

# 액압벌징에 의한 보온용기의 제조방법 개발

정준기\*, 조웅식\*\*

## Development of Manufacturing Method of Vessel for Keeping Warm by Hydraulic Bulging

Joon Ki Chung\*, Woong Shick Cho\*\*

### ABSTRACT

Bulging is a forming method to shape of die cavity by using hydraulic pressure in tube or vessel. Bulging machine and die were developed in order to produce vessel for keeping warm. Bulging machine is a double type with two horizontal cylinders for bulging of two pieces at the same time. The developed die system has one bulging die and two drawing dies for necking at the both ends of tube. The diameter of tube expands by hydraulic pressure in tube. at the same time, thrust at the both ends of tube pushes tube in the direction of expansion to obtain high expanding rate with no crack. In this study, the bulging properties were investigated to solve tube crack and necking in manufacturing vessel by the combination method of bulging and drawing. As a result, high expanding rate of tube radius without crack, precision necking and high productivity were obtained.

**Key Words :** Bulging(벌징가공), Die cavity(금형 캐비티), Vessel for keeping warm(보온 용기), Expanding rate(팽창률), Die clamping force(형체력), Moving die(가동금형), Membrane stress(막응력), Drawing(드로잉), Necking(네킹), Nozzle(노즐), Thrust(추력).

### 1. 서론

벌지(Bulge)가공은 생산 제품의 형상과 같은 캐비티(Cavity)가 있는 금형에 원통 형상의 용기나 튜브를 넣고 이들 내 측에 압력을 작용시켜 금형의 캐비티 형상으로 팽창시켜 성형하는 가공이다.

압력 매체는 기름 또는 물과 같은 액체와 탄성체인 고무를 사용하는 방법이 있으나 서로 다른 특징이 있으며 벌지 가공에 사용되는 기계는 프레

스 기계를 이용하는 경우가 많다.

고무를 사용한 벌지 가공 방법은 고무의 수명이 짧고 튜브의 직경 팽창률이 큰 제품에는 사용이 불가능하다.

기존의 보온 용기의 제조 방법은 직경이 67mm인 파이프를 사용하여 주입구의 네킹 부위 직경을 44mm로 감소시키기 위해 스피닝 가공하므로 이때 발생하는 공구와 재료의 마찰 및 기계 정밀도에 의해 제품의 치수 불안정, 표면 불량, 균열, 재료의 손실 등의 문제가 발생하였다.

\* 홍익대학교 공대 기계공학과

\*\* 한국산업기술대학교 기계설계학과

따라서 이러한 문제의 대책으로 품질과 생산성 향상을 고려한 액압 벌지 가공에 의한 보온 용기의 제조 방법을 연구하였다. 벌지 가공에서 피가공 재료로 사용되는 튜브의 재질, 직경의 대소, 재료 두께, 제품의 형상과 정밀도 등은 벌지 가공의 난이도에 영향을 주게 되므로 생산 제품에 따라 벌지 가공 방법이 달라지고 프레스 형식과 금형의 형식도 달라지게 된다. 따라서 벌지 가공으로 품질에 만족한 제품을 생산하기 위해서는 이들에 관한 연구개발이 필요하다.

벌지 가공은 튜브 내에서 작용하는 내부 압력에 의해 팽창되므로 변형 부위에 있어서 원주방향 및 높이 방향의 변형은 인장 변형이 되고 변형 부위의 두께는 얇아지며 심하면 변형 중에 크랙이 발생한다. 이 때문에 피가공재료는 완전히 풀림이 되어도 일반적으로 튜브의 외경 증대 즉 확관률은 20-30%를 초월 할 수 없다<sup>(1)</sup>

벌지 가공 방법의 개발은 피가공재 튜브가 터짐 없이 팽창되도록 하기 위해 확관이 진행되는 동시에 변형 부분에 새로운 재료를 축 방향으로 밀어 공급하므로 확관률을 높이고 두께 방향의 변형을 최소화 하여야하며 Fig.1과 같은 형상의 보온 용기를 스테인리스 튜브로 벌지 가공하는데 있어 고속 성형에 의한 생산성 향상, 네크 부분과 코너 부분의 정밀성형 등의 문제점에 관한 대책으로 생산 방법을 개발하는 것을 목적으로 하였다.

