

# 자동차용 강판의 전단작업시 발생하는 버어에 관한 연구 A Study on the Burr Height in Shearing Steel Sheet for Automobile Parts

고대림 · 정동원 · 김진무 · 이경식

D. L. Ko, D. W. Jung, J. M. Kim and K. S. Lee

**Key Words** : Shearing Parameters(전단변수), Clearance(클리어런스), Burr(버어), Cutting Angle(전단날 각도), Tool Sharpness(전단날 마모량)

**Abstract** : Punching, blanking, trimming and slitting are widely used in shearing processes in sheet metal forming of automotive parts. In this paper the effects of clearance, cutting angle and tool sharpness on the formation of burr were investigated by experimental method in shearing processes of steel sheets, SPEN and SPRC35E. The amount of burr and the shapes of burr were different between two kinds of steel sheets. It has been shown that the cutting angle of the shearing blade had no effects on the height of burr when the clearance was below the 10% of the steel sheet thickness, and also that the height and shape of burr were not affected by the cutting angle when the wear of shearing blade was below the 10% of the steel sheet thickness. It was known that there had been existing the critical clearance of 10 to 15% for the tested steel sheet, SPEN and SPRC35E.

## 1. 서 론

전단가공은 펀치와 다이를 이용하여 일정한 모양의 형상을 절단하는 방법으로 가공속도가 빠르고 장비가 비교적 간단하고, 최종제품의 치수정밀도가 우수하여 대량생산에 적합하므로 자동차의 차체, 항공기, 가전제품의 부품산업에서 판재의 성형 및 제조에 가장 많이 사용되고 있는 가공법중의 하나이다. 이와 같은 전단가공법에는 펀칭(punching), 블랭킹(blanking), 트리밍(trimming), 슬리팅(slitting), 노칭(notching) 등이 있다.

Chang과 Swift(1)는 처음으로 클리어런스(clearance)와 날 끝의 예리함이 전단에 미치는 영향을 연구하였고, E. Taupin(2) 등은 블랭킹에서 버어(burr)의 형성에 관하여 연구하였다. D. C. Ko(3) 등은 요소소거법을 사용하여 전단가공을 유한요소법으로 해석하였으며, Ming Li(4),(5)는 트리밍

(trimming)에서 절단면의 형상과 버어의 발생에 관하여 연구를 수행하였으며, S. I. Oh(6) 등은 황동박판의 전단시 클리어런스와 전단 홀더 및 전단력등에 따른 버어의 발생 경향에 관한 연구를 수행한 바 있다. 그러나 자동차의 외형 판넬(outer panel)등과 같은 대물제품의 생산에서 성형성을 향상하기위해 다이 페이스(die face)의 각도를 고려하여 설계함으로써 트리밍시 전단날의 각도와 마모량 그리고 판재의 재질 등에 따라 버어의 형상도 다르게 나타난다. 자동차산업의 경우 트리밍공정에서 형성된 심한 버어는 종종 아래 공정에서 성형된 부품의 표면에 손상을 입히고, 부품을 결합할 때 용접작업에도 영향을 미치며, 전단된 부품을 다루는 과정에서 안전상의 위험을 일으키기도 한다. 위와 같은 이유에서 일반적으로 버어의 높이를 가지고 전단금형의 교체 및 재연마 시기를 결정한다.

본 연구에서는 현재 자동차 차체성형에 주로 사용하고 있는 일반강판(SPEN)과 차체의 강성을 위해 사용되는 고장력강판(SPRC35E) 두 종류에 대해서 전단날의 각도와 클리어런스 그리고 전단금형의 마모량에 따른 버어의 특성을 알아보기 위해 실험을 수행하였고 각각의 특성에 대하여 고찰하였다.

접수일 : 2007년 5월 14일, 채택확정 : 2007년 : 8월 16일  
고대림 : 울산대학교 대학원, 기계자동차공학부  
정동원(교신저자) : 제주대학교 기계에너지시스템공학부  
E-mail : jdwcjeju@cheju.ac.kr, Tel : 064-754-3625  
김진무,이경식 : 울산대학교 기계자동차공학부

## 2. 전단 이론

전단작업은 Fig. 1과 같이 펀치와 다이 사이에 소재를 놓고 전단응력을 가함으로써 절단하는 작업이다. 전단이 발생하는 과정을 살펴보면, 펀치와 다이 사이의 소재를 가압하면 소재의 표면은 인장응력을 받으며, 이 응력은 펀치와 다이의 날끝부에 집중되고, 가공이 진행됨에 따라 소재는 탄성변형을 거쳐 소성변형영역으로 이동하며 소재를 압축한다. 가공이 진행되어 날끝부의 압축응력이 소재의 전단강도보다 크게 되면 Fig.1 (a)와 같이 전단이 시작되고 마침내 Fig. 1 (b)와 같이 펀치와 다이의 날끝부의 전방에서 크랙(crack)이 발생하여 서로 이어지면서 파단되는 것이다(7)~(9).

