

## 형재 절단금형 개발에 관한 연구

박귀선\*, 이춘만\*\*

### Development of a Channel Cutting Die Set

Kui Sun Park\*, Choon Man Lee\*\*

#### ABSTRACT

Many kinds of channels are used in industrial equipment and production machinery. Although mechanical saw has been used to cut many sorts of channels, there is cost rise problem because of low productivity. Shearing of channel has a special place because it helps to cut expected shape and size easily.

A channel cutting die set which can be mounted and used on a hydraulic press is developed to improve the productivity of channel cutting process. Mode for the channel cutting is divided into single cut and double cut method. This study use double cut method, and the developed channel cutting die set is composed of upper and lower die set. Shearing time can be reduced from 40 minutes to 20 seconds using the developed channel cutting die set. The productivity of channel cutting process can be increased with shearing time reduction as well as cost reduction.

**Key Words** : Effective stress(유효응력), Shearing(전단), Clearance(간극)

#### 1. 서론

소성가공은 금속의 소성변형을 이용하여 원하는 형상의 제품을 가공하는 방법인데, 생산성 향상과 기계적 성질의 개선면에서 우수한 가공법이다. 더욱이 압축유효응력(Effective stress)이 발생하는 상황이면 재료는 더욱더 치밀하게 되어 좋은 기계적 성질을 나타내게 된다.

특히 소성가공 중 전단(Shearing)가공은 원하는 모양, 크기, 마무리를 매우 쉽게 얻을 수 있기 때문에 매우 경제적이다. 최근 몇 년 동안 기계산업에서 전단가공의 이점에 대한 인식이 증가해 왔고, 소규모 경량부품의 제조에 이 가공이 널리 퍼지고 있다.

형재절단금형(Channel cutting die set)에서 가장 중요한 부분은 다이 세트(Die set)이다. 다이 세트의 구조는 Fig. 1과 같은 구조로 되어 있는데, 윗칼날과 아랫칼날, 상부 다이 세트와 하부 다이 세트로 구성된다. 윗날은 칼날이 한 개로 유압 램(Ram)에 고정되어 있고 아랫날은 칼날이 두개가 한 세트(Set)로 하부 다이 세트에 고정되어 있는데, 윗날이 하강하여 재료를 전단하게 된다.

전단형식은 싱글컷(Single cut)방식과 더블컷(Double cut)방식<sup>(1)</sup>으로 나눌 수 있다.

첫번째로, 싱글컷 방식이란 Fig. 2에서 보는 바와 같다. 그 특징은 비교적 경량의 재료를 전단하는 데에 사용된다.

\* 창원대학교 대학원 기계설계공학과

\*\* 창원대학교 기계설계공학과

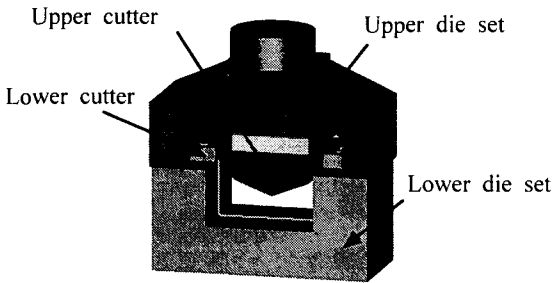


Fig. 1 Structure of die set

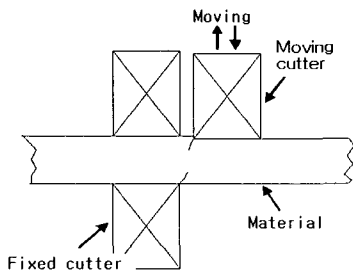


Fig. 2 Schematic view of single cut

그리고 닫힌 형(Closed section)에는 적용할 수가 없다. 여기서 닫힌 형이란 재료의 단면이 닫혀진 것을 말한다. 칼날 두께는 비교적 두꺼운 양상이고, 측압에 대처하는 능력이 강하며, C·C·Z·V 등 형재 전단에 많이 사용된다.