## 2. 벌지가공

### 2.1 제조공정

Fig.1은 생산 제품인 보온 용기이며 Fig.2는 보온 용기의 제조 공정이다.

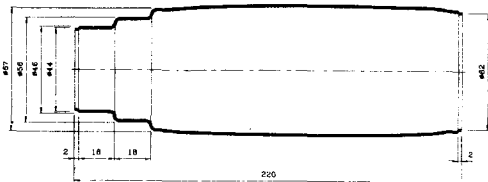


Fig. 1 Product

두께가 0.4mm이고 외경이 44mm이며 길이가 490mm인 스테인리스 튜브를 제조한 후 벌지 가공

용 금형의 캐비티에 넣고 액(물)압을 이용하여 보온 용기를 벌지 가공 방식으로 성형한다.

제품의 성형 방법은 생산성을 높이기 위하여 제품 2개를 동시에 생산할 수 있는 2 캐비티 금형으로 벌지 가공한 후 분단한다.

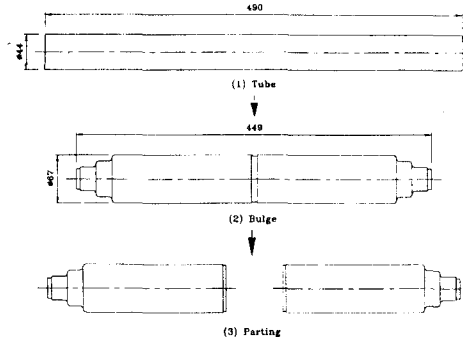


Fig. 2 Manufacturing process

Fig.3은 벌지 성형 과정을 나타낸 것으로 과정별 기능은 다음과 같다

- (1) 금형이 열리면 튜브를 금형에 넣는다.
- (2) 금형이 닫히고 금형 클램핑 힘  $F$ 를 가하며 좌우 양측의 노즐이 튜브 내로 들어간다.
- (3) 튜브 내에 액압  $p$ 를 작용시켜 튜브를 팽창시키며 튜브의 양단에서 추력  $F_t$ 를 가한다.
- (4) 튜브의 확관이 완료되면 좌우 양측에 설치된 가동 금형을 힘  $F_m$ 으로 밀어 네크 부위를 드로잉 가공한다.
- (5) 액압이 제거되고 금형이 열리면 제품을 금형에서 빼낸다.

벌지 가공은 튜브 내에 작용하는 액압이 어느 정도에 달하면 팽창되어 확관 되는데 이때 너무 빨리 압력을 올리면 팽창 부위의 두께가 얇아지게 되고 심하면 튜브가 터진다.

또한 튜브의 양단에서 너무 큰 힘과 빠른 속도로 밀면 좌굴 현상으로 주름이 발생한다.

따라서 튜브 내에 액압을 올리면서 튜브에 추력을 가하는 도중 튜브가 터지지 않고 주름이 발생하지 않는 벌지 가공 조건을 설정하는 것은 매우 중요하다.

Photo.1은 벌징 머신과 금형을 나타낸다.

