

중공축 소재를 이용한 전후방 복합압출의 성형 특성

김성현¹, 이호용[#]

Forming Characteristics of the Forward and Backward Tube Extrusion Using Pipe

S. H. Kim, H. Y. Lee

(Received October 10, 2005)

Abstract

This paper is concerned with the analysis of material flow characteristics of combined tube extrusion using pipe. The analysis in this paper concentrated on the evaluation of the design parameters for deformation patterns of tube forming, load characteristics, extruded length, and die pressure. The design factors such as punch nose radius, die corner radius, friction factor, and punch face angle are involved in the simulation. The combined tube extrusion is analyzed by using a commercial finite element code. This simulation makes use of pipe material and punch geometry on the basis of punch geometry recommended by International Cold Forging Group. Deformation patterns and its characteristics in combined forward and backward tube extrusion process were analyzed for forming loads with primary parameters, which are various punch nose radius relative to backward tube thickness. The results from the simulation show the flow modes of pipe workpiece and the die pressure at the contact surface between pipe workpiece and punch. The specific backward tube thickness and punch nose radius have an effect on extruded length in combined extrusion. The combined one step forward and backward extrusion is compared with the two step extrusion for forming load and die pressure.

Key Words : Combined Tube Extrusion, Pipe, Finite Element Method, Punch Nose Radius, Die Corner Radius, Punch Face Angle

1. 서 론

냉간단조(cold forging)로 생산된 성형품은 부품 제조분야에서 그 범위가 확대되고 있다. 이 방법은 진보된 공구재료와 설계방법에 의해 높은 치수정밀도와 절삭가공공정을 최소화시키는 정형가공으로서 재료의 손실을 막고 기계적 성질을 향상시킬 수 있다[1]. 이러한 단조생산 방식중 압출은 1797년 Joseph Bramah 이 납이나 연성재료의 파이프등을 만들기 위해 압출의 기본적인 원리를 사용했던 이래로 레이디얼 전후방압출 등에 응용

되어 왔다[2]. 특히 튜브압출 성형에 있어서 튜브의 특정한 크기나 짧은 길이를 갖는 형상 혹은 작은 생산량에 대해서는 압연 공정보다 더 경제적이고 경쟁력 있게 생산할 수 있었다. 그러나 오직 복합 피어싱공정(combined piercing)과 연신공정(elongation processes)을 적용시키고 있는 벽두께를 갖는 간단한 형상의 튜브는 로터리 방식의 공정을 사용하여 생산되었지만, 더 복잡한 형상을 갖는 튜브의 경우는 subsequent rolling(rolling and plug rolling processes)이나 드로잉(drawing) 혹은 아이어닝(ironing)을 통해 생산할 수 있었다[3]. 하지만 튜

1. 서한 기술 연구소

교신저자: 동국대 기계공학과 교수.

E-mail: hoyong@dongguk.edu

브성형의 문제점은 소재가 가지는 민감도(instability of the work material)에 의해 성형의 불안정성을 가지고 있어 성형시 내부의 맨드릴로 지지하는 방식을 사용한다[4]. 그러므로 튜브를 생산하는데 있어 대부분의 공정들은 straight mandrel 혹은 전후방 복합압출을 사용하여 전방 튜브압출을 하였다 [5~6]. 이러한 공정방식들은 초기빌렛이 솔리드형인 초기소재를 사용하지만, 상업용으로 생산되는 살두께가 두꺼운 파이프를 쓸 경우 공정 방식에 적용되는 펀치의 형상이 바뀌게 된다.

본 논문에서는 복합압출 공정의 낮은 성형하중과 금형수명에 있어서 유리함[7]을 가지고 솔리드 형태의 초기 소재를 사용하는 기존의 튜브형상을 만드는 공정방식에서 파이프 소재를 이용하였을 경우 파이프의 외경과 내경의 기준으로 설계된 펀치와 다이 형상을 가지고 커플러(Coupler)나 레듀사(Reducer)등의 닛플(Nipple)류와 같이 원통형 튜브로 사용되는 제품의 형상을 통해 소재의 유동특성을 분석하고자 한다. 참고문헌[8]에 따르면 봉형태의 초기 소재에 적용 가능한 균열에 대한 자료들은 파이프 소재에서도 동일하게 적용될 수 있거나, 파이프가 균열에 대하여는 같은 조건에서 봉보다 더 안전하기 때문에 봉에 적용한 수치 등을 파이프 소재에 적용하였다.

