

박판성형 마찰거동에 미치는 블랭크 홀딩력의 영향

심진우¹ · 김영탁[#]

Effects of Blank Holding Force on the Friction Behavior in Sheet Metal Forming

J. W. Shim, Y. T. Keum

(Received May 10, 2007)

Abstract

In order to examine the effect of the blank holding force on the friction behavior in the sheet metal forming, a sheet metal friction tester is designed and manufactured, which can measure friction forces in various forming conditions such as lubrication, die roughness, drawing speed, radius of die corner, blank holding force, etc., and the friction tests are performed, in which friction coefficients in various blank holding forces and pulling speeds are calculated using Coulomb's friction law. The friction test reveals that friction coefficient decreases as the blank holding force, the drawing speed and lubricant viscosity increase together or individually.

Key Words : Blank Holding Force, Drawing Speed, Friction Coefficient, Friction Test, Sheet Metal Forming

1. 서 론

트라이 아웃 단계를 최소화 하는 것은 신제품의 개발단계에서 비용 절감에 매우 중요한 요소이다. 그러나 일반적으로 생산 현장에서 금형설계에 사용되는 방법은 시행착오법 이나 금형 설계자의 경험에 의존하는 것으로 그 정확도나 효율 면에서 많은 어려움을 가지고 있는 실정이다. 이런 이유로 최근의 생산 현장에서는 유한요소법을 사용한 컴퓨터 시뮬레이션으로 초기에 발생할 수 있는 시행착오를 대체하려는 노력이 시도되고 있다.

신제품의 개발은 비용과 시간만이 아니라 품질과 경쟁력까지도 고려해야 하는 과정이다. 그러므로 단지 유한요소 해석을 사용하여 시행착오에 의한 시간과 비용만을 줄이려는 노력보다 유한요소 해석의 정확성을 향상시키는 것이 무엇보다 더 중요하다.

유한요소 프로그램을 이용하여 금형의 효율적 설계를 하기 위해서는 사전에 고려해야 할 여러 가지 인자들이 있는데 이 중 공구와 소재 사이의 마찰은 최종 성형품의 외관상 결함, 조립 정밀도의 저하 등 제품의 성형성에 큰 영향을 미치는 인자이므로 이 마찰현상을 규명하는 것은 매우 중요하다.

박판성형에서 마찰계수는 블랭크 홀딩력, 윤활 유 점도, 소재 표면 처리에 따른 소재 표면 조도, 다이와 공구 모서리각에 의해 박판이 받는 굽힘력, 소재의 경도, 편치의 속도 등 여러 조건에 따라 그 값이 달라지게 되는데 현재까지 박판성형의 다른 마찰 인자들에 대한 연구는 많이 진행되어 왔으나 블랭크 홀딩력에 따른 마찰거동에 관한 연구는 부족한 실정이다.

Kim[1] 등은 capstan friction test를 통해 굽힘력 이 커질수록 마찰계수가 감소하는 것을 관찰하였

1. 한양대학교 일반대학원
교신저자: 한양대학교 기계공학부,
E-mail : ytkeum@hanyang.ac.kr

고 Lanzon[2]등은 윤활조건, 표면처리와 접촉압력 증가에 따른 마찰계수를 관찰하였으며 Kotchman[3] 등은 박판의 인출속도에 따른 마찰계수의 변화를 관찰 하였다. Zhang[4] 등은 블랭크 홀더에 프로브를 장착한 실험장치를 고안하고 이를 이용하여 판재와 금형 사이의 마찰계수를 측정하였다. Kong [5] 등은 마찰을 보다 편리하게 평가할 수 있는 새로운 실험장치를 고안 하였고 Siegart[6] 등은 딥드로잉 공정에서 블랭크 홀딩력 제어를 통해 마찰력을 변화시켜 판재의 유입량을 제어하는 페루프 알고리즘을 개발하였으며 Wang[7] 등은 박판 성형시의 마찰 거동과 박판 및 공구의 경도가 마찰계수에 미치는 영향을 파악하기 위한 실험을 하여 박판과 공구의 표면경도가 증가할수록 마찰 계수가 감소한다는 것을 관찰하였다.

본 연구에서는 블랭크 홀딩력과 인출속도가 박판성형 마찰거동에 미치는 영향을 실험적으로 규명하기 위하여, 마찰 시험기를 제작하고 블랭크 홀딩력과 인출속도에 따른 마찰력을 측정하였다.

