

# 박판 성형을 위한 마찰 모델에 관한 연구 (1부:윤활/표면 조도)

금영탁\* · 이봉현\*\*

## Study on the Friction Model for Sheet Metal Forming (Part1:Lubrication/Surface Roughness)

Y. T. Keum and B. H. Lee

### Abstract

Friction between the sheet and tools is one of the important factors affecting the sheet metal forming. Therefore, the clarification of the friction is essential to improve the formability of the sheet. In order to find the effect of material property and lubricant viscosity on the frictional characteristics, tensile test, surface roughness test and friction test are performed. The results showed that friction characteristics are mainly influenced by the surface roughness and lubricant viscosity. A mathematical model of the friction is developed for calculating friction coefficient in terms of surface roughness and lubricant viscosity. The validity and accuracy of the mathematical model of the friction are verified through the experiment and FEM analysis.

**Key Words** : Friction Coefficient, Lubricant Viscosity, Surface Roughness, Finite Element Method, Coated material

### 1. 서론

본 연구는 박판성형중 마찰에 주로 영향을 미치는 인자들의 데이터 구축을 통하여 FEM해석이나 실제 성형시 적합한 마찰계수를 제시하고자 한다. 이를 위하여 윤활유 점도와 소재 표면 조도가 마찰에 미치는 영향을 평가하였고 효율적인 마찰계수 평가를 위한 수학적 모델링을 제시하였다.

### 2. 실험 방법

마찰실험에 사용되어질 각 강판의 기계적 성질을 파악하기 위하여 인장실험, 표면 조도 측정실험을 실시하였다. 인장실험은 U.T.M을 이용하여 인장속도 5mm/min으로 수행하였고 표면 조도 측정실험은 Telysurf series II를 이용하여 실시하였다. 마찰실험은 평면 마찰실험에 필요한 실험장치를 제작하여 재료와 다이 사이의 마찰계

\* 한양대학교 기계공학부

\*\* 한양대학교 대학원

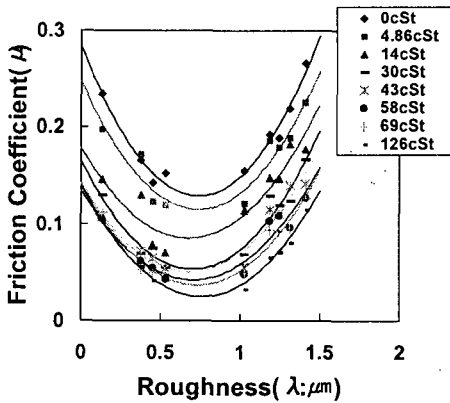


Fig. 1 Schematic diagram of sheet metal friction die

수를 측정하였다. 실험에 사용된 모든 재료는 양면이 동일한 도금 조건을 갖고 있으며 Fig. 1에서와 같은 방법을 이용하여 측정한 후 식(1)에 대입하여 평균값으로 구하였다.

$$\mu_{ave} = \frac{\sum_{n=1}^K \mu_n}{K} = \frac{\sum_{n=1}^K \frac{F_n}{2 \times N}}{K} \quad (1)$$

여기서,  $\mu_{ave}$ 는 평균 마찰계수이고 F는 수직하중, N은 인출력을 각각 나타내며, K는 측정구간에서 측정된 인출력의 수를 나타낸다.<sup>(1)</sup> 본 실험에서는 실제 드로우잉 공정에서 사용되어지고 있는 방청유와 일반 드로우잉유를 포함한 8가지의 윤활조건에서 실험이 이루어졌으며 윤활유 점도는 점도-온도 도표에 의해 보정하여 사용하였다. Table 1와 Table 2는 각각 마찰 실험조건과 사용 윤활유의 특성을 나타낸다. 실험결과의 처리는 디지털 스케닝된 결과들의 컴퓨터 분석을 통하여 이루어졌으며 각 경우의 실험 편차를 줄이기 위하여 모든 마찰계수는 3회 반복 실험한 후 그 평균값을 대표값으로 사용하였다.

Table 1 Friction test conditions

Pulling Velocity	600mm/min
Holding Force	200N
Pulling Length	100mm
Specimen Size	40mm×300mm
Die Size	60mm×60mm
Die Material	SKD 11
Die Roughness	0.15μm

Table 2 Material properties of various lubricants

Type	Viscosity(40 °C cSt)	Fire Point(°C)	Specific Gravity
Rust Preventive Oil	4.86	128	0.84
Drawing Oil 1	14	170	0.9
Drawing Oil 2	30	172	1
Drawing Oil 3	43	210	0.92
Drawing Oil 4	58	174	0.95
Drawing Oil 5	69	218	0.93
Drawing Oil 6	126	238	0.97

