

# 유한요소법에 의한 초박판 알루미늄 블랭킹 공정해석

이선규\* · 김정\* · 강범수\*\*

## Analysis of Blanking Process for Aluminium Foil by FEM

S.K. Lee, J. Kim and B.S. Kang

**Key Words:** Blanking(블랭킹), Aluminium foil(알루미늄 초박판), FEM(유한요소법), Fracture propagation angle(파단 전파 각), Fracture strain (파괴변형률)

### Abstract

Blanking is one of the most frequently used processes in sheet metal forming. In this paper, attention is paid to the blanking simulation of aluminium foil with  $20\mu\text{m}$  thickness which is used as an anode in lithium-ion polymer battery. In order to study the shearing mechanism for the metallic foil, finite element analysis with Crockroft and Latham fracture criterion was performed. The objective of the present work is to evolve a methodology to obtain the optimum punch-die clearance for a given aluminium foil by the simulation of the blanking process using a general purpose FEM code.

### 1. 서 론

블랭킹 공정은 금속판재 성형에서 가장 자주 사용되는 공정이다. 그런데 많은 문헌들을 살펴볼 때 실험에 대한 자료들은 비교적 많이 존재하지만 해석에 의한 자료는 상대적으로 적은 편이며, 특히 초박판의 진단해석은 더욱 빈약하다. 이런 이유로는 적절한 연성파괴지수의 부재와 진단 성형부의 협소함으로 인해 유한요소법(FEM)에 의한 해석의 어려움을 들수있다.

이 논문에서 시도한 해석은 0.02mm 두께의 초박판 알루미늄의 블랭킹 공정으로 실제 리튬폴리머 전지의 음극판으로 사용되어지는 것이다. 이 제품의 경우 소재의 두께가 너무 얇고 적절한 클리어런스의 유지가 매우 힘들며 소재와 펀치/다이 간의 소착이 큰 문제로 대두되고 있어 금형제

작에 있어서 시행착오를 줄일 수 있는 유한요소 해석수행이 필요한 실정이다.<sup>(1)(3)</sup>

### 2. 블랭킹 공정해석

#### 2.1 해석모델

여기서는 비선형 재료의 해석이 가능한 ANSYS V5.5를 이용하여 블랭킹 공정해석을 수행하였다. 현 해석수행을 위해 다음과 같은 가정들을 사용한다.

- 이 해석수행 과정에서는 2차원 평면 변형률 (Plane-Strain) 상태로 가정한다.
- 이 해석수행 과정은 변형률 비(Strain Rate)를 무시할 수 있는 준정적(Quasi-Static) 문제로 가정한다.
- 이 해석수행 과정에서 소재는 이중소성 (Bilinear)체로 가정하고 펀치와 다이는 강체로 가정한다.

펀치와 다이의 인선부 반지름과 소재와 금형

\* 부산대학교 대학원

\*\* 정회원, 부산대학교 항공우주공학과

사이의 쿨롱마찰계수는 Table 1과 같다.

Table 1 Geometric Parameters

Parameter	Value
Clearance	10% of the workpiece thickness
Radius of Cutting Edge	$2\mu m$
Friction Coefficient	$\mu=0.4$

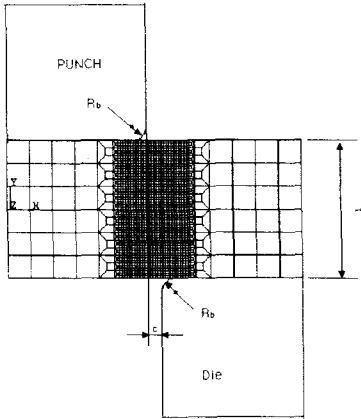


Fig. 1 Finite element model for blanking simulation

Table 2 Material Properties

Parameter	Value
Thickness	$t = 0.02 \text{ mm}$
Yield Strength	$\sigma_Y = 22 \text{ kg/mm}^2$
Elastic Modulus	$E = 7040 \text{ kg/mm}^2$
Tangent plastic slope	$E_t = 874.6 \text{ kgf/mm}^2$

Fig. 1은 유한요소 해석을 위한 모델링 형상이며 해석에 필요한 물성자료가 Table 2에 주어졌다. 그리고 마찰전단응력과 인장응력과의 관계가 (1)식과 같이 주어졌다.<sup>(5)</sup>

$$\tau_f = \mu \sigma_n \quad (1)$$

여기서  $\tau_f$ 는 마찰전단응력이고  $\sigma_n$ 은 인장응력이며  $\mu$ 는 마찰계수이다.

