

## 금형의 온도와 처리 상태에 따른 판재의 마찰특성

송광현\* · 이재동\* · 최이천\*\* · 서대교\*\*\*

(1998년 12월 1일 접수)

### Friction characteristics of sheets for the Die Temperature and the Treating Conditions

Kwang-Hun Song, Jae-Dong Lee, Yi-Chun Choi and Dae-Gyo Seo

#### Abstract

In this study, the experimental considerations of the friction factors are presented in a few cases. The friction factors in the cases of, first, the drawing quality material, SPC3C through the non-coated die of base material, GC30, secondly, SPCC through the Cr-coated GC30 die, and lastly, SPCC through the TD heat treated STD11 die, are measured experimentally both for the increasing die temperature and the blank holding forces. The results show no considerable variations of the value of friction coefficients according to the change of both the die temperature and the die treating conditions.

**Key Words** : Friction Factor, Die Temperature, Cr-coating, TD Heat Treatment, Blank Holding Force

#### 1. 서 론

산업현장, 특히 자동차 회사에서는 강판재의 성형에 관한 제반 문제들이 매우 큰 비중을 차지한다. 부품의 종류에 따라 성형 형태가 다양하지만 특히 내판의 성형에서는 결합 없이 성형이 될 수 있을까 하는 것이 큰 관심사가 되어있다.

이러한 결합의 원인으로는 첫째, 제품 형상 자체의 드로잉 깊이가 소재의 성형 한계에 가깝기 때문에 성형성 안정 영역이 축소됨에 따라 성형공정이 소재물성의 편차에 상당히 민감하기 때문이라 판단된다. 둘째, 200회 이상의 연속 작업 시금형에 열이 축적되어 금형온도 상승에 의한

소재의 두께 증가로 인하여 마찰이 증대되고, 유입성이 저하되며, 소재온도의 상승에 의한 재질 열화가 발생하기 때문에 성형 시 소재 파단 등의 불량률이 높아진다고 판단된다. 이러한 문제점의 대책으로 지금까지는 성형성이 향상된 재질을 찾는 방향으로 대응하여 왔으나 이러한 방식의 대책수립에는 한계가 있음이 밝혀지고 있다.

즉, 수 백 회 이상의 연속 작업 시에는 금형온도의 상승뿐만 아니라 그에 따른 금형사이의 틈새감소, 마찰 특성의 변화 등이 수반되기 때문에 이에 따른 체계적인 연구가 필수적이다.

본 연구에서는 이러한 취지에서 다이의 종류와 코팅을 변화 시켜 온도와 가압력에 따른 마찰계수를 측정하였다. 실

\* 성균관대학교 기계공학부 대학원  
\*\* 기아자동차(주)  
\*\*\* 성균관대학교 기계공학부

험에서 다이와 소재는 실제 산업현장에서 많이 쓰이는 GC30 무코팅 다이, GC30 크롬코팅(6가 경질도금) 다이, STD11 TD열처리 다이와 SPC3C, SPCC 소재를 사용하였다. 이때 조건은 가압력은 1Mpa, 1.5Mpa, 2Mpa 3가지 경우에 대해 각각 온도는 상온에서 300℃까지 50℃ 간격으로 실험하였다. 마찰에 관한 많은 연구<sup>(1-6)</sup>가 있긴 하지만 본 연구와 같은 특정한 경우에 대한 실험 예는 거의 발견되지 않았다.

## 2. 실험

### 2.1 실험조건

실험은 Table 1과 같이 Case1, Case2, Case3 세가지 조건에서 수행하였다. Case1은 무코팅 GC30 다이에 대해 SPC3C 소재를, Case2는 Cr코팅 GC30다이에 대해 SPCC 소재를, Case3는 TD열처리한 STD11다이에 대해 SPCC 소재를 가지고 각각 다이 온도가 상온, 50℃, 100℃, 150℃, 200℃, 250℃, 300℃에 대해 소재 가압력 1Mpa, 1.5Mpa, 2Mpa (714kgf, 1071kgf, 1428kgf)의 경우에 대해 실험하였다.

