

전·후방 캔 압출공정의 성형하중특성

최호준* · 함병수** · 옥정한** · 심지훈** · 김성현** · 황병복#

(2004년 8월 16일 접수)

Characteristics of Forming Load in Forward and Backward Can Extrusion Processes

H. J. Choi, B. S. Ham, J. H. Ok, J. H. Shim, S. H. Kim and B. B. Hwang

Abstract

This paper is concerned with the analysis of the forming load characteristics of a forward-backward can extrusion process. The analysis in this paper is extended to the selection of press frame capacity for producing efficiently final product at low cost. The possible extrusion processes to shape a forward-backward can part with different outer diameters are categorized to investigate quantitatively the forming load, forming energy and maximum pressure exerted on the die-material interface. The categorized processes are composed of combined and/or some basic extrusion processes. After the analysis of the forming load characteristics, the frame capacity of press suitable for a selected process could be determined along with securing the load capacity and with considering productivity. In addition, it is also suggested that different load capacities be selected for different dimensions of a part such as the wall thickness in forward direction. The work in this paper could be a good reference for analysis of complex extrusion and selection of proper frame capacity of press to achieve low production cost and thus high productivity.

Key Words: Forward and Backward Can Extrusion, Forming Load, Deformation Energy, Die Pressure , Extruded Length

1. 서론

일반적으로 냉간단조품을 성형하기 위해서는 하나의 공정만으로 가능하지 않다. 제품의 최종 형태와 치수를 고려하여 공정의 조합이나 공정 순서(process sequence)를 적용하기도 한다. 이러한 복합공정(combined process)은 공구와 공정 수를 절약하고 가능한 중간단계를 생략하게 함으로써 경제적인 장점들을 제공하게 된다.⁽¹⁾ 특히,

동시에 두 방향 또는 세 방향의 출구를 갖는 복합압출인 경우에는 변형에 필요한 힘이 최소화 되는 쪽으로 공정자체가 진행함으로써 낮은 성형하중(forming loads)이 작용한다.⁽²⁾ 따라서 금형에도 낮은 압력이 가해짐으로써 금형수명에 있어서 유리하게 된다. 또한 연속적으로 공정을 적용할 시 발생할 수 있는 제품의 결함도 소재의 흐름을 동시에 여러 방향으로 진행시키는 공경간의 결합을 이용함으로써 방지하거나 제거할

* 인하대학교 자동차공학과 대학원
** 인하대학교 기계공학과 대학원
교신저자: 인하대학교 기계공학과

수 있다.⁽³⁾

일반적으로 복합압출공정은 어느 한쪽의 압출이 충분히 진행된 후 금형의 멈춤 장치(stopper)에 의하여 중단된다. 그런 다음 공정은 더 이상 동시에 압출되지 않으며 압출압력은 급속히 증가하게 된다. 일반적으로 재료유동에 따른 성형하중의 경감은 전·후방 압출공정의 마지막 단계에서 중요한 역할을 수행하게 된다⁽⁴⁾. 전·후방 복합압출에 있어서 공정의 마지막 단계에서 상하금형의 여러 개 출구는 소재유동을 안정적으로 유지시킴으로써 성형하중 및 금형과 소재면에 작용하는 접촉압력을 낮추는 역할을 수행할 수 있도록 하여야 한다. 특히, 생산원가 측면에서는 단조품 생산장비인 프레스 가압능력이 되도록 작은 것을 사용하여야 한다.

본 논문에서는 일반적으로 커플러(coupler)나 레듀사(reducer)등의 너트(nipple)류와 같이 원통형튜브의 상·하 직경이 다른 형태를 가진 부품의 생산에 많이 응용되는 전·후방 캔 복합압출공정을 강소성 유한요소법^(5,6)을 이용한 모의실험⁽⁷⁾에 근거하여 해석하였다. 또한 설계변수인 두께비를 달리하면서 제품 치수가 변화함에 따라 성형하중, 다이 압력 및 프레스 장비의 선정에 어떻게 영향을 미치는지 분석하게 될 것이다.

2. 유한요소해석 및 공정조건

본 논문에서는 전·후방 복합압출의 모의실험을 위한 소재로 상용 알루미늄합금인 AA 2024를 사용하였으며 유동응력은 멱함수 (power law)⁽⁸⁾에 따르면 다음 식과 같다.

$$\bar{\sigma} = 386.55 \bar{\epsilon}^{0.154} \quad (MPa) \quad (1)$$

또한 소재와 금형과의 경계면에서는 비누윤활로 가정하여 마찰상수(friction factor) $\mu(m)$ 을 0.1로 가정하였다.

