

박판 성형해석을 위한 마찰계수의 산정에 관한 연구

금영탁^{1#}, 심진우²

Study on the Calculation of Friction Coefficient for Sheet Metal Forming Analysis

Y. T. Keum, J. W. Shim

Abstract

In order to measure the friction coefficient used in sheet metal forming analysis, a friction tester was manufactured and friction tests were performed in various forming conditions. Based on the friction coefficients measured, a mathematical friction model was constructed in terms of lubricant viscosity, blank holding force, punch velocity and sheet roughness. In addition, the effect of the number of forming parameters in the calculation of friction coefficient on the accuracy of sheet metal forming analysis was investigated by comparing the punch loads obtained from the FEM simulation, in which the friction coefficients were determined by a few parameters with the experimental measurement.

Key Words: Sheet Metal Forming(박판성형), Friction Coefficient(마찰계수), Friction Model(마찰모델), Friction Test(마찰시험), FEM Analysis(유한요소해석), Blank Holding Force(블랭크 홀딩력), Lubricant Viscosity(윤활점도)

1. 서론

최근 제품개발 현장에서는 금형제작시 컴퓨터 시뮬레이션으로 트라이아웃을 대체하려는 많은 노력이 있다. 그러나 고정도의 유한요소해석을 통한 컴퓨터 트라이아웃은 마찰현상의 정량적 규명이 필수적이다.

박판성형에서의 마찰은 윤활, 펀치속도, 블랭크 홀딩력, 굽힘력, 다이와 공구사이각, 공구의 반경, 소재 표면의 조도, 표면도금방법 등 영향을 주는 인자의 수가 많고 이러한 인자들간의 복합적인 작용으로 일어나는 현상이므로 마찰계수의 값을 일정한 값으로 정량화하는 것은 매우 어렵다.

현재까지 마찰현상에 대한 연구동향을 살펴보면 Wagoner[1]등은 성형성과 마찰을 신속하고 편리하게 평가할 수 있는 실험장치를 개발하였다. Siegart[2]등은 딥드로잉 공정에서 블랭크 홀딩력

제어를 통해 마찰력을 변화시켜 판재의 유입량을 제어하는 페루프 알고리즘을 개발하였으며 Zhang[3]등은 블랭크 홀더에 프로브를 장착한 실험장치를 고안하고 이를 이용하여 판재와 금형 사이의 마찰계수를 측정하였다.

본 연구에서는 박판 성형 중 여러 마찰인자들의 영향을 고려할 수 있는 실험장치를 설계, 제작하고 마찰실험을 수행하였다. 그리고 실험으로 구한 마찰계수들을 기초로 수학적 마찰모델을 제시하였으며, 마찰계수에 영향을 주는 성형변수들의 개수가 성형해석의 정확도에 미치는 영향을 조사하였다.

2. 마찰 실험 및 결과

마찰실험을 위하여 마찰실험 장치를 설계 및 제작하고, 무윤활을 포함한 9종류의 윤활조건, 5종류의 인출속도, 4종류의 조도를 가지는 시편 그리고

1. 한양대학교 기계공학부
2. 한양대학교 일반대학원
교신저자: ytkeum@hanyang.ac.kr

5종류의 블랭크 홀딩력에 대하여 마찰실험을 수행하였다.

Fig. 1은 여러가지 인출속도에서 블랭크 홀딩력에 따른 마찰계수의 거동을 보여 준다. 블랭크 홀딩력과 인출속도가 증가함에 따라 마찰계수가 완만하게 감소한다.

Fig. 2는 여러가지 블랭크 홀딩력에서 윤활유 점도에 따른 마찰계수의 거동을 보여 준다. 윤활유 점도와 블랭크 홀딩력이 증가함에 따라 마찰계수가 감소하고 특히 저점도 에서 급격한 감소를 볼 수 있다.

