

## 판재 성형을 위한 마찰 계수에 관한 연구

박동환\* · 강성수\*\*

# A Study on Friction Coefficient for Sheet Metal Forming

D. H. Park and S. S. Kang

### Abstract

Friction for sheet metal forming affects improvement of deep drawing formability. The deep drawing is affected by many process variables, such as lubricant, blank shapes, shape radius and so on. Especially, lubrication is very important formability factor. In this study, in order to investigate friction coefficient of sheet metal forming, we examined friction test about three conditions, such as non-lubrication, full lubrication and film lubrication. We measured friction coefficient according to pin load under the conditions like deep drawing die. Mean friction coefficient for film lubrication condition would be very useful value to improve drawability.

**Key Words** : Friction Coefficient, Sheet Metal Forming, Lubrication Friction

### 1. 서 론

판재금속의 소성변형을 이용하여 펀치와 다이를 이용해 원하는 형상을 만드는 가공법을 드로잉이라고 한다. 음료수 캔이나 자동차 박판등의 제품을 절단가공 없이 단시간에 대량생산할 수 있다는 점에서 현장에서 많이 쓰이고 있다. 특히 드로잉 가공중에서 가공물의 길이가 직경보다 큰 경우를 디프 드로잉(deep drawing)이라 한다. 디프 드로잉 가공시 펀치가 블랭크를 가압하면서 원주방향으로 압축 변형이 일어나며 다이 반경부에서 굽힘, 측벽부에서 퍼짐과 인장 등의 복잡한 재료거동이 나타나게 된다. 특히, 윤활유의 사용 유무에 따른 다이와

소재사이의 마찰, 블랭크 홀더와 소재사이의 마찰 등은 소재가 다이 내부로 성형될 때 디프 드로잉 제품의 성형성에 큰 영향을 미치는 요인 중의 하나이다. 이러한 마찰계수는 물체가 정지하고 있을 때의 정지마찰계수와 운동하고 있을 때의 운동마찰계수로 나눈다. 일반적으로 운동마찰계수는 정지마찰계수보다 작다. 또한, 마찰계수는 서로 마찰을 하는 물체의 재질이나 접촉면의 매끄러운 정도 또는 윤활제의 종류에 따라 값이 달라진다. 즉, 마찰계수는 물체가 미끄러질 때 수평력(당기는 힘)으로 수직력(중량)을 나눈 값으로 두 접촉면 사이에 작용하는 힘에 대한 저항이며 마찰을 최소화하는데 많은 연구가 행해지고 있다.

\* 부산대학교 기계기술연구소

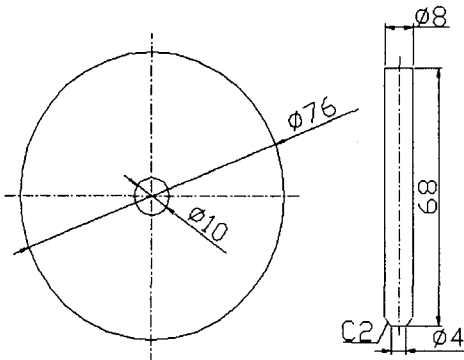
\*\* 부산대학교 기계공학부

본 연구는 판재 성형을 위한 디프 드로잉 금형과 같은 조건의 다이, 블랭크 홀더 그리고 소재 등을 사용하여 마찰 실험을 실시하여 마찰계수를 비교 분석하였다.

## 2. 마찰계수 실험

### 2.1 시편준비

다이와 소재사이의 마찰계수 측정을 하기 위해 Fig. 1과 같은 시편을 제작하여 마찰 실험을 하였다. 실험에 사용된 디스크(disk)는 직경 76mm이고 두께는 1.6mm이다. 디스크 고정판(disk holder)에 고정을 하기 위해 디스크 중앙부에 직경 10mm의 구멍을 뚫은 후 볼트로 고정하였다. 핀(pin)은 직경 8mm, 높이 68mm, 머리 부분을 편치, 블랭크 홀더, 다이와 같은 조건으로 하기 위해 합금공구강(STD11)을 열처리(H<sub>R</sub>C60)하여 제작하였다. 또한, 실험에 사용된 핀의 표면 조도를 높이기 위해 핀의 앞 부분은 2mm로 모따기 한 후 직경 4mm의 표면을 샌드 페이퍼(sand paper)로 경면 사상하였다.



(a) Disk (t=1.6) (b) Pin (STD11 : H<sub>R</sub>C60)

Fig. 1 Dimensions of pin-on-disk for measure friction coefficient

### 2.2 실험장치 및 방법

Fig. 2는 실험장치의 개략도를 나타낸다. 디스크와 핀 사이의 수직력과 마찰력은 내장된 로드셀(load cell)에 의해 측정되고, 수신된 신호는 컨트롤러를 통해 PC로 전송 되게 하였다. 이 때 측정된 하중 및 마찰계수는 PC에서 자동 연산하여 저장되도록 구성하였다. 여기서 압축 공기 실린더(pneumatic cylinder)는 압축 공기가 갖는 에너지를 기계적인 왕복 직선운동으로 변환하는 장치이다. 마찰 실험을 위한 시험기의 제원은 Table 1과 같다. Fig. 3은 마찰실험에 사용한 실험장치 사진이다.

