

마찰조건에 따른 고강도 강판의 마찰특성 평가

김주업¹ · 허재영¹ · 윤일채¹ · 송재선¹ · 윤국태¹ · 박춘달[#]

Evaluation of Friction Characteristics for High-Strength-Steel Sheets Depending on Conditions

J. E. Kim, J. Y. Heo, I. C. Yoon, J. S. Song, K. T. Youn, C. D. Park

(Received March 4, 2015 / Revised September 23, 2015 / Accepted September 25, 2015)

Abstract

Recently, high-strength-steel sheets have been used extensively for increasing fuel-efficiency and stability in automobiles. A study on the characteristics regarding friction factors is required because high-strength-steel sheets have higher contact pressure at the tool interface as compared to low-strength steel sheets. For the current study, a sheet friction test was used to examine the influence of several factors on friction. The friction tests were performed on two types of sheet steels (SPFC590 and SPFC980) to obtain friction coefficients as a function of contact pressure, surface roughness, lubricant viscosity, and speed. Based on the experimental results for SPFC590 and SPFC980, the friction coefficient decreased with increasing contact pressure, but the friction coefficient increased with increasing surface roughness. Also, the friction coefficient decreased with increasing lubricant viscosity and decreasing speed.

Key Words : Friction Coefficient, Tool Surface Roughness, Lubricant Viscosity, High-Strength-Steel Sheet

1. 서 론

최근 자동차 산업계에서는 연비 개선 및 배기 가스 절감을 위한 고효율 엔진 개발과 차체경량화, 그리고 충돌 안전 강화 요구에 대응하기 위해 차체 강성을 강화할 수 있는 고강도 강판 적용이 급속히 증가하는 추세이다[1, 2]. 고강도 강판은 높은 강도로 인하여 성형 중 발생하는 금형과 재료간의 접촉 압력이 일반 강판에 비하여 매우 높게 나타난다[2]. 또한 금형과 소재 사이의 마찰은 여러 인자들이 복합적으로 작용하여 일어난다. 마찰 특성에 영향을 미치는 인자들로서 재료 내적으로는 표면 거칠기, 표면 경도 및 표면 도금층 등이 있으며, 외적으로는 접촉압력, 편치속도, 윤활상태 등이 있다[3~5]. 이처럼 마찰특성은 다양한 인자들이 복합적으로 일어나

기 때문에 정확한 마찰계수 값을 정량화 하는 것은 매우 어렵다[6]. 따라서 고강도 강판의 성형성을 정확하게 예측하기 위해서는 고하중의 마찰실험을 통하여 마찰특성에 영향을 주는 인자들에 대한 연구가 필요하다.

마찰특성에 관한 연구는 종래부터 많은 사례가 알려져 왔으며, 비교적 간단한 실험을 통한 정성적인 연구결과가 발표되었다[6]. Lanzon 등은 윤활상태에서의 접촉압력 증가가 마찰계수를 감소 시킨다는 연구결과[7]를 발표하였고, Han와 Kim 등은 접촉압력이 증가함에 따라 마찰계수가 증가한다는 서로 상반된 연구결과[2, 8]를 발표하였다.

이에 본 연구에서는 최근 자동차 차체에 많이 적용되고 있는 고강도 강판(SPFC590,980)에 대하여 상대금형 SKD11 소재로 평면마찰실험을 진행하였다.

1. (재)대구기계부품연구원, 뿌리산업혁신본부

Corresponding Author : Daegu Mechatronics & Materials Institute, E-mail: pcd0727@dmi.re.kr

두 강판에 대한 마찰특성을 알아보기 위해 접촉면 압 및 금형거칠기 변화에 따라 마찰계수를 측정하였으며, 실험 후 마찰시편에 대하여 광학현미경(OM) 및 광학식 거칠기 측정기(Optical 3D Profiling System)를 이용하여 마찰면을 관찰하였다. 또한 윤활유 점도 및 인출속도 변화에 따른 마찰계수를 알아보고 마찰특성에 대해 고찰하였다.