Fig. 1에는 시뮬레이션을 위한 소재 (billet)와 제품의 최종형상을 모두 나타내었고, Table 1에 금형과 소재 및 제품형상에 관한 치수정보를 나타내었다. Table 2에서는 공정분석을 위한 변수들에 관한 설명과 제품치수 변화에 따른 변형특성 및 성형 장비 선택의 다양성을 검토하기 위한 설계변수로서 설정된 두께비가 나와있다. 전·후방의 압출길이는 최종제품에 작용하는 접촉압

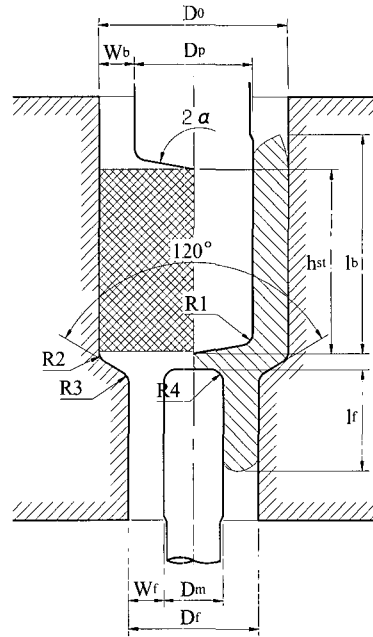


Fig. 1 Die geometry used in analysis

Table 1 Dimensions of die and billet

Parameter	Values
Initial billet Diameter (D_0)	Ø 32.0 mm
Punch diameter (D_p)	Ø 20.0 mm
Mandrel diameter (D_m)	Ø 10.0 mm
Forward can diameter (D_f)	Ø 22.0 mm
Punch stroke (H_{st})	30.0 mm
Punch corner radius (R_1)	2.0 mm
Die radius (R_2)	2.0 mm
Transition radius (R_3)	2.0 mm
Mandrel radius (R_4)	2.0 mm
Punch angle (2α)	160.0°
Backward can thickness (W_b)	6.0 mm

Table 2 Parameters used in process analysis

Symbol	Description
l_b	Backward can height
l_f	Forward can height
W_f	Forward can thickness
W_f/W_b	Thickness ratio = 0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.4

력과의 상관관계를 알아보기 위하여 선정되었다.

또한 두께비의 변화는 전방 캔 모양의 두께변화가 성형하중과 가공 장비인 프레스의 선택에 어떠한 영향을 미치는가를 고찰하기 위한 것이기도 하다.

3. 전·후방 압출 캔 공정 분석

3.1 적용 가능한 공정들

전·후방 캔 모양의 압출은 2개의 압출구를 통해 동시에 두 방향으로 압출이 진행되는 복합압출 공정뿐만 아니라, 여러 가지의 공정의 결합 등의 방법으로 가능하다. Fig. 2에서는 전·후 방향의 외경 치수가 다른 캔 모양의 최종형상을 얻을 수 있는 가능한 방법들을 모두 제시하였다. 전·후방 캔의 두께는 같도록 하였다. Fig. 2에서 Process I, II는 단공정들의 결합으로 이루어진 공정이며, Process III는 공정의 순차적 결합, Process IV는 복합공정이다.

Process I는 전방으로의 캔 압출과 후방으로의 캔 압출을 순서적으로 진행하는 단단 공정이다. 맨드렐을 고정시킨 쪽으로 소재를 전방 압출시켜 외경이 작은 캔 부분의 형상을 얻은 후, 후방압출을 진행함으로써 최종제품을 얻는 공정이다. Process II는 외경이 작은 캔을 먼저 생성시키기 위하여 Process I에서의 아래쪽 맨드렐을 펀치로 대체하여 캔 모양을 후방압출공정으로 먼저 성형한다. 초기소재는 다른 공정들과 달리하여 외경 24.0mm를 사용한다. 외경이 작은 캔 모양의 성형이 완료된 후에 위쪽의 외경 32.0mm의 맨드렐을 외경 20.0mm의 펀치로 교환하여 외경이 큰 쪽의 캔을 다시 후방압출공정을 통하여 성형한다. Process III는 맨드렐을 고정시키고 외경이 작은 캔 모양을 전방압출공정을 통하여 성형한다. 그런 뒤에 아직 원하는 압출길이 되기 전에 다시 윗 부분의 펀치모양을 바꿔 외경이 큰 캔 모양을 후방압출을 통해 완성함과 동시에 외경이 작은 캔 모양에 있어서 원하는 압출길이도 함께 얻는 공정이다. Process IV는 복합공정으로 아래쪽에는 맨드렐을, 위쪽에는 펀치를 위치시켜 펀치의 이동에 따라 전·후방 압출을 동시에 진행시킴으로써 최종형상을 얻는 공정이다. 압출되는 출구가 전·후의 두 방향으로 소재가 진행되기 때문에 낮은 성형하중을 얻을 수 있을 것으로 예측된다.