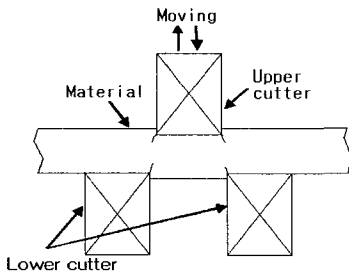


Fig. 3 Schematic view of double cut

두번째로, 더블커트방식이 있다. 그것은 Fig. 3에서 보는바와 같다. 이 방식의 특징은 재료를 아래 두 칼날로 지지하고 상하칼날로 2면을 전단하는

방식이다. 이것은 비교적 중량물의 전단에 사용될 수 있다. 닫힌 형인 파이프(Pipe)의 전단에도 사용 가능하다. 그리고 측압의 영향이 강하게 작용한다. 그래서 칼날의 두께도 고려가 되어야 한다. 본 연구에서는 더블커트방식에 의해 해석했다.

전단가공은 원하는 모양, 크기 마무리를 매우 쉽게 얻을 수 있기 때문에 매우 경제적이다. 전단 변형가공에서의 변형은 국부전단변형의 집중급힘의 형성에 의해서 비탄성 변형이 자주 수반되는 편치와 다이 사이의 좁다란 지역에 국한되어 있다.

Biegel<sup>(2)</sup>은 스트레인게이지 다이너모미터(Strain gauge dynamometer)를 이용해서 스템핑과 블랭킹 작업을 수행하는 중에 응력측정기를 제작했다. 그의 실험결과는 간극은 최대전단응력에는 영향을 미치지 못하고 요구되는 일에는 영향을 미친다고 말한다. Hugo<sup>(3)</sup>는 주로 절삭칼날 특성의 여러 가지 분류에 관해 연구해 왔고 편치-다이 간극이 증가할 때 요구되는 압력에너지는 감소한다고 제시해 왔다. Ghosh<sup>(4)</sup>는 블랭킹 작업중의 금속 변형에 관한 간단한 모델을 제시하였다. 이 모델을 사용해서 최적간극과 다른 매개변수 사이의 근원적 이론관계가 발전되었었다. Yamamoto<sup>(1)</sup>는 구형강의 최대전단하중을 추정할 수 있는 실험식을 제시하였다. Oh<sup>(5)</sup>등은 유한요소해석 소프트웨어 DEFORM을 이용해 전단기계장치를 실험했었다. 유한요소해석법은 다른 해결방법과 비교해 훨씬 더 유연성이 있고 복잡한 문제의 분석이 가능하기 때문에 현대작업에 쓰이고 있다. 무엇보다도 전단가공의 등온선과 비등온선의 유한요소해석 시뮬레이션은 유한요소해석 소프트웨어 DEFORM을 사용해서 수행되어진다. Kim<sup>(6-7)</sup>은 변형을 겪는 동안 전복(Roll-over)은 간극이 증가함에 따라 증가하고 연성과파괴조건과 요소제거기법(Element kill method)의 조합된 프로그램을 개발하여 전단과정의 처음에서 마지막까지의 유한요소해석 시뮬레이션을 통하여 전단면의 형상을 조사하였다. Choi<sup>(8-9)</sup>는 금형 부품들의 공정 및 금형 설계와 금형부품의 가공을 자동화할 수 있는 블랭킹 및 피어싱용 CAD/CAM 시스템을 개발하였다.

산업용 설비나 생산용 기계에 여러 가지 형재(Channel)가 다량으로 이용되고 있다. 여러 종류의 형재 전단에는 일반적으로 기계톱 등이 사용되고 있으나, 낮은 생산성으로 인해 제조원가 상승의 요인이 되는 문제점을 안고 있다. 이 문제점을 해결하기 위하여 본 연구에서는 형재 전단공정의 생산

성을 향상시킬 수 있는 유압을 이용한 형제절단금형을 개발하는데 연구 목표가 있다.

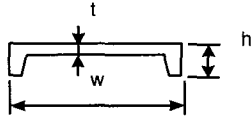


Fig. 4 Channel dimension

전단 대상 형제는 Fig. 4에서처럼  $w=200\text{mm}$ ,  $t=7.5\text{mm}$ ,  $h=80\text{mm}$ 와  $w=300\text{mm}$ ,  $t=9\text{mm}$ ,  $h=90\text{mm}$ 의 2종류이다.

상용소프트웨어인 DEFORM을 이용하여 전단 대상 형제를 간극의 변화에 따른 소성변형 유한요소 해석을 하고, 최대전단하중은 Yamamoto<sup>(1)</sup>에 의해 제시된 실험식을 이용한다.

그리고 유한요소 해석과 최대전단하중을 설계 기준으로 하여 더블커트방식에 의한 형제절단금형을 개발하였다.