2. 실험조건 및 방법

금형 및 소재간 마찰특성을 파악하기 위한 평면 마찰실험장비 모식도를 Fig. 1에 나타내었다. 마찰실험은 그림에서와 같이 시편의 한쪽을 좌측 지그에 고정시키고 금형으로 시편을 누른 후 시편이 고정되어 있는 베드를 모터로 당겨 실험을 진행하였다. 이때 금형의 접촉면을 시편에 일정하게 접촉시키기 위해 감압지를 사용하여 평탄화 한 후 마찰실험을 수행하였다.

본 마찰실험에 사용된 상대 금형의 재질은 SKD11이며, 접촉면적은 $13\text{mm} \times 13\text{mm}$ 로 제작하였다. 시편의 재질은 SPFC590, SPFC980 두 강종으로 두께는 1.2t, 크기는 폭 $35\text{mm} \times 200\text{mm}$, 압연방향의 시편을 사용하였다. 마찰실험에 대한 기본적인 조건은 Table 1과 같다.

Case 1의 마찰실험은 접촉면압 및 금형거칠기 변화에 따른 마찰계수를 알아보기 위하여 Table 1에서의 조건과 같이 실험을 진행하였다. 고강도 강판에 최대 면압 조건을 적용하기 위하여 20MPa에서 최대 100MPa까지 접촉면압을 달리하였다. 금형거칠기는 일반적으로 프레스 금형 현장에서 적용되고 있는 Grinding 수준의 $0.20 \pm 0.02 \mu\text{m}$ (Ra)를 기준으로 Lapping 수준의 $Ra 0.03 \pm 0.01 \mu\text{m}$ (Ra)과 Turning 수준의 $0.40 \pm 0.02 \mu\text{m}$ (Ra)으로 달리하였다. 이때 윤활유 점도는 2.3cSt이며, 장비 최대 인출속도 800mm/min로 고정하였다. 마찰실험 후 광학현미경 및 광학식 거칠기 측정장비를 이용하여 면압과 거칠기 변화에 따른 마찰면을 관찰하였다.

Case 2는 윤활유 점도 및 인출속도 변화에 따른 마찰계수를 알아보기 위해 Table 1에서의 조건과 같이 실험을 진행하였다. 윤활유 점도는 2.3cSt 기준으로 14cSt와 46cSt의 조건으로 정하였다. 인출속도는 장비 모터의 최대속도 800mm/min와 최소 인출속도 100mm/min으로 선정하였다. 이때 마찰계수 결

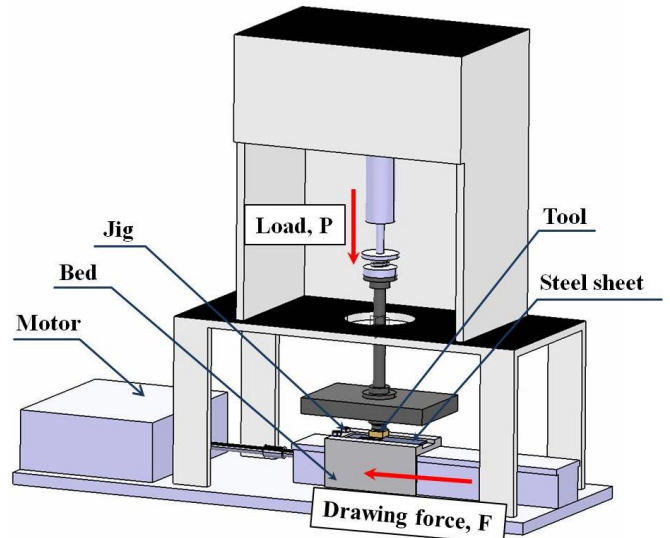


Fig. 1 Schematic diagram of the experiment equipment for plane friction test

Table 1 The experimental conditions of the friction test

	Case1	Case2
Material of sheets	SPFC 590, SPFC 980	
Material of tools	SKD 11	
Tool roughness(μm)	Ra 0.03, 0.2, 0.4	Ra 0.2
Holding pressure(MPa)	20, 40, 60, 80, 100	6
Viscosity(cSt)	2.3	2.3, 14, 46
Pulling velocity(mm/min)	800	100, 800