전단면은 롤오브(roll over), 전단면(shear zone), 파단면(rupture zone) 및 버어(burr)로 나타나며 형상은 Fig. 2와 같다. 여기서 버어의 두께는 다이의 날끝에서 버어까지의 수평거리를 말한다.

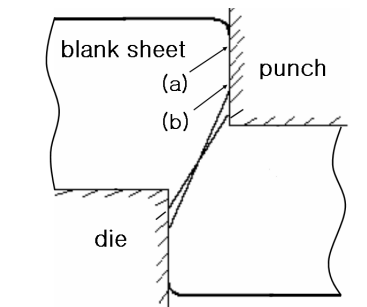


Fig. 1 Shearing process

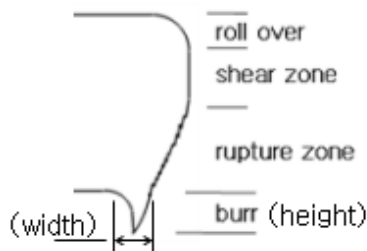


Fig. 2 Definition of the portions of the sheared surface

전단작업에 영향을 미치는 인자는 금형의 재질 및 펀치와 다이의 틈새인 클리어런스, 펀칭속도, 전단소재의 종류, 전단날의 마모 정도, 전단날의 전단각, 전단시 상/하 홀더(holder)의 유무 및 형상 등이 있다. 전단작업에서 발생하는 절단면의 형상은 제품의 특성에 따라 조립, 형상정밀도에 영향을 미친다(10).

## 3. 실험장치 및 방법

### 3.1 실험장치

Fig. 1과 Fig. 2는 전단실험을 위한 자체 제작한 금형의 형상을 나타낸 것으로 금형은 다이부 전후의 이동으로 블록게이지를 이용하여 전단 클리어런스의 조절이 가능하도록 하였고, 전단날의 각도변환을 위해 다이플레이트에 각각의 조건에 맞는 전단날을 고정하는 방법으로 전단 각도의 조절이 가능하도록 제작하였다. 홀더는 다이부에만 설치를 하였고 홀더의 형상은 평판형이며 다이부의 각도 변화에 따라서 접촉에 의해 조절되도록 홀더부가 회전하도록 제작하였고 펀치부에 스프링으로 고정하여 펀치 하강시 전단펀치보다 먼저 판재를 구속하도록 하였다. 전단시 펀치부가 뒤로 밀리는 것을 방지하기 위해 heel을 설치하였다.

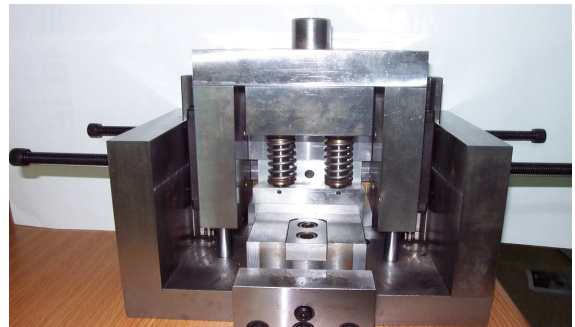


Fig. 1 Shearing die

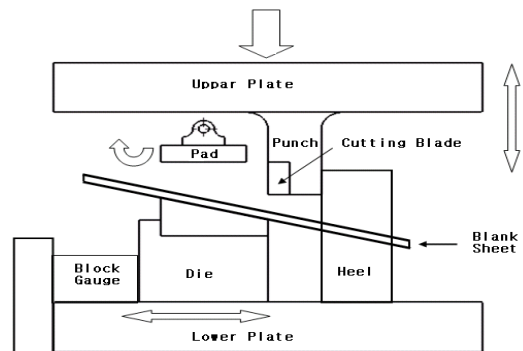


Fig. 2 Structure of shearing die

전단시 정밀도를 높이기 위해 펀치부와 다이부를 일체형으로 제작을 하였으며 이것을 250톤 프레스에 장착하였다. 전단 하중과 펀치의 속도는  $20\text{kgf/mm}^2$ 와  $5\text{mm/s}$ 로 일정하게 하였다.