## 2. 해석

간격의 변화에 따라 소성변형 해석 전문 소프트웨어인 DEFORM을 이용하여 전단공정을 해석함으로써 물리적 실험에서 발생할 수 있는 인적, 물적, 시간적 낭비를 줄이고 가장 적당한 판재 전단(Shearing)가공환경을 찾고자 한다. DEFORM은 유한요소해석방법을 사용하고 있다. 유한요소해석방법은 다른 문제해결 방법과 비교해 훨씬 더 유연성이 있고 복잡한 문제의 분석이 가능하기 때문에 현대작업에 널리 쓰이고 있다. DEFORM은 격자가 늘어나는 단조공정 등에서는 적합하지만 격자가 잘리는 전단공정의 해석에는 한계가 있다. 전단공정의 간극을 감소시킬수록 격자가 급격하게 잘리면서 해석되기 때문에 문제가 발생한다. 따라서 본 연구에서는 판재의 재질을 AISI4013로 하고, 판재 두께가 일정하다고 가정하였으며 3차원 해석을 하면 계산 시간이 방대해지기 때문에 판재를 2차원으로 정의하여 해석하였다. 그리고 간극의 변화에 따른 판재의 전단변형 형상을 예측하기 위해 DEFORM을 이용하였다.

Fig. 5는 판재에 생성된 격자를 나타낸 것이다. 해석대상인 판재는 다이와 공구가 만나는 지점에서 제일 큰 전단저항을 받게 되며 변형이나 다른 물리

적 변화량도 크다. 따라서 보다 나은 해석결과를 얻기 위해 이 부분의 격자를 조밀하게 생성시킨다.

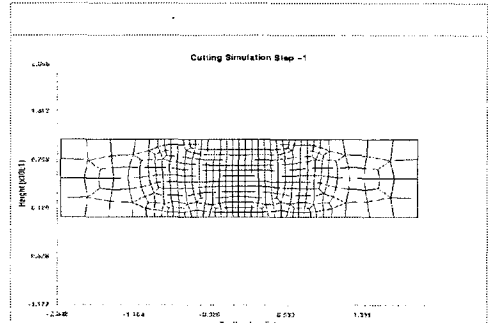


Fig. 5 Initial mesh system

DEFORM 소프트웨어에서 시뮬레이션과정을 통해 해석하고 Post processor 과정을 통해서 간극의 변화에 따른 해석결과를 살펴보았다. 간극은 10%~7%까지 변화시켰으며 간극이 작아질수록 좋은 전단면을 얻을 수 있었다. 따라서 간극을 7%보다 작게 하면 더 좋은 전단면을 얻을 수 있다. 하지만 DEFORM을 이용한 해석에서 간극 7%이하의 해석이 불가능하였다. DEFORM의 해석방법은 격자가 늘어나는 단조공정 등에서는 적합하지만 전단공정 같이 격자가 잘리는 경우에는 해석에 한계가 있었다. 때문에 가장 좁은 해석 한계간극인 7%를 설계 참고자료로 활용하고자 하며 간극이 8%, 9%, 10%인 경우에 대해서도 해석해 보았다.

간극의 변화에 따른 해석 결과로서 유효응력분포의 변화는 다음과 같다.

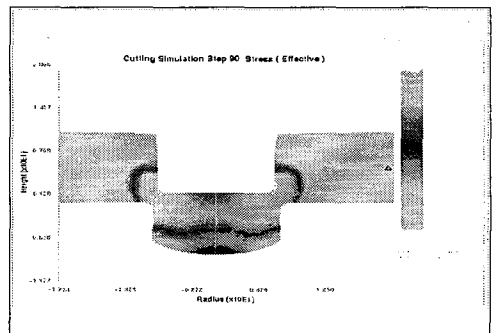


Fig. 6 Effective stress distribution for 7% clearance

Fig. 6~9는 간극 7%~10%일 때의 유효응력분

포를 나타낸다. 그림에서 살펴 본 것과 같이 재료가 전단변형을 받는 동안 전단밴드구역 밖에 있는 물질은 거의 변형이 없다. 전단변형을 받는 재료는 회전하면서 아래쪽으로 흘러간다. 그리고 간극이 증가할수록 전단면에서의 전복은 증가한다.