과에 접촉면압의 영향을 최소화하기 위하여 실험장비 최소 면압 6MPa로 고정하였고, 금형 거칠기는 $0.20 \pm 0.02 \mu\text{m}$ (Ra)로 실험을 수행하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 접촉면압에 따른 마찰계수 특성 평가

SPFC590 시편에 대하여 접촉면압의 변화에 따른 마찰계수 결과를 Fig. 2에 나타내었다. 그림에서와 같이 모든 거칠기 조건에서 접촉면압이 20MPa에서 60MPa까지 마찰계수는 감소하였다. 이러한 결과는 접촉면압이 증가할수록 마찰력 증가에 영향을 미치는 시편 표면의 요철이 함몰되어 평탄화됨에 따라 마찰계수가 감소하는 것으로 판단된다. 반면 금형

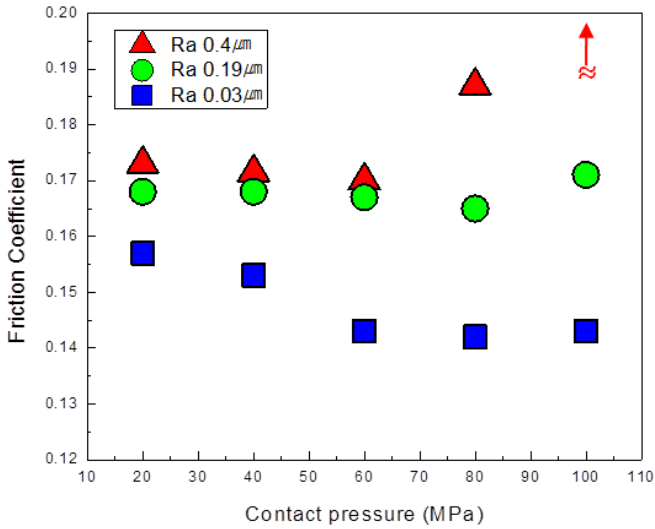


Fig. 2 The results of friction test depending on the contact pressure in SPFC590

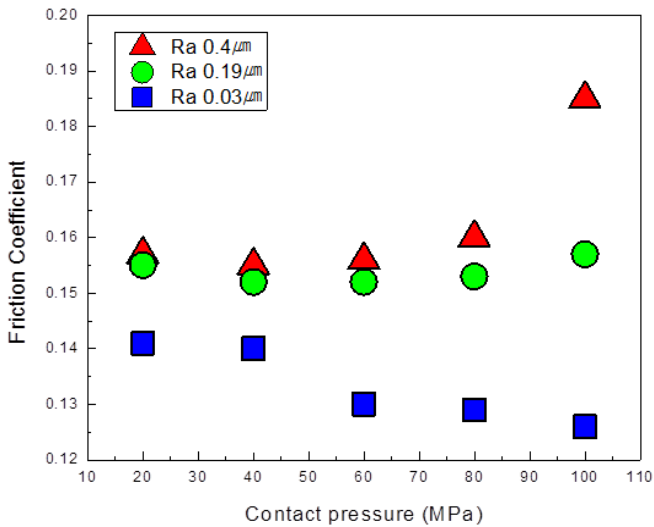
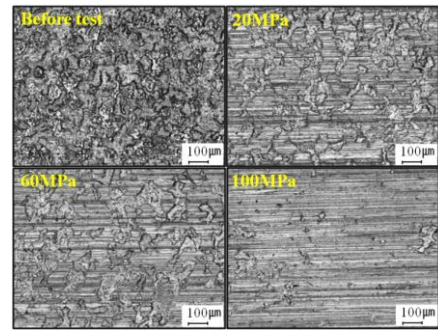