### 3. 결과 및 고찰

표면 조도와 마찰계수와의 상관관계는 Fig. 2에서와 같은 규칙적인 형태를 갖는 것을 알 수 있으며 표면 조도가 약 0.5μm~1μm사이에서 모든 윤활조건에 대해 마찰계수가 가장 낮게 나오는 것을 알 수 있다. 이는 표면 조도가 낮을수록 윤활유를 보관할 수 있는 오일포켓의 체적이 줄어들어 전반적으로 윤활효과가 떨어지는 반면 표면 조도가 지나치게 높아지면 보다 많은 소성변형으로 인해 마찰저항이 증가하게 되며 동일한 양의 윤활유 도포시 쉽게 유체윤활상태가 파괴되기 때문인 것으로 생각된다. 전반적으로는 전기도금강판에 비하여 상대적으로 용융도금강판의 마찰계수가 적게 나타났다. 이는 용융도금 강판의 경우 조질 압연에 의해 표면을 균일하게 압하시킨것인데 이런 조질 압연은 합금화 용융도금 후 아연 결정립 성장에 의해 거칠어진 표면을 균일하게 압하하여 매끈한 표면을 형성시키기 때문에 도금 결정립의 성장제어가 어려운 전기 도금강판보다 마찰특성에 유리한 균일한 표면 거칠기를 얻기 쉽기 때문인 것으로 생각되어진

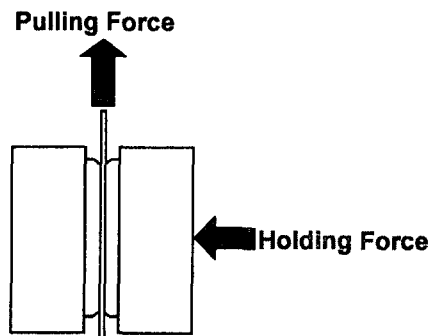


Fig. 2 Friction coefficients associated with roughness in various lubrication conditions

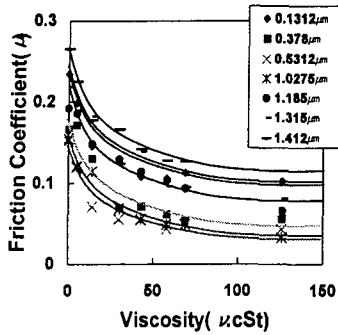


Fig. 3 Friction coefficients associated with viscosity in various roughness conditions

다.<sup>(2)</sup> 윤활유의 점도와 마찰계수와의 관계를 나타낸 Fig. 3을 통하여 윤활유의 점도가 증가할수록 마찰계수가 전반적으로 감소하는 경향을 보이는 것을 알 수 있다. 이러한 현상은 시편에 동일한 양의 윤활유를 도포하고 마찰실험을 할 때 상대적으로 응집력이 약한 저점도유의 경우 동일한 면압에 대하여 응집력이 강한 고점도유보다 쉽게 유체윤활상태가 파괴되어 경계윤활상태로 변하게 되므로 마찰계수가 높게나오고 또한 고점도유의 경우 저점도유에 비하여 보다 긴 시간동안 제자리에 머물면서 윤활작용을 할 수 있기 때문에 마찰계수가 낮게 나오는 것이라 생각된다. 이 그림에서 실험에 사용된 모든 시편에 대하여 공통적으로 윤활유 점도가 약 60cSt이하에서는 점도가 증가함에 따라 마찰계수가 급격하게 감소하다가 이후 점도가 60cSt이상으로 증가할수록 마찰계수 감소의 폭이 줄어들게 되는것을 알 수 있다. 이것은 고점도유보다 상대적으로 낮은 면압에서 유체 윤활막이 파괴되는 저점도유가 동일하게 가해지는 접촉 면압에 대하여 보다 민감하게 작용하기 때문인 것으로 생각되어진다. 식(2)는 경계 윤활상태에서의 마찰계수를 나타내주는 식이다<sup>(3)</sup>

$$\mu = (1 - \alpha) \mu_0 + \alpha \mu_m \quad (2)$$

식(2)에서  $\alpha$ 는 도금표면과 다이간의 겹보기 접촉면적에 대한 직접 접촉면적의 비이고  $\mu_0$ 는 윤활유와 다이 사이의 마찰계수를 나타내며  $\mu_m$ 은 도금표면과 다이 사이의 마찰계수를 나타낸다. 앞서 기술한 바와 같이 접촉 면압에 대하여 민감하게 반응하는 저점도역에서는 점도가 증가함에 따라 직접접촉면적이 증가하게되고 결국  $\alpha$ 가 감소하게 된다. 이것은 상대적으로 작은값을 갖는  $\mu_0$  항의 증가에 비하여 보다 큰 값을 갖는  $\mu_m$  항의

감소가 더 큰 영향을 미쳐 전체적으로 마찰계수의 값이 비교적 큰 폭으로 감소하는 것으로 생각된다. 반면 상대적으로 면압에 대하여 덜 민감한 고점도역에서는 보다 효과적으로 유체윤활상태를 유지할 수 있으므로 점도 증가에 따른  $\alpha$ 의 감소가 크지 않을 것이라 생각된다. 이러한 이유로 인하여 고점도역에서는 저점도역에 비하여 점도 증가에 따른 마찰계수의 변화가 적은 것으로 생각되어진다.