2. 마찰 측정 실험

Fig. 1은 마찰계수의 측정을 위해 설계, 제작한 마찰측정장치이다. 마찰측정장치는 크게 좌측에 다이에 하중을 가하는 부분, 중앙에 사각 드로우 비드 형상으로 시편을 고정하는 그립, 우측에 다이와 그립에 의해 고정된 시편을 당겨주는 인출 모터로 되어 있으며 다이와 그립에는 각각 로드셀 1과 로드셀 3이 장착되어 블랭크 홀딩력과 마찰력이 측정되고 이 측정값으로 마찰계수를 산출할 수 있도록 되어 있다.

실험을 위해 각각의 마찰인자에 대한 수준을 부여하는 방법으로 좌측 다이 부분의 Pushing Device로 블랭크 홀딩력을 조절하고, 우측 인출 모터의 속도를 조정하여 시편의 인출속도를 조절할 수 있다. 또한 가이드 레일을 따라 다이 조립체를 움직여 공구 모서리각에 따른 다양한 각도를 부여할 수 있으며 중앙좌측의 물리는 교체형으로 되어있어서 다양한 지름의 롤러를 장착하여 로드셀 2로 다양한 공구 모서리반경에 따른 굽힘력을 측정할 수 있다. 또한 여러 가지 점도의 윤활유를 시편에 도포하여 윤활조건까지 추가할 수 있어 거의 모든 박판성형 환경을 재현할 수 있도록 설계되었다.

마찰측정은 양쪽의 조도를 동일하게 맞춘 평다이에 의한 모델과 한쪽은 평다이, 다른 한쪽은 베

어링으로 마찰의 영향을 최소화 하도록 만든 모델이 있으나 베어링 구름마찰에 의한 영향을 배제 하기 위하여 시편의 양면에 평다이를 접촉시킨 모델을 사용하여 산출된 마찰계수값의 1/2을 실험값으로 적용한다.

실험은 8가지의 블랭크 홀딩력(BHF), 무윤활 조건을 포함한 9종류의 점도(viscosity) 그리고 5종류의 인출속도(drawing speed) 조건에 대하여 실시한다(Table 1 참조). 블랭크 홀딩력의 영향을 실험의 주 인자로 하기 위해 공구반지름과 공구와 다이 사이각에 의한 영향은 배제한다. 또한 실험 조건을 실제 성형공정에서의 공정 조건에 최대한 근사하기 위하여 실제 성형공정에서의 블랭크 홀딩력[10]인 75ton을 블랭크 홀더의 단위 면적으로 나누어 산출한 3.967N/mm²에 시편과 금형이 접촉하는 면적을 곱하여 계산한 블랭크 홀딩력 조건을 설정하고 점도에 무윤활 조건을 추가하였으며 인출속도는 측정장치 모터의 최대속도까지 설정하여 보다 실제에 가까운 실험을 한다.

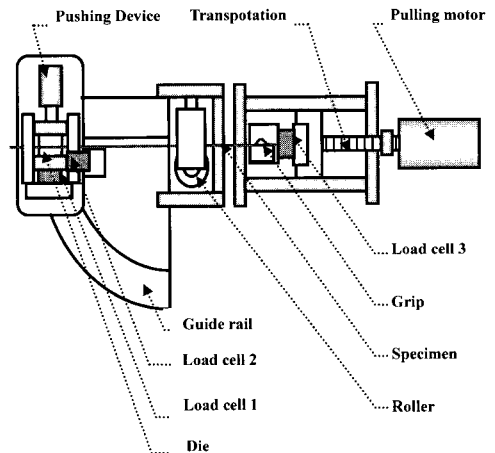


Fig. 1 Schematic view of sheet metal friction tester

Table 1 Friction test conditions

BHF	Viscosity	Drawing speed
200 N	No Lubrication	300 mm/min
500 N	14 cSt	600 mm/min
600 N	18.9 cSt	900 mm/min
800 N	30.38 cSt	1200 mm/min
1000 N	43 cSt	1500 mm/min
1500 N	53 cSt	
2000 N	68 cSt	
2500 N	126 cSt	
	162 cSt	

실험에 사용된 시편은 자동차용 드로잉 강판인 SPCCN 0.65t 이다(Table 2 참조). SPCCN을 폭 20mm, 길이 600mm의 크기로 전단하여 사용하고 전단과정 중에 생긴 버(Burr)는 완전히 제거하여 사용하며 심하게 굽히거나 휘어진 시편은 사용하지 않는다.

