

폴리머박판의 전단특성에 대한 연구

Study on the Shear Cutting of Polymer Foil

*양진석¹, 장성호²

*J. S. Yang(jsyang@kitech.re.kr)¹, S. H. Chang²

¹ 한국생산기술연구원 금형기술지원센터, ² 한국생산기술연구원 금형성형기술연구부

Key words : Shear, Polymer foil, Punch, Die, Yield strength,

1. 서론

폴리머 시트는 포장재, 식음료용 용기 등의 packaging 산업과 인쇄, 의류산업 뿐만 아니라 근래 들어 전자, bio 산업 등에 첨단 기능성 소재 및 금속대체 소재로 다양하게 사용되고 있다. 폴리머 판재를 사용한 제품은 성형 후 주로 slitting, trimming, blanking 등의 전단공정(shearing process)를 거쳐 최종 형상으로 완성되는데 플라스틱 사출, 압출, 금속판재 가공분야와 비교하여 플라스틱 판재에 대한 성형 및 가공분야는 발표된 기술데이터와 연구결과가 상대적으로 적고 정량적인 데이터도 부족한 편이다^{1,4,6}. 본 연구에서는 플라스틱 박판의 펀칭기구 설계를 위한 기초 데이터 획득을 위하여 몇 종류의 열가소성 폴리머 소재에 대하여 물성시험과 전단력 측정시험을 하고 공정변수의 영향을 파악하였다.

2. 시편측정 및 실험장치

절단가공용 펀치 및 다이, 칼날 등 절단기구를 설계할 경우 절단에 필요한 힘과 공정변수 영향에 대한 정량적인 데이터가 필요하다. 특히 폴리머 시트는 제조공정에서의 stretching 상태와 열처리 이력에 따라 기계적 물리적 특성이 많이 변하기 때문에 펀칭시험에 사용할 박판의 인장강도 파악을 위하여 그림 1과 같이 KS M 3054에 따른 인장시험⁵을 하였고 표 1에 그 결과를 나타냈다.

폴리머 박판의 전단가공에 필요한 force 데이터를 얻기 위하여 고속도강으로 제작된 $\Phi 10\text{mm}$, 6mm, 4mm의 원형펀치 및 다이를 이용하여 펀칭시험을 하였다. 펀치와 다이의 유격은 $8\mu\text{m}$ 이다. 유격은 일반적으로 판재 두께의 약 10% 정도를 사용하나 사용 폴리머 판재가 120 ~ 220 μm 의 박판이므로 이 보다 작은 약 5% 정도의 유격을 유지하도록 제작하였다. 그림 2는 XYZ Stage에 장착된 펀칭실험 장치로서 punching force의 측정은 200Kg 용량의 로드셀을 사용하였고 300MHz 오실로스코프를 통하여 하중 파형을 관찰하였다.



Fig. 1 Measurement of tensile strength of polymer films

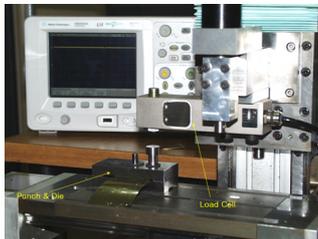


Fig. 2 Experimental setup for shear cutting test

Table 1 Tensile test result of PET, PEN and PP foils

	PET(t0.15mm)	PEN(t0.13mm)	PP(t0.22mm)
Modulus E (MPa)	41.0	53.7	15.8
Yield Strength (MPa)	86.9	72.2	29.6

3. 결과

Punching force는 소재 강도 및 두께, 소재온도, 유격, 펀칭속도, 펀치 및 다이 마모정도에 따라 달라진다. 펀칭 force의

최대값 F_{max} 는

$$F_{max} = k_s t^a L \quad (1)$$

로 표시할 수 있다. 여기서 t : thickness, L : Cutting length 이고, K_s 는 비례계수로 보통 punching resistance로 표현한다. a 는 판재 두께에 대한 영향을 나타내는 계수로서 폴리머의 T_g (Glass temperature)보다 작은 범위에서는 $a \approx 1$ 정도로 알려져 있다².

그림 3은 $\Phi 10\text{mm}$ 펀치를 사용한 펀칭시험 결과로서 측정된 punching force는 사용 소재에 따라 달라지고 펀칭 속도에 큰 영향을 받음을 알 수 있다. 특히, 10mm/sec 이하의 저속에서는 펀칭속도의 지수함수에 비례하는 형태로 속도의 영향이 크다. 10mm/sec와 1.6mm/sec를 비교하면 punching force가 200% 이상 증가하므로 펀치 설계 시 이를 감안해야 한다. 반면에, 속도가 높아지면 punching force가 일정한 값으로 수렴함을 알 수 있다.