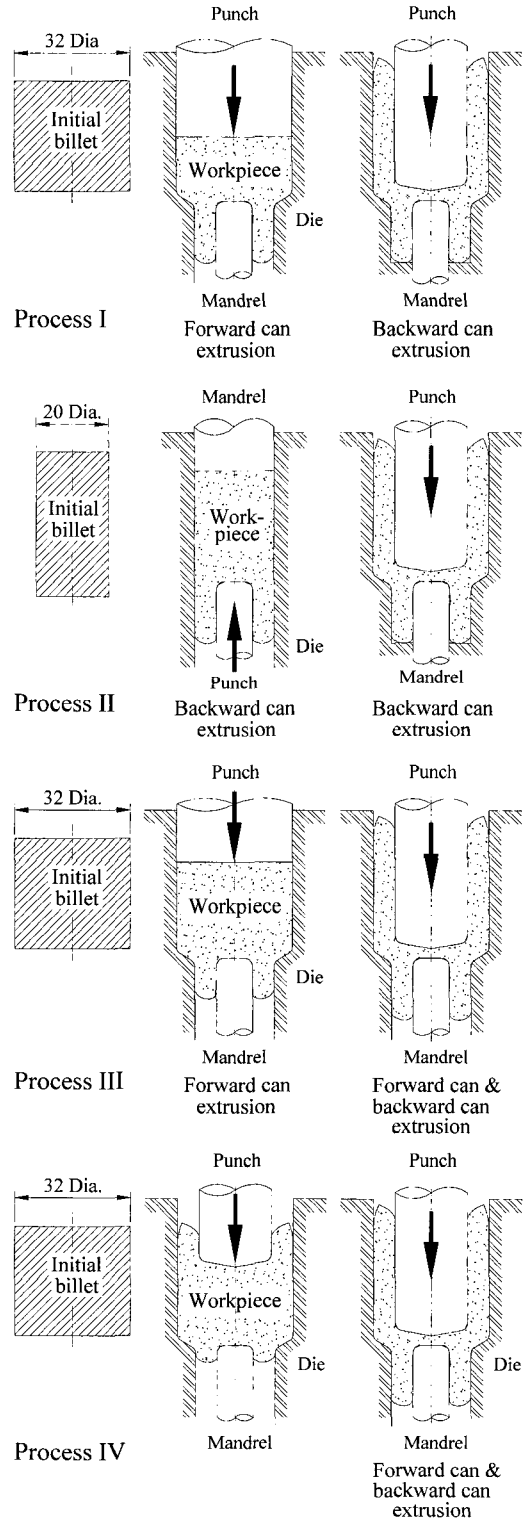


Fig. 2 Possible processes selected for the forward and backward can extrusion

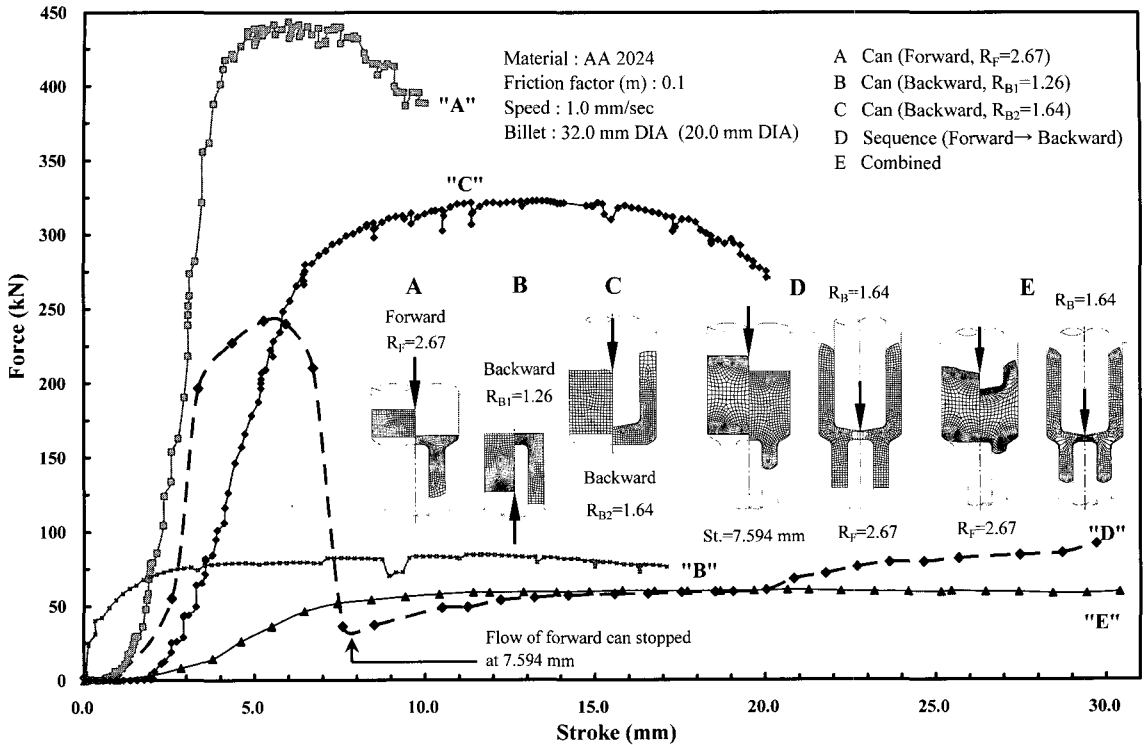


Fig. 3 Comparison of forming load among possible processes

3.2 성형하중 및 금형 접촉압력

Fig. 3 에서는 전·후방 캔 성형이 가능한 단공 정 압출과 복합압출시의 성형하중의 변화를 보여준다. 단공정으로 이루어지는 압출공정의 성형하중이 복합압출의 경우와 비교하여 최대 하중이 약 800%가 더 크다는 것을 알 수 있다. 성형하중 Curve A 와 B 는 외경이 작은 캔모양을 먼저 압출하는 경우이다. Curve A 는 전방압출, Curve B 는 후방압출로 캔 모양을 형성시키는 공정이다. 성형하중 Curve C 는 외경이 큰 캔을 만드는 경우로써 후방압출이다. 원하는 전·후방 캔 모양은 성형하중 Curve A 와 C, 또는 Curve B 와 C 의 결합으로 가능하며, 이러한 공정이 Process I 과 Process II 를 형성하게 된다. 