

Can-Flange 성형에서 금형형상에 따른 소재 유동특성

고병두[†] · 이하성

유한대학교 금형설계과

The Material Flow according to Die Geometry in Can-Flange Forming

Byung-Du Ko[†] · Ha-Sung Lee

Department of Tool & Mould Design, Yuhan University

Abstract : The paper deals with an analysis of an extrusion process with a divided material flow in a combined radial - backward extrusion. We have discussed the influences of tool geometry such as punch nose angle, relative gap height, die corner radius on material flow and surface expansion into can and flange region. To analyse the process, numerical simulations by the FEM and experiment by physical modeling using Al alloy as a model material have been performed. Based on the results, the influence of fixed parameters on the distribution of divided material flow and surface expansion are obtained.

Key Words : Combined extrusion, Radial-Backward Extrusion, Tool geometry

1. 서 론

금속성형공정에서 소재유동은 금형으로부터 소재로 전달되는 압력에 의해 발생되며 금형의 형상에 따라 다르게 나타난다.⁽¹⁾ 또한 작용하는 압력은 소재의 특징표면에서의 급격한 변형으로 인해 금형의 마모나 제품의 손상을 유발할 수 있다. can-flange 성형에서 이동편치가 하강하면 소재는 초기에 편치 노즈부의 형상으로 성형된다. 성형이 진행됨에 따라 소재는 상부금형과 하부 평다이 사이의 공간 (cavity)에서 편치 운동 방향에 수직인 반경방향으로 소재가 유동되어 flange부가 성형된다. 이와 동시에 이동편치와 상부금형사이의 공간을 통해 편치의 운동방향과 반대방향으로 소재의 유동이 이루어져 can이 성형된다. 이러한 성형 방식은 복잡한 형상을 갖는

부품의 성형이나 공정수를 절감하기 위해 2가지 방식을 동시에 혼용하는 복합압출(combined extrusion)의 형태로써 2개 이상의 압출구를 통해 동시에 압출이 진행되기 때문에 단공정 압출에 비해 성형하중을 최소화 할 수 있으며 과도한 성형하중에 의한 금형의 수명저하를 방지할 수 있다.⁽²⁾ 2개 이상의 압출구를 갖는 복합압출에 있어 소재유동은 유동저항이 더 작은 방향으로 쉽게 이루어진다. 따라서 원하는 제품형상을 얻기 위해서는 어느 한 방향의 소재유동을 구속하는 금형형상이 필요하다.⁽³⁾ 이와 관련한 연구로써 Kuzman⁽³⁾은 상하복합의 전후방압출에 있어 소재 및 다이형상과 마찰이 유동길이에 미치는 영향을 해석과 실험을 통해 연구하였다.

Bennani⁽⁴⁾는 후방압출에서 편치형상에 따른 성형형태와 표면확장이 윤활에 미치는 영향을 연구 하였다. 또한 플랜지의 성형과 관련하여 다이형상과 마찰에 따른 성형특성에 대한 연구가

[†] kobd9@hanmail.net

접수 : 2012. 05. 10. 채택 : 2012. 11. 16.

