

# 마찰을 고려한 플라스틱 시트의 절단특성에 관한 연구

한주현, 김도현, 김청균(홍익대학교 트라이블로지연구소)

## A Study on the Cutting characteristics of a plastic sheet including Friction

Joohyun Han(Tribology Research Center, Hongik Univ.), [siam1999@hanmail.net](mailto:siam1999@hanmail.net)

Dohyun Kim(Tribology Research Center, Hongik Univ.), [sumtwo@hanmail.net](mailto:sumtwo@hanmail.net)

Chungkyun Kim(Tribology Research Center, Hongik Univ.), [ckkim@wow.hongik.ac.kr](mailto:ckkim@wow.hongik.ac.kr)

### ABSTRACT

The press cutter is productive equipment that practically manufactures materials such as fabrics, papers, films, leathers, rubbers etc. into the desired shapes using cutting method. Plate cutting process is one of the primary energy absorbing mechanisms in a grounding or collision event. The cutting mechanism is complicated and involves plastic flow of plate in the vicinity of the tip, friction between wedge and plate, deformation of plate. In this paper, we studied the effect of friction between cutter and plastic sheet for producing precise and superior products. The press cutter is analyzed numerically using MARC finite element program according to the variation of friction coefficients. The FEM results showed that normal stress, equivalent cauchy stress, normal total strain, equivalent total strain are good when friction coefficient is 0.0 and shear stress, shear total strain are good when friction coefficient is 0.8.

**Keywords :** Press cutter, Plastic sheet, Friction, Friction coefficient, Stress, Strain, FEM

## 1. 서론

산업용 프레스 커터는 프레스장치에 커터를 설치함으로써 판 형태의 직포, 종이, 필름, 가죽, 고무 등의 재료를 원하는 모양으로 절단 제작할 수 있는 생산기계장비라 할 수 있다.

판 절단과정(plate cutting process)은 접촉이나 충돌이 일어날 때 발생하는 주요 에너지 흡수 메커니즘의 하나로, 일반적으로 절단과정의 메커니즘은 매우 복잡하며 날끝 부근에서 판의 소성유동, 날끝과 판사이의 마찰, 판의 변형 등을 수반한다[2]. 현재까지의 절단특성에 관한 연구는 주로 공구의 기하학적 형상과 공구재료의 기계적인 특성에 대한 것이었다. 최근의 연구는 절단과정에서 상대재의 정밀성을 높이기 위하여 도구 표면에 의해 수행되는 역할과 상대재의 변형, 안전성 등에 관심이 집중되고 있다[3,4,5].

본 논문에서는 정밀성이 우수한 제품을 생산하기 위해 커터와 상대재 사이의 마찰

을 고려하고 이에 따라 상대재가 받는 영향에 대해서 연구하기 위해 커터의 절단과정에서 발생하는 절단면과의 마찰과 응력을 해석하였다.

## 2. 해석방법

### 2.1 유한요소 해석 모델

Fig. 1 은 본 연구의 대상인 프레스 커터의 형상을 보여주는 그림으로서 커터의 끝단은 2 단의 사이각으로 가공됨으로써 절단 후 분리가 용이하도록 되어 있다. 이와 같은 프레스 커터의 절단특성을 해석하기 위한 모델링은 Fig. 2 와 같이 강체로 가정된 철판 위에 0.44mm 의 플라스틱 시트 2 장을 놓고 그 위를 커터가 누르는 과정을 해석할 수 있도록 모델링하였으며 플라스틱 시트(상대재) 2 장 중 1.5 장 즉 0.66mm 를 절단하도록 하였다. 커터가 절단하는 과정에서 상대재에서의 응력과 변형률을 관찰하기 위해 유한요소모델은 상대재가 좌우로 양분되어 있는 형태로 모델링하였다.

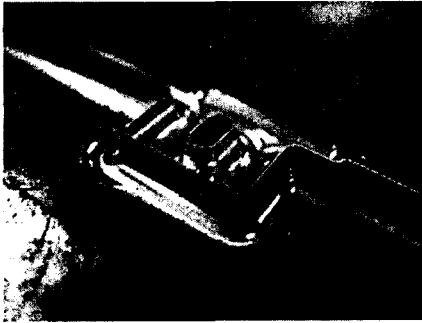


Fig. 1 Press cutter.

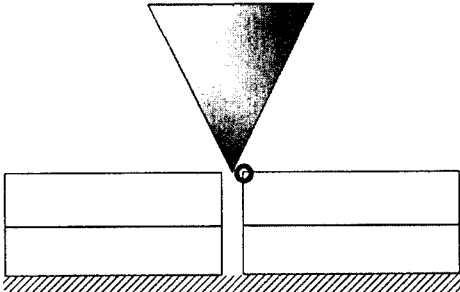


Fig. 2 The observing point on the plastic sheet.