성형하중 Curve D 는 Process III 을, Curve E 는 Process IV 를 진행시킨 해석결과이다. 그럼처럼 외경이 작은 캔 모양의 전방압출(Curve A)시 가장 큰 성형하중이 발생할을 알 수 있다. 또한 순차적 공정의 결합 (Curve D)이나 복합압출(Curve E)의 경우에 성형

Table 3 Forming load and deformation energy

Possible process	Forming energy (kJ)	Max. Force (kN)
Process I (A+C)	6.4817	443.8
Process II (B+C)	6.3521	322.8
Process III (D)	2.5720	242.2
Process IV (E)	1.5309	60.8

Table 4 Maximum pressure exerted on the die-material interface

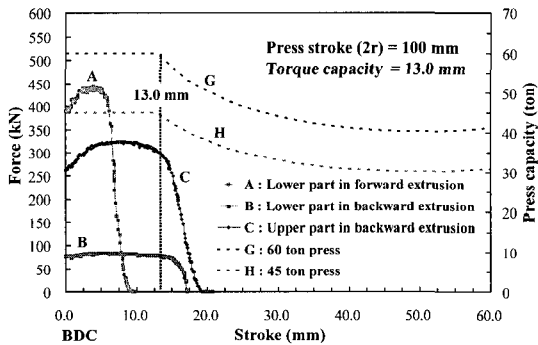
Curve	A	B	C	D	E
Pressure (MPa)	1,030	1,176	991	421	410

하중이 그리 크지 않다.

