

온간 단조에서 윤활 분사 방법에 따른 마찰 상수값의 평가

정덕진* · 김동진** · 김병민**

(2001년 3월 30일 접수)

Evaluation of Friction Shear Factor By the Lubricating Methods in Warm Forging

D. J. Jeong, D. J. Kim and B. M. Kim

Abstract

Quantitative evaluation of the tribological conditions at the tool-workpiece interface in metal forming is usually accomplished by the ring compression test. This paper describes an experimental investigation into friction factor under warm forming conditions according to the lubricants and the lubricating methods using the ring compression test. Four different lubricants, two water based graphite and two oil based graphite lubricants, and three different lubricating methods were applied in the experiments. Calibration curves with the friction shear factor were obtained using FEM analysis and verified by the experimental results. The influence of lubricant and lubricating methods on friction are discussed. In the ring compression test, the lower friction factor got to spray the oil based lubricant on die and billet in warm forging temperature.

Key Words : Friction Shear Factor, Ring Compression Test, Lubricating Method, Warm Forging

1. 서 론

냉간 단조 및 열간 단조의 중간 온도에서 성형하는 온간 단조 방법은 열간 단조 및 냉간 단조와 비교하여 많은 장점을 가지고 있어 최근 활발한 연구가 진행되고 있다. 온간 단조는 열간 단조 공정보다 낮은 온도에서 성형이 이루어지기 때문에 산화막이 거의 생기지 않고

고온 가열에 따른 치수 변형이 작기 때문에 냉간 단조처럼 제품의 치수 정밀도가 우수하다. 또한 성형 공정이 재결정온도 이하에서 이루어지는 냉간 단조에 비하여, 상대적으로 고온에서 성형 공정이 이루어지므로 변형저항이 낮아져 제품의 성형한계를 증가시킬 수 있다. 냉간 단조의 경우 공구와 소재의 면압이 높고, 소재의 유동성이 다른 공정에 비해 상대적으로 낮아서, 제품 성형시

* 부산대학교 기계설계공학과
** 부산대학교 경밀정형 및 금형가공 연구소

쉽게 결함이 발생이 발생하게 된다. 따라서 성형하기 어려운 복잡한 형상의 제품 및 고탄소강 등의 난가공재의 단조에는 한계가 있다. 그러나 온간 단조에서는 냉간 단조에 비해 낮은 성형압력으로 성형이 가능하고, 재료의 유동성이 좋기 때문에 공정 수를 감소시킬 수 있는 장점이 있다^(1~3).

일반적으로 성형공정 설계에서는 제품 성형 공정수, 소재 및 금형의 가열온도, 성형속도, 윤활제 등의 공정변수들을 고려하여야 한다. 열간 가공의 경우 윤활제가 공정에 미치는 영향은 다른 공정 변수들에 비하여 크지 않기 때문에 공정 설계시 크게 고려하지 않았다. 그러나 온간 단조의 경우에는 윤활제가 제품의 성형성이 직접적인 영향을 미치게 된다. Sheljaskov⁽⁴⁾는 전륜 구동형 자동차의 리어 액슬 스픬들(rear axle spindle)의 온간 단조 공정에서 다양한 윤활제 및 윤활 방법을 사용하여 제품 성형에 미치는 영향을 평가하여, 소재와 금형 사이의 불량한 윤활 상태는 제품의 성형 길이를 감소시키고, 금형의 마멸을 증가시켜 금형 수명도 크게 감소시킨다는 결론을 얻었다. Tatsuro⁽⁵⁾는 승용차용 등속 죄인트 외륜(outer race of CVJ)의 온간 단조에 있어서 금형 수명과 윤활과의 관계에 대한 연구를 수행하여, 금형 수명 향상에는 금형과 결합력이 강한 건조된 윤활 고착층의 확보가 중요하다는 결과와 이러한 윤활 고착층이 얻어지는 금형 온도는 200°C~300°C라는 결론을 얻었다. Shichun은 스테인레스 강의 온간 단조에 적합한 윤활제와 윤활 방법에 대한 연구를 수행하였다⁽⁶⁾.

