할 때 좌우 대칭이 되는 다이의 출구 부분에 따라서 다이 내부로 유입되는 빌렛의 입구부 역시 좌우가 대칭이 되도록 설계를 하였다. 입구부는 다이의 출구 부분에 맞추어 다이의 입구부와 출구부가 좌우 대칭 형태로 서로 등각표면을 이루도록 설계가 되었다.

이 다이의 특징은 일반적인 압출기에 사용하는 평다이의 형태를 사용하지

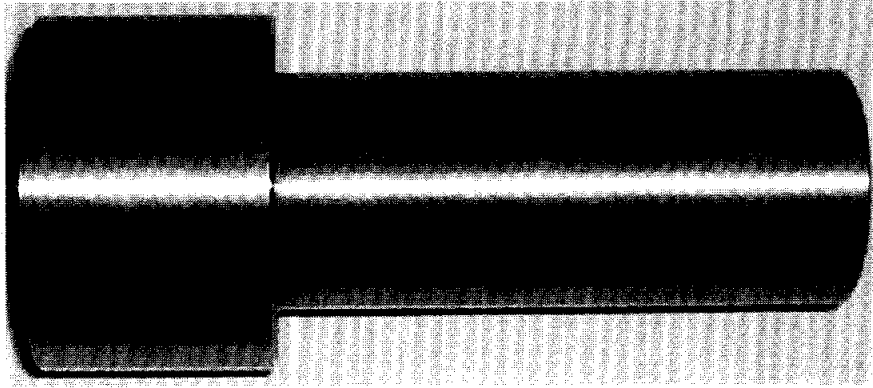
않고 입구측에서 출구측으로 원추형 단면을 구성하고 있는 경사형 다이를 사용하고 있어서 두 개의 금속빌렛이 입구 측에서 삽입되어 출구쪽으로 압출될 때 금속적으로 융합이 생기면서 하나의 압출제품으로 압출되는 특징을 가지고 있다. 즉, 두 개의 빌렛이 다이로 유입되기 시작하는 시점부터 점차적으로 압출되어지는 제품의 모양을 형성하면서 그 체적을 줄여나가면서 압출되는 방식이다.

일반 평다이보다 많은 결합력이 발생하는 경사형 다이를 사용함으로써 ‘^’단면 압출제품을 압출하는 경우에도 두 개의 빌렛이 금속적으로 융합이 잘 되어서 하나로 압출되어진다. 또한 경사형 다이는 한쪽의 유입량이 많아질 때 유입량의 차이로 인하여 출구단면에서의 속도편차를 발생시킬 수 있는 구조를 가지고 있다. 그러므로 압출 과정중에서 굽힘을 발생시키기 위해서는 두 개의 빌렛의 사용 때문에 결합력이 뛰어나야 하고 속도편차를 발생시킬 수 있도록 경사형 구조의 원추형 압출 다이를 사용해야 하는 것을 알 수 있다.

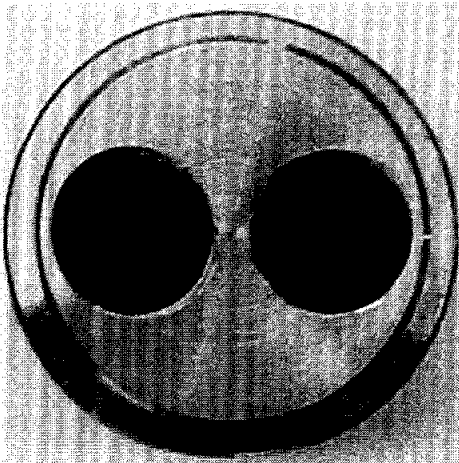
3-1-3. 좌우 대칭 컨테이너의 구조

중공튜브와 같은 중공제품을 생산하기 위해서는 컨테이너의 출구부분에 플러그가 있는 형태로 컨테이너가 제작해야 하나 중실제품을 압출하기 위해서는 플러그가 필요없게 된다. Fig. 12는 실험에 사용된 컨테이너로 두 개의 컨테이너 구멍을 가지고 있으며 두 구멍을 연결하는 부분에 플러그가 없어서 중공제품이 아닌 중실제품을 압출할 수 있도록 제작되었으며 두 구멍의 형상은 상대직경의 차이가 없는 똑같은 직경의 구멍 두 개를 사용하였다.

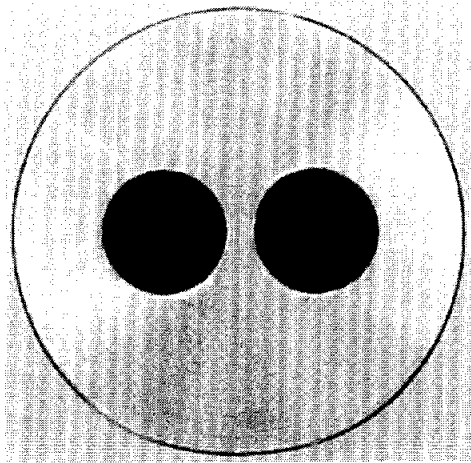
Fig. 12의 컨테이너는 좌우 대칭 '∧' 단면 경사형 다이와 결합하여 다이의 입구부 형상과 컨테이너의 두 구멍의 위치가 일치하도록 배치되어있으며, 상대직경의 차이가 없는 두 개의 원통형 빌렛이 각각의 구멍에 유입되도록 설계제작되어졌다. 같은 형상의 두 개의 빌렛이 좌우에 삽입되어 압출되어지도록 하였다. 컨테이너의 입구부와 출구부의 형상은 동일하게 제작되었으며 각각 속도가 다른 압출펀치를 안내할 수 있도록 평행도를 잘 유지하도록 하였다.



(a) The Container



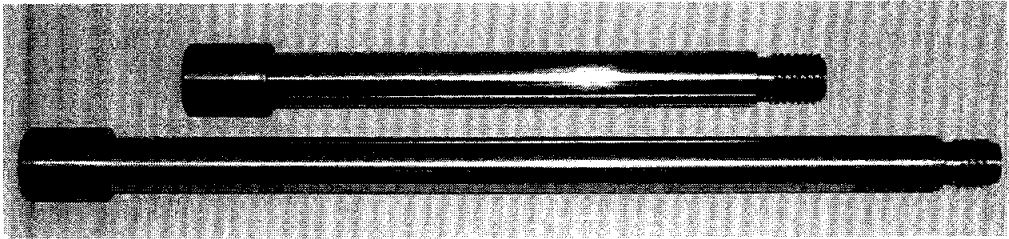
(b) The inlet of container



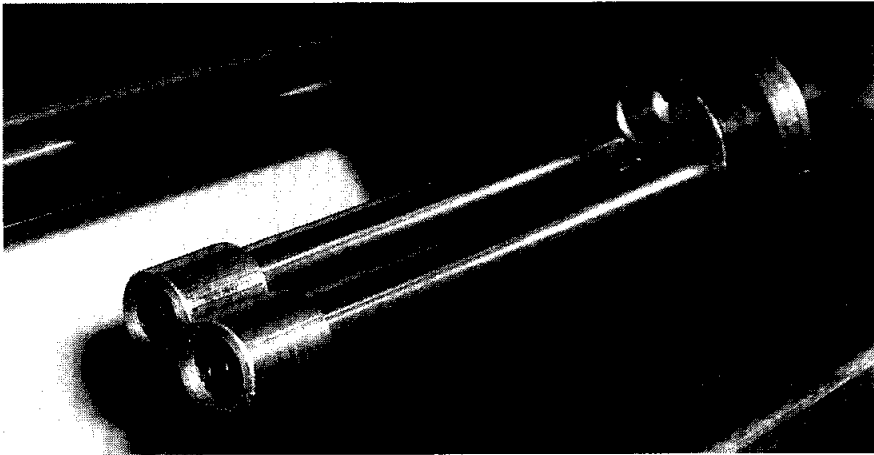
(c) The outlet of container

Fig. 12 The two-hole container with no difference of hole diameter

3-1-4. 좌우 대칭 펀치의 구조



(a) Punch with different length



(b) Stem equipped with punches

Fig. 13 Extrusion punches with different velocity

Fig. 13의 (a) 사진을 보면 각각 하나의 펀치는 일반적인 펀치의 구조와 큰 차이점이 없음을 알 수 있다. 펀치의 앞 부분에 소재의 밀봉을 위해 단이 주어진 형태이다. 본 연구에서는 2차원적인 압출급힘가공을 수행하게 하기 위해서 두 개의 빌렛을 사용하였으며 이에 따라 두 개의 펀치가 사용되어졌다. 짧은 길이를 가진 펀치는 일정한 속도로 이동하는 펀치이고 길이가 긴 것은 가변속도로 이동하는 펀치이다. 그리고 이들의 펀치의 길이가 다른 것

은 서로 다른 속도로 이동을 할 때 발생하는 유격을 조절하기 위하여 길이가 다르게 제작되었다.