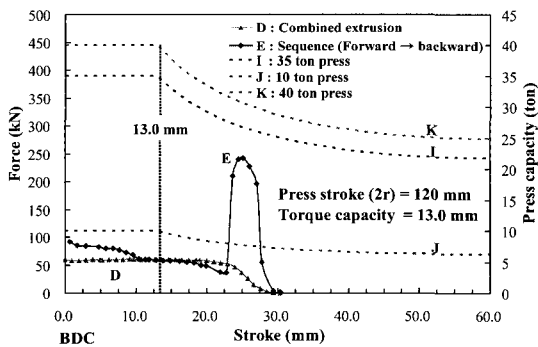
Table 3 에서는 Fig. 2 에서 나열한 가능한 공정들의 성형에너지와 최대하중을 정리하였다. 적

용 가능한 공정들 중에서 복합공정인 Curve E가 가장 적은 최대하중을 나타내고 있으며 Curve A가 가장 큰 최대하중을 갖는다. 또한 가장 적은 최대하중을 갖는 복합압출 공정이 가장 적은 성형에너지로써 최종제품의 생산이 가능한 것으로 분석된다.

Table 4에서는 적용 가능한 압출공정에 따라서 금형에 작용하는 최대압력을 나타내고 있다. 물론 예측되는 것처럼 Curve A에서 높고, Curve B에서는 소재의 치수가 작고 후방압출이 이루어짐에 따라 편치와 소재 사이에서 최대압력이 다른 A 나 C-D 공정들에 비하여 큰 값을 갖는다. E 공정에서는 소재의 흐름이 원활하므로 소재와 금형 사이에서 발생하는 최대압력은 다른 공정들에 비하여 가장 낮다.



(a) Press Capacity for Process I and Process II



(b) Press Capacity for Process III and Process IV

Fig. 4 Press capacity for various extrusion processes

4. 성형하중과 프레스의 선택

Fig. 4에서 최종 전·후방 캔 성형이 가능한 압출공정들 (Process I-IV)을 생산장비인 기계프레스의 가압능력 또는 호칭능력과 연관시켜 함께 나타내었다. BDC는 프레스의 하사점을 의미하며, 결합 및 복합공정들의 성형하중은 왼쪽 눈금선, 프레스 능력을 나타내는 부분은 오른쪽 눈금선이 의미하고 있다. Fig. 4(a)에서는 Process I과 II에 관한 것으로, Process I은 성형하중 Curve A와 C로 구성되고 Curve A의 최대하중 443.8 kN을 고려하면, 60ton 프레스로 생산이 가능하다. 그러나 Process II에서는 성형하중 Curve B의 최대하중이 322.8kN 때문에 45ton 프레스에서도 성형할 수 있다. Process I과 II는 모두 프레스 행정이 100mm인 것에서 생산이 가능하다고 판단하였으며 프레스 토오크능력의 능력점은 13.0mm로 하였다. 물론 프레스의 선택시 실제 가압능력 즉 실제의 최대가공하중 또는 최대압력이 선택한 프레스 가압능력의 75-80%가 되도록 하였다 (9).

Fig. 4(b)에서는 Process III와 IV의 압출공정을 가능케 하는 프레스의 가압능력을 나타내었다. Process III에서 최대하중이 242.2kN이므로 프레스의 안전성을 고려하면 35ton 프레스를 선정할 수 있다. 그러나 최대하중이 하사점 부근에서 발생하지 않으므로 그 보다 큰 40ton 프레스에서나 공정이 진행이 가능하다고 하겠다. 그러나 Process III 공정은 일반적으로 기계프레스에서는 호칭하중 용량에 따른 동등한 힘을 내는 곳은 하사점 근처로 해야 하기 때문⁽¹⁰⁾에 바람직한 하중곡선은 아니라고 판단된다. Process IV는 복합압출공정으로 최대성형하중이 다른 공정에 비해서 현격히 작으므로 프레스 가압능력 또한 10ton을 사용할 수 있으므로 생산원가를 낮출 수 있는 공정이라고 할 수 있다. Process III와 IV에서는 프레스 행정길이는 120 mm로 하였다.