모의 실험에 적용된 펀치형상의 설계는 후방 압출에 대하여 ICFG(International Cold Forging Group) [9]이 제시한 펀치직경에 대한 펀치 노우즈 반경의 계산방식을 이용하였다. 이렇게 모의실험에 적용된 초기 소재와 펀치 형상을 가지고 펀치 노우즈 반경의 변화에 따른 소재의 유동특성에 대한 분석을 하기 위해 냉간 압출에 대한 강소성 유한요소법에 기반을 둔 DEFORM-2D™[10]를 사용하여 모의실험을 하였다. 펀치직경에 따른 펀치 노우즈 반경과 펀치 각도를 주요 설계변수로 설정하여 모의실험을 수행하였고, 계산된 결과로서 유동형태와 성형 하중 특성 등을 비교·분석하였다.

2. 유한요소해석 모델링

2.1 해석조건

Fig. 1은 유한요소해석에 사용된 파이프 초기 소재와 최종 형상품을 3차원 형상에 대한 개념도로서 보여주고 있다. 그림에서 볼 수 있듯이 원편의 초기 파이프 소재를 사용하여 펀치와 원추형

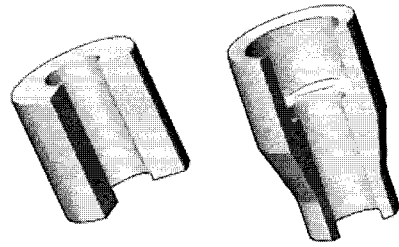


Fig. 1 Schematic diagram of initial billet(left) and final product(right)

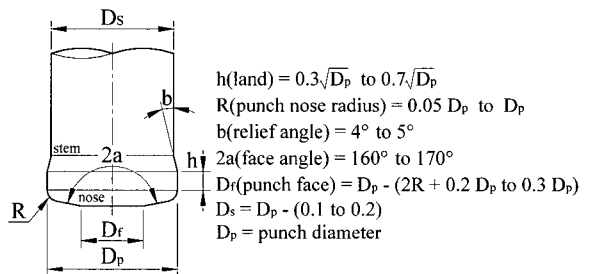


Fig. 2 Punch geometry recommended by ICFG[6]

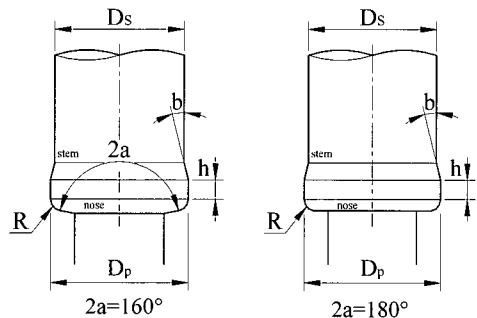


Fig. 3 Punch geometry used in simulation

금형(conical die)를 이용하여 압출성형 하였다. 그리고 초기 파이프 소재는 강소성 변형체로 설정하고 모의 실험을 수행하였다.

여기서 펀치 형상은 ICFG(International Cold Forging Group)[9]에서 제시한 펀치형상을 기반으로 본 모의실험에 적용시켰다. ICFG 에서 제시한 펀치 형상과 본 모의실험에서 적용된 펀치 형상을 Fig. 2와 Fig. 3에서 펀치각도에 따른 두가지 경우로 보여주고 있다.