### 2.2 벌지가공에 필요한 힘

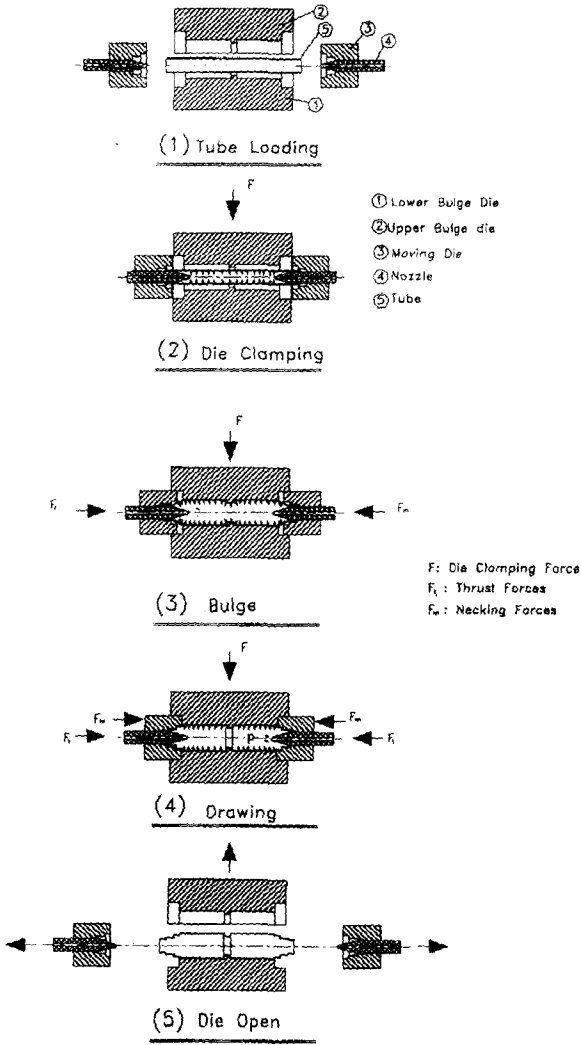


Fig. 3 Bulging process

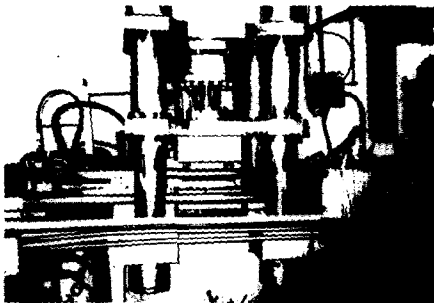


Photo.1 Bulging machine and die

Fig.4와 같은 원통형 내에 액압  $p$ 가 작용하는 경우 원통반경  $r$ , 길이  $l$ , 벽두께  $t$ 라면 원통 벽에 작용하는 응력은 축 방향의 응력  $\sigma_1$ 과 원주 방향의 응력  $\sigma_2$ 의 2축 응력 상태이고 크기는 다음과 같다.

$$\sigma_1 = \frac{pr}{2t} \quad (1)$$

$$\sigma_2 = \frac{pr}{t} \quad (2)$$

식(1)과 식(2)을 비교하면 원주 방향 응력  $\sigma_2$ 가 축 방향 응력  $\sigma_1$ 에 비해 2배 크다.<sup>(2)</sup>

본 벌지 가공은 튜브의 양단이 자유 상태이므로 튜브의 터짐 문제를 검토하는데는 원주 방향 응력  $\sigma_2$ 를 고려하여야 한다.

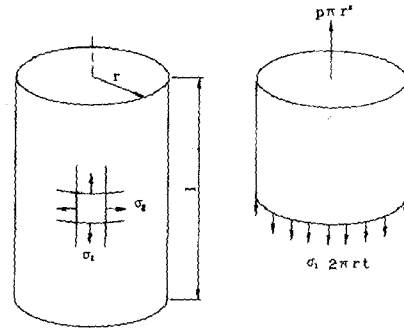


Fig. 4 Membrane stress

Fig.5는 내경  $d$ 와 두께  $t$ 인 튜브에 작용하는 원주 방향의 응력이  $\sigma$ 인 경우 벌지 초기압력( $P_0$ )을 구하는 예를 나타내는 도표이다.<sup>(3)</sup>

실제로 제품을 성형하는 데 필요한 최종 벌지 압력  $p$ 는 튜브의 양단이 자유로운 상태에서 제품의 성형이 진행되면서 초기압력보다 더 큰 압력이 필요할 것으로 추정된다.