전단 금형에 사용된 재질은 HK600(Table 1)이며 표면은 고주파 열처리 후 연삭을 하였다.

Table 1 The chemical composition of HK600 (wt%)

C	Si	Mn	P	S	Mo	Cr	Fe
0.5-0.8	0.8-1.2	0.9-1.3	0.05↓	0.05↓	0.2-0.5	1.0-1.5	96.5

Fig. 3과 같이 다이부의 전단날은 0, 5, 10 및 15도로 제작을 하였으며 교체가 가능하도록 하였고 편치부의 전단날은 0도로 제작하였다. 그리고 전단날의 edge부의 어깨반경,  $r_p=r_d=0, 0.1$  및  $0.2\text{mm}$ 를 사용하였다.

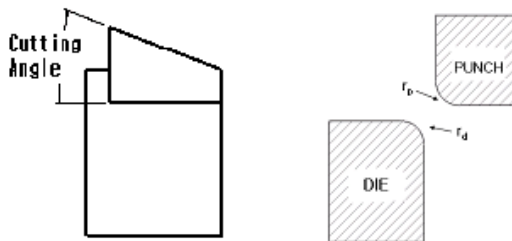


Fig. 3 Cutting parameters evaluated in the experiments

### 3.2 실험 방법

일반적으로 전단가공에서 클리어런스가 적으면 버어의 발생에 유리하나 전단날에 응력이 집중하여 금형의 수명을 단축하고 또한 성형제품이 대물인 경우 판재의 자중에 의해 판재가 휘어지는 현상 등으로 이를 방지하기 위해 다이페이스의 각도를 준다.

본 실험에서 위와 같은 조건들을 고려하여 전단 공정 인자를 클리어런스와 판재의 종류, 전단날의 각도 및 전단금형의 마모량을 선정하였다. 클리어런스는 일반적으로 현장에서 주로 사용되는 판재 두께의 10-15%를 고려하여 5, 10, 15 및 20%등의 4단계로 하였다.

전단 실험에 사용된 판재는 두께가 1.2mm인 아연 도금된 SPCE, SPRC35E 판재 2종류를 사용하였으며 사용된 판재의 물성치는 Table2와 같다.

시편의 크기는 40mm × 100mm이며 정확한 전단면을 파악하기 위해 시편의 양쪽 면을 밀링으로 절삭을 하였고 판재의 전단면은 광학 현미경을 이용하여 측정을 하였다.

전단 금형의 전단날의 각도는 현장에서 금형설계시 사용하는 특정 각도를 고려하여 0, 5, 10, 15도등 4단계를 각각 적용하였으며, 전단날의 마모량에 따른 버어의 발생량을 조사하기 위해 전단날의 edge부의 어깨반경을 0, 0.1 및 0.2mm로 실험을 하였고, 실험은 각 조건 당 3회 이상의 실험을 하였다.

실험은 전단날 각도를 고정하고 클리어런스에 대해 실험을 하고 다시 전단날의 각도와 마모량을 변경하는 방법으로 실험을 하였다.

Table 2 Mechanical properties of applied specimen

Material	Yield strength (Mpa)	Tensile strength (Mpa)	Elongation (%)
SPCEN	162.8	298.0	47.0
SPRC35E	336.3	460	34.1

## 4. 실험 결과 및 고찰

Fig. 4와 Fig. 5는 SPRC35E 판재의 전단날 각도와 클리어런스의 변화에 따른 버어의 발생 높이를 나타낸 것이다. 전단날의 각도와 클리어런스가 증가하면 버어의 높이도 증가함을 알 수 있다. Fig. 4에서 보면 클리어런스가 5%와 10%일 때 버어의 높이는 큰 변화가 없으나, 클리어런스가 10-15%사이에서 버어의 높이가 크게 증가함을 할 수 있다. 특히 클리어런스가 15% - 20% 일때 전단날의 각도가 10도와 15도에서는 버어의 높이는 거의 비슷하나 버어의 두께가 증가함을 알 수 있었다(Fig. 11, Fig. 12). 이는 클리어런스가 넓어지면 전단시 과단의 주 원인이 네킹(necking)에 기인하기 때문이라고 판단된다.