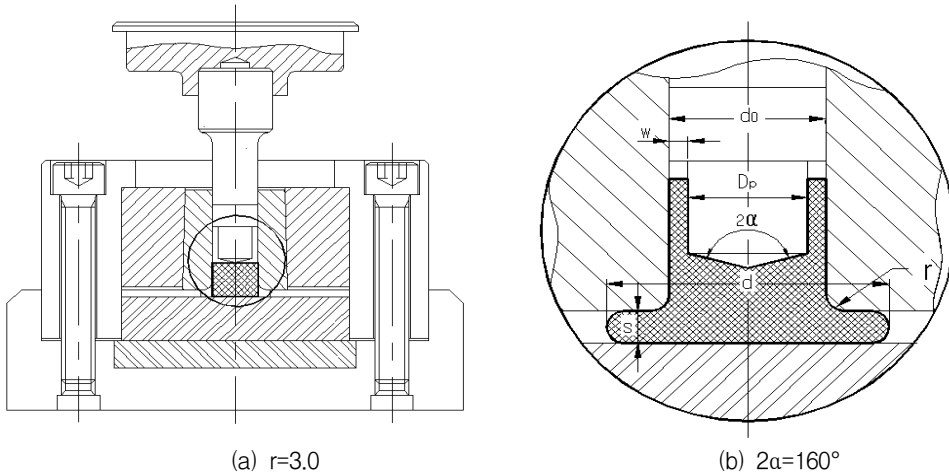


Fig. 1. Schematic illustration of the tool utilized in radial-backward extrusion

Table 1. Parameters of radial-backward extrusion used in experiment and simulation

Parameters		Values
Geometric Condition	Gap Height(s)	2, 4, 6, 8 (mm)
	Die Corner Radius(r)	1, 3, 5 (mm)
	Gap Width(w)	4 (mm)
	Relative Gap Height (s/w)	0.5, 1.0, 1.5, 2.0
	Punch Nose Diameter(Dp)	24 (mm)
	Punch Nose Angle (2α)	*S 140, 160, 170 (degree) *E 160 (degree)

많이 수행되어왔다.⁽⁵⁻⁷⁾

$$\sigma = 28.6 \varepsilon^{0.17} \quad (\text{Kgf/mm}^2) \quad (1)$$

2. 유한요소해석 및 실험조건

2.1 물성실험

본 실험에 사용된 재료는 알루미늄 합금인 Al3105 이며, 열처리를 하지 않은 상태이다. 압축시험에 사용된 시편의 높이와 직경은 각각 20mm로 가공하여 제작하였으며, 유압프레스에서 1mm/sec의 압축속도로 최종변형도 약 1.1 까지 단계를 나누어 압축하였다. 단축 압축실험을 통하여 Power law⁽⁸⁾에 (전방)의한 재료상수인 강도계수(strength coefficient, K)와 가공경화지수(strain-hardening exponent, n)를 결정하였으며, 그 결과는 다음 식과 같다.

본 논문에서는 윤활제로써 상용 그리스에 이황화몰리브덴(MoS₂)을 혼합하여 사용하였다. 금형과 소재사이의 마찰인자 값을 구하기 위하여 링압축실험⁽⁹⁾을 수행하였다. 사용된 시편의 치수는 외경이 30mm로써 외경 : 내경 : 높이의 비가 각각 6 : 3 : 2로 가공하여 시편의 끝단과 금형에 윤활제를 도포한 후 높이감소율을 여러 단계로 나누어 링압축실험을 하였다. 이와 같은 링압축실험으로부터 높이감소율과 최소 내경변화율의 보정곡선을 비교하여 결정한 마찰인자 값은 0.1 이다.

2.2 유한요소해석

Table 1은 주요설계변수를 보여주고 있다. Fig. 1의 상세도에서 보듯이 펀치의 하강에 따라 상부다이(container)와 하부다이의 갭(s)을 통해 소재의 유동이 펀치의 방향과 수직으로 이루어져 플랜지가 성형된다. 이와 동시에 펀치와 상부다이 사이의 갭(w)을 통해 소재가 위쪽으로 유동하면서 캔이 성형된다. 이러한 복합공정의 주요 설계변수는 플랜지성형부의 갭높이(s), 다이코너반경(r), 캔성형부의 펀치노즈(nose)각도(2 α) 등이며, 각각의 출구단면의 크기가 소재유동에 미치는 영향을 평가하기 위해 상대갭높이(s/w)를 주요변수로 선정하였다. 펀치의 코너반경은 2mm, 후방압출이 일어나는 펀치와 상부다이사이의 갭 간격은 4mm로 고정하였다. 시뮬레이션은 물성실험을 통해 얻어진 식 (1)의 조건과 마찰인자 값을 감소성 유한요소코드로 되어있는 ALPID⁽¹⁰⁾ 프로그램에 동일하게 적용하여 해석하였다. 시뮬레이션에서 사용된 설계변수의 값들은 실제 공정에 적용 가능한 범위 내에서 여러 가지로 변화시켜 가면서 모의실험을 수행하였다.