#### 4. 마찰 모델 및 검증

본 절에서는 앞의 실험 결과를 토대로 마찰계수의 정량화를 위한 수학적 모델을 제시하였다. 우선 윤활유 점도와 마찰계수와의 관계 및 표면 조도와 마찰계수와의 관계를 수치해석적 방법을 이용하여 각각 식(3)과 식(4)의 형태로 제안할 수 있다.

$$\mu = \frac{23.2}{(104.5 + \nu^{0.98})} \quad (3)$$

$$\mu = 0.24 \lambda^2 - 0.346 \lambda + 0.252 \quad (4)$$

여기서  $\nu$ 는 윤활유의 동점성계수이고  $\lambda$ 는 표면조도를 각각 나타낸다. 각 인자들의 개별적 영향관계는 위의 두 식으로 나타내 줄 수 있지만 두 식을 하나의 식으로 나타내기 위해서는 상호 복합적 영향관계를 고려해야 하고 그 결과 식(5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\mu = \frac{23.2}{104.5 + \nu^{0.98}} - 5.3 \times 10^{-6} (\nu - 56.6)^2 + 0.24 (\lambda - 0.76)^2 - 0.112 \quad (5)$$

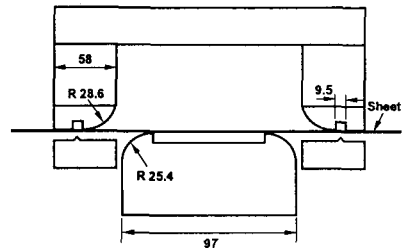


Fig. 4 Schematic diagram of the tooling used in 2-D stretching simulation

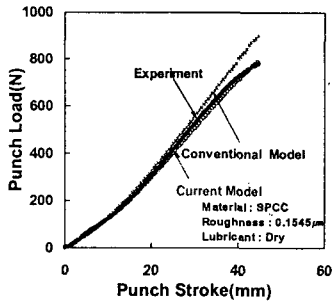


Fig. 5 Comparison of punch load of SPCC in stretching process among current friction model, conventional friction model and measurement

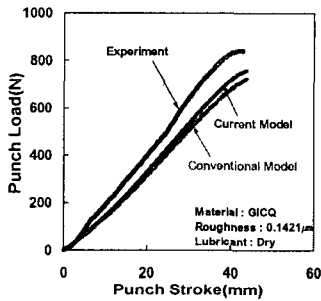


Fig. 6 Comparison of punch load of GICQ in stretching process among current friction model, conventional friction model and measurement

Fig. 4은 FEM해석에 사용되어진 공구의 기하학적 형상이다. Fig. 5와 Fig. 6은 FEM을 이용하여 stretching상태에서 도금강판 및 무도금강판의 편치력을 기존 모델링과 새로운 모델링인 식(5)를 이용하여 구한 마찰계수를 각각 대입하고 해석하여 구한 후 실험치와 비교한 것이다.

## 5. 결론

본 연구에서는 박판성형중 소재의 표면처리에 따른 조

도 변화와 윤활유 변화에 따른 점도 변화가 마찰계수에 미치는 영향을 평가하기 위한 실험을 실시하였으며 그에 따른 데이터베이스를 구축하였다. 본 연구로부터 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 0.5 $\mu$ m~1 $\mu$ m의 박판 표면 조도에서 마찰계수가 가장 낮고 U자 곡선형을 갖는다.
- (2) 마찰계수와 윤활유 점도는 반비례관계에 있다.
- (3) 윤활유 점도와 표면 조도에 따른 마찰특성을 모델링하였다.
- (4) 실험과 FEM해석을 통하여 제시된 마찰모델을 검증하였다.

## 후 기

본 연구는 부산대학교 정밀정형 및 금형가공 연구센터를 통한 한국과학재단 우수 연구 센터 지원금에 의한 것입니다. 또한 본 연구를 위해 도움을 주신 Wagoner교수님과 Boger에게 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

- (1) Soon-Kyung, Kim and Eon-Chan Jeon, 1998, "A Study on the Effect of Surface Roughness of Strip for Automobile in the Paintability" 대한기계학회논문집 A권, 제22권 제7호, pp. 1326~1335.
- (2) 김영석, 남재복, 최원집, 1990, "자동차용 표면처리강판의 마찰특성에 관한 연구", 대한기계학회논문집 제14권 제6호, pp.1474~1486.
- (3) Meuleman, D.J., Denner, S.G., and Cheng, F.L., 1984, "The Effect of Zinc Coating on the Formability of Automotive Steet Steel", SAE paper No, 840370,