따라서 같은 제품의 형상을 얻는 압출과정에서도 공정의 순서나 결합 등의 차이에 따라 선정해야 할 프레스 가압능력의 차이가 발생하게 된다. 즉, Process I에서는 60ton 프레스를, Process II에서는 45 ton 프레스, Process III에서는 40ton 프레스, Process IV에서는 10ton 프레스를 선택하여 최종 제품을 생산하게 되는 것이다. 물론 바람직한 공정의 선택은 프레스의 가압능력이 제일 작은 복

합공정의 적용이라고 고려된다.

5. 치수변화에 따른 변형특성 및 하중특성

생산방법이나 공정순서의 차이가 생산장비의 효율적 선택 측면에서 많은 영향을 끼치고 있다는 것을 위에서 살펴보았다. 본 절에서는 제품의 치수변화가 소재의 변형특성에는 어떻게 영향을 미치고 이를 근거로 생산장비의 선정에도 어떻게 작용하는지에 관하여 고찰해보고자 한다.

편치각이 160°, 마찰인자(m)가 0.1 일 때 두께비 (thickness ratio, TR)를 변화시켜가면서 소재의 변형특성을 비교·해석한 것이 Fig. 5 와 Table 5 이다.

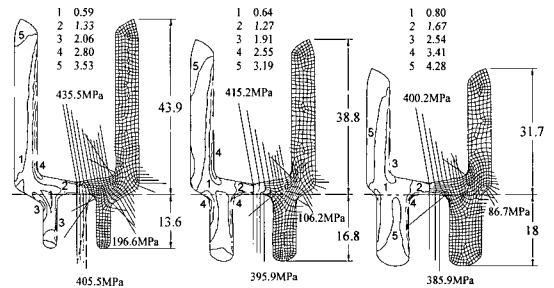
Fig. 5(a)-(c)는 성형품 최종 단계에서 금형에 작용하는 압력과 압출길이를 나타내었다. 두께비가 증가함에 따라 편치나 다이 및 멘드렐에 가해지는 압력이 감소하고, 또한 후방압출로의 길이는 감소하고 전방으로의 압출길이가 증가함을 알 수 있다. Table 5 에서는 편치, 다이 및 멘드렐에 각각 작용하는 최대 압력 및 전·후방 압출길이의 변화를 정리하여 나타내었다. 두께비가 커짐에 따라 편치, 다이 및 멘드렐에 가해지는 최대 압력은 각각 줄어들고 있다.

Fig. 6 는 두께비(W_f/W_b)를 변화시켜가면서 프레스 하사점(BDC)을 기준으로 하여 성형하중과 프레스의 허용능력을 함께 나타내고 있다. 가압능력이 10ton 인 프레스의 선정은 두께비가 1.0 일 때를 기준으로 한 것이다. 두께비가 1.0 보다 작아질 때는 성형하중은 증가하고, 1.0 보다 커지면 성형하중은 감소한다. 즉, 전방압출의 두께가 얇아지면 소재의 아래방향 이동이 원활치 못하므로 성형하중이 더 커지게 되며, 두께가 두꺼워짐에 따라 소재의 유동이 쉬워져 성형하중은 감소하고 있는 것이다. 따라서 두께비가 0.6 일 때 최대 성형하중이 제일 크다. 두께비 1.0 일 때 선택한 10ton 프레스로도 압출공정을 진행하는데 큰 무리는 없을 것으로 판단된다. 그러나, 프레스 작업이 과부하를 일으키기 쉬운 점, 가압력의 정확한 산정이 곤란한 점, 호칭능력을 최대로 사용하면 프레임의 변형량이 상당히 커져서 금형의 수명을 단축시키고, 제품의 정도를 나쁘게 하는 점 등⁹⁾을 고려하여 15ton 프레스를 사용하는 것이 바람직하다고 판단된다. 따라서 두께비 변화와 같은 제품치수 변경에 따라서도

프레스의 허용능력을 함께 고려하여, 제품의 생산성 향상에 영향을 미치는 장비의 내구성과 안전성도 장비의 선정에 참고되어야 할 요소로 받아들여야 할 것이다.