Table 1 Specification of experimental setup

Specification	Dimension
Rotational speed	30 ~ 1000rpm
Motor power	2.3kW
Radius of test track	0 ~ 40 mm
Pin load	Pneumatic loading : 50 ~ 1000N
	Dead weight loading : 5 ~ 100N
Friction force	Low load : 0 ~ 40N
	High load : 0 ~ 800N

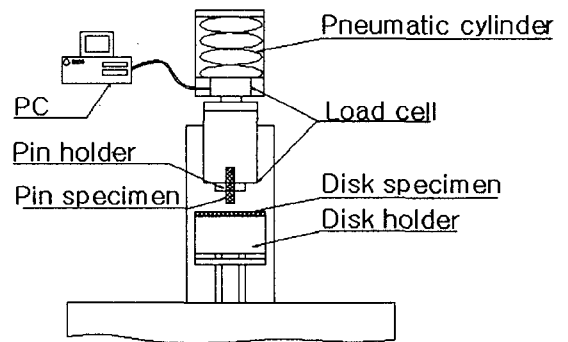


Fig. 2 Experimental equipment of pin-on-disk type

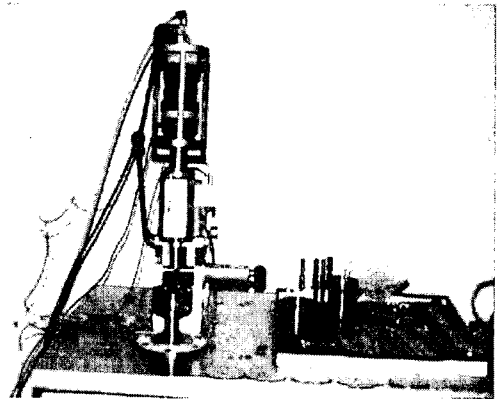


Fig. 3 Experimental equipment for measuring friction coefficient

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 평균마찰계수

시험은 평균마찰계수( $\mu$ )를 얻기 위해 여러 조건으로 설정하였다. 디스크의 회전속도는 실제 디프 드로잉 프레스 성형 속도와 유사한 60rpm으로 하였고, 성형하중(Pin load)은 150N, 200N, 250N의 3가지로 하여 디프 드로잉 금형과 같은 조건의 드로잉유 사용 유무에 따른 소재와 다이, 소재와 블랭크 홀더의 마찰계수를 측정하였다. 마찰상태는 윤활유를 사용하지 않은 고체 마찰(non-lubrication friction), 충분한 윤활유를 사용하여 실험한 윤활 마찰(full lubrication friction), 윤활유의 막을 생성시킨 경계마찰(film lubrication friction)의 세 가지 조건에서 마찰계수를 측정하였다. 마찰계수는 하중 작용과 동시에 측정을 시작하여 성형하중이 설정된 조건에 도달해서 그 상태를 얼마동안 유지한 시점까지 측정하였다. 평균마찰계수는 성형하중에 근접하여 측정된 마찰계수들의 평균을 내어 산출하였다. Table 2는 각 실험에서 구한 평균마찰계수를 나타낸다. Fig. 4는 마찰실험 후의 상태를 나타낸다.

Table 2 Mean friction coefficient value of each test

Type	150N	200N	250N	Mean value
Non-lubrication	0.241	0.26	-	0.25
Full lubrication	0.08	0.15	-	0.12
Film lubrication	0.09	0.07	0.08	0.08