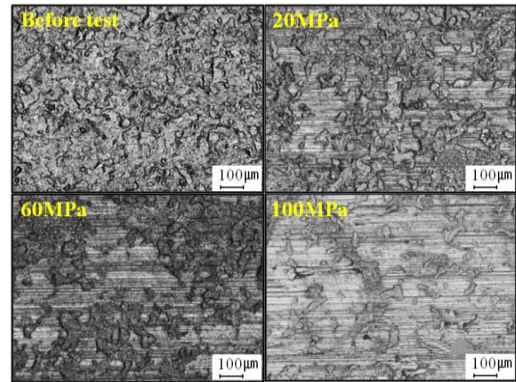
Fig. 3 The results of friction test depending on the contact pressure in SPFC980

거칠기가 0.19, 0.4 μm(Ra)의 조건에서 접촉면압 100MPa의 경우에는 마찰계수가 증가하였다. 이는 상대적으로 거친 금형일수록 높은 하중을 가함에 따라 국부적인 소성변형이 일어나 금형과 시편간에는 마찰력이 급격히 증가하여 마찰계수가 증가한 것으로 판단된다.

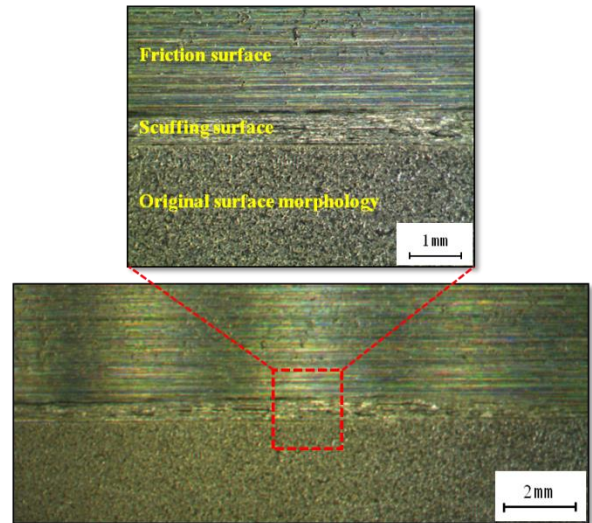
SPFC980 시편에 대하여 접촉면압의 변화에 따른 마찰계수 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 그 결과 접촉면압이 증가함에 따라 마찰계수는 미미하게 감소하였고, SPFC590 시편에 비하여 마찰계수 값은 낮게



(a)



(b)



(c)

Fig. 4 The figure of specimen surface after friction test depending of contact pressure (a)SPFC590, (b) SPFC980, (c) Scuffing

나타났다. 이는 SPFC980 소재의 높은 경도로 인하여 접촉면압이 증가하여도 표면거칠기 층이 쉽게 변형되지 않고 일정하기 때문에 마찰계수가 낮게

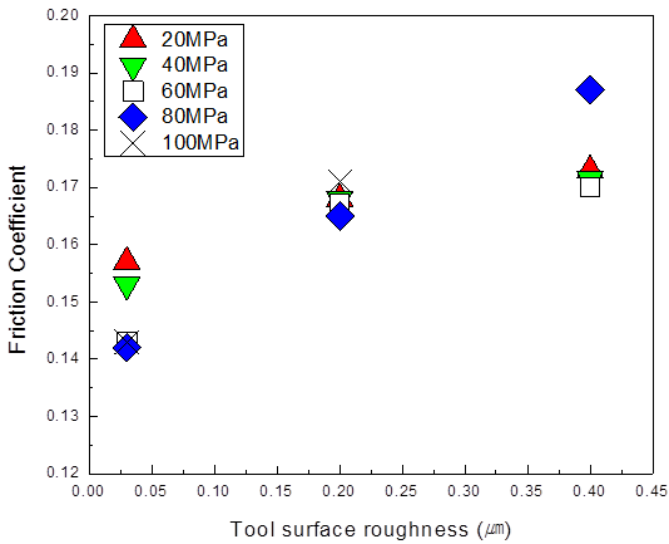


Fig. 5 The results of friction test depending on tool surface roughness in SPFC590