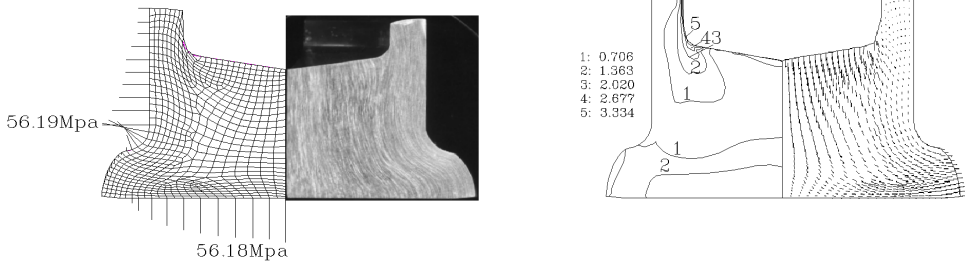
2.3 성형실험

성형실험을 위하여 다이와 펀치를 제작하였다. 금형의 설계에서는 성형하중에 의한 금형의 탄성변형 방지에 중점을 두었으며, 이젝팅(ejecting)요소는 고려하지 않았다. 금속성형공정에서 다이 인서트는 매우 높은 다이압을 받게 되어 다이의 변형이나 파손이 유발될 수 있다.⁽¹¹⁾ 따라서 본 금형에서는 테이퍼 면접촉을 갖는 보강링을 사용하여 인장볼트의 체결력에 의해 상부다이에 예압을 부여하였다. 또한 테이퍼의 축방향 분력을 이용하여 플랜지 유동시 상부다이에 작용하는 압력에 의해 갭높이가 변하는 것을 방지하도록 하였다. 윤활제는 물성실험과 동일한 것을 사용하였고 실험에 사용된 소재는 직경 32mm, 높이 25mm의 원통형상으로 선반가공 하였다. 윤활제는 물성실험에서와 동일한 것으로 상용그리스에 MoS₂를 혼합하여 사용하였다. 압출실험은 50 tonf의 단동 유압프레스에서 수행하였으며, 프레스 램의 속도는 1mm/sec로 하였다. 압출

실험에서 펀치노즈각도는 160°에서만 수행하였으며, 이 외에 실험에서 사용된 주요 설계변수와 마찰은 해석과 동일한 조건으로 수행하였다.

3. 해석 및 실험결과

복합압출공정은 각 압출구의 설계변수와 공정조건의 차이로 인해 두 방향의 소재유동을 동시에 마치도록 하는 것이 거의 불가능하다. 일반적으로 한 방향의 소재유동을 다이에 의해 구속하여 소요의 치수로 성형한 후 다음의 압출구로 유동을 시키게 되며, 이로 인해 다이압력이 크게 증가된다.⁽¹²⁾ 따라서 두 방향의 출구단면에서 소재유동에 균형을 갖도록 하는 금형의 형상이 요구된다. Fig. 2(a)와(b)는 각각 행정거리 10mm에서 시뮬레이션으로부터 얻어진 다이압 분포, 유효변형률 분포, 속도벡터와 실험에 의해 성형된 시편의 단면을 나타낸다. Fig. 2(a)의 다이압은 상부금형인 다이인서트와 접촉된 전체 길이에서 다이코너 반경쪽으로 갈수록 점점 증가하는 것을 볼 수 있다. 플랜지가 성형되는 하부다이의 접촉압력은 반경방향으로 갈수록 점차적으로 줄어들고 있음을 알 수 있다. 최대 다이압은 다이코너반경에 작용하고 있으나 다이코너반경의 다이압 크기는 플랜지의 축중심에 작용하는 다이압과 거의 동일하게 나타나고 있다. 이것은 2개 이상의 압출구를 통해 동시에 압출이 진행되기 때문에 압출하중이 다이코너반경에 집중되지 않기 때문이다. Fig. 2(b)는 시뮬레이션에 의한 유효변형률 분포와 속도벡터 분포를 나타낸다. 유효변형률은 캔성형부의 펀치와 접촉한 코너반경에서 가장 크게 나타났으며, 소재의 중간높이로 갈수록 변형률은 다른 곳에 비해 상대적으로 매우 작은 값을 나타내고 있다. 캔이 성형되는 후방압출부의 요소와 플랜지의 축중심 요소는 상대적으로 매우 작은 크기의 속도벡터를 가지고 유동하고 있음을 볼 수 있다. 펀치가 하강함에 따라 캔의 성형은 펀치압하중에 의해 이루어지며 유동은 거의 정체되고 있다. 또한 접촉압력에 의해 소재가 고착되면서 플랜지 축중