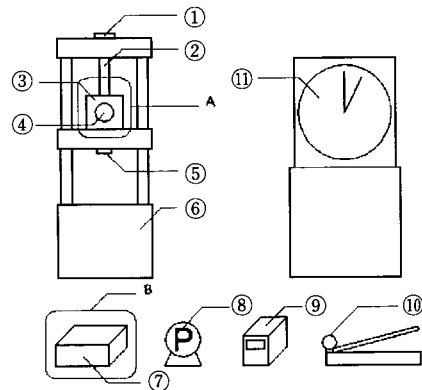
**Table 1 Name list for experimental conditions for friction test**

	Case1	Case2	Case3
Sheet	SPC3C	SPCC	SPCC
Sheet thickness (mm)	0.7	0.7	0.7
Sheet size (mm)	50*600	50*600	50*600
Die	GC30	GC30	STD11
Die treating coating	Non-coating	Cr-conditions	TD heat-Treatment
Testing conditions	Die temperature (℃)	R.T(28), 50, 100, 150, 200, 250, 300 (℃)	
	Blank holding pressure (Blank holding force)	1MPa, 1.5MPa, 2Mpa (714kgf, 1071kgf, 1428kgf)	
Lubrication	None		

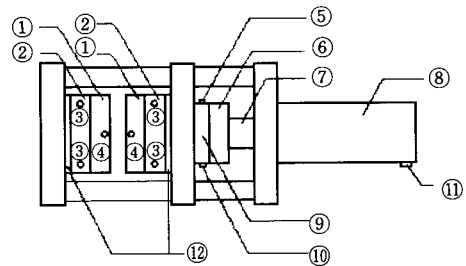
### 2.2 실험장치

본 실험을 위해 Fig.1과 같이 U.T.M(Universal testing Machine)에 마찰시험기(Fig.1-A), 가열기 (Fig.1-③), 온도조절기(Fig.1-B), 가압기(Fig.1-④)를 제작 및 장착하였다. (Table 2 참조)

실제 실험이 수행되는 마찰 시험기는 Fig.2와 같다. 이때 Fig.2-①이 실험 다이이다. 온도 센서는 Fig.2-④와 같이 실험면에 최대한 가까운 위치에 직경 5 mm 깊이



**Fig. 1 Experimental apparatus for friction testing**



**Fig. 2 Detail of Friction tester (A)**

**Table 2 Name list for experimental apparatus**

No.	Name	No.	Name
①	Test piece holder	⑧	Cooling pump
②	Test piece	⑨	Load cell indicator
③	Heater & Die	⑩	Hydraulic pump
④	Hydraulic cylinder	⑪	Load gauge
⑤	Fixing thread	A	Friction tester
⑥	U.T.M	B	Temperature controller
⑦	Temperature control Box		

40mm에 장착 하였다. 이때 센서로부터 나온 신호가 Fig.3의 Control Box에서 Fig.3-②로 들어가고 온도 조절기(Autonics TZ4 ST-14R)를 통해 미리 설정한 온도와 비교하여 Fig.3-①의 출력이 나온다. 이 출력 값이 Fig.2-③의 가열장치 전원을 직접 조절한다. 실제 실험시 설정 온도에서  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  정도의 오차 범위를 유지했다.

Fig.2-⑧의 유압실린더로 가압력을 조절하고 Fig.2-⑥의 로드셀(Load Cell)로부터 나온 값을 Fig.1-⑨의 로드셀 인디케이터(Load Cell Indicator)로 측정한다. 가열

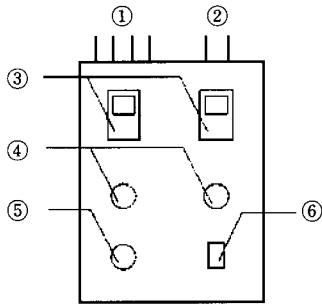


Fig. 3 Detail of Control Box (B)

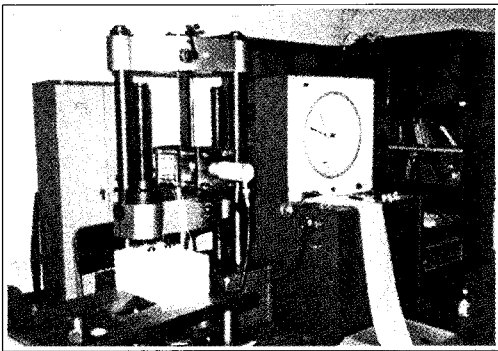


Fig. 4 Photo of Experimental apparatus for friction testing

Table 3 Name list for Detail of Friction tester

No.	Name	No.	Name
①	Die	⑦	Hydraulic ram
②	Heater	⑧	Hydraulic cylinder
③	Heating wire	⑨	Cooling device
④	Thermocouple	⑩	Cooling water output
⑤	Cooling water input	⑪	Hydraulic hose
⑥	Load cell	⑫	Insulation panel