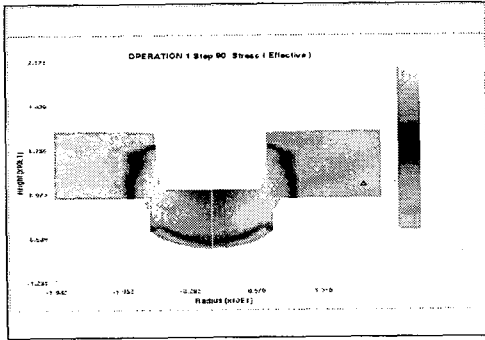


Fig. 7 Effective stress distribution for 8% clearance

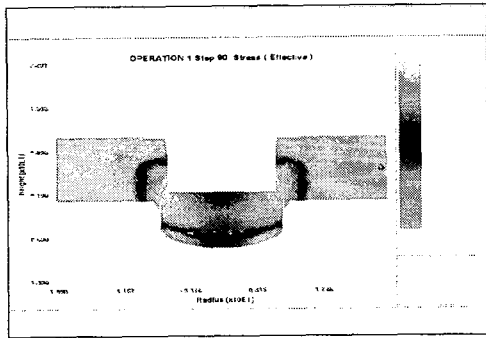


Fig. 8 Effective stress distribution for 9% clearance

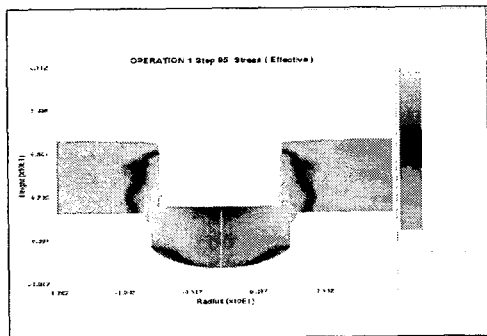


Fig. 9 Effective stress distribution for 10% clearance

전복이 증가하면 좋지 못한 가공면을 얻게 되며, 후가공 즉 세이빙가공을 해야 하는 부분이 생긴다. 전단면에서는 전단저항이 가장 크기 때문에 유효응력이 가장 크고, 간극이 증가할수록 유효응력의 영향을 받는 면적이 증가한다. 그 결과 가공 이후에도 잔류유효응력이 남아서 세이빙(Shaving)가공을 해야 하는 부분이 생긴다.

일반적으로 전단공정에서 추천되는 적정간극<sup>(11)</sup>은 5%~10%의 간극을 사용한다. 하지만 본 연구에서는 DEFORM의 해석 한계간극이며 해석을 통하여 가장 좋은 전단면을 얻는 7%간극에 대한 각 물리량에 대해 자세히 살펴보았다. 2차원으로 전단 과정을 해석하여 칼날의 형상에 의한 전단효과를 기대할 수 없기 때문에 간극 7%를 추천간극으로 사용할 수 없었다. 그래서 설계에서는 간극을 조절 가능하도록 하였다.

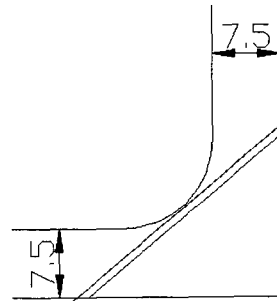


Fig. 10 Calculation of area

윗칼날이 형재의 아래 양모서리 부분을 전단할 때 전단면적변화량이 가장 크기 때문에 이 부분에서 전단하중이 가장 크게된다. Fig. 10에 도시된 것과 같이 형재의 양모서리 부분에서 최대 면적변화를 구한다.

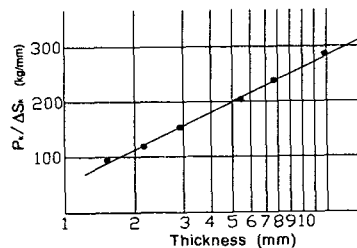


Fig. 11 Relationship of  $P_k/\Delta S_k$  and material thickness

그리고 Fig. 11에서의  $P_k/\Delta S_k$ 와 재료두께의 관계<sup>(1)</sup>에서 7.5t일때  $P_k/\Delta S_k$ 를 도출하면 240 kg/mm이다. 여기서 최대전단하중을 구하면 다음과 같다.

$$P_k = 240(Kg/mm) \times 43.8266(mm) = 10,518Kg$$

위에서 구한 최대전단하중을 동력으로 환산하면 0.824kW가 된다. 작업의 안전 등을 고려하면 유압의 용량을 3마력으로 충분하다.