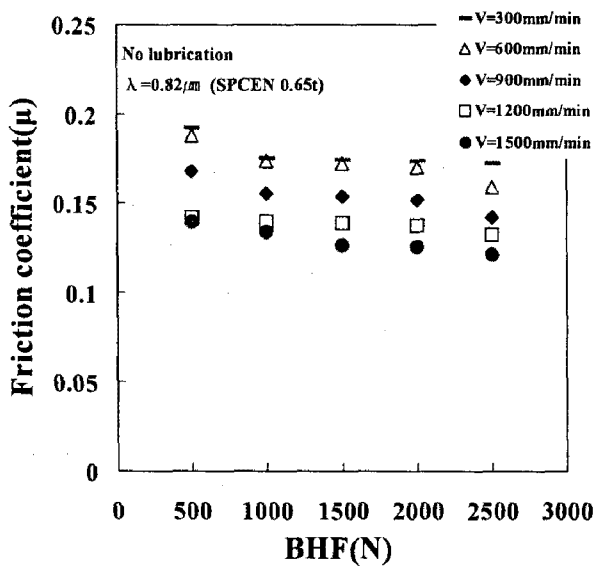


Fig. 1 Friction coefficients associated with blank holding forces in various drawing speeds

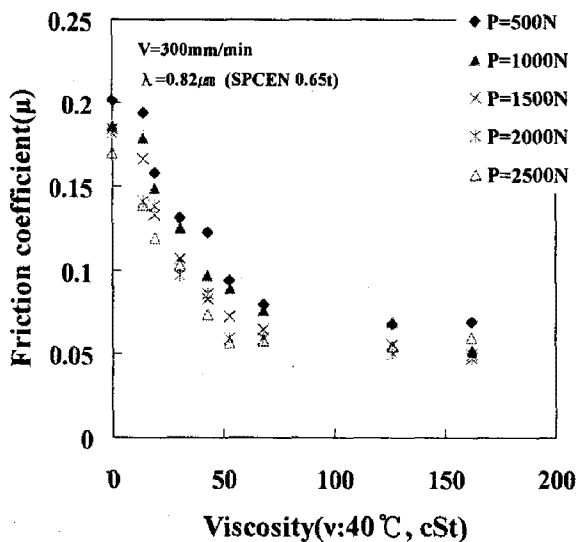


Fig. 2 Friction coefficients associated with lubricant viscosities in various blank holding forces

Fig. 3는 여러가지 윤활유 점도에서 인출속도에 따른 마찰계수의 거동을 보여 준다. 인출속도와 윤활유 점도가 증가함에 따라 마찰계수가 감소한다.

Fig. 4는 여러가지 윤활유 점도에서 시편조도에 따른 마찰계수의 거동을 보여 준다. 윤활유 점도가 증가함에 따라 마찰계수가 감소하나 시편조도가 0.5 μm 이상이 되면 다시 증가하는 U자형의 거동을 관찰할 수 있다.

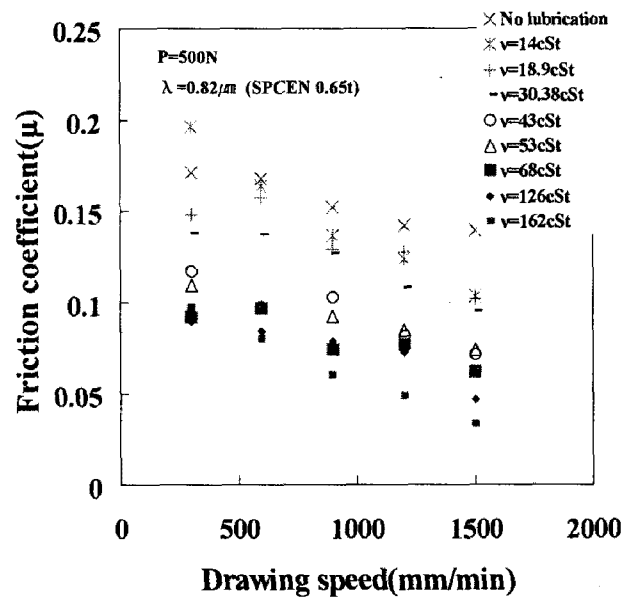


Fig. 3 Friction coefficients associated with drawing speeds in various lubricant viscosities