벌지 가공에 필요한 최종압력  $P$ 는 제품 형상의 복잡성에 따라 초기압력의  $a_1$  배만큼 증가 할 것으로 예측되며  $a_1$ 를 형상계수로 하면 식(3)으로 표시할 수 있다.

$$P = \frac{a_1 2 \sigma t}{d} \quad (3)$$

Fig.6에서 튜브의 양단을 밀어주는 추력 하중은 튜브가 좌굴이 발생하지 않는 정도의 힘이어야 한다. 좌굴 하중을  $Pl$ 이라면 식(4)으로 추정된

다.

$$Pl = a_2 \pi \sigma dt \quad (4)$$

여기서  $a_2$ 는 좌굴에 관계되는 제품의 형상계수이고  $\sigma$ 는 항복응력이다.

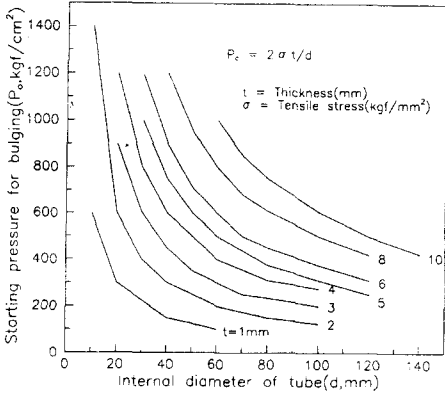


Fig. 5 Starting pressure for bulge

Fig.6에서 튜브의 양단에 작용하는 추력 하중을  $F_t$  라면 식(5)으로 나타낼 수 있다.

$$F_t = Pl + pa \quad (5)$$

여기서  $pa$ 는 노즐이 튜브 내의 액압에 의해 뒤로 밀리는 힘이며  $p$ 는 액압이고  $a$ 는 노즐의 단면적이다. 그러나 본 기계에서는 노즐 뒷면에서도 동일한 액압이 작용하도록 설계되어 있으므로 힘이 서로 상쇄되어 노즐을 밀어내는 힘을 고려할 필요가 없다.

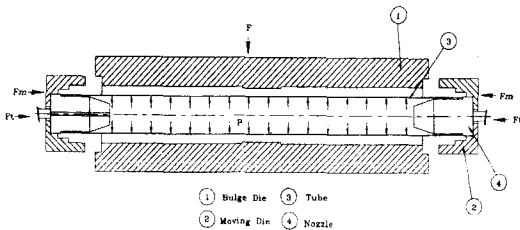


Fig. 6 Forces for bulge

Fig.6에서 힘  $F$ 는 금형을 닫는 형체력(Die Clamping Force)으로 벌지 가공 중 액압에 의해 벌지 금형의 상형과 하형이 벌어지지 않도록 필요한 힘이며 캐비티의 투영면적  $s$ 에 액압  $p$ 를 곱한

것보다 커야하며 식(6)과 같다<sup>(4)</sup>

$$F \geq p s \quad (6)$$

Fig.7에서 neck 부분의 성형에 필요한 necking(Necking)힘  $F_m$ 은 neck 부분의 드로잉 힘  $P_d$ 와 드로잉 방향과 반대로 작용하는 튜브 내의 액압에 의해 neck 부위에 발생하는 힘  $P_w$ 의 합으로 추정되며 식(7)같이 표시할 수 있다.

$$F_m = P_d + P_w \quad (7)$$

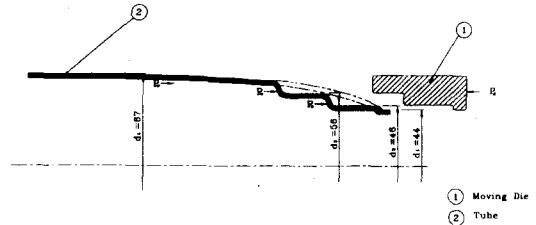


Fig. 7 Drawing force for necking

직경  $d$ , 두께  $t$ , 인장응력  $\sigma$ 인 원통 드로잉에 필요한 힘  $P_d$ 는 일반적으로  $P_d = \pi \sigma t d$  공식을 사용한다.<sup>(5)</sup>

따라서 Fig.7에서 드로잉 힘은 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$P_d = \pi \sigma t (d_2 + d_3) \quad (8)$$

드로잉 방향과 반대로 작용하는 힘  $P_w$ 는 내부 압력  $p$ 와 압력을 받는 면적을 곱한 것이므로 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$P_w = p\pi[(d_4-d_3)^2+(d_3-d_2)^2+(d_2-d_1)^2]/4 \quad (9)$$

### 2.3 벌지머신과 금형

Fig.8은 액압을 이용한 벌지 가공 기계의 개략도이다.