Fig. 5는 전단날의 각도에 따른 버어의 발생량을 나타낸 것으로 클리어런스가 10%이하에서는 전단날의 각도가 버어의 발생에 큰 영향을 미치지 못함을 알 수 있었고, 클리어런스가 10%보다 큰 경우에는 전단날의 각도에 대한 버어의 발생량이 크게 증가함을 알 수 있었다. 이는 전단날의 각도가 증가하면 다이부 날끝각의 예리함이 감소함으로써 판재에 작용하는 인장력의 감소효과로 나타나는 현상이라고 판단된다.

Fig. 6과 Fig. 7은 전단날의 마모량에 대한 버어의 발생 정도를 나타낸 것이다. SPRC35E 판재의 경우  $r_p=r_d=0.1$ 에서 발생한 버어의 높이는 마모량이 없을때 보다 마모량 만큼 버어의 높이가 증가함을 알 수 있었고(Fig. 13), 이는 연성적인 버어의 발생과 연관이 있는 것으로 판단된다. 그리고 Fig. 7에서는  $r_p=r_d=0.2$ 에서의 버어의 발생량을 나타낸 것으로 전단날의 각도가 0도와 5도에서는 전단날의 마모량만큼이 버어의 높이에 반영되었으며 나머지 각도에서는 마모량 보다 버어의 발생량이 많았으며 전단날의 각도에도 영향이 없음을 알 수 있었다. 이

는 날끝각이 마모되면 판재에 발생하는 압축응력이 마모가 생기지 않는 부분으로 이동하기 때문이라고 판단된다.

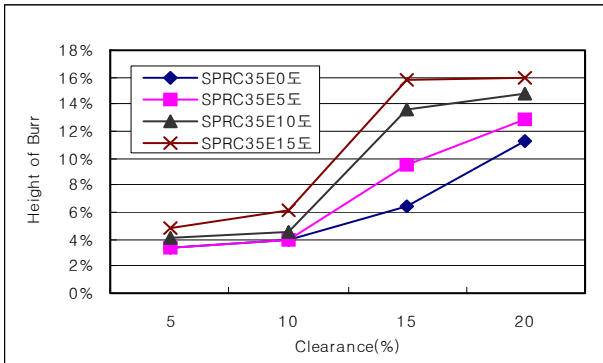


Fig. 4 Burr height with respect to clearance and cutting angle (SPRC35E)

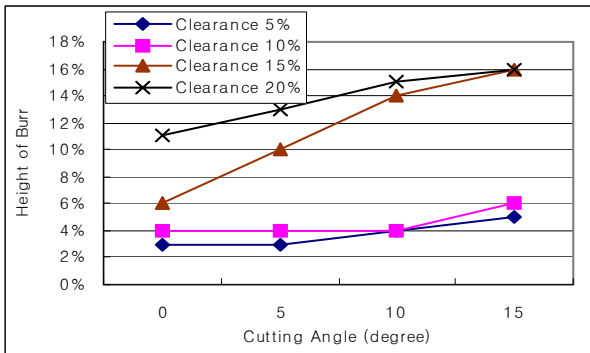


Fig. 5 Burr height with respect to cutting angle and clearance (SPRC35E)

Fig. 8과 Fig. 9는 SPCEN판재의 전단날의 각도와 클리어런스에 따른 버어의 발생 높이를 나타낸 것이다. SPCEN판재의 경우도 SPRC35E와 같이 전단날의 각도와 클리어런스가 증가하면 버어의 높이도 증가함을 알 수 있었다. 그러나 SPCEN판재는 클리어런스가 증가 할수록 버어의 발생량이 계속 증가하는 경향이 나타났다(Fig. 8).

Fig. 9에서 전단날의 각도에 따른 영향을 살펴보면 클리어런스가 10%이하에서는 버어의 높이가 거의 일정하게 나왔고, 클리어런스가 15%에서는 전단날의 각도가 증가할수록 버어의 높이가 증가함을 알 수 있었고, 클리어런스가 20%일때는 전단날의 각도가 0도와 5도 사이에서 버어의 발생량이 급격하게 증가하고 5도 이상에서는 버어의 높이가 거의 일정하게 나타남을 알 수 있었다. 따라서 SPCEN판재의 경우도 SPRC35E판재와 같이 클리어런스가

10%-15%사이에서 임계 클리어런스가 존재함을 알 수 있다.

Fig. 10에서 SPCEN판재와 SPRC35E판재의 동일 클리어런스에 대한 버어의 발생량을 살펴보면 SPCEN판재가 높게 나타남을 알 수 있었다. 이는 SPCEN판재가 SPRC35E판재보다 연성을 가지고 있기 때문이라고 판단된다.