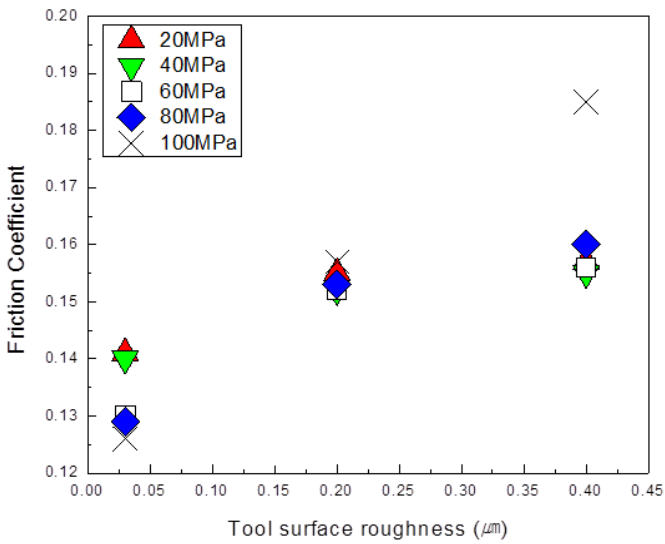


Fig. 6 The results of friction test depending on tool surface roughness in SPFC980

나타난 것으로 판단된다. 이상의 결과는 접촉면압이 증가함에 따라 마찰계수가 감소한다[1, 6, 9]는 결과와 잘 일치함을 확인하였다.

Fig. 4은 앞선 접촉면압 변화에 따른 마찰계수 결과를 바탕으로 마찰면을 관찰한 표면 사진이다. Fig. 4(a)는 SPFC590 시편의 표면을 관찰한 결과로서, 접촉면압이 증가할수록 표면의 요철이 평탄화된 매끈한 면을 관찰할 수 있었다. 반면 SPFC980의 경우 마찰면이 SPFC590 시편에 비하여 높은 정도로 인해 접촉면압이 증가하여도 표면 거칠기 층이 쉽게 변

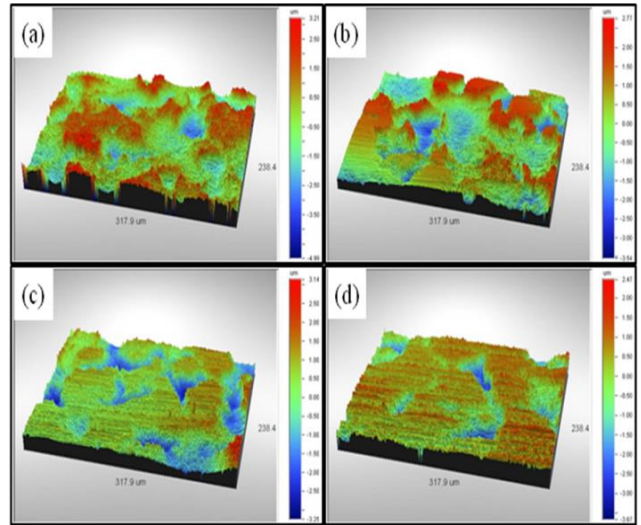


Fig. 7 The observation of specimen surface after friction test depending on tool roughness in SPFC590 (a)Original, (b)0.03μm(Ra), (c)0.2μm(Ra), (d)0.4μm (Ra)