기계의 구성과 기능은 금형을 크램핑 하는데 필요한 힘을 발생시키는 수직으로 배치된 150톤용의 실린더 ⑤가 설치된 프레스부와 벌지용 고정 금형 ②의 좌우 양측에는 피 가공 재 튜브를 밀어주는 추력 발생용 실린더 ⑥이 수평으로 설치되어있고 압력매체가 사출되는 노즐 ④가 좌우에 배치되어있다. 또한 고정 금형 좌우에 neck 부위 성형에 사용되는 가동 금형 ③과 이를 작동시킬 수 있는 보조실린더 ⑧등의 유닛으로 구성되었다.

본 액압식 벌지 가공기계는 고압의 물을 튜브 내에 공급하여 튜브를 금형의 캐비티 형상으로 팽창시키면서 튜브의 양단으로부터 밀어주는 추력과 높은 벌지 압을 발생시킬 수 있는 더블사이드 타입으로 개발되었다.

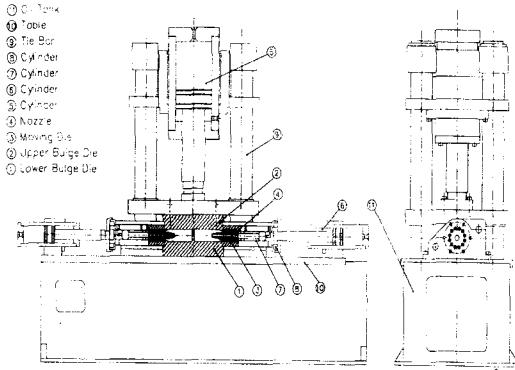


Fig. 8 Bulge machine.

또한 물과 오일의 변환 실린더에 의한 부스타 장치로 액압을 증압시킬 수 있으며 고속 벌지 가공을 행할 수 있는 액체 공급용 장치와 가압되는 추력과 연동된 압력제어 장치가 있다.

가압되는 추력과 연동된 압력제어 장치는 액압 상승의 비율과 가압된 추력과 연동된 속도를 적정하게 유지할 수 있어 성형 중 주름의 발생이나 변형부위의 파손을 최대한 억제할 수 있다.

벌지가공에 사용한 금형은 벌지금형(Fig.9 참조), 가동금형(Moving Die, Fig.10 참조)으로 구성되며 생산성을 고려하여 2 캐비티 금형으로 개발하였다. Fig.11은 벌지 가공을 위한 벌지 금형 ①과 가동금형 ②의 최종 작동상태를 나타낸다.

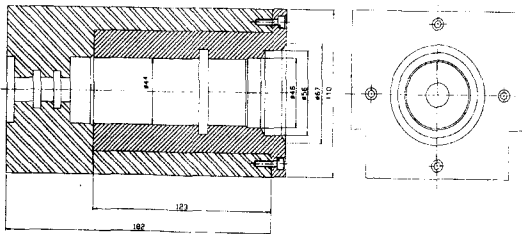


Fig. 9 Bulge die

벌지금형은 제품의 몸체부위를 성형하는데 사

용되며 가동 금형은 neck 부위를 가공하는데 사용된다. 따라서 액압을 이용한 몸체부위 성형과 neck을 위한 드로잉 성형의 콤비네이션 타입으로 제품을 생산하는 방식을 개발하였다. neck용 가동 금형은 벌지 금형의 좌우 양측에 설치되어 있고 벌지 가공 중에 유압실린더에 의해 벌지 금형 쪽으로 작동한다. 제품에서 neck 부위와 코너 부위의 정밀 성형은 튜브 내에 작용하는 액압을 높이는 것만으로는 성형이 불가능하였으므로 튜브의 최종팽창이 완료되고 동시에 빠른 속도로 가동 금형을 벌지 금형 방향으로 밀어 드로잉 하므로 neck 부분과 코너 부분의 정밀 성형이 가능 하도록 하였다.

