

카세트롤러와 홀다이를 이용한 원형소재에서 사각형 단면 인발 비교

최종인* · 한철호**

Comparison of Square Section Drawings from Circular Billets through Cassette-Roller-Dies and Hole Die

J. I. Choi and C. H. Han

Abstract

In the drawing from round billet to non-circular section there are two different processes through solid hole die(HD) and the other cassette roller dies(CRD). The CRD process has several cassette type rollers and a billet is able to move through the given gaps between two profiled rollers. The objective of this study is based on the analysis and evaluation of two aforementioned processes using experiments and finite element simulation. In order to simulate the multi-stage drawing process from circular sectioned billet to rounded square section, the finite element analysis is applied to the process using a commercially available DEFORM-3D code. Two types of experimental drawing tests through designed and manufactured dies for pure copper and aluminum alloy are carried out at room temperature. The analysis included comparison of material properties before and after drawing of each process and also provide some useful information by a FEM simulation.

Key Words : Drawing Methods, Hole Die, Cassette-Roller-Dies, CRD, Square Section Drawing

1. 서론

공업적으로 유용한 여러 이형 단면을 갖는 선재들이 인발공정을 통해 제조되고 있다. 종래에는 원추형의 홀다이(hole die, 이하 HD)를 통한 인발이 많이 사용되었으나 근자에 카세트롤러다이(cassette-roller-dies, 이하 CRD)를 이용한 인발법을 통해서도 다양한 단면형상재를 제조하고 있다. HD의 경우는 인발중 단면적을 감소시키는 형태의 다이를 통과 하면서 다이출구 형상의 다양한

단면제품을 얻는 공정이며 원형단면재를 인발하는 용이한 방법이나 비원형 소재의 경우는 금형제작과 수정이 용이하지 않으며 소재의 크기와 요구 단면형상에 따라 별개의 금형을 제작해야 하는 단점이 있다. CRD에 의한 공정은 소재가 각 카세트내에 안배된 한쌍의 롤러 사이를 순차적으로 통과하며 물에 의해 인발하는 방법으로 단면형상에 따른 카세트의 교체와 롤러의 간격 조정이 용이하므로 유용성이 높으며 다단으로 적층하여 복잡한 단면형상재의 인발성형이 가능하다. 또한 롤러의 회전에

* 금오공과대학교 대학원 생산기계공학과

** 금오공과대학교 기계공학부

의한 마찰력도 감소하는 역할도 한다.

HD를 이용한 봉과 선재인발 공정에서의 공정변수의 영향 및 결합발생 기구에 대해 Avitzur⁽¹⁾는 인발가공중 나타나는 내부결합을 다이반각, 마찰조건, 단면 감소율 등의 공정변수를 조사하여 내부결합이 발생하지 않는 공정변수를 제안하였다.

Gunasekera와 Hoshino⁽²⁾는 비원형 단면을 갖는 인발 공정에 대해 상계해법을 이용한 최소 인발력을 기준으로 하는 최적의 홀다이형상을 구하는 새로운 방법을 제안하였다. Boer⁽³⁾ 등은 상계해법과 유한요소해석법을 이용하여 원형에서 사각 단면재의 인발공정을 연구하였다.

롤러형 다이 인발의 경우는 De-Wen 등⁽⁴⁾이 선재인발에 대한 이론해석법을 발표한 바 있으며 최근 Laila와 Bayounmi.⁽⁵⁾가 원형에서 사각단면형을 가지는 인발성형에서 홀다이스와 아이들롤러를 이용하여 정상상태의 롤러의 하중과 인발력을 계산한 연구결과를 발표하였다.

본 연구에서는 원형에서 사각단면을 가지는 인발 공정을 HD와 CRD를 이용하여 같은 사각단면의 형상의 소재를 인발하는 공정을 상용코드인 DEFORM 3D와 실험을 통해 비교해 보고, 성형방법에 따른 기계적 성질의 변화 등을 순동과 Al2011 두 재료에 대하여 연구하고자 한다.