Fig. 13의 (b)는 일반적인 압출시스템과 달리 두 개의 압출펀치들으로써 구성되어 있는 것을 볼 수 있다. 이들은 각각 다른 속도로 컨테이너 구멍이 삽입 되도록 되어있다. Fig. 13의 펀치들은 같은 직경으로 제작되었고 좌우 대칭 경사형 다이와 컨테이너와 결합되어 한 개의 압출기로서 구성되어진다.

3-2. 실험결과 및 고찰

3-2-1. 실험재료

실험에 사용된 재료는 열간상태의 금속재료를 사용해야하나 압출하중이 과도한 관계로 기계적 장치나 시간적 소모를 줄이기 위하여 소성 모사재료를 사용하였다. 압출가공시 빌렛의 재료로 1000. C 열간 가공에서 연강과 유동 특성이 유사한 플라스틱신(Fig. 14)을 이용하였으며, 컨테이너에 삽입하기 위해 컨테이너 구성에 맞는 환봉 형태와 컨테이너의 형상에 맞도록 구성하여 재료 내부의 기포를 제거한 후에 사용하였다.

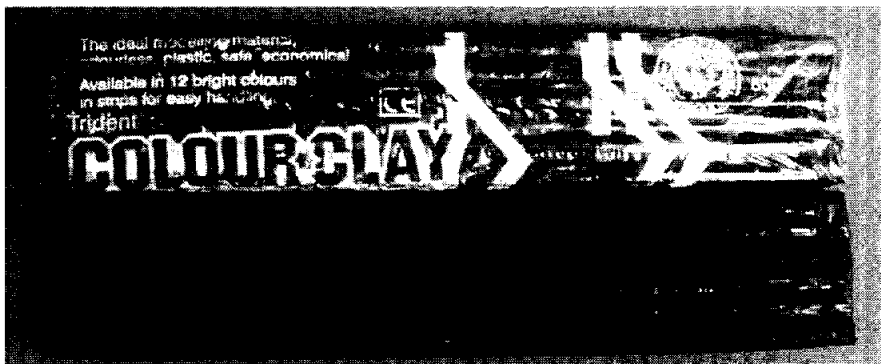
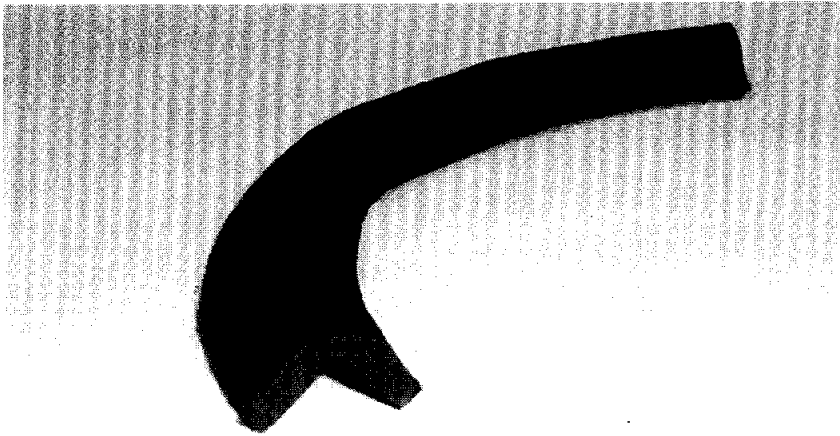


Fig. 14 Plasticine material

3-2-2. 좌우 대칭 '△' 단면 압출제품



(a) C-type - 1



(b) C-type - 2

Fig. 15 C-type of '△' section product

Fig. 15는 가변속도 펀치의 조절에 의한 '△' 형상의 단면 가진 압출제품을 보여주는 것으로 가변속도펀치의 상대속도차이에 의해 굽힘곡률을 가진 제품을 얻을 수 있음을 보여주고 있다. 사진 (a)와 (b)는 좌우 대칭 경사형

다이에서 압출되어진 제품으로 단순곡률을 가진 형상이다. 이 제품은 두 개의 펀치중에서 일정속도로 진행되는 펀치가 컨테이너 내부에서 진행함과 동시에 가변속도로 진행할 수 있는 펀치가 다른 펀치의 속도보다 빠른 속도로 일정한 속도를 유지하면서 진행함에 따라 컨테이너 내부에 유입된 두 개의 빌렛 역시 펀치에 의해서 압력을 받고 각 펀치에 의해 영향을 받아서 속도 차이가 일정하게 발생이 되고 각 빌렛의 다이로의 유입량 또한 각 펀치에 의하여 좌우되게 되어서 두 펀치의 상대속도의 일정한 차이에 의한 빌렛의 유입으로 제품 또한 일정한 곡률을 지닌 상태로 압출되어지게 된 것이다.

또한 일반적으로 직선으로 압출되어진 제품을 이런 형태의 곡률을 가진 제품으로 굽힘처리를 할 경우 앵글과 같은 형상을 지닌 제품들은 곡률 내부로의 접힘현상(folding)이나 형상의 찌그러짐(wrinkling)이나 찢어짐(tearing) 등이 나타나기 쉬우나 Fig. 15에서의 제품들은 일반의 굽힘에서 나타나는 굽힘 결함이 발생하지 않았음을 확인할 수 있다.

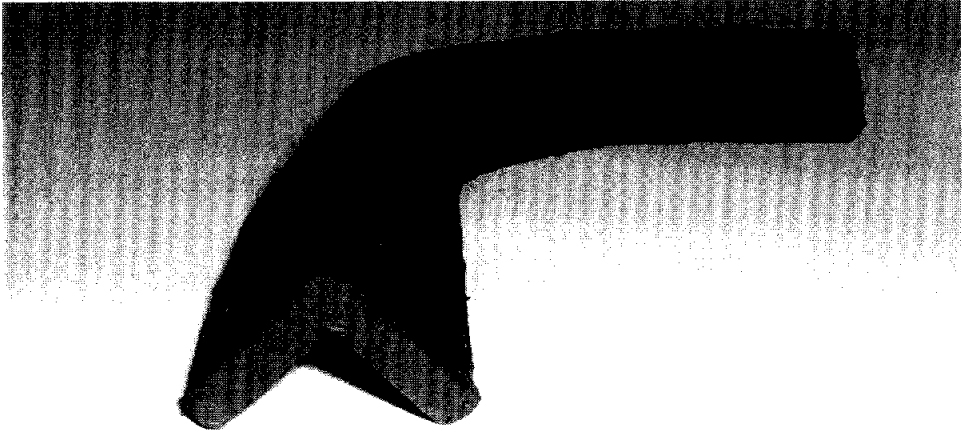


Fig. 16 L-type of '∧' section product

Fig. 16은 '∧'단면 경사형 다이를 이용하여 압출한 제품으로 'L' 모양으로 제품이 압출굽힘가공 되어진 것이다. 일반적인 직선제품을 굽힘가공을 통하여 단순굽힘 가공한 모양이라고 할 수 있다.

이 제품은 초기에는 직선으로 압출가공이 진행하다가 굽어지는 부분으로 가공이 되고 다시 직선으로 압출가공이 되어진 것이다. 즉 압출 초기에는 두 개의 펀치가 같은 속도로 나란하게 진행을 하다가 굽어지는 부분에서는 가변 속도 펀치의 속도가 순간적으로 증가하게되어 굽어짐이 발생하게 되고 이 굽어진 부분을 다시 곧게 나아가게하기 위해서 가변속도펀치의 속도를 줄여서 직선으로 압출하게 되는 것이다. 그러므로 이 제품을 압출굽힘가공을 하기 위해서는 벤딩(bending)과 언벤딩(unbending) 효과가 적용이 되었다고 할 수 있다.

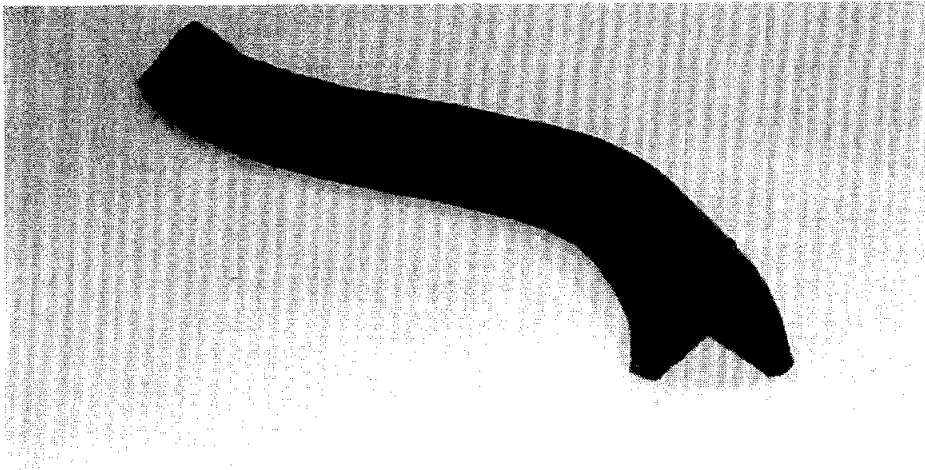


Fig. 17 S-type of '△' section product

Fig. 17은 이중곡률을 가진 제품으로 '△'단면을 가진 제품을 'S' 모양으로 압출굽힘가공한 것이다. 사진에서 확인할 수 있는 것처럼 먼저 우측으로 굽힘이 일어나고 다시 좌측으로 굽힘이 일어났다.