6. 결론

전·후방 캔 형상 제조를 위한 다양한 압출 공



(a) $W_f/W_b=0.6$ (b) $W_f/W_b=1.0$ (c) $W_f/W_b=1.4$

Fig. 5 Deformation patterns for various TRs

Table 5 Die pressures & extruded lengths for various TRs

Description		Thickness ratio (W_f/W_b)		
		0.6	1.0	1.4
Max. pressure (MPa)	Punch	435.5	415.2	400.
	Die	196.6	106.2	86.7
	Mandrel	405.5	395.9	385.
Extruded length (mm)	Backward	43.9	38.8	31.7
	Forward	13.6	16.8	18

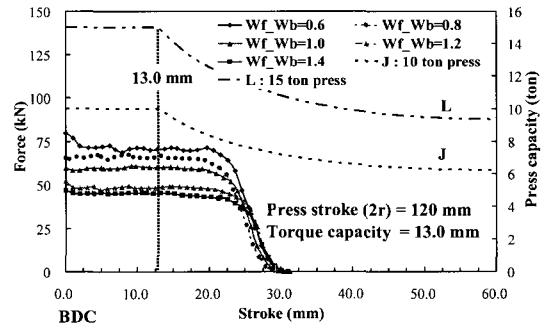


Fig. 6 Load-stroke relationship and required load capacity for various TRs

정에 대한 성형하중 및 변형특성에 대한 분석을 통하여 생산장비인 프레스의 선택에 따른 장·단점을 설명하였다. 우선 최종 제품의 생산이 가능한 압출공정들을 단공정의 결합이나 순차적 나열 및 복합공정의 적용을 통하여 알아보았으며, 이러한 압출공정의 선택에 따라 성형하중이 어떻게 달라지는가를 모의실험을 통해 비교·해석하였다. 달라진 성형하중은 제조장비인 프레스의 허용능력 선정에 영향을 미치고 공정에 있어서의 최대하중의 증가는 물론 허용능력이 큰 프레스를 선정하게 됨으로써 생산원가 측면에서 상승요인으로 작용할 수 있음을 보였다.

또한 제품의 일부 치수변화가 성형하중과 제조장비인 프레스 선택에 어떠한 변화를 초래하는지에 대하여도 비교·분석하였다. 외경이 작은 캔 부분의 성형 두께를 달리하면서 변형특성을 분석하였다. 두께비의 감소는 성형하중의 증가를 가져왔으며, 제조장비인 프레스 선정시 더 큰 허용능력을 요구함을 예견하였다. 생산시스템의 효율적 활용에 바탕을 둔 생산성 향상과 프레스의 내구성 측면을 미리 고려한 현 제품 생산을 위한 제조장비의 선택이 함께 고려되어야 할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- (1) W. Osen, 1987, "Possibilities and Limitations of Cold Extrusion Processes Combined with Radial Extrusion," *Advanced Technology of Plasticity*, Vol. 1, pp. 575~582.
- (2) R. Geiger, 1976, "Der stofffluß beim kombinierten Napffließpressen", *Berichte aus dem Institut für Umformtechnik, Universität Stuttgart*, Nr. 36, Essen, Girardet.
- (3) W. Krämer, 1981, *Verfahrenskombinationen beim Kaltfließpressen*, Seminar, *Neuere Entwicklungen in der Massivumformung*, Forschungsgesellschaft Umformtechnik mbH, Stuttgart.
- (4) H. H. Lin and H. Kudo, 1993, "Theoretical consideration of metal flow control in cold simultaneous forward/backward extrusion," *Proc. 4th ICTP, Beijing*, p. 693.
- (5) B. D. Ko, H. J. Choi, D. H. Jang, J. Y. Lim and B. B. Hwang, 2003, "Material Flow and Surface Expansion in Radial-Backward Extrusion," *JMPT*, Vol. 12, No. 3, pp. 251~258.
- (6) B. D. Ko, H. J. Choi, D. H. Jang and B. B. Hwang, 2003, "Material Flow and Surface Expansion in Radial-Backward Extrusion," *KSTP*, Vol. 12, No. 3, pp. 251~258.
- (7) S. W. Choi and Y. S. Lee, 2002, "A New Approach to Predicting Partial Recrystallization in the Multi-Pass Hot Rolling Process," *Met. Mater. -Int.*, Vol. 8, No. 1, pp. 15~23.
- (8) Air Force Material Laboratory, 1989, "Forming Equipment, Material and Practices," *Metal and Ceramics Information Center*, p. 164.
- (9) K.-A. Na, 1989, "Press Handbook," *KiJunYeonGuSa*, pp. 175~176.
- (10) 飯泉新五, 1960, "Press Characteristics for Cold Forging and Selection of Press," *日本塑性學會*, Japan, pp. 547~548.