모의실험에 사용된 초기소재의 재료는 AISI 1015 를 사용하였으며 외경 32mm, 내경 7.6mm(벽 두께 8.4mm), 높이 30mm 의 초기소재를 사용하였

Table 1 Numerical preparation for simulation used in DEFORM-2D™

Workpiece	Number of elements = 4000	
	Number of nodes = 4210	
	detail setting	thickness elements = 4 size ratio = 3
Punch	Stroke = 1.0 mm/sec	
Simulation control	Number of simulation steps	270 step
	Solution steps definition	Equal time increment 0.1 sec

으며, 강소성 유한요소법에 의한 모의실험을 수행하기 위한 소재의 유동응력과 유효변형률의 관계는 멱정리(power law)[11]에 따라 다음의 식(1)과 같다.

$$\bar{\sigma} = 794.3 \bar{\epsilon}^{0.11} \quad (MPa) \quad (1)$$

소재와 금형 사이의 마찰은 비누윤활로서 마찰인자를 0.1 로 가정하여 모의실험을 하였고, 모의 실험시 펀치의 최대행정거리(hs)는 25mm 로 하였다. 그리고 Table 1 에는 강소성 유한요소법을 기반으로된 DEFORM-2D™ 에서 적용시킨 모의실험의 정보를 정리하였다.

2.2 설계변수

Fig. 4 는 모의실험에 사용된 펀치 및 금형과 초기소재 재료에 대한 설계변수들을 복합 압출 공정 전·후로 각각 나누어 나타내고 있다. 본 논문에서는 전방 압출 두께 W1 을 3.7mm 로 고정시킨 후 후방 압출 두께 W2 를 4.4mm, 3.8mm, 3.3mm 로 하여 각각의 후방 압출 두께를 기준으로 나온 펀치 직경에 대한 계산된 펀치 노우즈 반경값에 따라 모의 실험을 진행하였고 Table 2 에 모의실험에 사용된 펀치 및 금형의 기하학적인 치수를 명시하였다.

본 논문에서는 후방 압출 두께에 의해 결정되는 펀치직경에 대해서 계산된 펀치 노우즈 반경과 펀치 각도의 영향에 따른 파이프 소재의 유동을 분석하기 위해 앞서 언급한 설계변수들 중에서 후방 압출 두께에 의해 결정되는 펀치 노우즈 반경(punch nose radius)과 펀치각도(punch face angle), 그리고 마찰인자(friction factor)를 주요 설계변수로 설정하였으며, 그 외로 다이 코너 반경(die corner radius)의 영향도 보았다. Table 3 에서는 펀치직경에 의해 계산된 각 후방 압출 두께에 대한 펀치 노우즈 반경값과 펀치각도 등의 치수를 보여주고 있다.

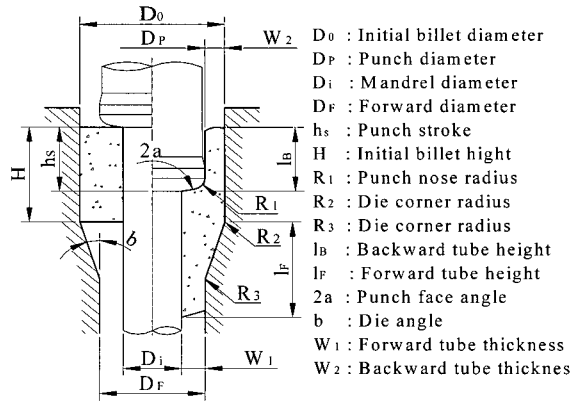


Fig. 4 Die geometry used in analysis

Table 2 Geometrical parameter for the extrusion

Parameters	Values
Initial billet diameter(D0)	32mm
Punch diameter(DP)	23.2mm, 24.4mm, 25.4mm
Mandrel diameter(Di)	15.2mm
Forward diameter(DF)	22.6mm
Initial billet height(H)	30mm
Die angle(b)	17°
Punch stroke(hs)	25mm
Forward tube thickness(W1)	3.7mm
Backward tube thickness(W2)	3.3mm, 3.8mm, 4.4mm

Table 3 Design parameter used in simulation

Parameters	Values	
Punch nose radius	W2 = 4.4	0.74mm, 1.74mm, 2.74mm
	W2 = 3.8	0.83mm, 1.83mm, 2.83mm
	W2 = 3.3	0.905mm, 1.905mm, 2.905mm
Punch face angle	160°, 180°	
Friction factor(m)	0.1, 0.2	
Die corner radius	R2, R3	1mm, 2mm

3. 유한요소해석 결과

3.1 펀치 노우즈 반경(punch nose radius)