장치의 온도가 로드셀에 영향을 주는 것을 막기 위해 가열 장치와 로드셀 사이에는 Fig.2-⑨과 같은 수냉 장치를 장착하였다.

Fig. 4는 전체 실험장치의 모습이다.

### 2.3 실험방법

실험에 앞서 다이 평면도와 조도를 측정하였다. 다이 평면도는 다이 양측에 인주를 묻히고 반으로 접은 흰종이를 다이 사이에 넣고 실험 중간 압력인 1.5MPa로 가압하여 Fig. 5와 같이 측정하였다. Case1과 Case2의 경우는 평면도가 아주 잘 맞았으며 Case3의 경우 TD열처리를 하고 마지막에 수작업이 들어가서 중간부위에 평면도가 안 맞는 부분이 약간 보인다.

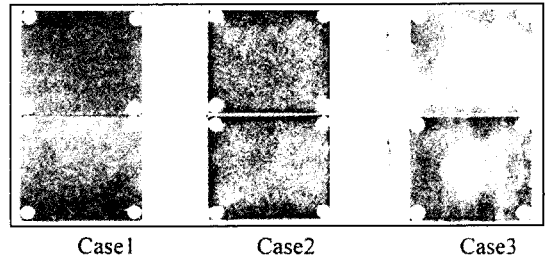


Fig. 5 Die flatness

마찰 시험 재료의 기계적 성질은 Table 4와 같다.

Table 4 Mechanical properties of sheets

	SPCC	SPC3C
YP(kg/mm <sup>2</sup> )	16.2	15.9
TS(kg/mm <sup>2</sup> )	29.5	29.0
EL(%)	49	51

다이와 시트 표면 조도는 조도계(surfcorder SE-400)을 이용하여 인출방향을 0°로 하여 Table 5와 Table 6와 같이 측정하였다. Case2의 경우 Cr코팅을 해서 표면조도가 더 좋게 나왔다. Case3의 경우 역시 수작업 이후라서

Table 5 Roughness of sheets

	SPCC	SPC3C
Ra	0.7 $\mu\text{m}$	0.9 $\mu\text{m}$
Rmax	8.1 $\mu\text{m}$	8.1 $\mu\text{m}$

**Table 6 Roughness of dies**

	Case1	Case2	Case3
Ra	0.1 $\mu$ m	0.1 $\mu$ m	0.1 $\mu$ m
Rmax	3.0 $\mu$ m	1.7 $\mu$ m	2.7 $\mu$ m

최대조도(Rmax)가 Case2에 비해 크게 나온 것으로 생각된다. 평균조도(Ra)는 차이가 없었다.

다이의 로크웰(Rockwell)경도(B형) 시험결과는 Table 7과 같다.

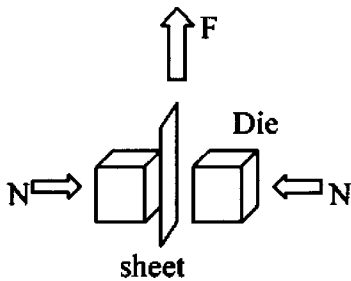
**Table 7 Hardness of dies with Rockwell test**

	Case1	Case2	Case3
HRB	B89.5	B90	B22.5

마찰계수 측정을 위해 (1)과 같은 쿨롱의 마찰식을 이용하여 구하였다.

$$\mu = \frac{F}{2N} \quad (1)$$

(이때 F는 소재 인출력, N은 소재 가압력)



**Fig. 6 Schematic of friction test**

Fig. 6는 Fig. 2의 마찰시험기의 간략도이다. 실험에서는 가압력 N과 인출력 F를 구하여 식(1)과 같은 쿨롱의 마찰식에 넣어 마찰계수를 구하였다. 쿨롱의 마찰 법칙의 기본식은 식(2)과 같다. 이때 마찰 면이 2배이기 때문에 식(1)과 같이 변형하였다.

$$\mu = \frac{F}{N} \quad (2)$$

시편 사이즈는 인출길이 방향으로 600 mm, 폭50 mm로 각각에 대해 비드 없는 다이에 대한 쿨롱의 마찰실험을



**Fig. 7 Temperature tester**

수행하였다.