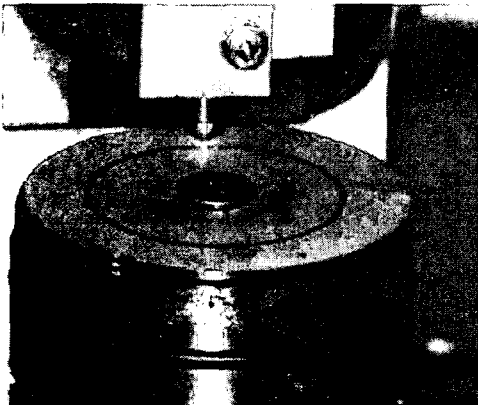


Fig. 4 State after test for measuring friction coefficient

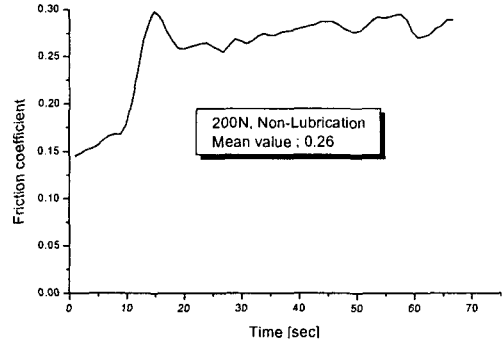


Fig. 5 Mean friction coefficient of non-lubrication for pin load 200N

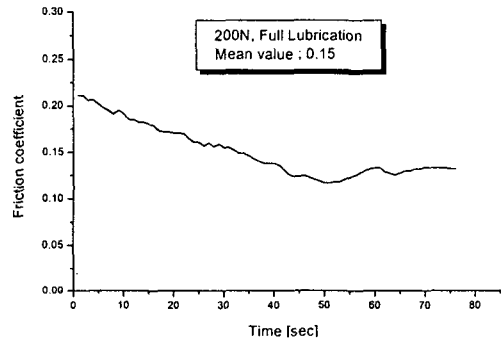


Fig. 6 Mean friction coefficient of full lubrication for pin load 200N

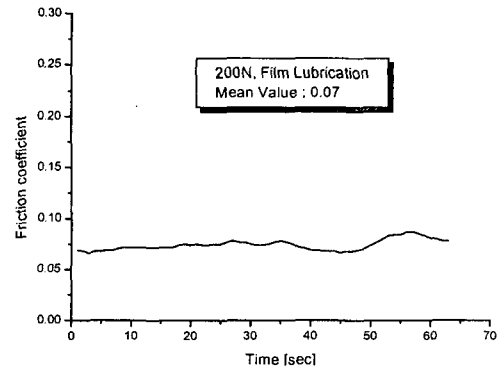


Fig. 7 Mean friction coefficient of film lubrication for pin load 200N

Fig. 5는 핀의 성형하중이 200N이고, 드로잉유를 사용하지 않고 고체 마찰시켰을 때의 마찰계수를 나타낸다. 드로잉유를 전혀 사용하지 않은 고체 마찰일 때 처음 10초 동안은 마찰계수가 0.17 정도로 나타나고, 그 이후부터는 안정되어 나타남을 알 수 있다. Fig. 6은 핀의 성형하중이 200N이고, 드로잉유를 충분히 도포하여 윤활 마찰시켰을 때의 마찰계수를 나타낸다. 이러한 드로잉유를 충분히 사용하여 윤활 마찰시켰을 때의 경우를 보면, 초기에 마찰계수는 0.21 정도로 나타나고, 이어서 계속적으로 낮아지다가 일정하게 나타난다. Fig. 7은 핀의 성형하중이 200N이고, 약간의 드로잉유를 사용하여 윤활막을 형성하여 경계 마찰시켰을 때의 마찰계수를 나타낸다. 약간의 드로잉유를 사용한 경계 마찰일 때 처음부터 계속적으로 마찰계수가 0.07 정도로 안정되어 나타남을 알 수 있다. 이상의 결과에서 핀의 성형하중이 낮은 150N에서는 Table 2에서 보는 바와 같이 윤활 마찰과 경계 마찰계수는 0.08과 0.09로 비슷하게 나타나지만, 200N에서는 윤활 마찰계수가 0.15이고, 경계 마찰계수가 0.07로 나타난다. 이것은 성형 하중이 높은 상태에서는 경계 마찰이 유리함을 알 수 있다. 따라서, 디프 드로잉 성형시에는 약간의 드로잉유를 사용하여 윤활막을 형성하여 경계 마찰 상태에서 작업을 하는 것이 유리함을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

본 연구는 프레스 가공시 판재의 마찰 특성이 성형성에 미치는 영향을 알아보기 위해 마찰에 대한 실험을 하였다. 디프 드로잉 제품을 제작할 때와 같은 소재와 다이, 소재와 블랭크 홀더 등을 제작하여 마찰 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

(1) 핀의 성형하중이 150N, 200N에서 윤활 마찰일 때 마찰계수가 0.08과 0.15로 다소 차이가 발생되나, 경계 마찰 상태에서는 0.07~0.09 정도로 큰 차이를 보이지 않고 작게 나타남을 알 수 있다.

(2) 고체 마찰, 윤활 마찰, 경계 마찰의 3가지 조건에서 평균마찰계수는 경계 마찰인 경우에 가장 낮은 0.08임을 알 수 있었다. 그러므로, 디프 드로잉 금형에서 성형할 경우에 약간의 드로잉유를 사용하여 윤활막을 형성시킨 경계 마찰 상태에서 작업을 하는 것이 유리함을 알 수 있었다.

#### 참 고 문 헌

- (1) 김두환, 1998, "원통형 딥드로잉 용기의 벽 두께 감소 최소화에 관한 실험적 연구", 한국소성가공학회지, 제7권 제4호, pp. 393~399.
- (2) 정동원, 양동열, 1995, "딥드로잉에서 박판두께를 고려한 블랭크홀딩력을 가하는 개선된 방법", 한국자동차공학회 춘계학술대회, pp. 89~96.
- (3) 박동환, 최병근, 박상봉, 강성수, 2000, "타원형 디프 드로잉 공정에서 블랭크 형상 최적화에 관한 실험적 연구", 한국정밀공학회지, 제16권 제10호, pp. 101~108.
- (4) 박민호, 김상진, 서대교, 1996, "다단계 딥드로잉 가공에 대한 실험적 연구", 한국소성가공학회지, 제5권 제4호, pp. 288~296.
- (5) M. Jain, J. Allin and M. J. Bull, 1998, "Deep drawing characteristics of automotive aluminum alloys", Materials Science and Engineering, A256, pp. 69~82.