2.1 해석공정

Fig. 1과 Fig. 2는 각각 본 연구 대상 공정인 HD를 통하여 원형소재로부터 금형출구와 같은 사각형 단면 소재를 인발하는 공정과 수직 및 수평 방향의 성형을 위해 카세트내에 설치된 한쌍의 롤러 사이를 통과하면서 성형하는 방법인 CRD 공정의 개략도이다.

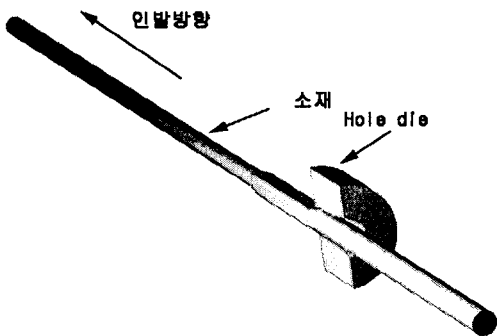


Fig. 1 Hole die(HD) process

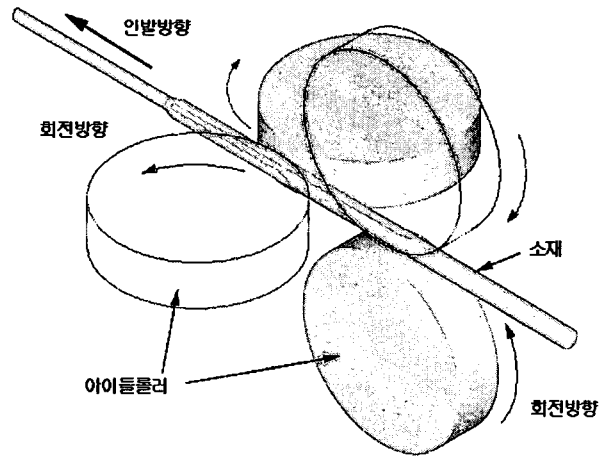


Fig. 2 Schematics of Cassette-Roller-Dies(CRD) process

2.2 해석모델링

인발 작업을 하기 위해서는 먼저 스웨징작업을 해야한다. 본 연구에서는 스웨징다이 $\phi 4.3$ mm를 기준으로 HD의 최종단면은 4.4 mm × 4.4 mm 인 라운딩된 사각 단면으로 설계하였으며 정상상태에서 31.8%의 단면 감소율을 가진다. 해석을 위한 모델링은 I-DEAS를 이용하고 대칭성을 고려하여 1/4만 해석대상으로 하였으며 Fig. 3과 Fig. 4는 HD와 CRD를 모델링한 것이다.



Fig. 3 Hole die modelling

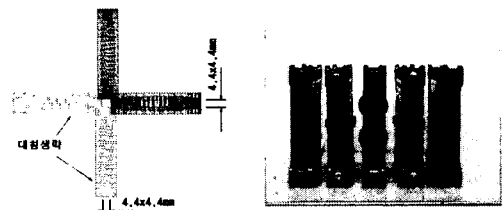


Fig. 4 Cassette roller Die modelling

3. 실험

시편소재는 균질성을 확보하기 위해 완전풀림처리하였으며 만능시험기(Shimadzu AG25T)의 인장시험을 통해 사용소재인 순동과 Al2011에 대한 아래와 같은 유동응력식을 얻었으며 이를 유한요소해석시 사용하였다.

$$\bar{\sigma} = 57.81 \bar{\epsilon}^{0.599} \text{ kgf/mm}^2 \text{ 순동} \quad (1)$$

$$\bar{\sigma} = 38.82 \bar{\epsilon}^{0.372} \text{ kgf/mm}^2 \text{ Al2011} \quad (2)$$