구체적인 실험 방법은 다음과 같다.

(1) 냉각장치를 작동시킨다.

(2) 히터(Heater)의 온도를 실험 온도로 설정한다.

이때 정확한 온도측정을 위해 다이 표면에 같은 온도 측정기를 장착하여 센서에서의 온도를 보정하였다.

(3) 평편한 다이 사이에 시편을 넣고 실험 압력으로 가압한다.

(4) 시편을 인출속도 80 mm/min로 인출길이 40~60 mm 인출한다.

(5) 실험은 편차가 크지 않은 경우 같은 조건에서 3회 반복하여 평균을 구한다.

### 3. 실험 결과 및 고찰

실험을 수행한 결과는 다음과 같다. Fig. 9에서 인출초기(F1) 마찰계수를  $\mu a$ (실선)이라 하고 열영향을 많이 받은 인출후기(F2) 마찰계수를  $\mu a_2$ (점선)이라 하였고 ⊗는 Fig. 8과 같은 소재의 파단을 나타낸다.

(1) Case1의 경우 3가지 압력 모두의 경우에 특정한 온도부터 파단이 일어났다. 1MPa의 가압력에서는 300℃에서 1.5MPa에서는 250℃에서 그리고 2MPa에서는 150℃부터 파단이 일어났다.(Fig. 10 ~ Fig. 12)

(2) Case2의 경우는 가압력 2MPa일 때만 300℃에서 파단이 일어났다.(Fig. 13 ~ Fig. 15)

(3) Case3의 경우 300℃까지 파단이 일어나지 않았다.(Fig. 16 ~ Fig. 18) 무코팅한 다이가 온도에 따라 민감하게 반응하는 것을 알 수 있다. 특히 Case3의 TD열처리한 STD11다이의 경우 온도와 압력에 대해 마찰계수가 거의 변하지 않았다.

전체적으로는 판재가 열 영향을 많이 받았을 때의 마찰계수( $\mu_2$ )와 초기마찰계수( $\mu_1$ )는 큰 차이가 없었다. 다이의 온도에 의해 얇은 판재가 쉽게 영향을 받는다고 생각 되어진다.

온도를 일정하게 보면 가압력의 증가에 따라 마찰계수가 약간씩 낮아지는 경향이 나타난다.(Fig. 19~Fig. 21)

실험에서 고온, 고압으로 갈수록 마찰력과 인출력 외에 다른 요인(소재의 소성변형과 같은)이 많이 작용되어 정확한 마찰계수를 구하는 데는 어려움이 있었다.

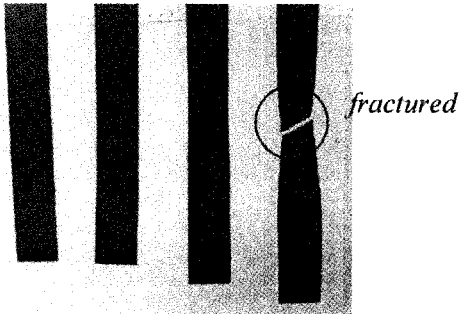


Fig. 8 Testing specimens

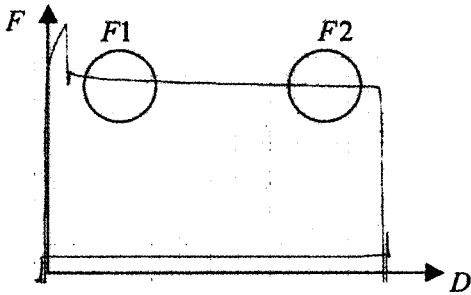


Fig. 9 Graph of the drawing force(F) to the drawing distance(D)