이와 같이 단일곡률이 아니 이중곡률을 가진 제품을 두 개의 펀치를 이용하여 압출굽힘가공을 시행하면 보다 쉽게 제품을 얻을수 있다. 또한 압출된 제품에서는 굽힘결함이 없는 것을 확인할 수 있다.

3-2-3. 직선과 곡률을 가진 제품의 단면형상

Fig. 18은 두 개의 펀치를 이용하여 종래의 압출가공과 같은 공정으로 일반적인 직선 형태의 제품을 단순압출한 것이다. 하나의 빌렛이 아닌 두 개의 빌렛을 사용하여도 사진과 같은 직선의 제품을 얻을 수 있음을 보여주는 사진이다. 두 개의 펀치를 이용한 단순압출의 원리는 펀치간의 상대속도차이를 발생시키지 않고 나란하게 같이 진행하도록 하여 빌렛을 압출하여 생산되어진 제품이다.

사진에서 확인할 수 있는 것처럼 제품의 단면이 좌우 대칭 경사형 다이를 통해서 두 개의 빌렛이 결합되어 압출형상에 맞게 압출되어졌음을 알 수 있고 두 개의 빌렛이 하나의 제품으로 결합하였음에도 직선으로 압출함에 있어서 결합상태가 양호함을 알수가 있다. 또한 모서리부의 접합선을 따라 압출 결합이 없음을 확인하였다.



Fig. 18 The section of curved products of Straight-type

Fig. 19는 다중곡률을 가진 제품으로 압출과 동시에 굽힘가공을 여러번 시행한 것이다.

아래 사진은 연속적인 곡률을 가지는 제품의 곡률부의 단면을 나타내는 것이다. Fig. 18의 단순압출 제품과 비교하여 보면 일반적인 굽힘가공에서 발생할 수 있는 접힘(folding)이나 형상의 찌그러짐(wrinkling)이나 찢어짐(tearing) 및 외형상의 변형이 없는 것을 확인할 수 있다. 그리고 곧게 직선으로 압출되어진 제품과 곡률을 가진 제품의 두 단면이 모두 거의 일치하는 것을 확인할 수 있다.

좌우 대칭 경사형 다이를 이용하고 두 개의 펀치를 이용하여 압출굽힘가공을 하였을 경우에 단순압출 형태인 직선제품과 곡률을 가지도록 압출을 한 경우의 단면들이 일치하는 것을 확인하였다. 이로서 두 개의 펀치를 이용하고 좌우 대칭 경사형 다이를 이용한 압출굽힘가공이 일반적인 굽힘가공에서 발생하는 굽힘결함이 발생하지 않음을 알수 있었다.

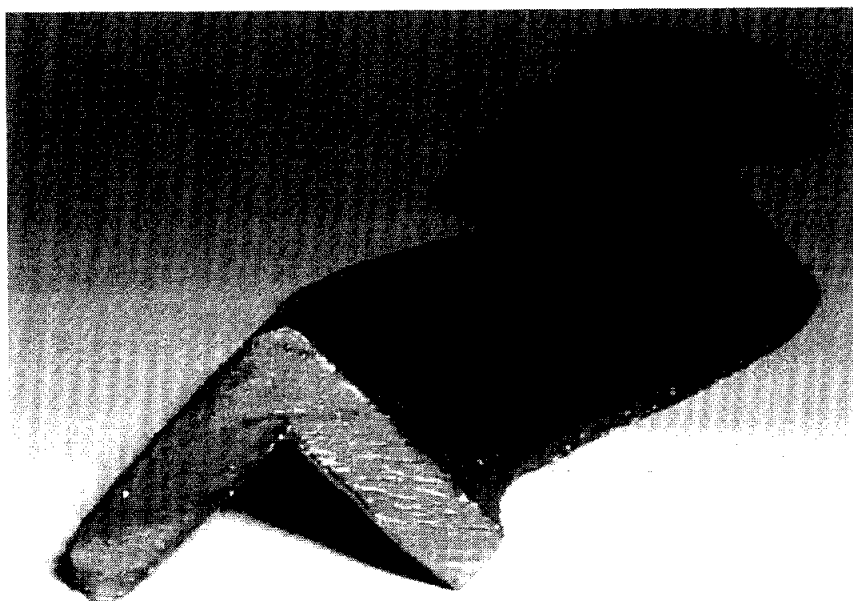


Fig. 19 The section of curved products of S-type

3-2-4. 압출굽힘 제품의 곡률의 변화

Fig. 20은 좌우 대칭 경사형 다이에서 펀치의 상대속도 차이에 의해서 곡률이 변화하는 압출품의 모양을 여러 가지 곡률을 가진 제품들로 평면도의 형태로 나열하여 놓은 것이다. 좌측에서부터 우측으로 갈수록 곡률이 증가한 것을 알 수 있다. 곡률이 사진에서와 같이 증가하여도 단면 형상의 변형 없고 또한 제품의 두께의 변화도 없이 일정한 곡률을 가지면서 압출된 모습을 보여 준다.

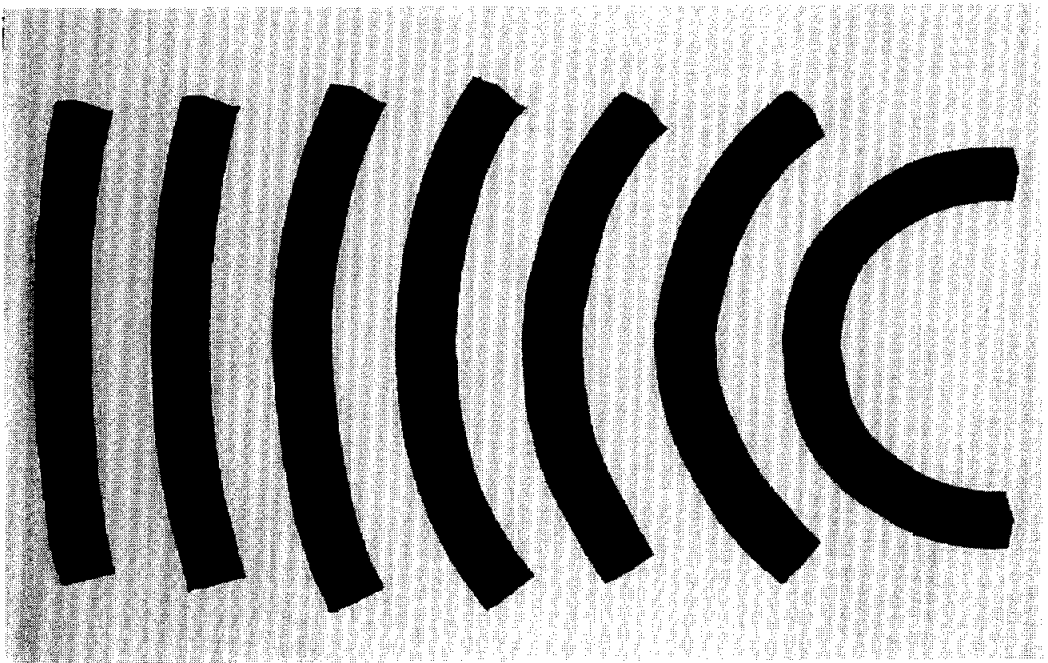


Fig. 20 The curved products with each different curvature
(No difference of hole diameter)