Table 2 Material properties of SPCCN sheet

Yield Stress (MPa)	Ultimate Tensile Stress (MPa)	Thickness (mm)	Elongation (%)	n	r
161	300	0.65	45	0.23	1.7

인출모터를 구동하기 전 실험장치 오차에 의한 영향을 배제하기 위해 시편을 그림에 장착하고 블랭크 홀딩력을 가한 상태에서 로드셀 1과 로드셀 3에 대해 영점보정을 실시한다. 시편이 당겨지기 시작한 후 동마찰 구간이 시작되는 30mm 지점 이후 모터회전수가 안정되는 시점부터 마찰력 측정을 시작한다.

각각의 마찰인자에 따른 마찰계수는 각 로드셀에서 얻은 측정데이터를 식 (1)에 대입하여 구한다.

$$\mu_{ave} = \frac{\sum_{k=1}^K \ln \frac{F}{P}}{K} \quad (1)$$

여기서 μ_{ave} 는 평균 동 마찰계수, P는 블랭크 홀딩력(blank holding force), F는 인출력(drawing force), K는 총 마찰력의 측정횟수를 나타낸다.

3. 실험 결과 및 고찰

Fig. 2는 다양한 인출속도에서 블랭크 홀딩력 과 마찰계수의 관계를 나타낸 그래프이다. 블랭크 홀딩력이 증가할수록, 인출속도가 증가할수록 마찰계수가 감소한다.

블랭크 홀딩력이 200N에서 2500N으로 증가할 때 마찰계수의 감소는 15% 정도이고, 인출속도가 300mm/min에서 1500mm/min으로 증가할 때 19% 정도이다. 또한 블랭크 홀딩력과 인출속도가 함께 증가할 때 마찰계수는 최대 30%까지 감소한다.

블랭크 홀딩력에 의해 금형과 박판의 조도층 표면 돌기가 접촉되고 하중이 가해짐에 따라 상대적으로 단단한 재료로 만들어진 금형의 표면돌기가 박판의 조도층으로 침투하게 된다. 인출이 진행됨에 따라 침투 되어있는 조도층 돌기들이 수평으로 이동하며 마찰력이 발생하게 되고 계속해서 박판이 인출됨에 따라 접촉면 상에서 박판측 표면돌기와 금형측 표면돌기의 경도 차이에 의한 plowing effect[12]가 발생하여 금형보다 상대적으로 무른 박판측의 조도층 돌기가 잘려져 나가 새로운 표면 형상을 만든다.

이와 같은 현상은 블랭크 홀딩력이 클수록 경도가 높은 금형측의 표면돌기가 박판측에 깊게 작용하여 평활한 박판표면을 증가시키고 마찰계수의 감소를 유발시킨다.

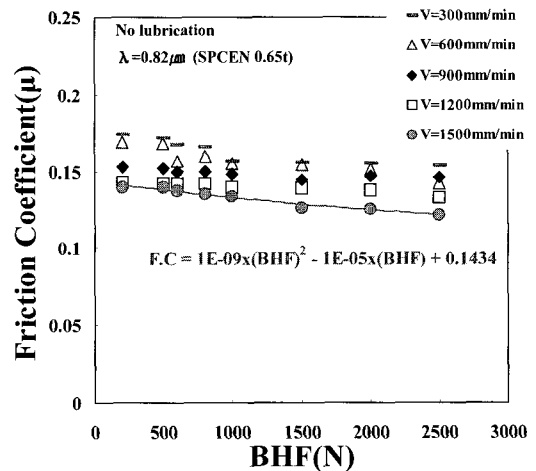


Fig. 2 Friction coefficients associated with blank holding forces in various drawing speeds

Fig. 3은 다양한 윤활조건에 따른 블랭크 홀딩력과 마찰계수의 관계를 나타낸 그래프이다. 블랭크 홀딩력이 증가할수록, 윤활유 점도가 증가할수록 마찰계수가 감소한다. 그러나 점도 30.38cSt 이상인 조건에서 블랭크 홀딩력이 2500N 일 때 마찰계수가 소폭 상승한다.