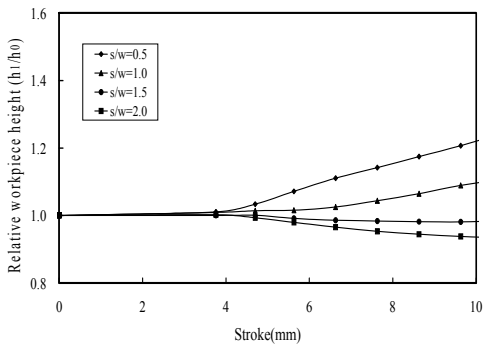
(a) Comparison of plastic flow between simulation(left) and experiment(right)

(b) Effective strain(left) and velocity vector plots(right)

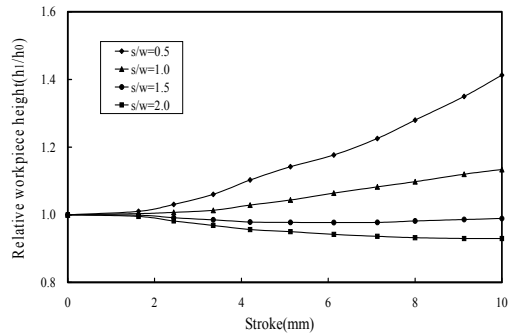
Fig. 2 Flange-can forming in the radial-forward extrusion at stroke 10mm with $s=6$, $r=3$

심 요소는 반경방향의 유동이 구속되고 있다. Fig. 3(a)와 (b)는 각각의 설계변수에서 펀치 행정에 따른 소재높이의 변화를 나타낸 것이다. 그림에서 h_0 는 성형 전 소재높이, h_1 은 성형후의 소재높이를 나타내고 있다. 펀치 노즈각도와 상대 갭높이에 따라 소재높이의 변화가 다르게 나타나고 있다. 펀치 노즈면이 소재에 압입되기 전에는 소재의 높이변화가 거의 없음을 알 수 있다. 따라서 펀치 노즈각도 170° 는 140° 에 비해 소재높이의 변화가 더 빠른 행정거리에서 이루어지고 있다. Fig. 6.4(a)와 (b)에서 갭높이가 1.0 이하인 경우 펀치 노즈각도 170° 는 140° 에 비해 소재높이가 상대적으로 더 빠르게 증가되고 있으나, 소재높이가 줄어드는 상대갭높이 1.5 이상에서 소재높이의 변화는 펀치각도에 따라 큰 차이가 나타나지 않았다. 상대갭높이 2.0인

경우 소재의 높이는 행정이 진행될수록 지속적으로 감소하는 경향을 보이고 있으며, 동일한 행정거리에서 펀치 노즈각도 170° , 상대 갭높이 0.5인 경우의 성형된 소재높이가 가장 크게 나타났다. 펀치노즈각도에 관계없이 상대 갭높이 1.0 이하에서 소재의 높이가 증가되고 있음을 알 수 있다. 이는 상부다이(container)와 하부다이의 갭(s)이 상대적으로 작아 플랜지를 성형하는 소재의 유동이 캔쪽으로는 유동에 비해 구속되기 때문으로 판단된다. 상대 갭높이 1.5 이상에서 소재높이는 공정초기의 높이감소에 비해 공정후반으로 갈수록 소재높이 감소가 둔화되는 경향을 보이고 있다. 이러한 현상은 공정후반에 다이 코너반경에 소재가 채워지면서 플랜지로의 유동시 소재와의 접촉면적이 커짐에 따라 유동저항이 증가하여 캔으로의 유동이 커지기 때문이다.