## 2.2 해석조건

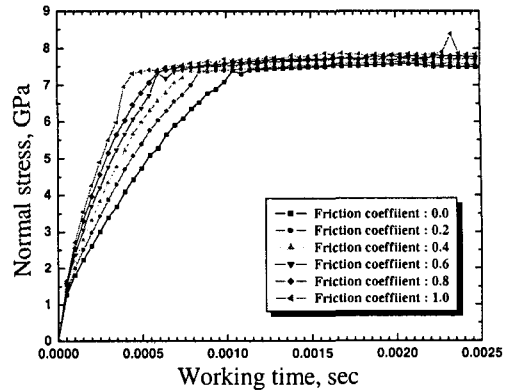
상대재를 0.66mm 만큼 절단하였을 때 절단면에 작용하고 있는 영향들을 측정하기 위해 커터는 변위법으로 0.66mm 이동시키며 40cycles/min.로 작동하는 조건으로 해석하였다. 커터는 상대재를 절단하기까지 200mm 이송하므로 커터의 이송속도는 266.6667mm/s 이 되고 상대재에 접촉하기 시작한 후 절단이 완료되기까지의 시간은 약 0.002475sec 이다.

본 논문에서는 상대재에 작용하는 진응력과 전단응력, 수직응력과 이들 응력에 대한 변형률을 비교하기 위해 마찰계수를 0.0~1.0 까지 각 0.2 단위로 변화시켰다. 이는 Steel 계열과 플라스틱계열 사이에서의 대략적인 마찰계수가 0.3 정도임을 고려한다면 실제 발생할 수 있는 마찰조건을 충분히 고려한 조건이라고 할 수 있다[6].

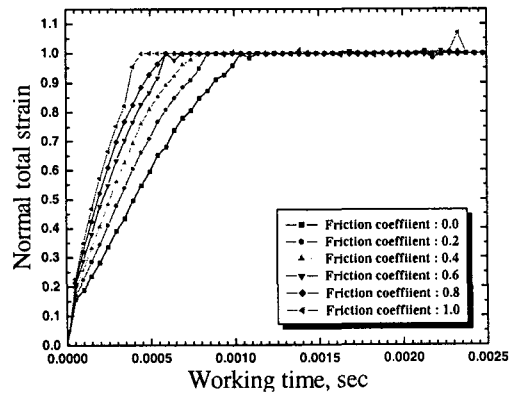
해석 후 데이터는 Fig. 2 에서 표시한 바와 같이 상대재에서 절단의 영향을 가장 많이 받을 것으로 예상되는 상대재 절단면의 끝단에서 시간의 함수로 획득하였다.

## 3. 해석결과 및 고찰

### 3.1 수직응력, 수직변형률



(a) Normal stress



(b) Normal total strain

Fig. 3 Normal stress and normal total strain at the observing point on plastic sheet according to the working time when friction coefficient is 0.0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0.

Fig. 3(a),(b)는 마찰계수의 영향을 관찰하기 위해 상대재 절단면의 끝단에서 발생한 수직응력과 수직변형률을 절단시간의 함수로 나타낸 결과이다.

수직응력은 Fig. 3 에서 나타낸 것과 같이 절단 초기에 응력값이 급격히 증가하는 경향을 보이다가 절단 중반 이후 응력값이 완만하게 증가하는 경향을 보인다.

이 과정에서는 커터가 x 방향과 y 방향으로 누르는 힘과 그로 인한 마찰력이 상대재에 가해지고 상대재는 압축을 받음으로 인해서 생기는 반력으로 커터쪽으로 힘을 가하게 되는데 절단면에는 이 힘들이 복합적으로 작용한다. 이 때 마찰은 커터의 진행방향과 반대방향이므로 상대재에 힘을 가하는 방향으로 작용한다. 수직응력은 마찰계수가 클수록 약간 더 증가하는 것으로 보인다. 이는 마찰력이 크게 작용할수록 커터가

상대재를 끌고 가려는 영향력이 크게 작용하므로 상대재 상부절단면은 커터의 영향을 더욱 크게 받게되고, 이에 따라 상대재에 작용되는 복합적인 힘과 수직응력 또한 크게 작용하게 되기 때문이다. 이와 같이 마찰이 클수록 절단 초기에 상대재를 끌고 가려는 힘이 크기 때문에 절단 초기에 수직응력의 기울기 또한 큰 것으로 보인다. 또한 수직력은 절단면에 수직으로 작용하고 전단이 고려되지 않는 힘이므로 절단 중반이후에는 상대재가 하부로 끌려가려는 경향이 안정되기 때문에 수직응력은 완만히 증가하는 것으로 관찰된다.