윤활유 점도가 무윤활에서 162cSt로 증가 할 때 마찰계수의 감소는 70%정도이고 블랭크 홀딩력과 윤활점성이 함께 증가하면 마찰계수는 최대 73%까지 감소한다.

이런 현상은 높은 블랭크 홀딩력에 의해 박판 표면이 지나치게 평활하게 됨에 따라 박판 표면

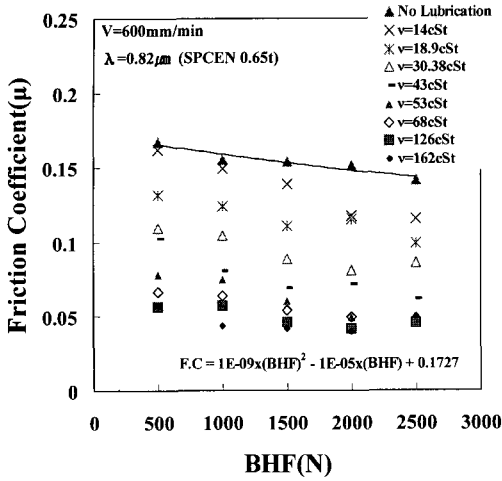


Fig. 3 Friction coefficients associated with blank holding forces in various lubricant viscosities

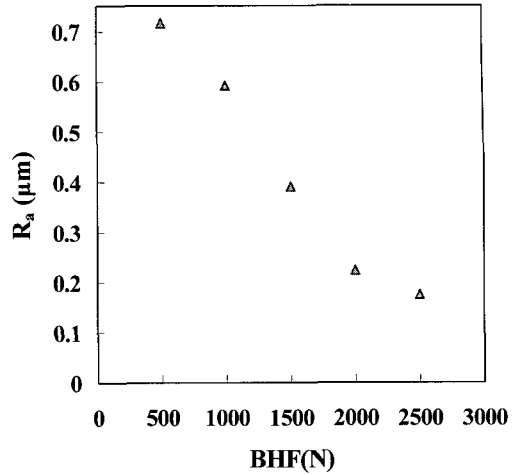


Fig. 5 Average roughness(R_a) of sheet surface associated with various blank holding forces

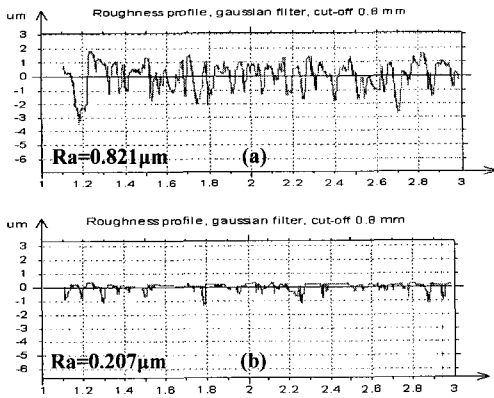


Fig. 4 Sheet surface asperities (a) before and (b) after experiments in BHF=2000N

조도층에 의해 형성되는 오일 포켓의 체적이 감소하게 되어 낮은 블랭크 홀딩력 조건일 때 보다 더 쉽게 윤활막이 파괴되어 전반적으로 윤활 효과는 떨어지기 때문이다.

Fig. 4는 블랭크 홀딩력이 2000N일 때에 시편의 평균조도(R_a)와 조도층 단면이다. 인출 중 plowing effect로 인하여 박판 조도층의 표면돌기가 금형의 표면돌기에 의해 잘려져 나가 보다 평활한 새로운 단면이 형성되어 있는 것을 알 수 있다.

이와 같은 현상은 블랭크 홀딩력이 증가할수록 심화되어 높은 블랭크 홀딩력 조건에서 박판의 평균조도와 최대높이조도가 낮은 블랭크 홀딩력 조건의 그것들 보다 더 작다.