1. Case1 (무코팅 GC30다이에 SPC3C소재의 경우)

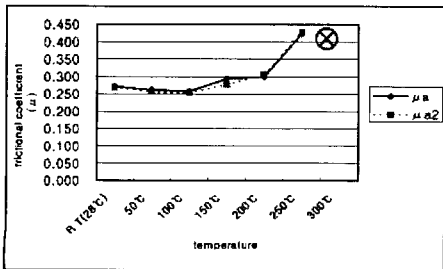


Fig. 10 Friction coefficients at the pressure of 1MPa

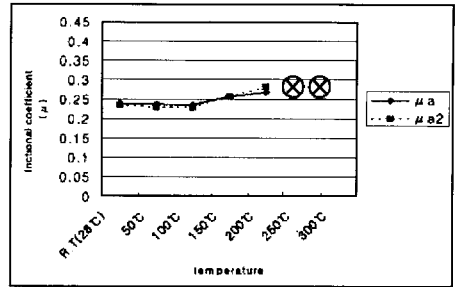


Fig. 11 Friction coefficients at the pressure of 1.5MPa

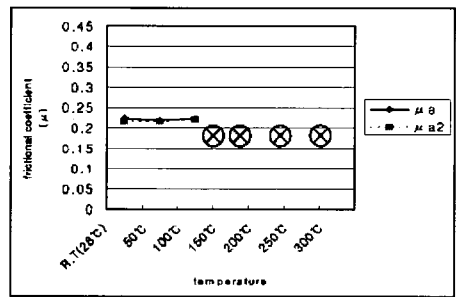


Fig. 12 Friction coefficients at the pressure of 2MPa

2. Case2 (Cr코팅 GC30다이에 SPCC소재의 경우)

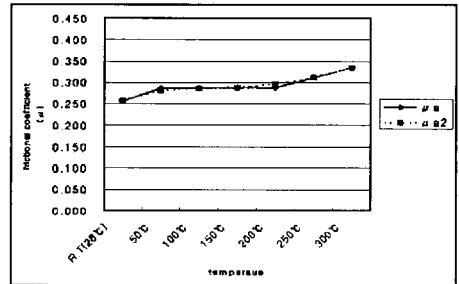


Fig. 13 Friction coefficients at the pressure of 1MPa

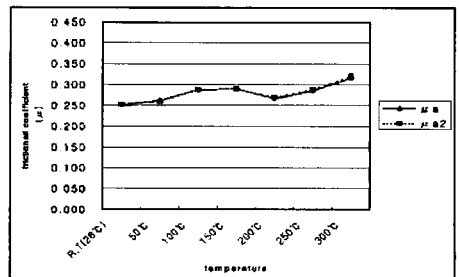


Fig. 14 Friction coefficients at the pressure of 1.5MPa

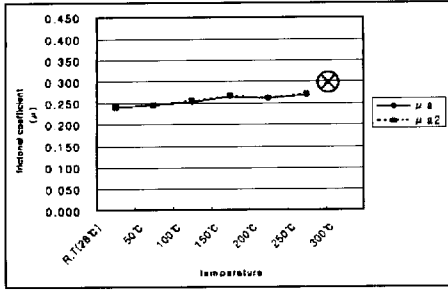


Fig. 15 Friction coefficients at the pressure of 2MPa

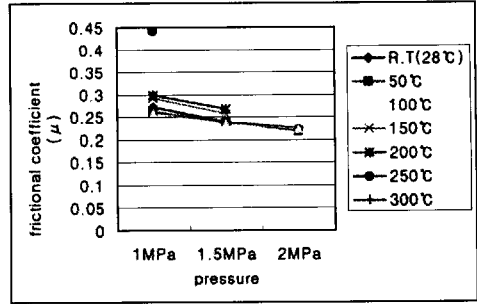


Fig. 19 Friction coefficients at Case1

3. Case3 (TD열처리 STD11다이에 SPCC소재의 경우)

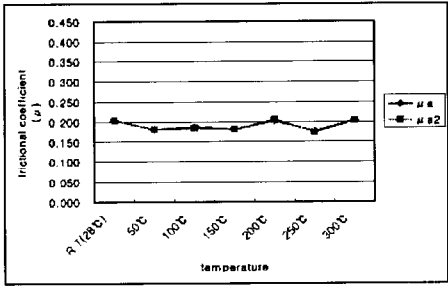


Fig. 16 Friction coefficients at the pressure of 1MPa

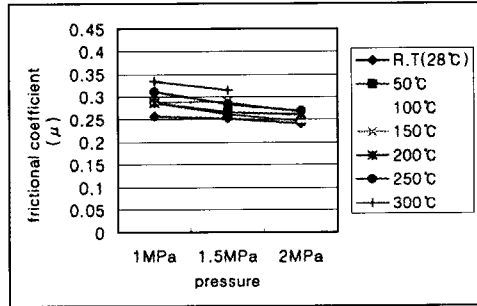


Fig. 20 Friction coefficients at Case2

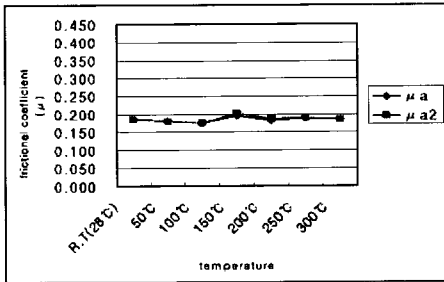


Fig. 17 Friction coefficients at the pressure of 1.5MPa

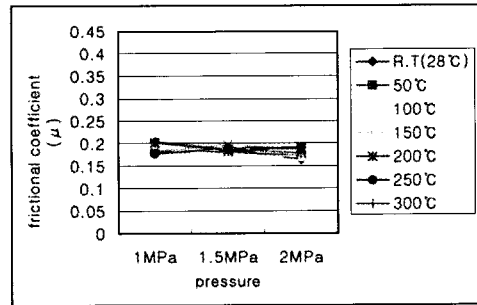


Fig. 21 Friction coefficients at Case3

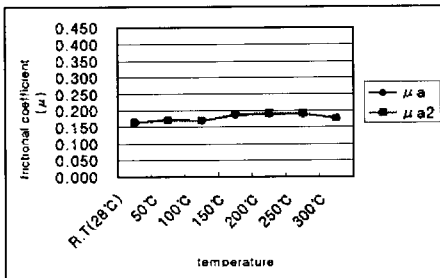


Fig. 18 Friction coefficients at the pressure of 2MPa