(a) $2\alpha=140^\circ$



(b) $2\alpha=170^\circ$

Fig. 3 Variation of workpiece height ($r=3$)

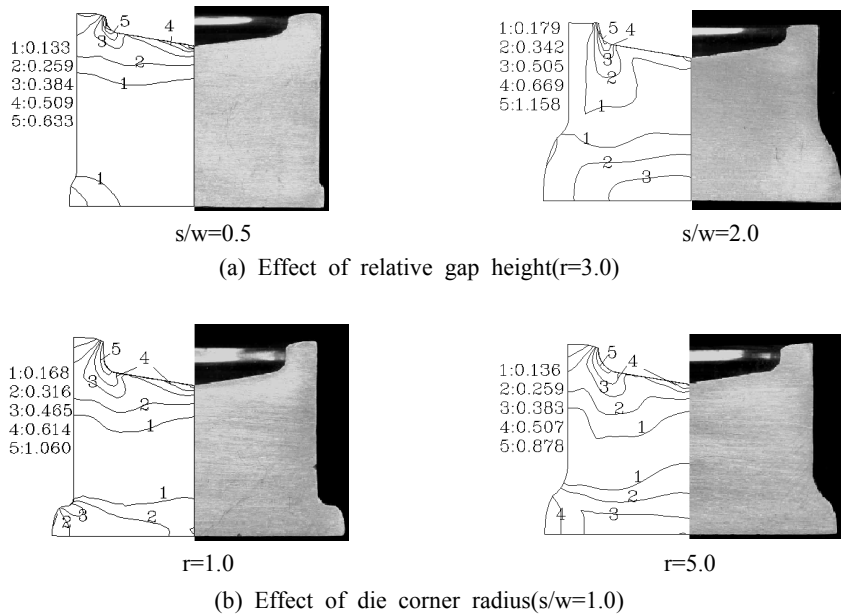


Fig. 4 Comparison of plastic flow between simulation (left) and experiment (right) for various parameters($2\alpha=160^\circ$)

Fig. 4(a), (b)는 각각의 설계변수에서 유동된 소재의 형상을 실험과 시뮬레이션을 비교한 것이다. 해석과 실험을 비교한 유동형태가 매우 유사함을 알 수 있다. 시뮬레이션에서 유효변형률은 모든 경우 캔성형부의 펀치와 접촉한 코너반경에서 가장 크게 나타났다. 플랜지의 성형부에서는 플랜지의 끝단과 하부금형과 접촉한 축중심부근에서 상대적으로 유효변형률이 크게 나타나고 있다. 소재의 중간높이로 갈수록 변형률은 다른 곳에 비해 상대적으로 매우 작은 값을 나타내고 있다. Fig. 4(a)는 시뮬레이션과 밀링가공하여 중심을 분할한 성형시편의 단면사진을 다이코너반경 3mm에서 갭높이에 따라 비교한 것이다. 갭높이 2.0에서 캔성형에 비해 플랜지성형을 위한 소재유동이 상대적으로 많이 이루어지고 있다. 이로 인해 소재높이가 감소된 것을 알 수 있다. 이에 비해 상대갭높이 0.5에서는 플랜지부의 유동구속으로 인해 캔으로의 유동이 상대적으로 많아져 소재높이가 증가된다. Fig. 4(b)는 동일한 갭높이에서 다이코너반경에 따라 비교한 것이다. 금속성형공정에서 다이코너반경은 응력의 집중과 전단응력을 완화시켜 소재표

면의 크랙(crack)을 방지하고 유동을 원활하게 한다.⁽¹³⁾ 상대적으로 다이코너 반경이 작은 경우에서의 유효변형률이 다이코너반경에서 크게 나타나고 있어 다이코너반경의 소재유동이 구속되고 있음을 알 수 있다. 동일한 갭높이에서 다이코너반경이 클수록 플랜지로의 유동이 원활하게 나타내고 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 can-flange에 대한 시뮬레이션과 실험을 통해 금형의 형상이 유동길이와 표면확장에 미치는 영향을 분석하였으며 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 상대갭높이가 1.0이하인 경우 갭높이가 각각의 소재길이에 미치는 설계변수의 영향이 크게 나타난다.