본 절은 펀치 노우즈 반경의 영향을 살펴보기 위해 성형하중과 다이압을 토대로 분석하였다. Fig 5 는 Punch face angle 이 180° 에서 후방 압출 두께 4.4mm, 3.8mm, 3.3mm 일 때 ICFG 에서 제시한 계산식을 적용한 펀치 노우즈 반경값인 1.74 에 ±1 의 차이를 둔 펀치 노우즈 반경값을 가지고 모의 실험한 행정-성형하중 그래프이다. 각각의 후방 압출두께에 대한 펀치 노우즈 반경의 변화에 따른 성형하중은 본 모의실험의 설계변수에 대해서

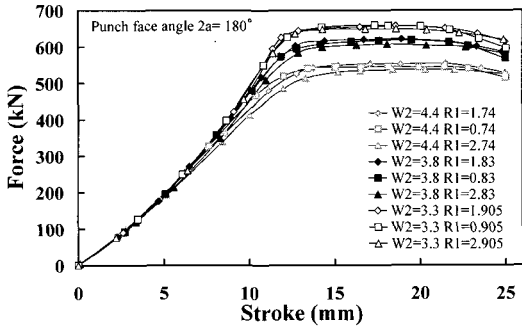


Fig. 5 Load-stroke relationship for various punch nose radius

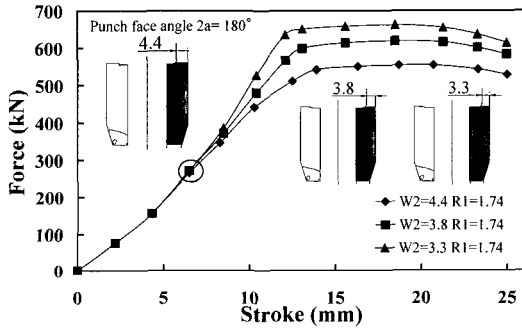


Fig. 6 Load-stroke relationship for W2 (R1=constant)

는 큰 차이를 볼 수 없었지만 후방 압출 두께의 변화에는 큰 차이를 볼 수 있었다.

Fig. 6 에서는 Punch face angle 이 180° 에서 후방 압출 두께의 크기를 4.4mm, 3.8mm, 3.3mm 하여 펀치 노우즈 반경을 1.74mm 로 고정한 후 행정-성형 하중 그래프로 나타내었다. 여기서 성형하중에 있어서 펀치 노우즈 반경보다 후방 압출 두께의 영향이 크다는 것을 확인할 수 있었다. 그래프에서 동그라미 부분은 소재가 펀치 노우즈 반경을 통해 후방압출을 시작하는 부분을 표시하였는데, 이때 소재의 변형형태를 후방 압출 두께별로 도시하였다. 후방 압출 두께가 증가함에 따라 최대성형하중은 감소하며, 펀치 노우즈 반경의 영향은 후방 압출두께가 증가함에 따라 소재가 후방으로의 압출시 일정한 펀치 노우즈 반경의 영향에 따라 성형하중의 기울기가 완만하게 증가하는 현상을 볼 수 있다.

Fig. 7 은 후방압출 길이를 전방압출길이를 나눈 값인 압출길이비(Lb/Lf)를 나타내고 있다. 후방 압출 두께가 커지면 압출길이비 즉, 후방압출길이가 커지며 같은 후방압출 두께에 대하여는 노우즈

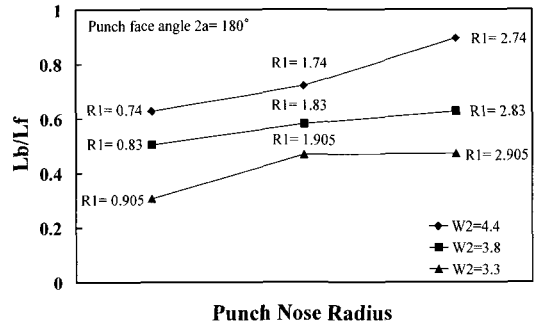


Fig. 7 Extruded length ratio for various punch nose radius

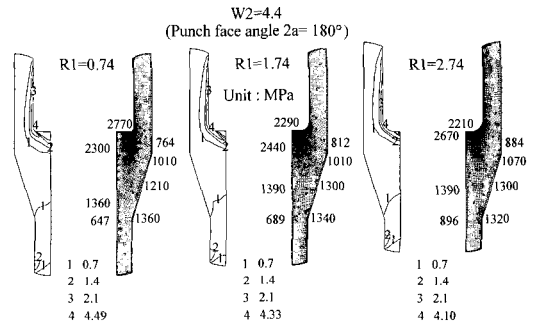


Fig. 8 Deformation patterns and distribution of effective strain for various R1 at W2=4.4