### 3. 설계

본 연구에서 설계한 형재절단금형의 전체 조립도를 Fig.12에 나타내었다. 형재절단금형은 유압프레스기에 부착하여 형재를 전단하는 장치로서 상부 다이세트와 하부 다이세트로 구성되어 있다. 상부 다이세트와 하부 다이세트는 4개의 포스트(Post)로 연결한다. 상부 다이세트는 모판(Top plate), 윗칼날, 펀치홀더(Punch holder), 받침판(Backing plate), 타이로드(Tie rod)로 구성되어 있고, 하부 다이세트는 아랫칼날, 다이로 구성되어 있다.

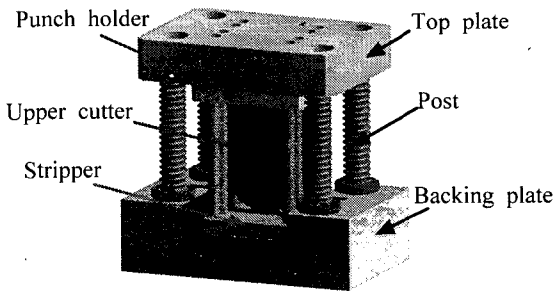


Fig. 12 The modeling of a designed channel cutting die set

형재 전단시 형재의 휨, 유동을 억제하고 칼날의 파손을 방지 및 전단면을 양호하게 하기 위하여 스트리퍼(Stripper)를 장착시켰다. 스트리퍼는 모판에 고정되어 있는데, 유압장치가 모판에 하중을 가하면 윗칼날과 같이 내려오면서 형재가 움직이지 못하도록 한다.

Fig. 13은 윗칼날과 아랫칼날에 의해 C형재를 전단하는 형태를 나타낸 것이다. 윗칼날이 내려 오면서 형재의 중앙부로부터 전단하기 시작하며 이어서 형재의 상단 모서리 부분이 전단된다. 윗칼날이 형재

의 아래 양모서리 부분을 전단할 때 전단면적변화량이 가장 크기 때문에 이 부분에서 전단하중이 가장 크게 된다. 이때의 전단하중을 최대전단하중이라 하며 본 장치의 유압용량을 계산하는데 사용하였다.

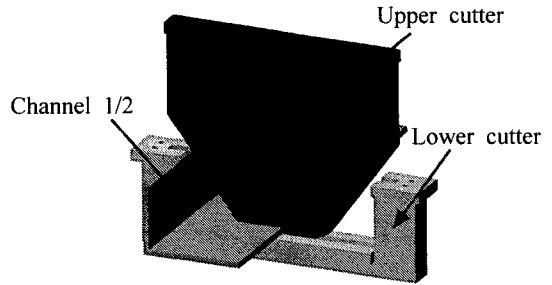


Fig. 13 Shearing of channel

본 연구에서는 전단하려는 형재가 길이 방향으로 동일한 형상을 가지므로 전단과정을 2차원으로 해석하였다. 이 해석방법은 계산은 간단하나 전단과정에서 3차원 형상의 칼날에 대한 전단효과를 예측할 수 없다. 따라서 장치에서 사용할 칼날형상을 정하기 위해 Yamamoto<sup>(1)</sup>의 연구 내용을 참고하여 칼날형태를 더블 V로 정하였다. Yamamoto는 실험을 통하여 칼날형태와 전단효과에 대한 연구를 하였는데 본 연구와 같이 전단하려는 형재가 C형태인 경우 더블 V형태의 칼날이 좋은 전단면을 얻는데 효과적이었다.

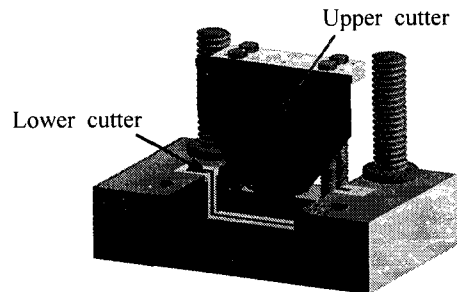


Fig. 14 The positions of upper cutter and lower cutter

Fig. 14는 아랫칼날 2개가 하나의 세트로 구성되어 있고, 그 형상은 형재의 형상과 같은 C형태이다. 간극의 변화는 아랫칼날의 교환에 의하여 변경되도록 하였다.