### 3. 벌지가공의 특성과 고찰

앞에서 기술한 벌지 가공 기계와 금형을 사용하여 Fig.1의 보온 용기를 생산하기 위하여 두께 0.4mm 스테인리스 튜브로 벌지 가공을 실시하였다.

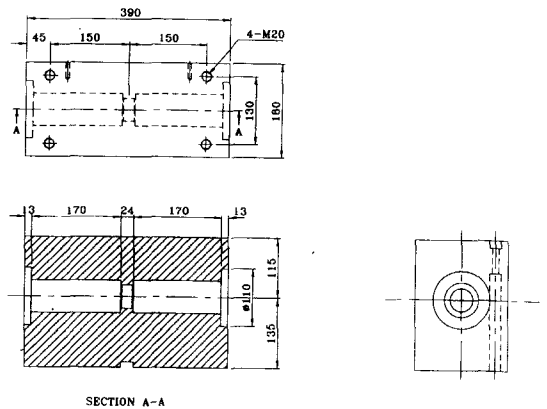


Fig. 10 Moving die for necking

사용된 재료는 STS304J1이며 물성치는 Table 1에 표시하였다.

가공 중 튜브내의 액압이 높아지면서 튜브의 직경이 증대하는데 액압과 확관된 외경과의 관계는 Fig.12와 같다. 여기서 벌지 가공은 초기 변화부터 최종 가공 완료까지 튜브내의 압력변화를 나타내는데 확관되는 직경의 크기에 따라 초기 벌지 압력보다 형상계수  $\alpha_1$ 배 만큼 벌지 압력이 증

가한다는 것을 알 수 있다.

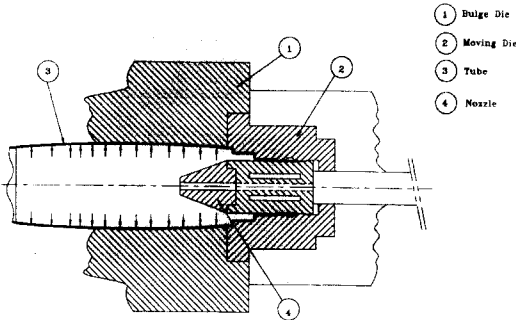


Fig. 11 Die combination for bulging

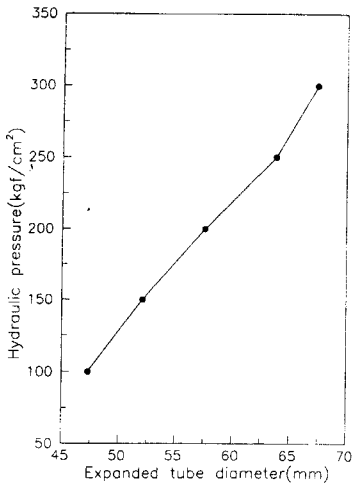


Fig. 12 Relation between pressure and tube diameter

Table 1. Properties of material

구분	값	구분	값
항복응력 kgf/mm <sup>2</sup>	25.7	푸아송비	0.29
인장응력 kgf/mm <sup>2</sup>	62.8	밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	8.03
연신율 (%)	57	경도 (Hv)	12.65
탄성계수 kgf/mm <sup>2</sup>	20.3x10 <sup>3</sup>	가공경화지수	0.34

식(2)에서 항복응력을 대입하여 벌지초기압력  $P_0$ 을 구하면 46.7kg/cm<sup>2</sup>이다. ( $d=44mm$ ,  $t=0.4mm$ ,  $\sigma=25.7kg/mm^2$ )