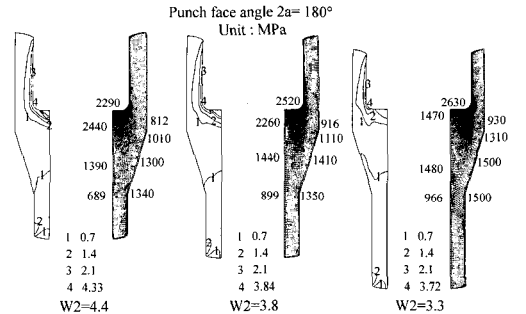


Fig. 9 Deformation patterns and distribution of effective strain for various W2

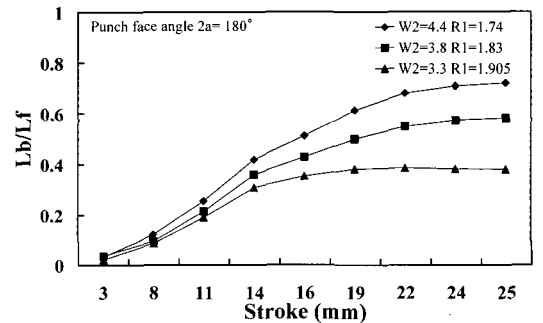


Fig. 10 Extruded length ratio for various W2

반경값이 커지면 압출길이비가 커짐을 알 수 있다. 이는 후방 압출두께와 함께 펀치반경의 변화가 전후방 압출길이비에 영향을 주는 변수이며, 특정 압출길이비를 요구하는 공정에서 유용한 변수로 작용된다고 생각된다.

Fig. 8에서는 Punch face angle 이 180° 에서 후방 압출 두께 W2=4.4mm 일 때 ICFG 에서 제시한 계산식을 적용한 펀치 노우즈 반경값 1.74mm 와 ±1의 차이를 둔 펀치 노우즈 반경값에 따른 유효변형률과 다이압 분포를 보여주고 있다. 다이압의 경우 각 부분에 대한 최대 압력을 표시한 것이다. 펀치 노우즈 반경값이 커질수록 펀치끝단 근처 소재의 유효변형률과 공구면에 작용하는 압력은 점점 감소되는 것을 볼 수 있다.

이상의 결과를 종합하면 노우즈반경 값이 커지면 유효변형률과 공구압은 작아지나 하중감소는 미미하며 압출길이비에는 영향이 크다. 따라서 노우즈 반경은 하중보다는 요구되는 압출길이비에 의하여 결정되어야 하며 ICFG 에서 제시한 펀치 노우즈 반경값들이 일반적으로 요구되는 압출길이비를 만족시키는 것으로 생각된다.

Fig. 9 와 Fig. 10 은 후방 압출 두께가 4.4mm, 3.8mm, 3.3mm 일 경우 ICFG 에 제시한 계산식을 이용한 각각의 펀치 노우즈 반경값 1.74mm, 1.83mm, 1.905mm 일 때의 유효 변형률과 다이압 분포와 이 경우에 행정에 따른 압출길이비를 각각 보여주고 있다. Fig.10 에서 후방 압출 두께 W2=3.3mm 인 경우 행정이 진행되어도 압출길이비가 증가되지 않는 것을 볼 수 있다. 이는 후방 압출길이비가 상대적으로 작다는 것을 의미하며 Fig. 9 에서도 전방 압출길이에 비하여 후방압출길이 가 작음을 확인할 수 있다.

Fig. 11 은 Punch face angle 이 180° 에서 후방 압출 두께 4.4mm 일 때 펀치 노우즈 반경값이 1.74mm 인 경우의 다이 반경값의 변화에 따른 행정-성형하중 그래프이다. 설계변수로 사용한 다이 반경에 대한 성형하중의 변화는 거의 나타나지 않았다.