3-2-5. 상대속도 차이에 따른 곡률의 변화

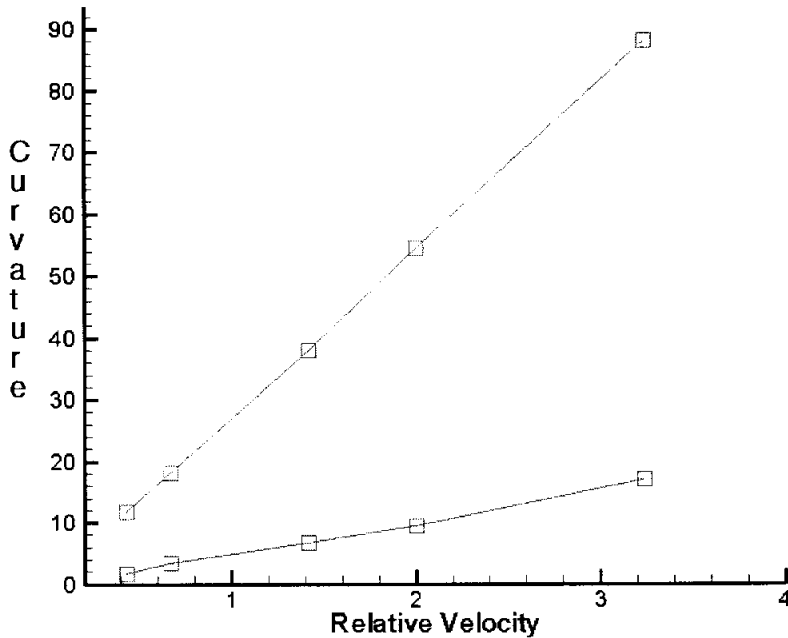


Fig. 21 The relation of the curvature and extrusion velocity

Fig. 21은 좌우 대칭 'Λ'단면 경사형 다이에서의 두 개의 펀치의 상대속도차이와 곡률의 관계를 그래프로 도식화한 것이다. 그래프의 가로축이 두 펀치 사이의 상대속도차이를 나타낸 것이고 세로축은 압출되어져 나오는 제품들의 곡률을 나타낸 것이다. 두 그래프에서 위의 것은 상대이동속도차이와 굽힘곡률의 상관관계식에 의한 값을 나타내고, 아래의 것은 실제 실험결과값을 나타내었다.

그래프에서 보면 두 개의 펀치의 상대속도차이가 증가함에 따라서 압출되어지는 제품들의 곡률의 크기도 증가하는 것을 알 수가 있다. 그리고 각 구간을 연결한 그래프가 일정한 범위 안에서 상대속도의 차이와 곡률의 상관관

계를 가지면서 증가함을 확인할 수 있다. 즉 좌우 대칭 ' $\wedge$ '단면 경사형 다
이의 두 개의 편치를 이용한 압출급힘가공에서 상대속도의 차이와 곡률이 서
로 일정한 관계를 가지면서 거의 비례함을 알 수 가 있다.

4. 좌우 비대칭 'ㄱ' 단면 제품의 압출굽힘가공

4-1. 실험장치의 구성

4-1-1 압출굽힘 실험장치

Fig. 22는 앞서 기술한 좌우 대칭 '△' 단면 경사형 다이의 장치 결합상태와 동일하며 압출굽힘기에 좌우 비대칭 'ㄱ' 단면 경사형 다이가 결합된 사진이다. 그림의 좌측부에 다이가 결합된 것을 볼 수 있고, 우측의 컨테이너 하우징에 컨테이너가 삽입이 되며, 이 하우징이 다이와 컨테이너를 결합시켜주는 역할을 한다.

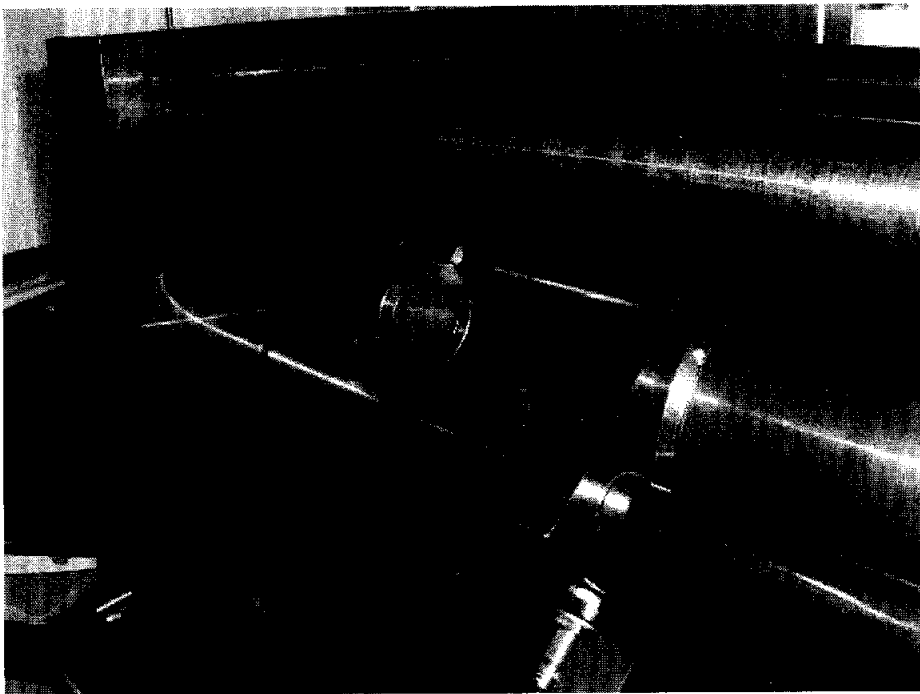


Fig. 22 The photo of plasticine extru-bending machine

4-1-2. 좌우 비대칭 'ㄱ' 단면 경사형 다이의 구조

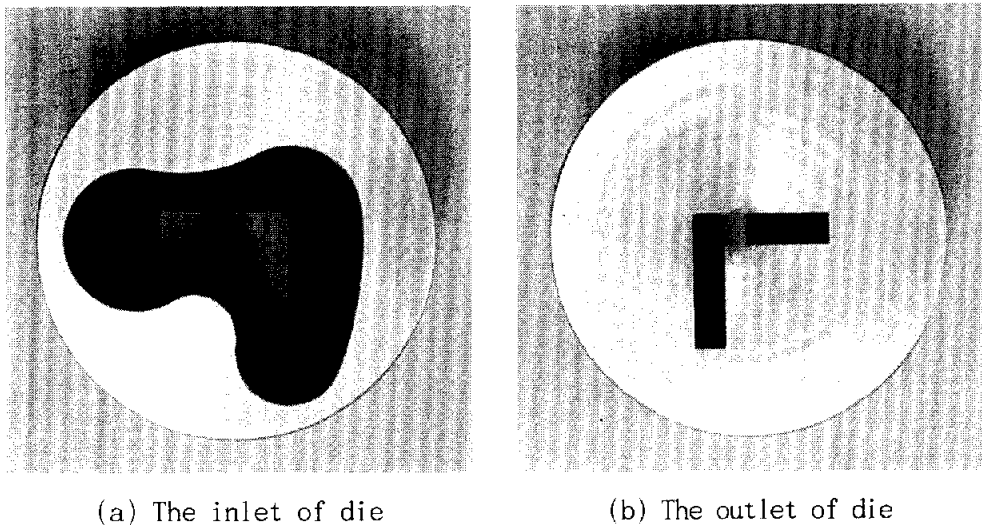


Fig. 23 The figure of 'ㄱ' section conical die
with non-symmetric section

Fig. 23은 실험에 사용된 경사형 다이로 입구 부분에서 서로 다른 형상의 두개의 빌렛이 유입될 수 있도록 설계되어 있다. 이것은 압출제품의 형상이 상하좌우 비대칭형상을 하고 있기 때문에 다이의 출구부분에서는 'ㄱ'형상인 단면으로 설계되었고 두 개의 빌렛이 유입되는 입구부분은 상하좌우 비대칭형상으로 설계가 되어졌다. 본 연구에서는 2차원적인 굽힘가공을 수행하게 하기 위하여 두 개의 빌렛과 펀치만을 사용하기 때문에 다이의 입구부의 설계를 Fig. 23과 같이 하여 제작하였다. 압출과 동시에 굽히기 위해서 경사형 다이의 입구부에서부터 압출되어지는 제품의 형상으로 점진적으로 단면을 줄여 나가게 하기 위하여 사진과 같은 경사형 제작되었다.

Fig. 23의 다이는 'ㄱ'형상 비대칭 단면의 압출제품을 가공할 때 'ㄱ'형상

좌우 비대칭단면 앵글제품을 압출할 수 있도록 형상이 다른 두 개의 빌렛이 유입되어 한 개의 압출제품으로 합쳐지면서 급힐수 있도록 원추형으로 제작되었다. 제품이 압출될 때 제품 자체가 Fig. 11의 다이에서와 같이 좌우 대칭형으로 압출되지 않고 'ㄱ'형상의 비대칭성을 그대로 유지하는 앵글제품을 생산할 수 있는 다이이다. 이 다이의 출구부와 입구부는 상하좌우 비대칭형으로 설계제작 되었으며, 입구부와 출구부를 등각적으로 연결하는 등각표면으로 구성되어 있다.