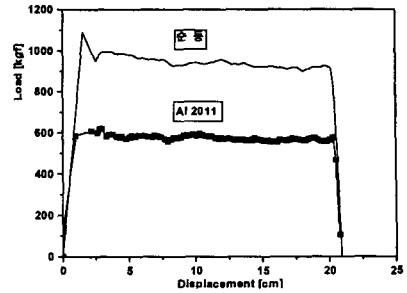
인발시험에 사용한 소재는 $\phi 6 \text{ mm} \times 500 \text{ mm}$ 인 소재를 길이의 1/2 정도되게 스웨징기(Yoshida 1500)를 통해 $\phi 4.3 \text{ mm}$ 로 가공하고 각 금형에 장입하여 인발이 가능하도록 하였다. 인발기(5tonf, Yoshida Kinen co.)는 벤치형의 유압식으로 CRD 또는 HD를 이용하여 원형 및 이형을 인발할 수 있는 구조이다. 실험에 사용된 홀다이는 SKD11으로 와이어 방전과 전극가공을 통해 직접 제작하여 사용하였다. CRD에서는 적층하는 개별 카세트의 롤러간격이 조절되며 원형에서 사각단면을 인발하기 위해 3적층 CRD를 사용하였다. 인발시험시 윤활제로는 Shell 사의 윤활유(텔레스 오일 Z)를 사용하였다.

4. 결과 및 고찰

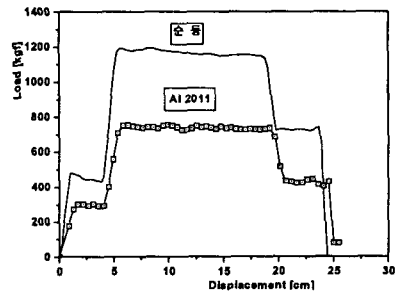
가. 인발하중

Fig. 5는 HD와 CRD를 각각 이용한 인발실험 결과의 변위(렘 스트로크)에 따른 인발 하중을 보여 주고 있다. HD의 경우 소재 초기 부위가 다이출구를 통과한 후 곧 정상 상태에 도달하며 인발공정의 종료시 까지 그 하중이 유지된다. 반면에 CRD다이는 1차 성형롤러 구간, 1차와 2차 성형롤러 사이에서 동시 성형되는 구간과 최종 단계에서 2차성형롤러에서만 하중을 받는 부분으로 구분할 수 있다.

동일 형상 치수의 사각형 단면재의 인발시 이 실험 결과에서와 같이 인발방법에 따라 인발하중에 차이가 나고 있으며 CRD의 경우가 HD에 의한 방법보다 재료에 따라 약간의 차이는 있지만 약 25% 정도 높은 인발력이 요구되고 있다.



(a) HD



(b) CRD

Fig. 5 Load-Displacement graph

나. 인발후 재료 물성

인발실험 후 인발법에 따른 재료 물성변화를 측정하기 위해 인장시험을 수행하였으며 Fig. 6은 순동의 경우 인장력과 변위의 실험결과로 CRD의 경우가 HD법에 의한 경우보다 최대하중이 크고 연신율도 커짐은 주목할 만하다.

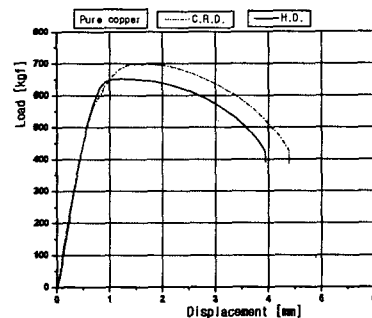


Fig. 6 Results of tensile test after drawing

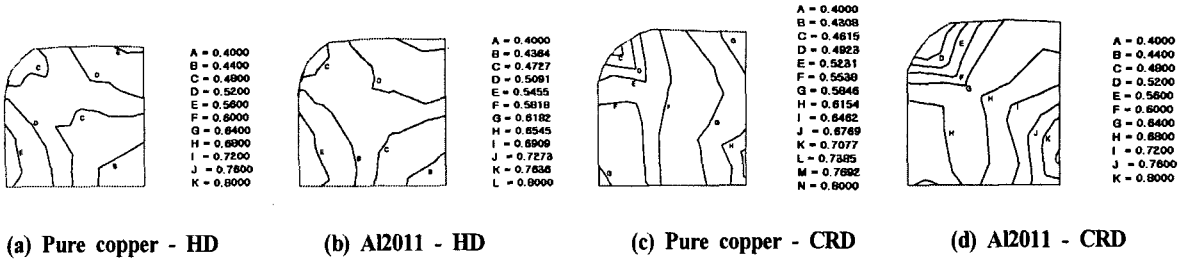


Fig. 7 Effective strain distribution on the final sections, through different die methods by simulation