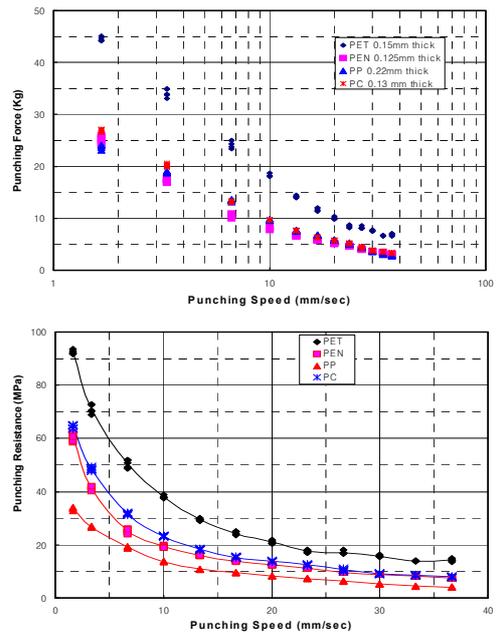


Fig. 3 Punching force and resistance of various polymer foils as a function of punching speed ($\Phi 10\text{mm}$ punch).

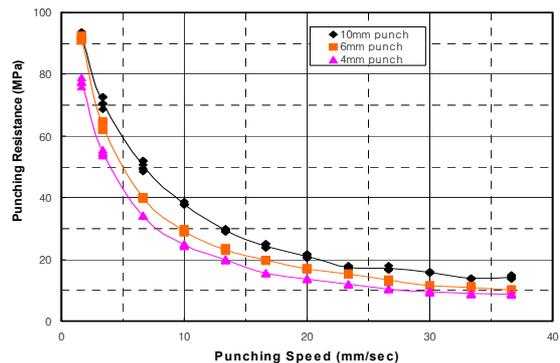


Fig. 4 Effect of Punch Size on the Punching Resistance (0.15mm thick PET sheet)

그림 4는 원형 펀치의 크기가 펀칭저항에 미치는 영향을 나타낸 그래프로써 펀치 크기가 작아질수록 punching 저항이 작아지는 것으로 나타났다. 각 펀치와 다이 제작시 가공오차나 에지부 마모상태에 따라 punching force가 영향을 받겠지만 이런 오차를 고려하더라도 곡선형상의 펀치는 펀치크기의 영향을 받는 것으로 알려져 있다.

펀치와 다이는 사용하면서 에지부에 마모가 생기고 마모된 펀치의 경우 마모가 없는 것에 비해 더 큰 힘을 받고 절단면의 품질저하와 burr 발생 등의 불량이 생기므로 이 경우 재연마하여 사용한다. 그림 5는 펀치마모의 영향을 나타낸 그림으로서 공구 연삭기로 펀치 저면을 날카롭게 연마한 펀치와(sharp punch), 연마된 에지부를 샌드페이퍼(#1000)로 갈아서 의도적으로 마모시킨 펀치(blunt punch)를 사용하여 PET sheet에 대하여 펀칭 실험을 한 결과이다. Sharp edge를 가진 펀치의 경우 폴리머 소재가 전단면에서의 응력집중이 커지므로 적은 힘으로도 절단이 가능하다. Punching 속도가 작을수록 펀치마모의 영향을 더 크게 받음을 알 수 있다.

그림 6은 펀칭력을 줄이기 위해 펀치 저면을 3° 경사지게 가공한 펀치를 사용한 경우 펀칭력의 변화를 나타낸 그림이다. 경사진 펀치의 경우 경사각이 없는 펀치와 비교하여 펀칭시 절단길이가 짧아지므로 punching 저항을 크게 줄일 수 있다.

그림 7은 PET, PEN 및 PP sheet의 인장시험 결과 얻은 Yield strength 값과 펀칭저항과의 관계를 나타낸 그래프로써 Punching 저항은 재료의 yield strength에 비례하여 커진다. 펀칭속도 100mm/min 의 경우 $K_s \approx 0.9822 * \text{Yield strength}$ 로써 저속으로 근접할수록 $K_s \approx \text{Yield strength}$ 에 가까워짐을 알 수 있다. 펀치기구 설계시의 안전율을 감안하면 폴리머 sheet의 인장응력 값을 기준으로 설계하는 기존의 방식이 타당함을 알 수 있다.