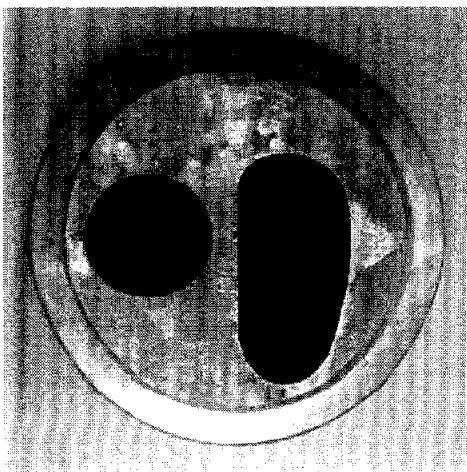
이 다이들의 특징은 일반적인 압출기에 사용하는 평다이를 사용하지 않고 입구 측에서 출구 측으로 원추형 단면을 구성하고 있어서 두 개의 금속빌렛이 입구 측에서 삽입되어 출구쪽으로 압출될 때 금속적으로 융합이 생기면서 하나의 압출제품으로 압출되면서 결합력을 크게하는 특징을 가지고 있다.

4-1-3. 좌우 비대칭 컨테이너의 구조

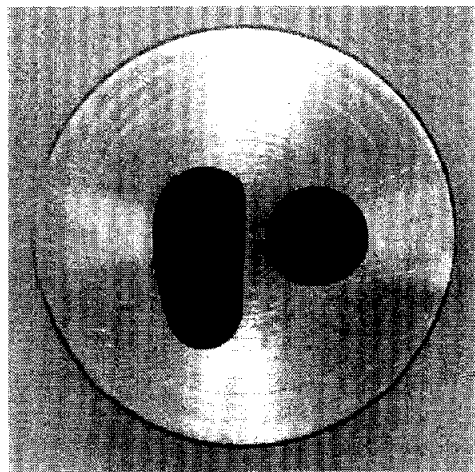
Fig. 24의 컨테이너는 외부의 모양과 치수는 Fig. 12의 좌우 대칭 컨테이너와 같다. Fig. 24 (a)에서 빌렛이 유입되어지고 펀치가 삽입되는 컨테이너의 입구부분은 상하좌우 비대칭 경사형 다이의 입구부에 맞추어 두 개의 빌렛을 유입할 수 있도록 설계되었다. Fig. 24 (b)는 비대칭 경사형 다이와 결합되는 부분이다.

컨테이너의 입구부와 출구부까지의 형상의 변화는 없으며, 경사형 다이에서 압출되어지는 형태에 맞추어 컨테이너 구멍 형상이 설계제작되어졌다. 또한 중실제품을 압출하기 위하여 플러그가 없음을 사진에서 볼 수가 있다.

좌우 비대칭형 구멍의 형상을 가진 컨테이너는 두 개의 구멍에 삽입되는 두 개의 빌렛이 컨테이너 내부를 지나서 경사형 압출다이의 입구로 유입되도록 하며 다이 내부에서 잘 합쳐지도록 경사형 다이의 입구형상과 일치하도록 배치되어 있다.



(a) The inlet of container



(b) The outlet of container

Fig. 24 The two-hole container with each different shape

좌우 비대칭 'ㄱ'단면을 일정방향으로 굽히기 위해서는 두 개의 빌렛의 형태가 좌우 비대칭으로 제작되도록 하고 이 두 개의 빌렛의 형상과 압출다이의 경사형 중공 내부에서의 융합과 더불어 굽힘이 발생하도록 하기 위해서 좌우 비대칭 구멍을 적절하게 구성할 필요가 있는데 이것은 여러번의 실험을 통해서 결정하였다.

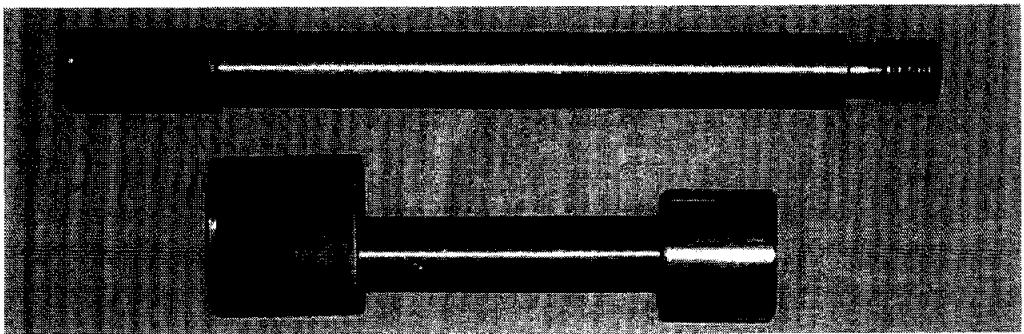
4-1-4. 좌우 비대칭 펀치의 구조

Fig. 25의 펀치들은 스템의 형상이 압출되어지는 제품형상에 맞추어 제작되어져 있고 비대칭 경사형 다이와 비대칭 구멍을 지닌 컨테이너와 결합되어 작동되도록 제작되어진 것이다.

사진(a)에서 스템의 단면을 나타내고 있다. 이 스템은 상하좌우 비대칭 'ㄱ' 단면 제품을 압출하기 위하여 설계된 다이와 컨테이너의 좌우 비대칭 구멍에 맞추어서 'ㄱ' 단면 형상에 의해 제작되었다.



(a) The section of stems



(b) Punch with different length

Fig. 25 Extrusion punches with different velocity

사진(b)에서는 스템과 펀치가 결합되어 있는 사진을 보여준다. 위쪽의 길이가 조금 긴 것은 일정한 속도로 이동하는 펀치이고 아래의 짧은 펀치는 가변속도로 이동하도록 제작된 펀치이다. 사진의 펀치의 뒷부분에 결합되어 있는 것은 플라스틱인 압출압힘기와 중심거리 차이를 극복하기 위하여 커넥터를 결합하여 놓은 것이다.

한 쌍의 펀치들은 두 개의 유압 실린더의 연결되어 서로 다른 상대속도로 컨테이너의 내부에 삽입되어 유동할 수 있도록 되어있다.

4-2. 실험결과 및 고찰

4-2-1. 좌우 비대칭 'ㄱ'단면 압출제품

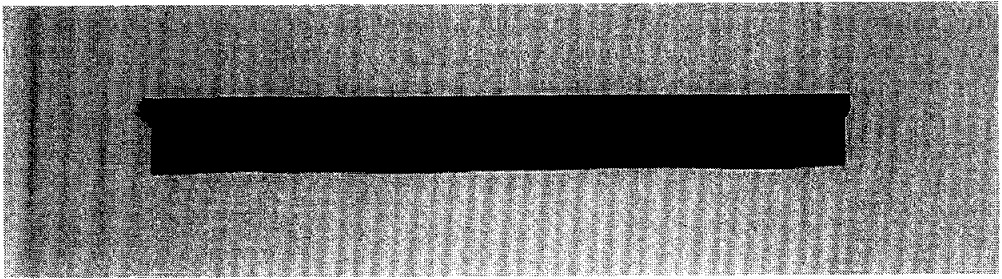


Fig. 26 Straight line-type of 'ㄱ' section product with non-symmetry

비대칭 'ㄱ'단면 경사형 다이로 단순압출 가공을 한 것이다. 일반적인 단순압출 가공은 하나의 소재를 이용하여 압출가공하고 보통 스트레칭 공정을 거치면서 직선형태의 제품을 압출하여진다.

Fig. 26은 비대칭 'ㄱ'단면 경사형 다이를 사용하고 두 개의 비대칭 펀치를 이용하여 단순압출을 한 것이다. 두 펀치의 형상이 차이가 나고 지름이 다르지만 경사형 다이의 적절한 설계로 인하여 컨테이너 내부의 두 재료가 같은 속도로 이동을 하여 다이로 유입이 되면 위 사진과 같은 직선제품이 가공이 가능하다.