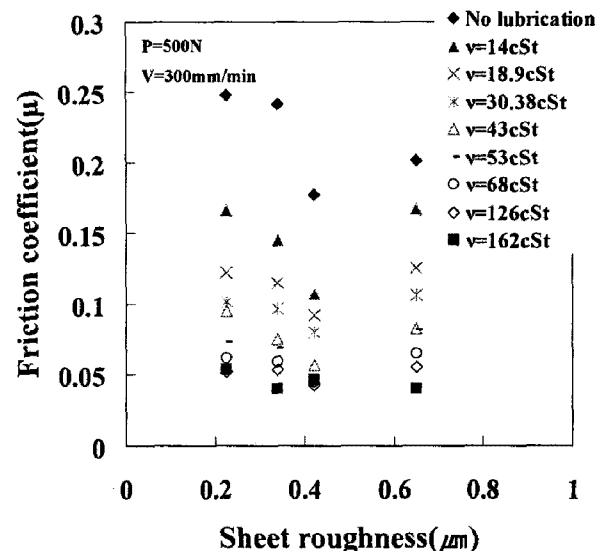


Fig. 4 Friction coefficients associated with sheet roughness in various lubricant viscosities

3. 마찰 모델

마찰실험에서 얻은 데이터를 기초로 윤활유 점도, 인출속도, 블랭크 홀딩력, 박판조도를 변수로 다중회귀분석하여 다음과 같이 수학적 모델을 제시한다.

$$\mu = a_0 + a_1v + a_2V + a_3P + a_4\lambda \quad (1)$$

여기서 μ, v, V, P, λ 는 각각 마찰계수, 윤활유 점도, 인출속도, 블랭크 홀딩력, 박판 표면 조도 이고, $a_0 \sim a_4$ 는 실험데이터를 기초로 다중회귀분석 하여 결정되는 상수로 마찰계수에 미치는 영향의 정도를 나타낸다.

4. 검증

제시한 마찰모델에서 고려한 성형인자 개수가 성형해석의 정확도에 미치는 영향을 알아 보기 위하여 마찰모델로 구한 마찰계수를 사용하여 얻은 FEM 성형해석 결과를 실험치와 비교하였다.

시편의 길이, 폭, 그리고 두께가 각각 300mm, 40mm, 0.65mm인 드로잉용 강판(SPCEN)을 직경 105.7mm인 둥형편치를 사용하여 80mm/min의 속도로 스트레칭하는 성형공정을 FEM해석 하였다.

해석에 사용된 마찰모델과 각 마찰모델로 산출된 마찰계수는 Table 1과 같다. 마찰에 가장 큰 영향을 주는 윤활유 점도만을 고려한 Model 1, 윤활유 점도와 인출속도를 함께 고려한 Model 2, 윤활, 인출속도, 그리고 블랭크 홀딩력을 고려한 Model 3을 성형해석에 도입하였다.

Fig. 5 는 상기한 3마찰모델을 도입하고 둥형편치 성형을 유한요소 해석하여 얻은 편치력을 실험치와 비교한 그래프이다. 윤활유 점도만을 고려한 모델보다 편치속도를 추가하여 고려한 모델이 좀 더 실험치에 근접하였고, 블랭크 홀딩력을 더 추가하여 고려한 모델이 가장 실험치에 근접함을 알 수 있다.

성형하중의 실험 측정치 대비 RMS 오차는 Model 1이 14.72%, Model 2가 13.99%, Model 3이 11.06%를 보여 3성형변수를 고려한 Model 3이 가장 정도가 높았지만 1~2 성형 변수를 고려하여 해석한 Model 1과 Model 2도 비교적 정도가 높았다.