Fig. 7은 유한요소해석 결과 각각의 성형 방법과 재료별 인발 후 최종 단면에서 유효변형을 분포를 나타내고 있다. HD의 경우 순동과 Al2011 재료에 따라 약간의 차는 존재하지만 대개 변형률이 0.4~0.6 범위에 있으며 라운드된 코너부와 내부에서 변형률이 작고 표면부가 조금 크다. CRD의 경우는 대부분의 영역에서 변형률이 0.5~0.8 범위에 있으며 HD의 경우 보다 변형률이 큰 것으로 나타났으며 이것은 Fig. 6의 실험결과와 잘 부합되고 있다. 또 CRD의 경우 내부의 변형률이 표면부위 보다 큰 양상을 띠고 있으며 전체적인 변형률이 HD의 경우보다 약간 큰 양상이다. 상면과 측면의 변형률 분포는 제품 형상의 대칭성에도 불구하고 순차성형으로 인한 변형률 분포의 차이가 존재하고 있다.

동일재료의 인발 후 경도는 측정오차를 감안하더라도 CRD의 경우가 HD의 경우 보다 전반적으로 높으며 이것은 Fig. 7의 유한요소해석결과에서 유효변형을 분포와 같은 양상을 띠고 있다. 또한 재질에 따라 약간의 차이는 있지만 대략적으로 CRD에 의한 최종 인발제품은 내부의 경도가 표면 근처보다 높은 경향이 있으며 이는 앞의 이론결과 Fig. 7(c, d)과 잘 일치하고 있다.

5. 결론

본 연구에서는 인발방법(HD, CRD)에 따른 원형소재로부터 사각단면재의 인발공정을 상용코드인 DEFORM-3D로 해석하고 실제 실험을 통해 공정변수 및 제품의 특성을 연구하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) CRD 인발력이 HD의 경우보다 약 25% 크다.
- (2) 동일재료의 인발시 CRD법이 HD보다 큰 변형을 하고 있으며 실험결과 경도도 높다.
- (3) CRD 법에 의한 제품은 내부의 경도가 외부 표면부에 비해 높다.
- (4) CRD 법으로 강도와 연성 개선이 가능하다.

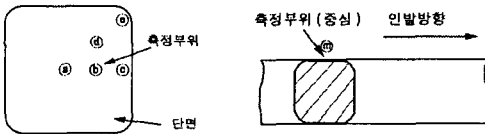


Fig. 8 Measured points for hardness

Fig. 8은 인발실험 결과 성형된 실제 제품의 단면과 표면부에서 경도분포를 얻기 위한 측정점을 나타내고 있으며 Table 1은 해당점에서의 마이크로비커스(micro Vickers) 경도 측정값을 보여 주고 있다.

Table 1 Hardness for drawn billets

Type	position		(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
	Material							
HD	순동		119	115	124	132	126	119
	Al2011		91.1	92.3	86.6	99.5	86	79.6
CRD	순동		141	140	124	137	126	132
	Al2011		101	102	91	96.3	85.6	94

참고 문헌

- (1) Avitzur, B., 1983, Handbook of Metal Forming Processes, John Wiley & Sons.
- (2) Gunasekera J. S., Hoshino S., J. Eng. & Ind. Trans. ASME 1982; 14: 38~45
- (3) Boer C. R., Webster Jr., 1985, J. of Eng. Ind. Trans. ASME Vol. 107, pp.254~260
- (4) De-Wen Z. et al., 1993, Wire industry, SEP, pp. 493~496
- (5) L. S. Bayoumi, 1998, Int. J. Mech. Sci., Vol. 41, pp. 1323~1338