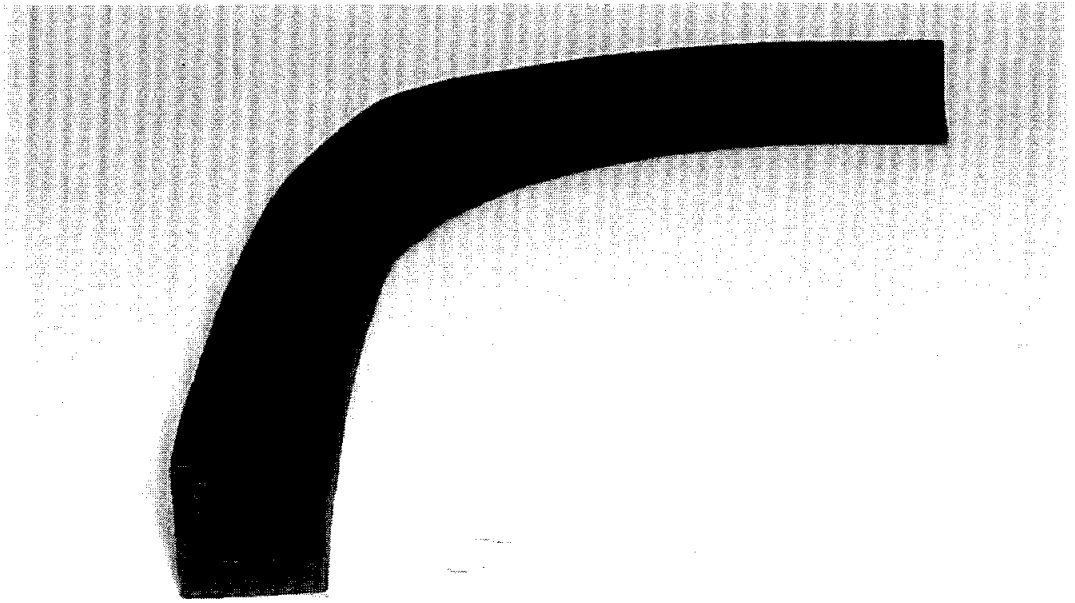


Fig. 27 L-type of of 'ㄱ' section product with non-symmetry

Fig. 27은 앞의 좌우 대칭 'ㄱ'단면 경사형 다이를 이용한 Fig. 16과 같은 원리를 이용하여 압출한 제품으로 'L' 모양으로 제품이 압출굽힘가공 되어진 것으로 일반적인 앵글제품의 기본적인 형태를 단순굽힘 가공한 것이다. 이 제품은 좌우 대칭 형태의 장비를 사용하지 않고 압출제품의 형상에 따른 비대칭적인 장비를 사용하고 압출되어지는 제품을 굽히기 위하여 비대칭적인 빌렛을 상대속도의 차이를 이용하여 압출굽힘가공이 이루어진 것이다. 여기에서도 제품이 직선부-곡선부-직선부를 가지게하기 위해서는 bending, unbending 효과를 적용하여 두 개의 서로 다른 형상을 지닌 펀치를 이용하여 압출굽힘가공을 하였다.



Fig. 28 C-type of 'ㄱ' section product with non-symmetry

Fig. 28은 비대칭 'ㄱ'단면 경사형 다이를 이용하여 'C' 모양의 압출압입 가공을 한 것이다. 일반적으로 이러한 형태의 제품을 생산하기 위해서는 주조법(casting)을 이용하여 생산이 이루어진다. 하지만 이러한 단순곡률을 가진 제품을 서로 다른 비대칭 형상인 두 개의 펀치 중에서 원형 펀치를 일정 속도를 가지게 하여 이동을 하게 하고 세로로 유선형을 가진 펀치를 가변속도를 주어서 다른 펀치의 속도보다 빠르게 진행하게 하여 압출압입가공을 함으로 주조법에서 이루어지는 여러 공정을 줄일수 있게 된다.

펀치의 형상과 지름이 좌우 대칭형 다이 및 펀치와는 다른 구조로 되어있지만 압출압입가공을 함에 있어 위의 사진과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

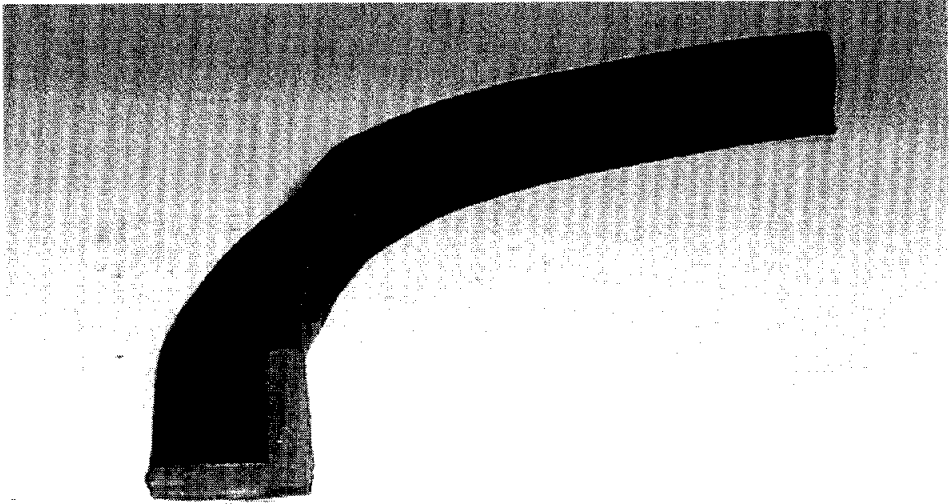


Fig. 29 C-type of 'ㄱ' section product with non-symmetry

Fig. 29는 비대칭 'ㄱ'단면 경사형 다이를 이용하여 'C' 모양의 압출굽힘 가공을 한 것이다. Fig. 28과는 굽힘의 방향이 반대 방향으로 굽어있음을 알 수가 있다. 즉 서로 다른 비대칭 형상인 두 개의 펀치에서 원형 단면을 지닌 일정속도를 가지고 이동을 하는 펀치의 속도보다, 유선형태인 가변속도의 펀치를 일정속도의 펀치보다 느리게 이동하여 압출굽힘가공한 것이다.

4-2-2. 압출급힘 제품의 곡률의 변화

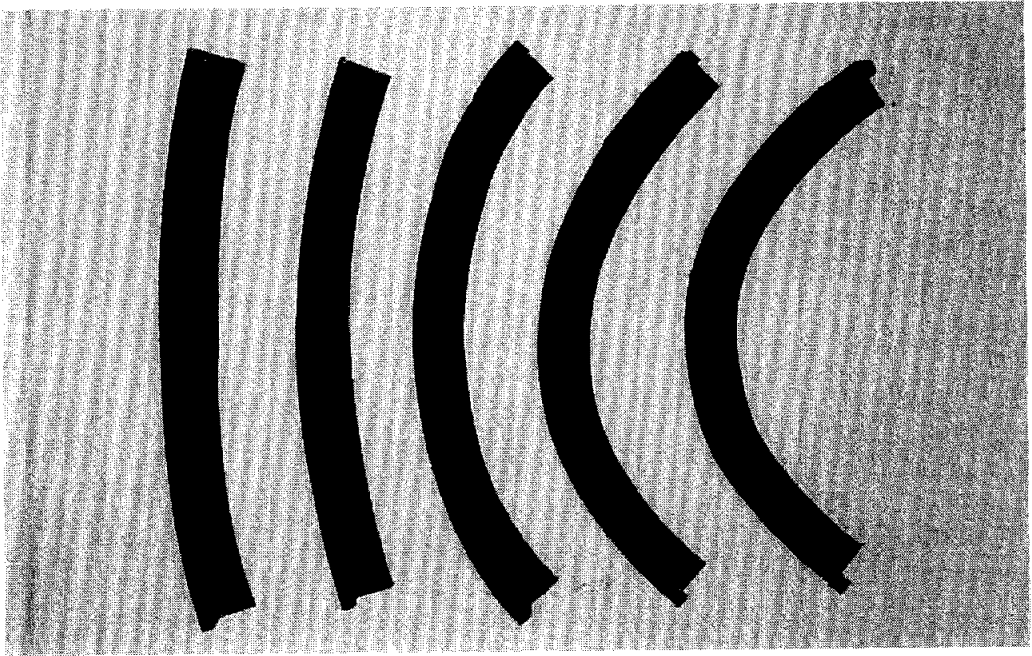


Fig. 30 The curved products with each different curvature
(Non-symmetry)

Fig. 30의 사진은 비대칭 경사형 다이를 이용하여 압출급힘가공되어진 제품의 곡률변화를 보여 주는 것이다. 이 사진에서도 우측으로 갈수록 곡률의 크기가 증가함을 알 수 있다. 좌우 비대칭 형상의 제품도 다이의 설계를 적절하게 한다면 상대속도차이에 의한 곡률 조절이 가능함을 알 수 있었다. 또한 사진에서 보여지는 것과 같이 비대칭 'ㄱ'단면의 곡률변화에서도 제품들의 두께의 변화가 없이 일정하게 압출급힘가공되어진 것을 알 수 있다.

4-2-3. 굽힘형상에 따른 접합부와 유입량의 비교

상하좌우 비대칭 'ㄱ'단면 경사형 다이를 이용하여 단순압출한 Fig. 31은 두 개의 소재의 색상으로 검은색과 흰색을 이용하여서 비대칭 형상의 두 빌렛이 압출가공될 경우 제품의 유입량의 변화와 접합부를 조사한 사진이다.