Table 1 Friction models and friction coefficients

Model name	Friction model description	Friction coefficient
Model 1	$\mu = a_{01} + a_{11}v$	0.164
Model 2	$\mu = a_{02} + a_{12}v + a_{22}V$	0.112
Model 3	$\mu = a_{03} + a_{13}v + a_{23}V + a_{33}P$	0.109

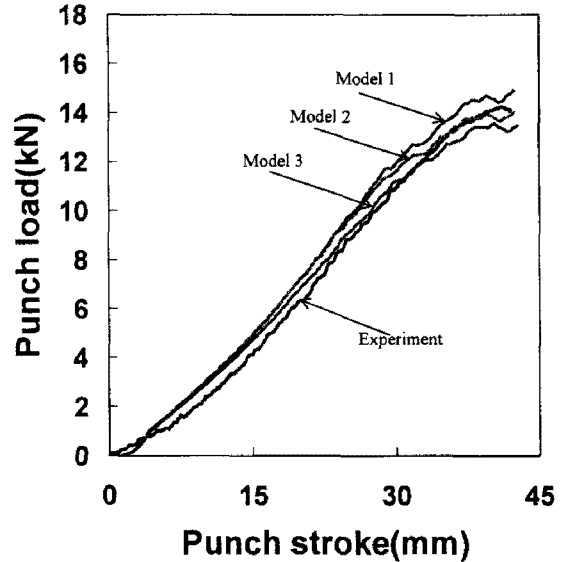


Fig. 5 Comparison of punch loads found by FEM using Model 1, Model 2 and Model 3 with experimental measurement.

5. 결론

박판성형 마찰인자들이 마찰계수에 미치는 영향을 평가하기 위하여 마찰실험을 실시하고 실험에서 얻은 마찰계수 데이터를 토대로 수학적 마찰모델을 제안하였다. 그리고 마찰계수 산정에서 성형인자 개수가 성형해석의 정확도에 미치는 영향을 알아 보기 위하여 둥 성형하중에 대한 해석치를 실험치와 비교하였다. 이러한 일련의 연구에서 얻은 결론은 다음과 같다.

- (1) 윤활유 점도, 인출 속도, 블랭크 홀딩력이 증가함에 따라 마찰계수는 감소한다.
- (2) 윤활유 점도, 인출속도, 블랭크 홀딩력, 박판 조도의 순서로 박판성형 중 마찰에 크게 영향을 주고 이들 중 첫 3 인자가 지배적이다.
- (3) 박판성형해석을 위한 마찰계수는 윤활상태, 편치속도, 블랭크 홀딩력 등을 고려하여 산정하여야 하지만, 윤활상태만을 고려하여 산정하여도 비교적 정확히 성형해석 결과를 얻을 수 있다.

후 기

본 연구는 GM Daewoo Auto & Technology Co.의 지원을 지원받아 수행되었습니다. 관계자 여러분께 감사 드립니다.

참 고 문 헌

- [1] Y. Kong, Y. Sun, X. Wang, R. H. Wagoner, 1996, Development of a New Friction Test Device in Sheet Forming, ICTP; Advanced technology of plasticity, pp. 835~838.
- [2] K. Siegert, M. Ziegler, S. Wagner, 1997, Closed Loop Control of the Friction Force, Deep Drawing Process, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 71, pp. 126~133.
- [3] Z. L. Zhang, L. Chen, 1997, Study of the Friction Characteristics of Lubricants and Their Affecting Factors during Drawing, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 63, pp. 144~147.
- [4] X. J. Wang, J. L. Duncan, M. L. Devenpack, 1983, Punch Friction Tests for Sheet Metal Forming, AMERICAN SOCIETY FOR METALS, Vol. 3, NO. 1, pp. 3~11.
- [5] M. Eguchi, T. Yamato, Dynamic Behavior of a Slider Under Various Tangential Loading Conditions, Proc. JSLE. Int. Tribology Conference, pp. 1047~1052.