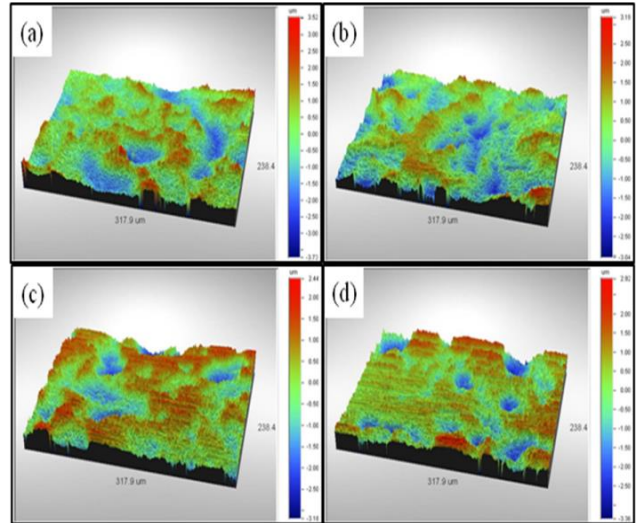


Fig. 8 The observation of specimen surface after friction test depending on tool roughness in SPFC980 (a)Original, (b)0.03μm(Ra), (c)0.2μm(Ra), (d)0.4μm (Ra)

형되지 않았음을 Fig. 4(b)에서 확인하였다. Fig. 4(c)는 SPFC590 시편의 접촉면압이 100MPa에서 마찰실험 후 스커핑(Scuffing) 현상으로 보여지는 마찰면을 관찰한 사진이다. 이러한 현상은 시편에 가해지는 면압이 상대적으로 높기 때문에 상대금형과 높은 마

찰력에 의한 국부적인 소성변형이 발생한 것으로 판단된다.

3.2 금형 거칠기에 따른 마찰계수 변화

SPFC590 시편에 대하여 금형거칠기 변화에 따른 마찰계수 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 그 결과 금형 거칠기가 증가할수록 마찰계수는 전반적으로 증가하였다. 이때 거칠기가 0.4 μ m (Ra)의 경우 마찰계수 값은 가장 높게 나타났다. 이는 상대적으로 금형 표면이 거칠수록 시편 표면의 요철과 맞물리는 접촉면적이 증가하기 때문에 마찰계수가 높아진 것으로 판단된다.

Fig. 6는 SPFC980 시편에 대하여 금형 거칠기 변화에 따른 마찰계수 결과를 나타내었다. 금형 거칠기가 거칠수록 마찰계수는 증가하였고, 마찰계수 값은 SPFC590보다 낮게 나타났다. 이는 SPFC980 소재의 높은 경도로 인해 금형 거칠기가 증가하여도 표면 거칠기 층이 쉽게 변형되지 않기 때문에 마찰계수는 감소한 것으로 판단된다.

SPFC590 시편에 대하여 접촉면압이 60MPa 조건에서 금형 거칠기 변화에 따른 마찰실험 후 마찰면 관찰 결과를 Fig. 7에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 금형 거칠기가 증가할수록 마찰면적이 증가하는 것을 알 수 있었다. 이러한 결과는 상대 금형이 거칠수록 금형과 시편간에 서로 접촉하는 표면 요철의 맞물림이 크게 증가하기 때문에 마찰면적이 증가한 것으로 판단된다.

Fig. 8은 SPFC980 시편에 대하여 접촉면압이 60MPa 조건에서 금형 거칠기 변화에 따른 마찰실험 후 마찰면을 관찰한 사진이다. SPFC590의 마찰면 결과와 유사한 형상으로 금형 거칠기가 증가할수록 마찰면적이 증가하는 것을 확인하였다.