#### 4. 결론

- 이상의 실험을 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.
- (1) 무코팅한 GC30다이스와 Cr도금한 GC30다이스를 사용한 경우는 금형의 온도상승에 따라 마찰계수 값이 다소 상승하는 경향이 있었다.
  - (2) TD열처리한 STD11금형을 사용한 경우의 마찰계

수 값은 기타 경우( $\mu=0.25$ )보다 그 값이 적었다. ( $\mu=0.2$ )

(3) 금형온도를 일정하게 하고 소재 가압력을 변화 시킨 경우는 소재 가압력이 증가함에 따라 마찰계수 값이 다소 적어지는 경향이 있었다.

(4) 실험 중 재료의 파단 상황으로 미루어 볼 때 성형성을 향상시킬 수 있는 가장 유리한 처리는 TD열처리이며 다음이 Cr도금의 순서였다.

## 후 기

본 연구는 기아 자동차(주)의 지원으로 수행된 연구로 관계자 여러분께 감사 드립니다.

## 참 고 문 헌

(1) D.H. Buckley, Surface Effects in Adhesion, Friction, Wear and Lubrication, Elsevier, 1981, pp.

315~427.

(2) F.P. Bowden and D. Tabor, The Friction and Lubrication of solids, Part I, Clarendon Press, Oxford, 1964, Chapter X X I V.

(3) F.P. Bowden and D. Tabor, The Friction and Lubrication of Solids, Part I, Clarendon Press, Oxford, 1950.

(4) K.L. Johnson, Contact Mechanics, Cambridge University Press, 1985.

(5) M. Godet, Modeling of Friction and Wear Phenomena, Approaches to Modeling of Friction and Wear, F.F. Ling and C.T.H.Pan, Ed., Springer-Verlag, 1987, pp. 12~36.

(6) R.T. Spurr, The Role of Adhesion in Friction, Friction and Traction, Proceeding of 7 th Leeds-Lyon Symposium on Tribology, D. Dowson, C.M. Taylor, M. Godet, and D.Berthe, Ed., Westbury House, London, 1981, pp. 34~38.