Fig. 12는 모의 실험에서 최종형상을 기준으로 다단 압출과 단공정 복합압출 성형과정의 다이압 분포와 성형하중을 비교한 결과를 보여주고 있다. 먼저 성형하중의 결과를 보면 다단 압출에 비해 복합압출의 최대 성형하중이 작다는 것을 알 수 있으며, 다이압의 분포 또한 다단 압출에 비해 단공정 복합압출이 상대적으로는 작게 나타나고 있

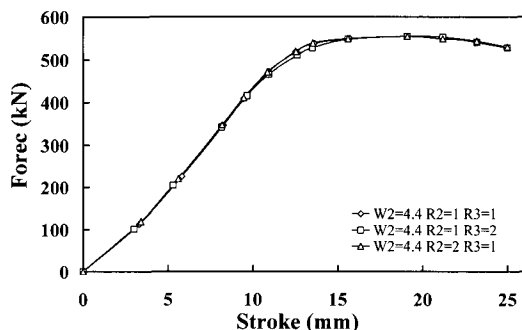


Fig.11 Load-stroke relationship for die corner radius

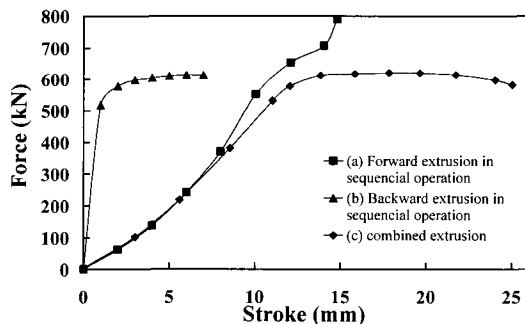
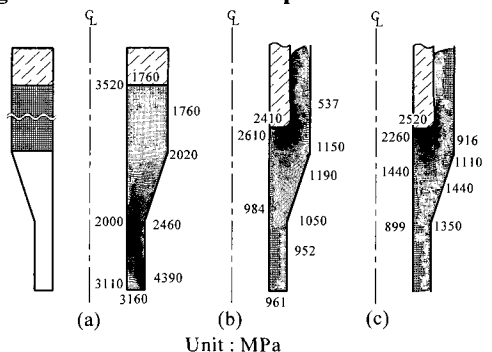


Fig.12 Comparison of die pressure and forming load between combined extrusion and two step extrusion in sequential operation (W2=3.8)

다. 따라서 다단 압출보다는 단공정 복합 압출이 펀치와 다이의 수명이나 제작에 유리하다고 판단된다.

3.2 펀치 각도(punch face angle)

Fig. 13 은 후방 압출 W2=4.4mm 일 때 펀치 노우즈 반경에 따른 펀치 각도의 행정-성형하중 그래프이다. 모든 R1 값에 대하여 펀치각도가 160° 보다 180°에서 성형하중이 크며 차이는 크지 않다. 펀치 노우즈 반경이 0.74 인 경우는 하중차이가 초기 행정에서 발생하고, 1.74 인 경우는 거의 전