3.3 윤활유 점도 및 인출속도에 따른 마찰계수 변화

SPFC590 시편에 대하여 윤활유 점도 및 인출속도 변화에 따른 마찰계수 결과를 Fig. 9에 나타내었다. 인출속도가 100mm/min 조건에서 윤활유 점도가 2.3, 14cSt 까지의 경우 마찰계수는 감소하였고, 46cSt 윤활유 점도에서는 마찰계수의 변화는 일정하였다. 반면 인출속도가 800mm/min의 경우 윤활유 점도가 높을수록 마찰계수는 감소하였다. 이러한 결과는 상대금형과 시편간의 마찰시험 시 고점도 윤활유가

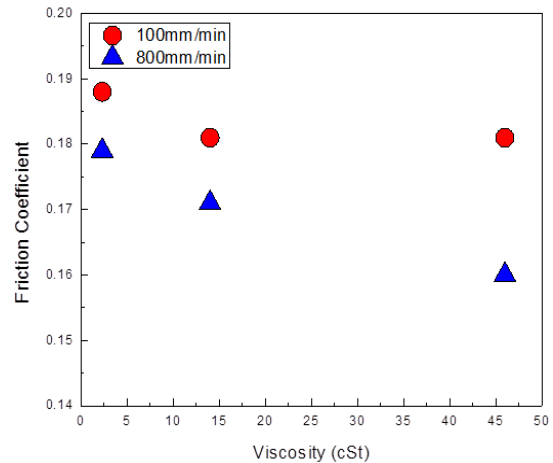


Fig. 9 The results of friction test depending on the viscosity of lubricating oil in SPFC590

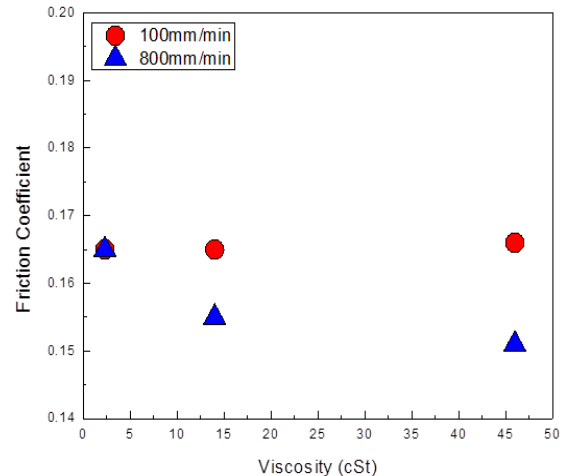


Fig.10 The results of friction test depending on the viscosity of lubricating oil in SPFC980

저점도 윤활유에 비해[4] 마찰표면에 지속적으로 유지됨과 동시에 인출속도가 증가할수록 윤활막 두께가 커짐[10]에 따라 마찰계수가 감소하는 것으로 설명할 수 있다. 또한 이상의 결과는 경계윤활 구간에서의 인출속도나 윤활유 점도가 증가함에 따라 마찰계수가 감소한다는 스트라이백 곡선(Stribeck Curve)에 제시된 마찰이론으로 판단할 수 있다[11].

SPFC980시편에 대하여 윤활유 점도 및 인출속도 변화에 따른 마찰계수 결과를 Fig. 10에 나타내었다. 그림에서와 같이 인출속도가 100mm/min의 경우 마찰계수의 변화는 극히 적게 나타났고 800mm/min에서는 감소하였다. 이는 SPFC980 소재가 SPFC590에 비해 높은 표면 경도로 인해 인출속도 및 윤활유의

영향은 적게 받는 것으로 판단된다. 이상의 결과는 경도가 높은 소재일수록 표면 마멸량이 적어 인출 속도 및 윤활유가 증가하여도 마찰면적은 거의 변하지 않기 때문임을 확인하였다[6].