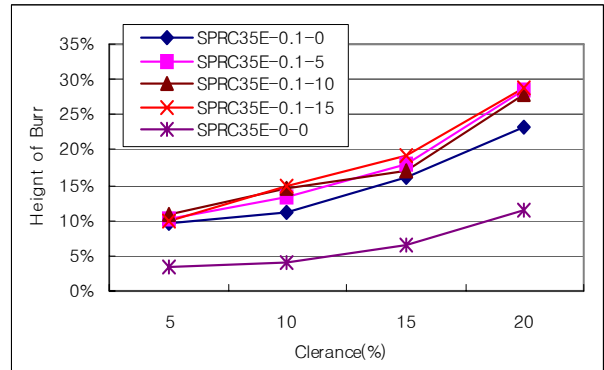


Fig. 6 Burr height with respect to clearance and tool sharpness (rp=rd=0.1)

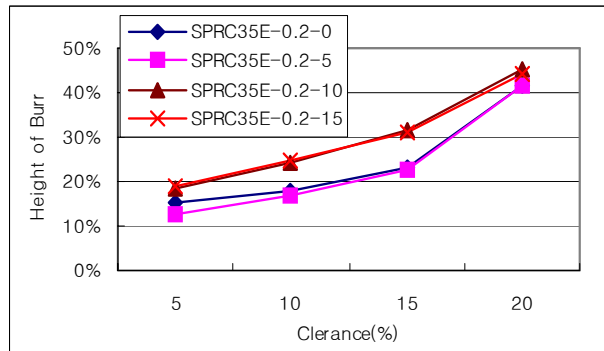


Fig. 7 Burr height with respect to clearance and tool sharpness (rp=rd=0.2)

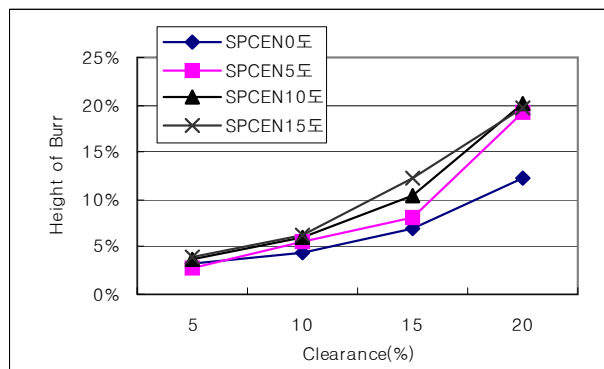


Fig. 8 Burr height with respect to clearance and cutting angle (SPCEN)

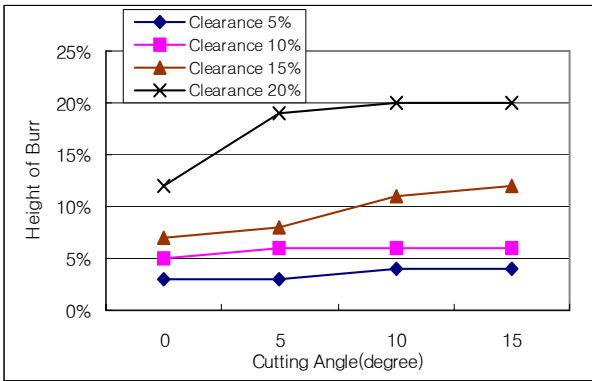


Fig. 9 Burr height with respect to cutting angle and clearance(SPCEN)

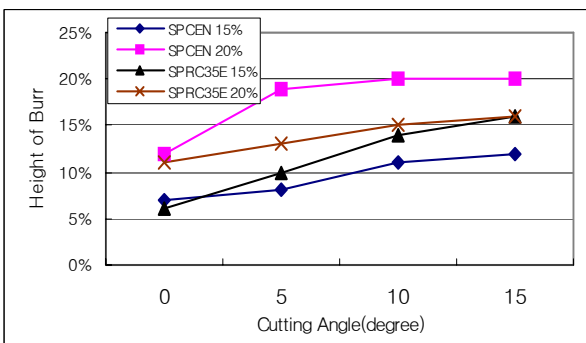
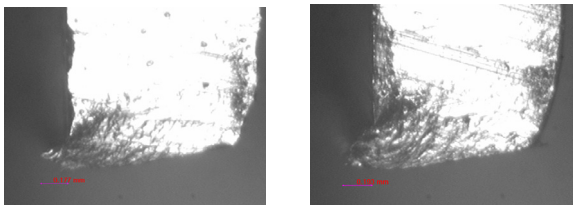
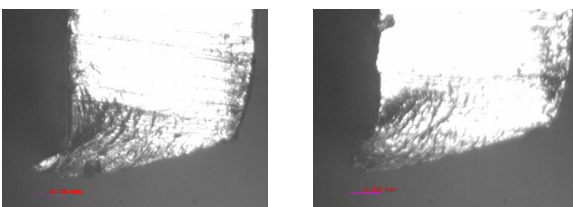