이 사진을 보게 되면 직선적으로 압출한 경우 접합선(weld line)이 처음부분과 마지막 부분이 거의 균일하게 되어있는 것을 볼 수가 있다. 이것은 서로 다른 비대칭의 빌렛이 비대칭 'ㄱ'단면 경사형 다이를 지나며 직선적으로 압출될 때에 서로 다른 두 펀치의 속도가 서로 일정하게 유지되었고 두 펀치의 이동속도에 영향을 받아 일정하게 압출되었음을 알 수 있고, 또한 두 빌렛이 다이 내부에서 접합을 할 경우 일정한 유입량을 유지하면서 접합이 되어 유입되는 소재가 직선적으로 압출하기 위해서 균일하게 되는 것을 볼 수 있다. .

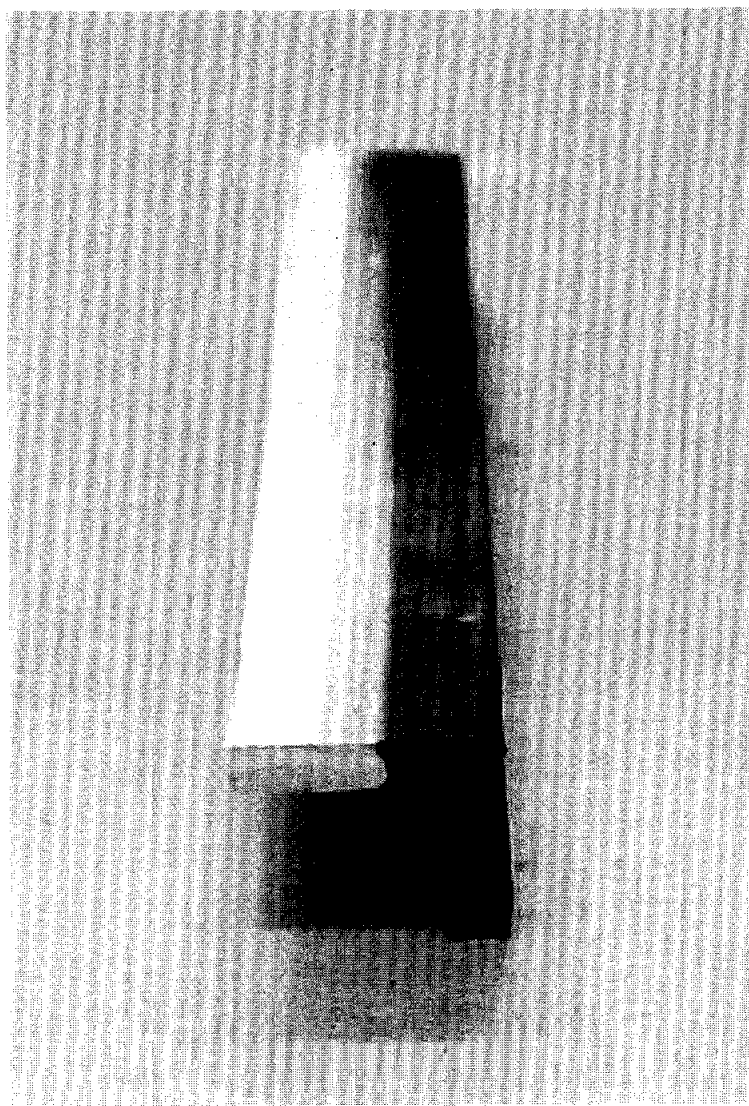


Fig. 31 The section of curved products of Straight-type
with non-symmetriy

Fig. 32는 압출굽힘가공을 할 때 서로 다른 비대칭 형상의 두 빌렛이 압출가공될 경우 제품의 유입량의 변화와 접합부를 조사하기 위하여 색상을 달리 하여 압출굽힘가공을 한 것이다.

굽힘이 발생하는 단면을 보면 Fig. 31과 비교를 하였을 때 Fig. 31은 유입되는 소재가 직선적으로 압출하기 위해서 거의 균일하게 유지되는 것을 볼 수 있는 반면에 Fig. 32는 검은색의 플라스틱과 흰색의 플라스틱의 비가 점점 차이가 나서 굽힘에 따라 소재의 유입이 점점 차이가 났음을 알 수 있었다. 이것은 직선의 압출제품과 굽어진 압출제품의 접합선(weld line) 위치가 변화한 것으로 확인이 되었다. 직선의 제품은 접합선이 제품의 가운데 부분에 위치하고 있으나, 굽어진 제품은 접합선이 제품 단면의 좌측으로 이동하여진 것을 확인할 수 있었다.

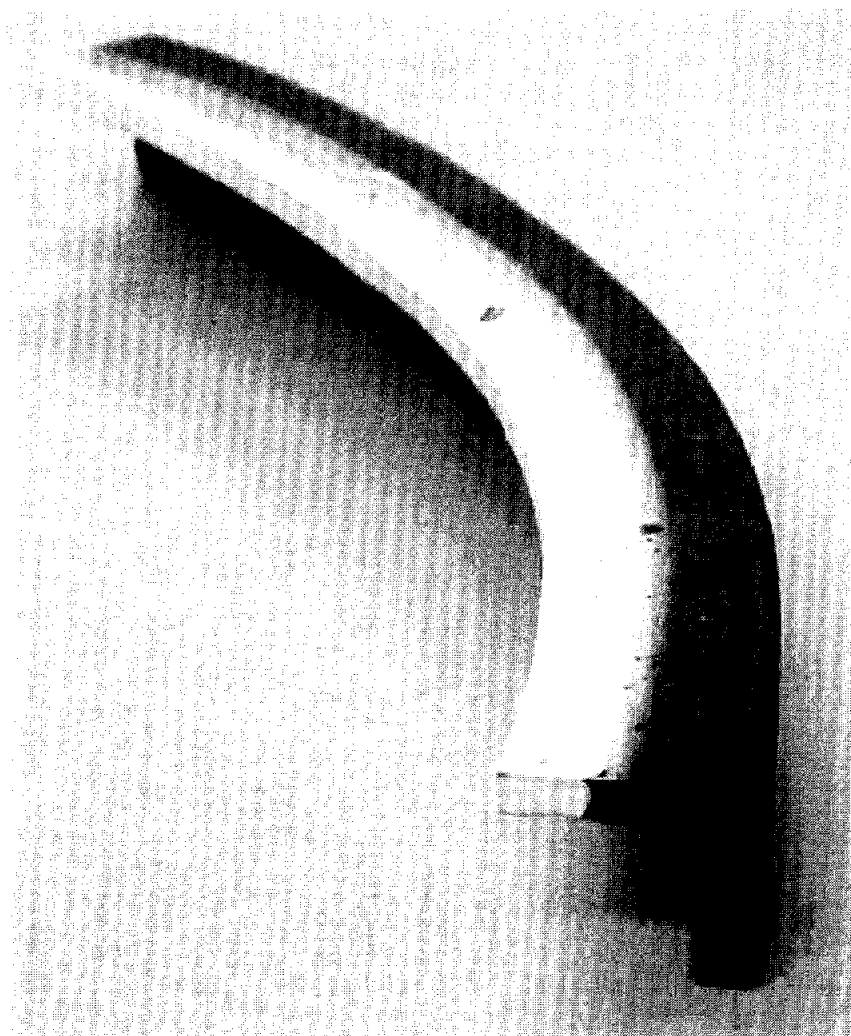


Fig. 32 The section of curved products with non-symmetry

Fig. 33은 두 가지의 색상이 다른 소재를 이용한 압출굽힘가공에서의 직선 형태의 제품과 굽어진 형태의 제품의 압출초기의 단면을 나타내고 있고 Fig. 34는 압출굽힘가공의 후기의 단면을 나타내고 있다. 직선 제품의 접합선(weld line)은 초기부와 후기부의 단면을 비교했을 때 위치의 변화가 거의 없음을 확인할 수 있었고, 반면에 압출굽힘가공시에 굽힘이 발생한 제품은 초기부의 접합선(weld line)이 우측으로 이동한 것을 확인할 수 있었다. 이러한 현상은 두 펀치의 상대속도의 차이에 의해서 유입량의 차이가 발생하기 때문이며, 비대칭 'ㄱ'단면 경사형 다이의 내부에서 유입량의 차이에 의한 재료들은 더 많은 힘을 받은 검은색 플라스틱이 다이 내부에서의 힘이 증가하게 되어 팽창하려는 성질이 발생하기 때문이다. 즉 비대칭형상의 서로 다른 펀치의 상대속도의 차이가 다이로의 빌렛 유입량의 차이를 발생시키며 이에 의해서 굽힘을 발생시킴을 알 수 있었다.