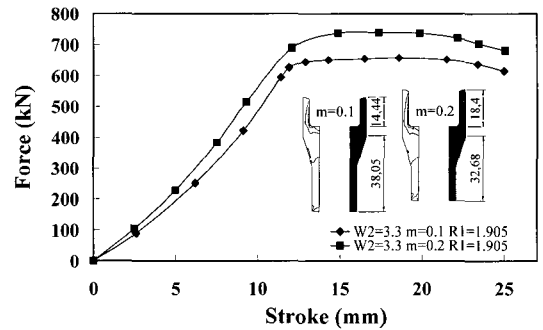
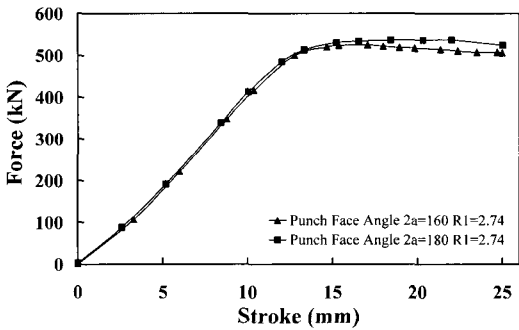
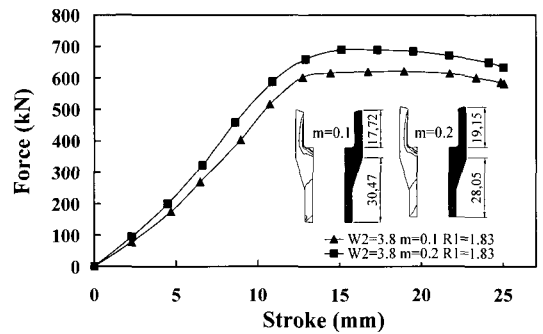
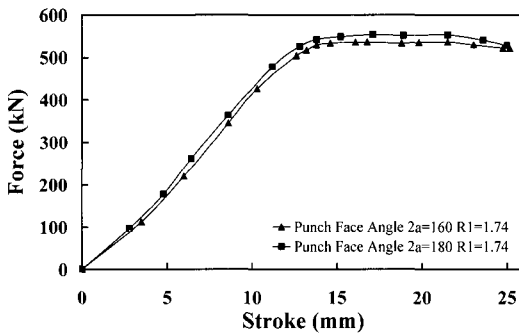
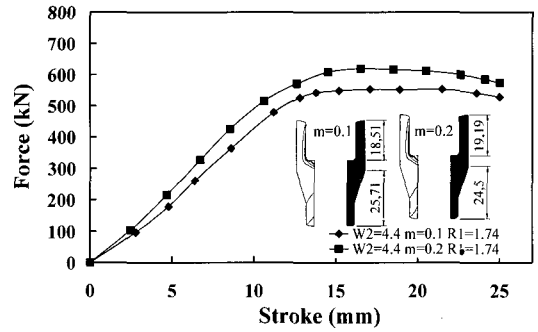
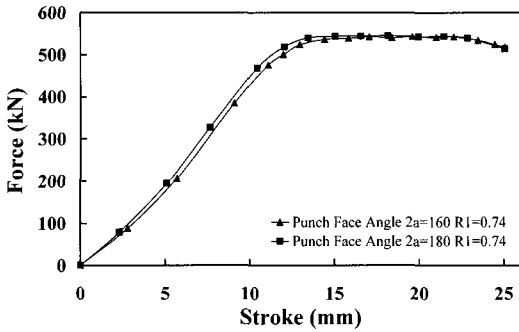


Fig.13 Load-stroke relationship for punch face angle

Fig.15 Load-stroke relationship for friction factor

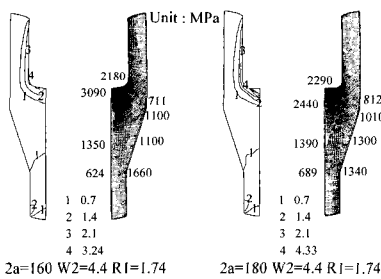


Fig.14 Deformation patterns and distribution of effective strain for punch face angle

펀치 각도의 변화에 의한 성형하중은 펀치 노우즈 반경의 변화와 같이 큰 차이를 보이지 않지만, 펀치 각도도 펀치 노우즈 반경의 변화와 같이 전후방으로 압출되는 소재의 유동에는 영향을 미칠 수 있다. 즉, 펀치 각도 $2a=160^\circ$ 일 때 후방으로의 소재 유동이 잘되어 압출길이비가 증가할 것이다. Fig. 14은 펀치 노우즈 반경이 1.74 mm일 때 펀치 각도의 변화에 대한 금형에 작용하는 압력과 유효변형율을 보여주고 있다. 펀치 각도가 160° 보다 180° 경우에 펀치 끝단 근처 소재에서의 유효변형률과 펀치면압력이 크다는 것을 알 수 있다.

행정에서 발생하며 2.74 인 경우는 행정의 끝에서 하중차이가 발생하는 경향을 보였다.