Fig. 10 Burr height with respect to material properties and cutting angle



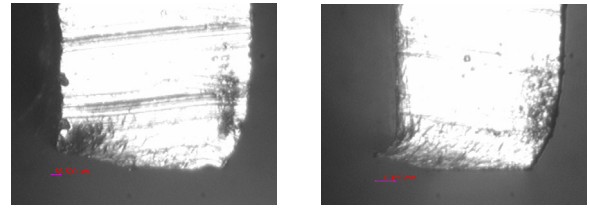
(a) Clearance 15% (b) Clearance 20%

Fig. 11 Photographs of cut surface for cutting angle 10° (rp=rd=0)



(a) Clearance 15% (b) Clearance 20%

Fig. 12 Photographs of cut surface for cutting angle 15° (rp=rd=0)



(a) rd=rp=0 (b) rd=rp=0.1

Fig. 13 Photographs of cut surface for tool sharpness (clearance 10%)

## 5. 결 론

본 연구에서는 현재 자동차 차체성형에 주로 사용하고 있는 SPCEN판재와 고장력강판인 SPRC35E 판재에 대해 클리어런스와 전단날의 각도, 그리고 전단날의 마모량에 따른 버어의 발생에 미치는 영향을 알아보기 위해 전단 실험을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 판재의 종류에 따라 버어의 발생량 및 경향이 다르게 나타났다.
2. 클리어런스가 10%이하에서는 전단날의 각도에 거의 영향을 받지 않으나, 클리어런스가 10%보다 큰 경우 전단날의 각도가 버어 발생에 큰 영향을 미침을 알 수 있었다.
3. 전단날의 마모량이 판두께의 10%미만인 경우, 버어의 발생 경향은 전단날의 각도와 무관함을 알 수 있었다.
4. SPCEN판재와 SPRC35E판재의 경우 임계 클리어런스가 10%-15%사이에 존재함을 알 수 있었다.

## 참고 문헌

1. T. M. Chang and H. W. Swift, 1950, "Shearing of Metal bars", J. of Inst. of Met., Vol. 78, pp. 393.
2. E. Taupin, J. Breiting, W. T. Wu and T. Altan, 1996, "Material fracture and burr formation in blanking results of FE simulations and comparison with experiments", Journal of Materials Processing Technology 59, pp. 66~78.
3. D. C. KO, B. M. Kim, J. C. Choi, 1997, "Finite-element simulation of the shear

- process using the element-kill method", *Journal of Materials Processing Technology* 72, pp. 129~140.
4. Ming Li, 2000, "An Experimental Investigation on Cut Surface and Burr in Trimming Aluminum Autobody Sheet", *International Journal of Mechanical Sciences* 42, pp. 889~906.
  5. Ming Li, 2000, "Micro mechanism of Deformation and Fracture in Shearing Aluminum Alloy Sheet", *International Journal of Mechanical Sciences* 42, pp. 907~923.
  6. 신용승, 김병희, 김현영, 오수익, 2002, "박판 전단시의 버 형성에 관한 연구", *한국정밀공학회지*, 제19권 제9호, pp. 166~171.
  7. T. Ozaki, T. Takemasu, 1994, "せん断加工現象の理論的 實驗的 解析", *塑性と加工(日本塑性と加工學會誌)*, 第35巻, 第396号, pp. 10~16.
  8. I. Aoki, 1994, "薄板のかえりなしせん断加工", *塑性と加工(日本塑性と加工學會誌)*, 第35巻, 第396号, pp. 21~27
  9. Kazuaki Iwata, Kanji Ueda, Yasuyuki Yamada, 1979, "Study of shearing Mechanism Based on Direct SEM Observation", *塑性と加工(日本塑性と加工學會誌)*, 第20巻, 第220号, pp 437~443.
  10. 김낙수 외 2인, 1997, "공업재료가공학", *반도출판사*, pp. 354~357.