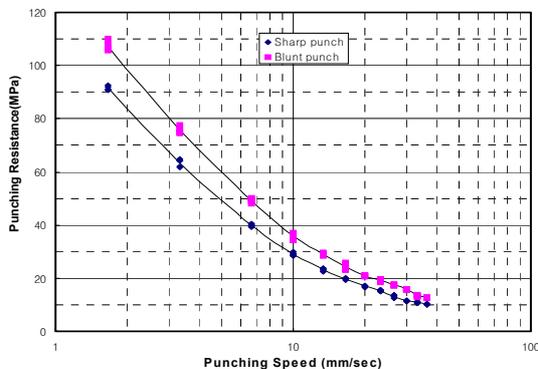


Fig. 5 Effect of Punch blunting on punching resistance. Material: 0.15mm thick PET sheet, Φ6mm punch.)

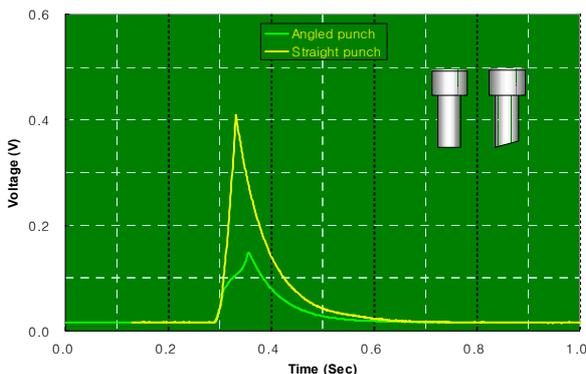


Fig. 6 Punching force signals for 0.15 mm PET foil (Φ10mm punch)

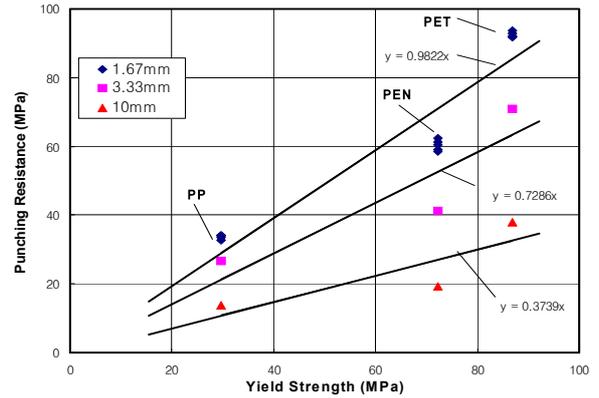


Fig. 7 Correlation between punching resistance and tensile yield strength of various polymer foils (punching speed of 1.67, 3.33, 10mm/sec with Φ10mm punch)

4. 결론

플라스틱 박판의 펀칭기구 설계에 필요한 기초데이터 획득을 위하여 판재의 인장시험과 펀칭저항 측정을 위한 펀칭 실험을 하였고 공정변수가 전단력에 미치는 영향을 파악하였다. 공정변수 중 펀치 유격과 더불어 펀치의 속도와 펀치의 마모가 Punching force에 큰 영향을 주는 것으로 파악되었고 저속으로 갈수록 그 영향이 커지므로 설계 시 이를 고려해야 한다. 또한 폴리머 재료의 펀칭저항과 밀접한 관계를 갖는 Yield strength는 폴리머 판재의 전단력을 예측할 수 있는 데이터로 쓸 수 있으나 폴리머 박판재의 경우 판재 제조공정에 따라 이 값의 차이가 크고 bulk재에 대한 시험데이터와도 편차가 클 수 있으므로 실제 인장시험결과 데이터를 사용하는 것이 안전한 것으로 판단된다.

후기

본 논문은 부품소재기술지원사업으로 지원한 연구성과 내용의 일부로 게재되었습니다.

참고문헌

1. O. Jacobs, W. Dalock, H. Demenus, "Material Behavior, Shear cutting of thermoplastic foils", Polymer Testing, 22, 579-587, 2003.
2. J. L. Throne, "Technology of thermoforming", Hanser Verlag, 1996
3. O. Jacobs, P. Wolf-Regett, W. Dalock, "A Test system for punching of thermoplastic foils", Polymer Testing, 21, 2002.
4. D. Bollen, J. Deneir, E. Aernoudt, "Shear cutting of PET film", Journal of Material Science, 24, 2957-2966, 1989
5. KSM 3054, "플라스틱 필름 및 시트의 인장시험 방법," 한국표준협회.
6. R. R. Meehan and S. J. Burns, "Modeling Cutting: Plastic Deformation of Polymer Samples Indented With a Wedge", J. Manuf. Sci. Eng., Vol. 129, Issue 3, 2007