4. 결 론

본 연구에서는 고강도 강판 SPFC590과 SPFC980에 대하여 평면마찰실험을 하였다. 각 제어인자별 마찰특성을 알아보기 위해 접촉면압, 금형거칠기, 윤활유 점도, 인출속도 변화에 따른 마찰계수를 측정하였다. 그 결과 다음의 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 접촉면압의 변화에 따른 마찰계수 결과 SPFC590, SPFC980 시편 모두 접촉면압이 증가하면 마찰계수는 감소하다가 일부 다시 증가하는 것으로 나타났다. 마찰면관찰 결과 접촉면압이 증가할수록 시편 표면이 평탄화된 매끈한 면을 확인 할 수 있었다. 그러나 접촉면압 100MPa 조건에서는 시편에 가해지는 면압이 상대적으로 높기 때문에 상대금형과 시편간의 높은 마찰력에 의한 스커핑(Scuffing)현상으로 보여지는 마찰면을 관찰하였다.

(2) 금형 거칠기 변화에 따른 마찰계수 측정결과 SPFC590, SPFC980 시편 모두 금형 거칠기가 증가함에 따라 마찰계수는 증가하였다. 마찰면 관찰 결과 금형 거칠기가 거칠수록 접촉되는 마찰면적은 증가하는 것을 확인하였다.

(3) 윤활유 점도 및 인출속도 변화에 따른 마찰계수 결과 SPFC590, SPFC980 시편 모두 윤활유 점도가 높을수록 인출속도가 증가할수록 마찰계수는 감소하였고, SPFC980 은 SPFC590 마찰시편에 비하여 인출속도 및 윤활유의 영향은 적게 받는 것을 확인하였다.

REFERENCES

- [1] Y. Tamai, T. Fujita, T. Inazumi, K. Manabe, 2013, Effects of Contact Pressure, Sliding Velocity and Sliding Length on Friction Behavior of High-Tensile-Strength Steel Sheets, J. Jpn. Soc. Technol. Plast., Vol. 54, No. 629, pp. 537~541.
- [2] S. S. Han, 2011, Contact Pressure Effect on Frictional Behavior of Sheet for Automotive Stamping, Trans. Mater. Process., Vol. 20, No. 2, pp. 99~103.
- [3] B. H. Lee, Y. T. Keum, 2001, Friction Model of Sheet Metal Forming Considering Lubricant and Surface Roughness, Trans. Mater. Process., Vol. 10, No. 7, pp. 543~550.
- [4] B. H. Lee, Y. T. Keum, 2002, Friction Model for Sheet Metal Forming Analysis, Trans. Mater. Process., Vol. 11, No. 4, pp. 349~354.
- [5] S. S. Han, K. C. Park, 2008, Effect of Surface Roughness on Frictional Behavior of Sheet Steel for Automotive, Trans. Mater. Process., Vol. 17, No. 6, pp. 401~406.
- [6] N. J. Kim, Y. T. Keum, 2013, Experimental Determination of Friction Characteristics for Advanced High Strength Steel Sheets, Trans. Mater. Process., Vol. 22, No. 4, pp. 223~228.
- [7] J. M. Lanzon, M. J. Cardew-Hall, P. D. Hodgson, 1998, Characterising Frictional Behavior in Sheet Metal Forming, J. Mater. Process. Technol. Vol. 80-81, pp. 251~256.
- [8] H. Kim, S. Han, Q. Yanc, T. Altan, 2008, Evaluation of Tool Materials, Coatings and Lubricants in Forming Galvanized Advanced High Strength Steels (AHSS), CIRP Ann.-Manuf. Technol., Vol. 57, pp. 299~304.
- [9] S. H. Chang, K. H. Shin, Y. J. Jeon, Y. M. Heo, 2012, Proc. Kor. Soc. Tech. Plast. Spring Conf., Kor. Soc. Tech. Plast., Seoul, Korea, pp. 538~541.
- [10] J. H. Yoo, J. R. Seo, S. K. Lee, 1999, Proc. Kor. Soc. Precis. Eng. Autumn Conf., Kor. Soc. Precis. Eng., Seoul, Korea, pp. 320~323.
- [11] C. G. Kim, 2006, Tribology, Hyungseul Publishing, Seoul, Korea, pp. 3~605.