실제로 벌지가공시험에서 튜브의 직경이 67mm로 확관될 때 필요한 벌지압력( $p$ )은 292kg/cm<sup>2</sup>이었다. 따라서 식(3)에서 형상계수  $a_1$ 을 구하면 6.1이 된다. ( $a_1 = 292 \times 4.32 / (2 \times 25.7 \times 0.04 \times 100) = 6.1$ )

또한 재료 두께  $t$ 와 확관된 직경  $D$ 의 비  $t/D$ 는 보통 0.5~1%<sup>(1)</sup> 범위에서 벌지가공이 이루어진다는 것을 참조하면 본 시험에서는  $t/D$ 가 0.59%이므로 적절한 범위 안에서 벌지가공이 이루어졌다.

벌지 성형 중 튜브의 양단에서 밀어주는 추력 하중  $F_t$ 는 실제로 1,600kg을 작용시키고 튜브의 압축은 6초 동안에 41mm를 압축하여 (압축속도 6.8mm/sec) 보온 용기를 성형하였다.

식(4)에 의한 좌굴하중은  $PI = a_2 \times 1420 kg$ 으로 산출된다. ( $d=44mm$ ,  $t=0.4mm$ ,  $\sigma=25.7kg/mm^2$ ) 식(5)에서 노즐을 밀어내는 힘( $pa$ )은 기계구조상 생략되므로 무시한다. 그러므로 다음과 같이 계산된다.

$$1600 = a_2 \times 1420 + 0$$

$$a_2 = 1.12$$

따라서 좌굴이 일어날 때의 조건을  $a_2 = 1$ 이라고 가정하면 좌굴이 발생하는 힘보다 1.12배의 큰 추력으로 좌굴 없이 성형이 가능하였다. 이것으로 보아 튜브의 형상에 따라 형상계수  $a_2$ 가 다르게 될 것으로 예측되며 또한 튜브가 팽창할 때 튜브의 축 방향으로 밀어주는 추력에 의해 압축응력을 부가시켜 튜브의 팽창 방향으로 재료를 밀어주므로 인장응력에 의해 발생하는 튜브의 두께 감소를 억제하므로 팽창률이 높아도 튜브의 크랙이 발생하지 아니 하였음을 보여준다.

넥 부위의 코너부 성형은 벌지 액압 자체만으로 불가능하였다.

실제로 Fig.7에서와 같이 가동 금형을 사용하여 드로잉 방식으로 네킹 가공을 실시한 결과 코너 부분의 성형이 가능하였다.

Fig.7에서와 같이 가동 금형을 사용하여 드로잉 방식으로 네킹 가공을 실시한 결과 코너 부분의 성형이 가능하였다. 네킹에 필요한 힘  $F_m$ , 드로잉 힘  $P_d$ , 드로잉 방향과 반대로 작용하는 힘  $P_w$ 를 식(7), (8), (9)로 계산하면 Table 2와 같으며  $F_m$ 은 8,557.6kg이 된다.

실제로 실린더 직경 100mm 사용압 100kg/cm<sup>2</sup>으로 시험 한 결과 코너 부위의 성형이 가능하였고 이때 필요한 힘  $F_m$ 은 7,858kg으로 이론 계산값의

92% 정도로 비슷하였다.

Table 2 Forces for forming

힘	사용식	계산값(kg)
Fm	(7)	8,557.6
Pa	(8)	8,045.4
Pw	(9)	512.2

Fig.13은 튜브 내의 액압 292kg/cm<sup>2</sup> 이고 튜브를 미는 추력은 1,600kg, 가동 금형에 작용하는 네킹힘은 7,858kg, 튜브 압축 속도 6.8mm/sec의 작업 조건으로 벌지 가공한 후 성형된 제품 각 부분의 두께 변화를 나타낸다. 튜브의 두께 변화는 튜브의 중간 부분에서 감소율이 17%로 가장 많으며 튜브의 양단으로 갈수록 감소율이 적어지고 네크 부위에서는 오히려 0.7% 정도 두꺼워진 것을 알 수 있다.