(2)동일한 행정거리에서 펀치 노즈각도 170°, 상대 갭높이 0.5인 경우의 성형된 소재높

이가 가장 크게 나타난다.

(3) 최대 다이압은 다이코너반경에 작용하고 있으나 다이코너반경의 다이압 크기는 플랜지의 축중심에 작용하는 다이압과 거의 동일하게 나타난다.

(4) 다이코너반경이 클수록 상대적으로 유효 변형률이 고르게 분포한다.

참고문헌

- 1) Saiki, H., Ngaile, G., Ruan, L., "Influence of Die Geometry on the Workability of Conversion Coatings Combined with Soap Lubricant in Cold Forming of Steels", J. of Material Processing Tech., Vol. 63, pp. 238-243, 1997.
- 2) Osen, W., "Possibilities and Limitation of Cold Extrusion Processes Combined with Radial Advanced Technology of Plasticity", Vol. 1, pp. 575-582, 1987.
- 3) Kuzman, K., Pfeifer, E., Bay, N., Hunding, J., "Control of Material Flow in a Combined Backward Can-Forward Rod Extrusion", J. of Material Processing Tech., Vol. 60, pp. 141-147, 1996.
- 4) Bennani, B., Bay, N., "Limits of Lubrication in Backward Can Extrusion: Analysis by the Finite-Element Method and Physical Modelling Experiments", J. of Material Processing Tech., Vol. 61, pp. 275-286, 1996.
- 5) B. D. Ko, S. H. Lee, D. J. Kim and B. B. Hwang, "The Influence of Die Geometry on the Radial Extrusion Processes", J. of Material Processing Tech., Vol. 113, pp. 109-114, 2001.
- 6) Y. S. Lee, S. K. Hwang, Y. S. Chang, B. B. Hwang, "The Forming Characteristics of Radial-Forward Extrusion", J. of Material Processing Tech., Vol. 113, pp. 136-140, 2001.
- 7) D. H. Jang, H. J. Choi, J. H. Choi, H. Y. Lee and B. B. Hwang, "A Study on the Forming Characteristics of Radial Extrusion Combined with Backward Extrusion", Trans. of Material Processing, Vol. 9, No. 7, pp. 754-760, 2000.
- 8) Air Force Material Laboratory, Forming Equipment, Materials, and Practices, Metal and Ceramics Information Center, p. 164, 1973.
- 9) Lee, C. H., Altan, T., "Influence of Flow Stress and Friction upon Metal Flow in Upset Forging of Rings and Cylinders", Trans. ASME, J. of Engn. for Industry, Vol. 94, No. 3, p. 775, 1972.
- 10) S. I. Oh, Lahoi, G. D., Altan, T., ALPID-a General Purpose FEM Program for Metal Forming, Proceeding of NAMRC. IX, State College, Pennsylvania, 1981.
- 11) Y. Qin and R. Balendra, 1995, "FE simulation the influence of die-elasticity on component dimensions in forward extrusion" Int. J. of Mach. Tools Manufact., Vol. 37, pp. 183-192.
- 12) Osakada, K., Wang, X., Hanami, S., "Precision Forging Process with Axially Driven Container", J. of Material Processing Tech., Vol. 71, pp. 105-112, 2001
- 13) Giadini, C., Ceretti, E., Maccarini, G., "Formability in Extrusion Forging; the Influence of Die Geometry and Friction Conditions", J. of Material Processing Tech., Vol. 54, pp. 302-308, 1995.