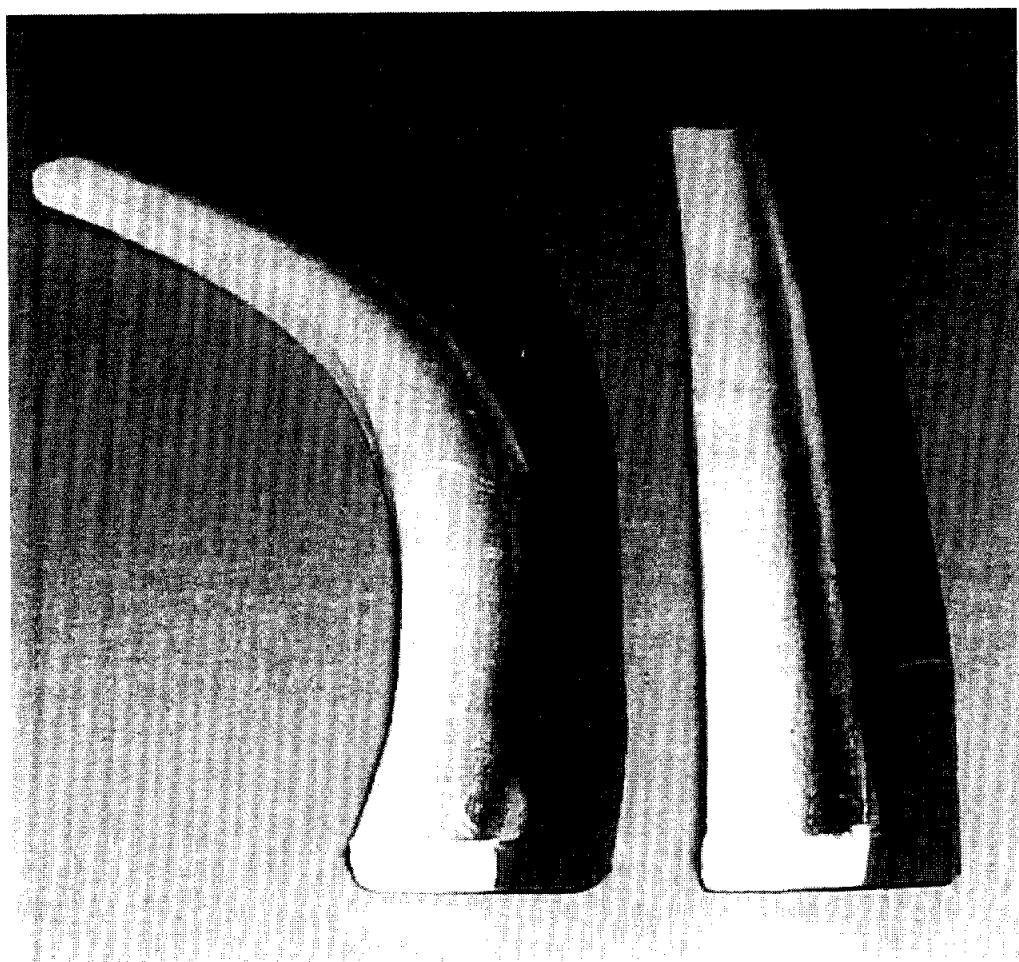


Fig. 33 The first part of Extrusion-bending with non-symmetry

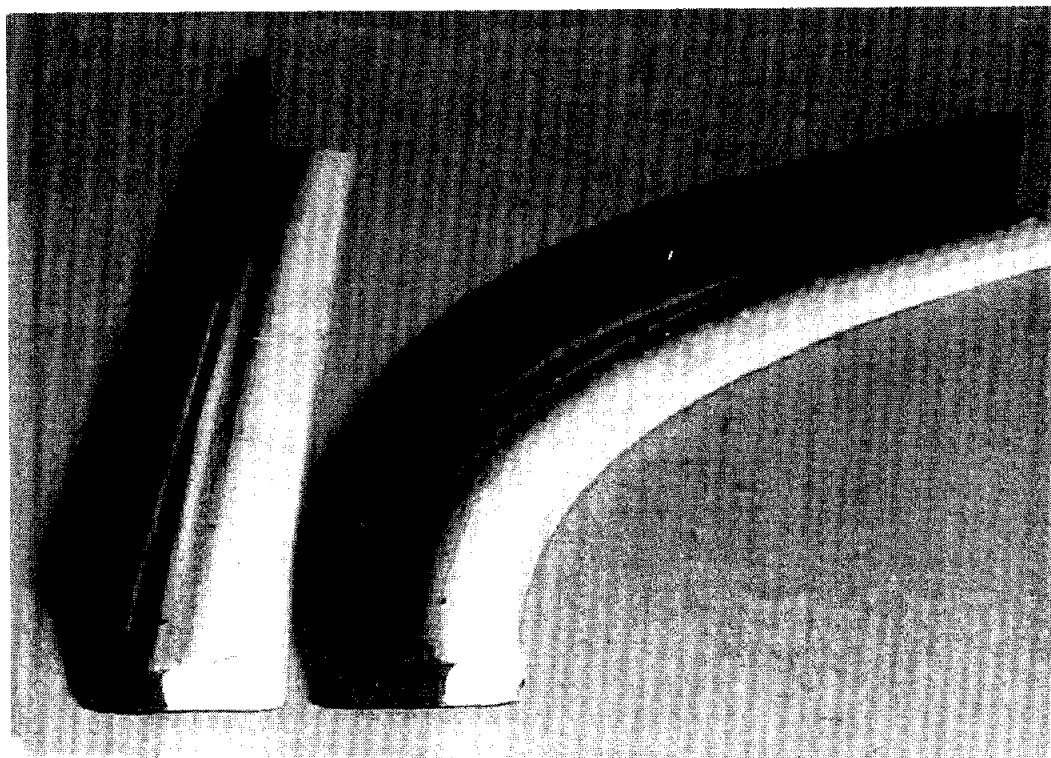


Fig. 34 The hind part of Extrusion-bending with non-symmetry

6. 결 론

1. 압출굽힘기에서 각각의 압출펀치의 상대속도를 제어함으로써 압출제품의 곡률 및 굽힘 방향의 조절을 통하여 'ㄱ'형 단면을 가진 압출 제품의 곡선화가 가능함을 실험을 통하여 확인할 수 있었다.
2. 압출속도를 변화시켜서 곡률을 조절하는 실험을 통하여 압출제품의 굽힘 곡률은 펀치의 상대속도 차이가 크면 클수록 증가함을 알 수 있었다.
3. 좌우 대칭 '∧'단면을 가진 압출제품의 압출굽힘가공을 위해서는 다이의 형상과 컨테이너의 구멍형상을 좌우 대칭형으로 설계가 가능하였다.
4. 좌우 비대칭 'ㄱ' 단면을 가진 압출제품의 압출굽힘가공을 위해서는 다이의 형상을 좌우 비대칭 형상으로 구성해야 하며 사용하는 컨테이너의 두 개의 구멍의 형상도 좌우 비대칭으로 설계되어야 함을 알 수 있었다.

이상과 같은 결과에 따라 펀치의 상대속도차를 이용한 방법으로써 굽히기 힘든 좌우 대칭 '∧'단면 및 비대칭 'ㄱ' 단면의 봉재를 굽힐 수 있었으며 두 개의 빌렛을 사용하여 중실제품을 압출할 때 금속 융합과 동시에 속도차이를 유발하여 상기 굽힘현상을 얻을 수 있음을 확인하였다. 따라서 복잡한 단면형상을 가진 중실제품일지라도 경사형 다이의 설계와 펀치의 상대속도 차이를 이용하여 굽힐 수 있음을 알 수 있었다.

참고문헌

1. 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
2. 진인태, 최재찬, “사각형 단면의 편심압출시 제품의 굽힘현상에 관한 연구”, 한국소성가공 학회지, Vol.6, No.1, pp.46~52, 1997
3. 김진훈, 진인태, “편심압출굽힘가공법에 의한 사각형 단면을 가진 중공 튜브제품의 U형굽힘 가공에 관한 연구”, 한국소성가공학회지, Vol7, No5, 496~504, 1998
4. 박대윤, 진인태 “다지형 압출편치의 상대이동속도 차이에 의한 금속 곡관의 열간금속 압출굽힘가공에 관한 연구”, 한국소성학회 2001춘계학술대회 논문집, pp.102~105, 2001
5. 박대윤, 진인태 “열간금속 압출굽힘기를 이용한 금속 곡관의 압출굽힘 가공에 관한 연구”, 한국소성학회 2002춘계학술대회논문집, pp.262~268, 2002
6. 박중원, 진인태 “플랜지가 붙은 비대칭 단면형상 제품의 압출가공에 관한 연구”, 한국소성학회 2002추계학술대회논문집, pp.78~81, 2002
7. 윤선홍, 이경국, 진인태 “ ‘ㄷ’ 단면형상의 알루미늄 제품의 열간 금속 압출굽힘가공에 관한 연구”, 한국 소성학회 2002추계학술대회논문집, pp.86~89, 2002
8. 이경국, 진인태 “ ‘ㄱ’ 단면 형상 제품의 압출굽힘 가공에 관한 연구”, 한국소성학회 2003춘계학술대회논문집, pp.371~374, 2003