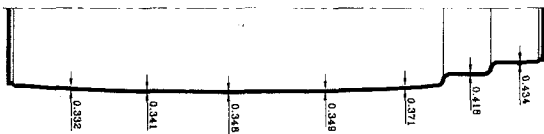


Fig. 13 Wall thickness

Photo.2는 튜브에 추력을 가하지 않고 벌지 가공 중에 크랙이 발생한 상태이다. 이때 튜브 내부의 액압은 245kg/cm<sup>2</sup>이며 확관된 튜브의 직경은 58.6mm로 확관율은 33% 정도이다.

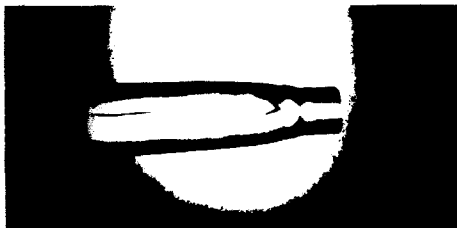


Photo. 2 Tube crack

Photo.3은 벌지 가공에 의해 정상으로 성형이 완료된 상태를 나타내며 이때 벌지 가공의 확관율은 52.2% (67-44/67=0.52) 까지 높이고 크랙 없

이 정밀성형이 가능하였다.

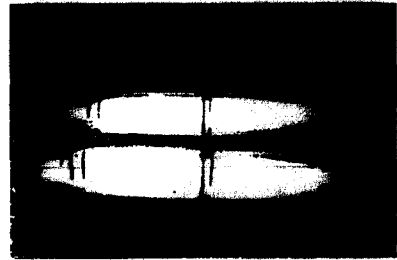


Photo. 3 Manufactured products by bulging

#### 4. 결론

고속 액압 벌지 가공을 위하여 벌지 머신과 금형을 개발하고 외경 44mm, 두께0.4mm인 스테인리스 튜브를 사용하여 수압 벌지 성형 가공 방식으로 보온 용기를 생산한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 튜브 내에 작용하는 액압은 원주 방향의 응력과 튜브의 두께에 비례하고 튜브의 반경에 반비례하며 액압이 증가함에 따라 형상계수  $a_1$ 이 증가한다. 본 실험에서는 튜브 양단이 자유로운 상태이고 팽창 중 양단에서 추력을 가하여 성형한 결과 초기압력의 6.1배 인 292kg/cm<sup>2</sup>의 높은 압력으로 52%의 높은 확관율로 튜브에 크랙 없이 보온 용기를 성형 할 수 있었다.

(2) 생산된 용기의 두께 감소율은 튜브의 중앙부가 17%정도로 가장 크며 튜브의 양단으로 갈수록 감소율은 저하한다. 그러나 네크 부분은 추력에 의한 새로운 재료의 공급으로 두께가 오히려 증가한다는 것을 알 수 있다.

(3) 생산된 제품에서 네크 부분과 코너 부분은 가공의 난이도가 가장 높은 곳으로 액압 만으로는 성형이 불가능하였으나 가동 금형을 이용한 드로잉 가공방식과 액압 벌지 가공 방식을 조합시켜 성형한 결과 고속생산이 가능하였다.

따라서 액압을 이용한 고속 벌지 가공에서 터짐이 없이 높은 확관률로 생산성이 높은 가공을 하기 위해서는 제품의 형상에 따라 벌지 가공 방식을 결정하고 벌지 기계장치, 금형의 형식과 설계는 추력의 크기와 속도 액압 등 작업 조건과의 관계를 고려한 연구가 필요하다.

## 참고문헌

1. 栗原昭八, "液壓高速バルジ加工法," プレス技2術, 第17卷, 第3号, pp.77-81, 1979.
2. Timoshenko & Young 著, 임상전역, 재료역학, 문운당, pp.53-55, 1962.
3. 上田照守, "液壓 バルジ加工" プレス技術, 第17卷, 第3号, pp.54-55, 1979.
4. 이우철, 사출금형설계I, 기진연구소, pp.206-207, 1987.
5. 齊田重紀, 塑性加工II, 明現社, pp.149-150, 1985.