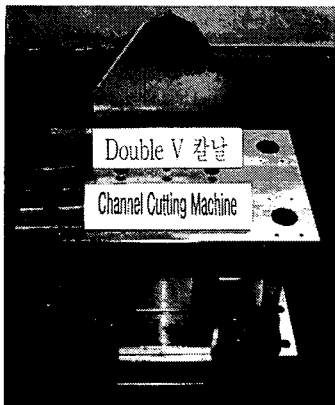


Fig. 15 Channel cutting die set

Fig. 15는 본 연구에 의해 개발한 형재절단금형을 나타낸 것이다.

#### 4. 결론

일반적으로 산업용 설비나 생산용 기계에 이용되고 있는 여러 종류의 형재 전단에는 기계톱 등이 사용되고 있다. 이 방법은 전단시간이 많이 소요되고 많은 소음으로 인해 생산성 및 작업환경의 저하를 야기 시킨다. 따라서 본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하여 형재 전단공정의 생산성 및 작업환경을 향상시킬수 있는 유압을 이용한 형재절단금형을 개발하였다.

본 연구에서 개발한 형재절단금형은 더블커트 방식을 채택하였고, DEFORM을 이용한 2차원 해석으로 형재의 소성변형을 해석하였다.

다음은 본 연구에서 얻은 결론이다.

1. 간극이 증가할수록 형재의 넓은 영역에 큰 유효응력을 받게 되므로 잔류유효응력에 의한 가공경화현상을 일으키게 되며 형재는 공구 쪽으로 굽힘유효응력을 받아서 휘어지는 경향을 보인다. 이는 가공면의 품질에 나쁜 영향을 끼친다. 따라서 후처리 과정 즉, 셰이빙(Shaving)가공을 해야 하는 불편이 따르게 된다.

2. 본 연구에서 개발한 형재절단금형을 이용하여 생산업체에서 C형 형강재를 전단하면 기존에 40분정도 소요된 전단시간을 20초 내외로 줄일 수 있다.

3. 전단시간의 절약으로 형재 전단공정의 생산

성을 향상시킬 수 있으며, 제조원가 절감에 기여할 수 있다.

4. 본 연구 결과는 열린 형강재(Open section), □형과 같은 닫힌 형강재(Closed section)등의 형재 절단금형 개발에 활용될 수 있다.

#### 참고문헌

1. 山本邦充·赤堀明夫·宮田勉, "形材およびパイプ材料の走行シャリング," 塑性の加工, Vol. 20 No. 219, pp. 276-282, 1979.
2. J.E. Biegel, "Punch-die clearances," Tool Manuf. Eng. 49, pp. 89-92, 1962.
3. H.H. Hugo, "Good stamping starts with the dies," Iron Age, pp. 72-74, 1969.
4. A. Ghosh, V. Raghuram, P.B. Popat, "A new approach to the mechanics of the blanking operation: theoretical model and experimental verification," J. Mater. Process. Technol., 11, pp. 215-228, 1985.
5. S.H. Jeong, J.J. Kang, S.I. Oh, "A study on sharing mechanism by FEM," KSTP, Spring Annual Meeting, pp. 211-223, 1995.
6. Dae-Cheol Ko, Byung-Min Kim, Jae-Chan Choi, "Finite-element simulation of the shear process using the element-kill method," J. Mater. Process. Technol., 72, pp. 129-140, 1996.
7. 고 대철, 김 철, 김 병민, 최 재찬, "요소제거기법에 의한 판재 전단가공의 유한요소 시뮬레이션," 한국정밀공학회지, 제13권, 제11호, pp. 114-123, 1996.
8. 최 재찬, 김 병민, 김 철, 윤 지훈, "불규칙형상의 박판제품에 관한 블랭킹 및 피어싱용 통합적 CAD 시스템," 제15권, 제2호, pp. 124-133, 1998.
9. 최 재찬, 김 철, 박 상봉, "불규칙형상 박판제품의 블랭킹 및 피어싱용 CAD/CAM 시스템," 한국정밀공학회지, 제15권, 제8호, pp. 174-182, 1998.
10. R.A.C Slater, 소성공학(Engineering Plasticity), 청문각, 1996.
11. 사전연구사 편집부, 기계공학편람사전 I, 한국사전연구사, 1995.