수직변형률은 수직응력이 작용할 때의 변형률이므로 거의 비슷한 경향을 보인다. 그러나 절단 중반이후 수직응력은 약간 상승하는 기울기를 가지는 반면 수직변형률은 마찰계수에 따라 거의 차이를 나타내지 않고 있다. 이것은 수직력 이외에 다른 조건이 변형에 관여했기 때문에 발생하는 것으로 보인다. 이는 실제 해석은 상대재에 가해지는 모든 힘이 복합적으로 작용했을 때의 조건을 결과로 나타내는데 수직응력과 수직변형률은 이 중에서 단지 수직력에 대해서만 고려한 것이므로 응력과 변형률은 약간 다르게 나타날 수 있기 때문이다. 수직력에 비례하는 마찰의 영향이 상대재의 지속적인 변형을 유도하면서 수직응력에 마찰의 영향을 포함시키는 결과를 낳아 이러한 현상이 발생한 것으로 사료된다.

### 3.2 전단응력, 전단변형률

전단응력과 전단변형률은 거의 비슷한 경향을 보인다. 탄성영역에서 거동을 하므로 전단응력과 전단변형률이 전단탄성계수의 값에 비례하기 때문이다.

전단응력과 전단변형률은 Fig. 4(a),(b)와 같이 관찰된다. Fig. 4(a),(b)는 마찰계수의 영향을 관찰하기 위해 상대재 절단면의 끝단에서 발생한 전단응력과 전단변형률을 절단시간의 함수로 나타낸 결과이다. 절단이 시작된 후 급격히 증가하였다가 다시 급격히 떨어진 후 거의 비슷한 값을 유지하게 된다. 이때 급격히 증가하는 것은 마찰에 의해 상대재가 커터와 같이 거동하려고 하기 때문이다. 마찰이 클수록 응력과 변형률이 감소하는 경향을 보이는데 마찰이 증가할수록 거동을 벗어나려는 전단력이 작아지기 때문에 나타나는 현상이라고 추측된다. 한편 절단 초기에 전단응력, 변형률이 피크

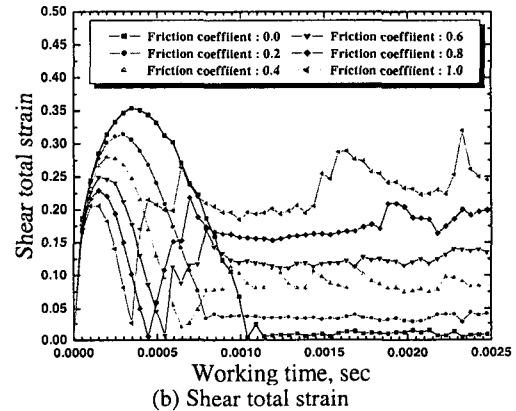
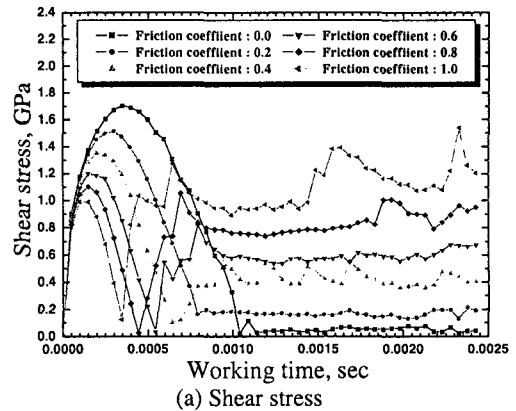
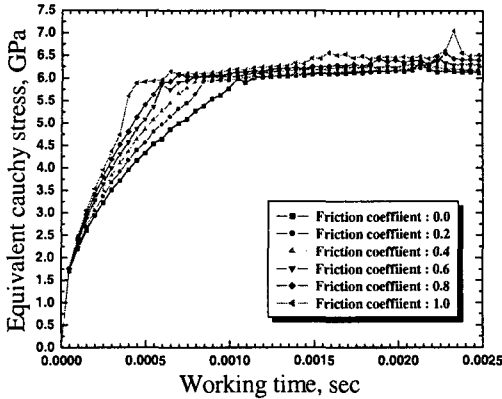


Fig. 4 Shear stress and shear total strain at the observing point on plastic sheet according to the working time when friction coefficient is 0.0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0.