본 연구에서 소재를 등방성 재질로 가정하고 Von Mises 항복조건에 따라 항복이 일어난다고 가정을 한다.<sup>(2)</sup>

## 2.2 연성파괴

지금까지 많은 실험을 통해 다양한 재료들의 성형 한계를 계산하기 위한 각각의 파괴지수들이 정립되었는데 여기서는 Cockroft와 Latham에 의해 제안된 파괴변형률(Fracture Strain)이 가장 합리적인 것으로 예견되며 아래의 (2)식을 만족할 때 파괴가 발생한다.

$$\int_0^{\bar{\epsilon}^f} (\sigma^*/\bar{\sigma}) d\bar{\epsilon} = C \quad (2)$$

여기서  $\sigma^*$ 는 최대 주응력이며,  $\bar{\epsilon}^f$ 는 파괴변형률이고 C는 재료 상수이다. 그리고 등가응력과 등가 변형률은  $\bar{\sigma}$ 와  $\bar{\epsilon}$ 이다. 전단시에는 변형이 전단띠를 따라 집중적으로 발생하나 응력비(Stress Ratio)는 전단띠를 따라 변하지 않는다. 그리고 여기서 파단조건에서는 전단띠를 따라서

$\bar{\epsilon}^f = C^*$ 이 된다. 결과적으로 전단 공정에서 편치의 침입률( $\Delta$ )과 파괴 변형률이 같아지는 지점에서부터 파괴가 일어난다고 할 수 있다. 파괴는 지역적 현상이고 여기서는 등가 변형률이 소재의 파괴 변형률에 첫 번째로 도달하는 지점에서 파괴가 일어난다고 가정 한다.

재료상수( $C^*$ )의 결정은 실험을 통해 파괴가 발생하는 편치 침입률을 측정함으로써 얻을 수 있다. 그리고 전단 인선부 반지름( $R_b$ )의 시작점에서 파괴가 진전되어진다.

본 논문에서는 재료 상수  $C^*$ 를 결정하기 위하여 Fig. 3과 같이 블랭킹 공정 후의 전극판의 일부 단면을 전자현미경으로 촬영하였다. Fig. 3에서 보는 바와 같이 전단면은 편치가 두께의 21% 정도까지 침입함에 의하여 발생되며 나머지 부분은 파단면이 형성되어 있음을 알 수 있다. 이러한 편치의 침입률을 바탕으로 동일한 성형 조건 하에서 블랭킹 공정 해석을 수행하였다. Fig. 4는 편치가 21% 침입했을 때의 단면 형상을 보여 주고 있으며 이때의 최대 상당 변형률(Maximum equivalent strain)  $\epsilon_f$ 를 구하여 보면 대략 0.54 정

도이다. 따라서 재료 상수는  $C^* \approx 0.54$ 이며, 블랭킹 공정 해석 수행시 파단 변형률이 이 값에 도달하면 최초의 파단이 발생한다고 간주한다.<sup>(1)(2)(4)</sup>

### 3. 클리어런스 최적화

본 연구에서  $\bar{\epsilon}$ 를 결정하기 위해 10%의 클리어런스 ( $Cl$ )로 전단된 전단면으로부터 침입률 ( $\Delta$ )을 구하였다. 구해진 침입률을 이용하여 수치해석적 방법으로  $\bar{\epsilon}$ 를 구하게 된다. 예상되어지는 파단의 시작 점은 펀치와 다이의 인선부 반지름 ( $R_b$ )의 시작점으로 가정하고 Fig. 4에서 처럼 두 시작 점을 연결한 선과 전단면과의 사이각을  $\rho$  (Diagonal Angle)라 한다. 실제 전단면을 이용해 침입률을 결정하는 방법을 Fig. 2에서 보여주고 있으며 여기서는 클리어런스 10%로 전단한 것을 전자현미경으로 2500배 확대 촬영한 것이다. Fig. 3은 클리어런스가 10%에서 침입률 21%인 실험결과를 이용하여 ANSYS로 해석수행한 결과이다. 각 클리어런스 량에 따른  $\Delta$ ,  $\rho$ ,  $\theta$ 는 해석을 통해 얻을 수 있고, 이렇게 얻은 데이터를 이용해  $\rho = \theta$ 를 만족하는 최적의 클리어런스를 결정 하게 된다.<sup>(1)(4)</sup>

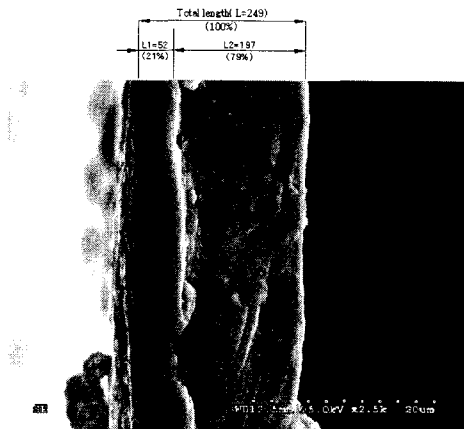


Fig. 2 Electron microscopic observation on shearing section ( $Cl=10\%$ )