3.3 마찰(friction)

Fig. 15에서는 후방압출두께 $W2= 4.4\text{mm}, 3.8\text{mm},$

3.3mm 에 대하여 각각의 펀치 노우즈 반경값을 기준으로 마찰인자 변화에 따른 성형하중 그래프를 보여주고 있다. 소재와 금형사이의 마찰이 커지면 소재와 금형사이의 경계면에서 유동저항이 커지게 되므로 성형하중은 더 증가하는 경향을 볼 수 있다.

마찰인자의 증가에 따라 후방 압출길이가 길어지며 후방 압출두께가 작을수록 그 정도가 커지는데 이는 소재의 두께가 작을수록 마찰인자가 유동에 큰 영향을 미치는 것으로 보인다.

4. 결 론

중공소재를 이용한 튜브형상품의 공정 중 전후방 복합압출을 적용시킨 본 연구에서는 튜브형상품의 설계변수로 펀치 노우즈 반경, 펀치각도, 마찰인자 및 다이 코너 반경을 설정 하여 성형하중과 유동 특성을 분석하였다. 이를 바탕으로 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 후방 압출 두께(backward tube thickness)가 커지고 펀치 노우즈 반경(punch nose radius)이 커지면 압출하중은 작아지나 펀치 노우즈 반경의 영향보다 후방 압출 두께의 영향이 크다.

(2) 펀치 노우즈 반경이 커지면 후방으로의 압출이 원활해져 압출길이비가 커지며 후방 압출길이가 늘어난다. 또한 후방 압출 두께가 커져도 압출 길이비가 증대된다.

(3) 펀치 각도가 작아지면 성형 하중은 미소하게 감소하지만 압출길이비는 늘어나 후방압출이 원활하게 된다.

(4) 마찰이 커지면 압출하중이 조금 증가하며, 압출길이비도 증가한다. 후방 압출 두께가 작을수록 마찰의 압출길이비에 대한 영향은 크다.

(5) 최종형상을 기준으로 단공정 복합압출과 다단압출을 비교하면 단공정 복합압출이 성형하중과 다이압이 작아 유리하다.

참 고 문 헌

[1] K. Sevenler, P. S. Raghupathi, T. Altan, 1987,

Forming Sequence Design for Multistage Cold Forging, J. of Mechanical Working Technology, Vol. 14, pp. 121~135.

- [2] 황승규, 이호용, 황병복, 2002, 레이디얼-전방 압출 공정의 성형특성에 관한 연구”, 한국소성학회지, 제 11 권 1 호, pp. 84~89.
- [3] TB Blazynski, 1989, Plasticity and modern metal forming technology, Amsterdam: Elsevier.
- [4] D. Colla, S. B. Petersen, P. A. F. Martins, 1997, An investigation into the performing of tubes, International Journal of Mechanical Sciences, Vol. 39, No. 5, pp. 507~521.
- [5] B. Avitzur, Jr. WC. Hahn, M. Mori, 1976, Analysis of application of combined backward-forward extrusion, J. of Eng. for Industry, Vol. 98, pp. 438~445.
- [6] B. Avitzur, CE. Umana, 1978, Effects and application of geometry variations on the forward-backward extrusion, Proceedings of ASME Conference on Application of Numerical Methods to Metal Forming Processes. A D, Vol. 28, pp. 175~182.
- [7] 최호준, 함병수, 옥정환, 심지훈, 김성현, 황병복, 2004, 전후방 캔 압출공정의 성형하중특성 한국소성학회지, 제 13 권 8 호, pp. 689~695.
- [8] S. Kobayashi, A. H. Shabaik, C. H. Lee, 1969, Analytical prediction of defects occurrence in simple and complex forgings, TECHNICAL REPORT AFML-TR-69-148, Wright-Patterson Air Force Base, Ohio 45433.
- [9] Int. Cold Forging Group, 1983, General recommendations for design, manufacture and operational aspects of cold extrusion tools for steel components, ICFG Doc. No 6/82, Portcullis Press.
- [10] Scientific Forming Technologies Corporation, 2000, DEFROM-2D Ver. 8.0 Users Manual, Scientific Forming Technologies Corporation Inc.
- [11] Air Force Material Laboratory, 1973, Forming equipment, materials and practices, Metal and Ceramics Information Center, p. 164.