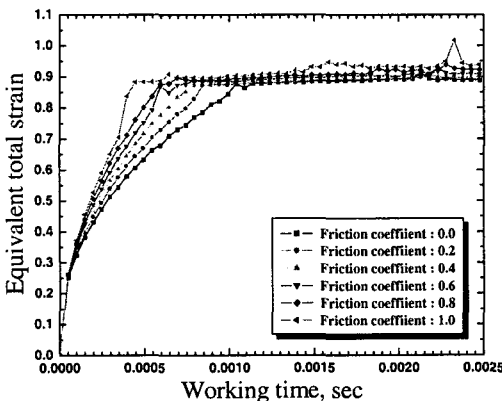
를 이루는 과정이 지나고 거동이 안정되면 어느 정도 비슷한 값을 유지하는데 이 때의 값은 마찰계수가 증가할수록 큰 값을 유지하게 된다. 이와 같은 현상은 마찰력이 높을수록 마찰저항력이 커지게 되고 이는 곧 전단력과 전단변형을 증가시키기 때문에 마찰계수가 클수록 높은 전단응력과 전단변형률이 관찰되는 것이다.

### 3.3 진응력, 진변형률

Fig. 5(a),(b)는 마찰계수의 영향을 관찰하기 위해 상대재 절단면의 끝단에서 발생한 진응력과 진변형률을 절단시간의 함수로 나타낸 결과이다. 진응력과 진변형률은 절단면에 작용하고 있는 모든 힘을 복합적으로 고려한 것으로서 거의 비슷한 경향을 보인다. 이는 상대재가 탄성영역에서 거동을 하므로 진응력과 진변형률이 탄성계수의 값에 비례하기 때문이다.



(a) Equivalent cauchy stress



(b) Equivalent total strain

Fig. 5 Equivalent cauchy stress and equivalent total strain at the observing point on plastic sheet according to the working time when friction coefficient is 0.0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0.

진응력은 위에서 설명한 수직응력과 거의 유사한 메카니즘과 경향을 갖는다. 이는 절단과정에서 절단면이 커터의 x, y 방향으로의 가압력과 마찰력 그리고 상대재의 반력을 받는데, 이 때 상부절단면은 이들 작용력의 영향 중에서 전단력보다는 수직력의 영향을 더욱 많이 받기 때문이다.

진응력과 진변형률은 절단과정 초반에는 마찰계수가 클수록 급격히 증가하다가 중반 이후에는 거의 비슷하지만 약간 증가하는 것으로 관찰되는 것이다. 이 과정을 고려해 보았을 때 수직응력과 마찬가지로 마찰계수가 0.0 일 때의 조건이 절단 초반에 상대재가 좀더 천천히 영향을 받고 있으며 거의 미비하지만 중반 이후에도 진응력의 영향을 덜 받고 변형 또한 작게 발생되므로 우수한 조건으로 여겨진다. 그러나 사실상 마찰계

수가 0.0 인 경우는 없으므로 마찰계수가 낮을수록 상대재에 영향을 덜 미치게 된다.

#### 4. 결론

해석결과에 의하면 수직응력은 마찰계수가 작을수록 우수한 결과이며, 수직변형률은 마찰계수의 변화에 따라 비슷한 결과를 나타내었기 때문에 마찰계수의 영향은 작았다. 전단응력과 전단변형률은 마찰계수가 0.8 인 조건이 절단형상이 우수할 것으로 예상된다. 또한 진응력과 진변형률은 마찰계수가 작을수록 변형이 작게 발생하였다. 플라스틱 시트의 절단면에서 발생한 전단력과 수직력을 모두 고려한 진응력과 진변형률은 마찰계수가 낮을수록 안정적인 결과를 나타내었다.

따라서 플라스틱 시트의 절단면의 정밀도를 향상시키기 위해서는 마찰계수의 영향을 고려한 프레스 커터 형상의 설계가 요구된다.

#### 5. 참고문헌

- (1) 金容寬, 金種得 等, 機械工作法, 淸文閣, pp169~211, January, 1999.
- (2) BO CERUP SIMOSEN, TOMASZ WIERZBICKI, "PLASTICITY, FRACTURE AND IN STEADY-STATE PLATE CUTTING", Int. J. Impact Engng, Vol. 21, No. 5, pp.387-411, 1998.
- (3) Raymond W. McGorry, Peter C. Dowd, Patrick G. Dempsey, "Cutting moments and grip forces in meat cutting operations and the effect of knife sharpness", Applied Ergonomics 34, pp.375-382, 2003.
- (4) P. Beer, M.A. Djouadi, R. Marchal, A. Sokolowska, M. Lambertin, S. Miklaszewski, "Influence of knife-surfaces modification with hard coatings on the peeling wood process", Journal of Material Process Technology 92-93, pp. 264-268, 1999.
- (5) Andrzej Dowgiallo, "Cutting force of fibrous materials", Journal of Food Engineering, 2004.
- (6) Ernest Rabinowicz, "Friction and Wear of Materials", John Wiley and Sons, p. 90, 1966.
- (7) "MARC user's manual, Volume B Element Library, MARC Analysis Research Co., p. B1.2, 1994.