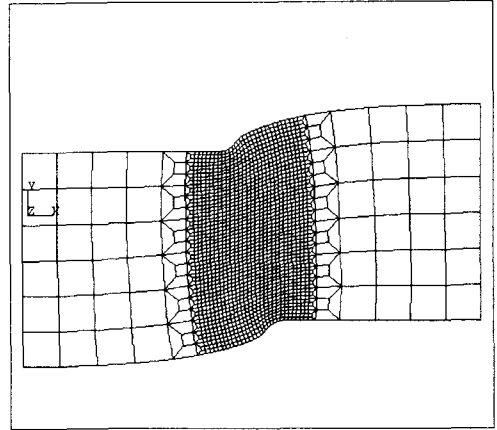


Fig. 3 Deformation shape after punch penetration of 21% ( $Cl=10\%$ )

### 4. 해석결과

최적의 펀치와 금형사이의 클리어런스를 구하는 것은 성형 불량 없이 전극판의 타발을 위하여 반드시 필요하다. 최적의 클리어런스를 구하기 위하여 클리어런스를 6%에서 14%까지 변화시켜가면서 대각선각 ( $\rho$ )과 최초 파단 전파각 (Fracture propagation angle  $\theta$ )을 계산하였다. Table 3에 결과를 정리하였는데  $\rho$  값은 Fig. 4를 참조로 구할 수 있다. 해석결과를 살펴보면 클리어런스가 증가할수록 최초의 파단이 발생하기까지의 펀치 침입량은 증가하고, 대각선각 또한 증가함을 알 수 있다. 반면에 파단이 진행되는 방향은 Fig. 5와 같은 추이를 보이고 있으며 대각선각과 파단 전파각이 일치하는 지점은  $Cl \approx 7.5$ 임을 알 수 있다.

Table 3 Punch penetration, diagonal angle and direction of crack propagation for different clearance

$Cl(\%)$	$\Delta(\%)$	$\rho(^{\circ})$	$\theta(^{\circ})$
6	20.4	3.47	9.2
8	20.7	4.61	2.48
10	21.0	5.77	0.35
12	21.1	6.92	2.68
14	21.4	8.08	1.41

## 후기

본 연구는 부산대학교 정밀정형 및 금형가공 연구센터와 두뇌한국 21사업 핵심분야에서 지원 받아 수행되어진 연구 결과로 관계자 여러분께 감사드립니다.

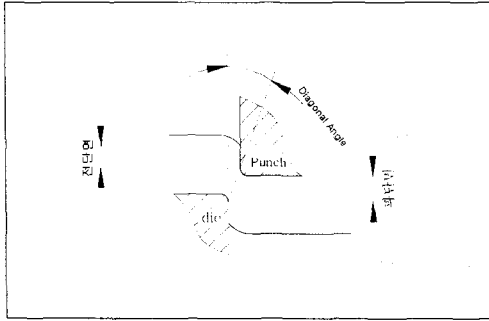


Fig. 4 Schemetic view of diagonal angle

## 참고문헌

- (1) Ffaura, F. Garcia, A. and Estrem, M., 1998, "Finite element analysis of optimum clearance in the blanking process", *Material Processing Technology*, 80-81, pp.121~125.
- (2) Korbayashi, S. Oh, S.I and Altan, T., 1989 "Metal Forming And The Finite Element".
- (3) Nakamachi, E., 1990, "Computer Aided Simulation of Sheet Metal Forming Procedures by Thin Shell Finite Element," *Analysis. Advanced Technology of Plasticity*, Kyoto, Japan, July 1~6, pp. 1475~1750.
- (4) Bathe, K., 1996, "Finite Element Procudures".
- (5) 이지환, 이정중, 김병일, 배차현, 1993, "비철 금속재료", 원창출판사.

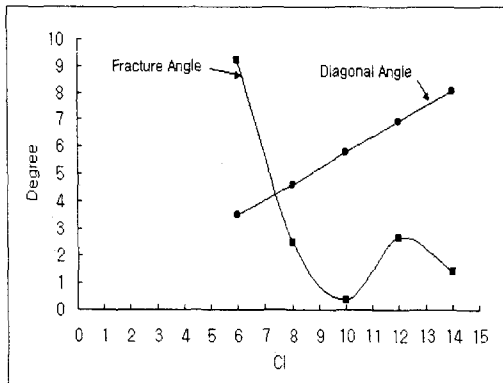


Fig. 5 Variation of the diagonal angle and the direction of crack propagation with the clearance

## 5. 결론

침입률을 정하기 위한 시편과 해석에 사용된 소재는 현재 리튬폴리머전지의 양극판으로 사용되고 있는 순수 알루미늄 박판이다. 이 연구에서 측정된 10% 클리어런스에 대한 침입률이 일반 알루미늄 판재의 침입률과는 상당한 차이가 있다. 이는 이미 알려진 일반적인 벌크(Bulk) 소재의 실험 자료나 해석 결과로 초박판 성형의 결과를 예측 하는 것에 부리가 있음을 보여주는 것이며 앞으로 많은 연구가 수행되어져야 할 분야로 생각 되어진다.