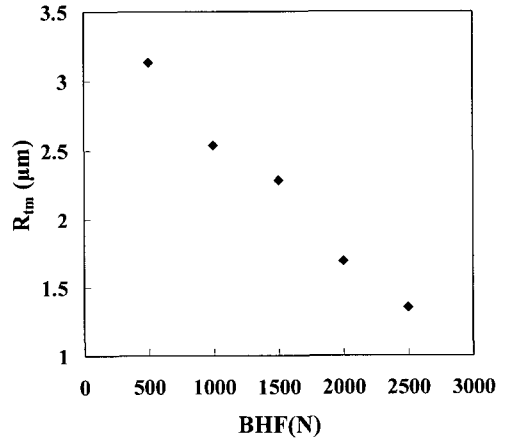


Fig. 6 Maximum roughness height(R_m) of sheet surface associated with various blank holding forces

Fig. 5는 블랭크 홀딩력에 따른 시편의 평균 조도 (R_a) 변화를 측정하여 나타낸 그래프이다. 블랭크 홀딩력이 증가함에 따라 평균조도가 감소함을 관찰할 수 있다.

Fig. 6는 블랭크 홀딩력에 따른 시편의 최대 높이 조도 (R_m)의 관계를 실험을 통해 측정된 것이다. 여기에 나타낸 최대 높이 조도는 5개의 최대 높이 조도를 기준길이 내에서 추출하여 평균 한 것으로 하나의 최대 높이 조도를 비교 하는 것보다 더 재현성 있는 값을 얻을 수 있다.

최대 높이 조도도 평균조도와 마찬가지로 블랭크 홀딩력이 증가할수록 감소함을 관찰할 수 있다.

4. 결론

박판 성형인자들 중 블랭크 홀딩력이 다양한 인출속도와 윤활조건에 따라 성형중 마찰에 미치는 영향을 실험적으로 관찰하고 얻은 결론은 다음과 같다.

(1) 블랭크 홀딩력이 증가하면 계면의 조도층이 평활하게 되고 접촉면이 비교적 평평하게 되어 마찰계수가 감소하지만, 블랭크 홀딩력이 과도하면 윤활유의 윤활효과는 작아진다.

(2) 인출속도가 증가하면 마찰 계수는 감소한다.

(3) 윤활유 점도가 증가하면 마찰계수는 감소한다.

참고 문헌

- [1] Y. S. Kim, M. K. Jain, D. R. Metzger, 2004, A Finite Element Study of Capstan Friction Test, NUMIFORM, pp. 2265~2269.
- [2] J. M. Lanzon, M. J. Cardew-Hall, P. D. Hodgson, 1998, Characterising frictional behavior in sheet metal forming, Journal of Materials Processing Technology 80-81, pp. 251~256.
- [3] D. P. Kotchman, I. Kim, D. Lee, et al., 1992, Determination of friction behavior in sheet metals using orthogonal arrays, J. Mater. Eng. Performance 1 (4), pp. 555~564.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 금영탁, 이봉현, 2002, 박판 성형 해석용 마찰 모델(1부 : 실험), 한국소성가공학회지 제11권 제4호, pp. 349~354.
- [9] W. Hirst, A. E. Hollender, Surface Finish and Damage in Sliding, Proc. Roy. Soc. London, Series A, Vol. 337, pp. 379~394.
- [10] 송민재, 금영탁, 2006, 금형 변형을 고려한 자동차용 펜더 패널 성형해석, 한국 소성가공학회지 제15권 제5호, pp. 387~394.
- [11] M. Eguchi, T. Yamato, Dynamic Behavior of a Slider Under Various Tangential Loading Conditions, Proc. JSLE. Int. Tribology Conference, pp. 1047~1052.
- [12] J. M. Challen, L. J. MacLean, P. L. B. Oxley, 1984, Plastic Deformation of a Metal Surface in Sliding Contact With a Hard Wedge: Its Relation to Friction and Wear, Proc. Roy. Soc. London, Series A, Vol. 394, pp. 161~181.
- [13] W. Wang, R. H. Wagoner, 1993, A Realistic Friction Test for Sheet Forming Operations, SAE transactions, Vol. 102, No. 5, pp. 915~922.
- [14] M. Teodorrescu, G. Frumusanu, L. Teodorrescu, 1996, Study about the nature of the friction-lubrication process during the deep drawing of thin sheets, 19th IDDRG Biennial Congress, pp541~546.
- [15] R. J. J. M. Sniekres, H. A. A. Smits, 1997, Experimental set-up and data processing of the radial strip-drawing friction test, Journal of Materials Processing Technology 66, pp. 216~223.