이전 연구의 대부분은 수용성 윤활제 또는 유용성 윤활제만을 금형 또는 금형과 소재 사이에 도포시켜 제품의 성형성 및 금형 수명 등을 단편적으로만 평가하였고 체계적인 연구는 진행되지 않았다. 열간 단조의 경우 윤활제는 주로 금형과 소재 사이의 원활한 분리, 금형 냉각 등에 주로 사용되었다. 그러나 온간 단조의 경우 윤활제의 마찰 특성은 제품의 성형성 및 금형 수명에 크게 영향을 미친다^(4,5).

따라서 본 연구에서는 현재 온간 단조에서 많이 사용되고 있는 수용성 윤활제 Deltaforge #31과 Renite, 유용성 윤활제인 Soy와 Oildag을 선정하여 다음과 같은 세 가지 윤활 방법에 따른 각 윤활제의 마찰 특성을 링 압축 시험으로 구하였다. 먼저, 각 윤활제를 금형에만 분사하여 마찰 특성을 측정하였고, 다음으로, 같은 윤활제를 소재 및 금형에 분사하여 마찰 특성을 측정하였다. 세 번째로는 소재와 금형에 다른 윤활제 즉, 소재에 수용성 윤활제를, 금형에는 유용성 윤활제를 분사하여 마찰 특성을 측정하였고, 반대로 소재에 유성 윤활제를, 금형에는 수성 윤활제를 분사하여 마찰 특성을 측정하였다. 이러한 세 가지 방법으로 구한 데이터를 비교, 분석하여 윤활제 및 윤활 방법에 따른 윤활제의 특징을 평가하였다.

2. 윤활제의 마찰 특성 평가 시험

2.1 실험소재 및 윤활제

금속성형 공정에서 윤활제의 마찰특성은 성형하중, 금형의 마멸 등에 영향을 주는 중요한 공정변수이다. 다양한 윤활제의 마찰특성을 평가하기 위해서는 마찰상수 또는 계수로 표현된 수학적 모델이 필요하다. 그 중에서 금속성형 공정에 가장 많이 적용되는 것은 일정전단 마찰법칙이다. 마찰전단 용력 f_s 는 일반적으로 다음 식으로 표현된다⁽⁷⁾.

$$f_s = mk \quad (1)$$

여기서 m 은 마찰 상수 ($0 \leq m \leq 1$), k 는 전단 강도(Shear strength)이다.

마찰 상수로 표현되는 윤활제의 마찰특성은 여러 가지 방법으로 평가할 수 있으나, 그 중에서도 대표적으로 사용하고 있는 평가 방법은 링 압축 시험이다⁽⁸⁾. 링 압축

Table 1 Viscosity characteristics of Saybolt-tested water based and oil based lubricants

Lubricants	Density (15°C)	Temp. (°C)	Saybolt Universal Sec (SUS, sec)	Kinematic viscosity (cSt, centi-strokes)
Soy	1.180	40	1,259	2.768
Oildag	0.978	40	1,554	3.417
Deltaforge #31	1.116	40	67	0.116
Renite S-26-X	1.013	40	28	0.066

Table 2 Combination of lubricating methods

Lubricating methods	Die	Billet
I	none	none
II	water based lubricant	none
	oil based lubricant	none
III	water based lubricant	same as die lubricant
	oil based lubricant	same as die lubricant
IV	water based lubricant	water based lubricant
	water based lubricant	oil Based lubricant
	oil based lubricant	oil based lubricant
	oil based lubricant	water based lubricant

시험에서, 압축된 링 소재의 내경 및 외경의 변화는 금형과 소재 사이의 마찰에 큰 영향을 받는다. 링 압축 시험을 위한 소재로는 온간 단조로 베벨 기어를 성형하고 있는 SCM 420H를 사용하였다. 시편 규격은 외경:내경: 높이 비가 63:2 인, 외경 30mm, 내경 15mm 및 높이 10mm로 하였다. 소재의 표면 거칠기는 윤활제의 마찰 특성에 영향을 준다. 따라서 시험의 균일성을 확보하기 위하여 준비된 시편의 표면 조도를 측정하였다. 표면 조도는 금형과 접촉되는 상면과 하면의 중심선에서 측정하여, 표면거칠기 값이 $R_a = 3.5 \sim 3.8 \mu\text{m}$ 인 시편을 사용하였다.

본 시험에 사용된 윤활제는 열간 및 온간 단조에 주로 사용되고 있는 두 가지 수용성 윤활제와 두 가지 유용성 윤활제를 선정하였다. 수용성 윤활제는 Acheson사의 Deltaforge #31 과 Renite사의 S-26-X이다. 유용성 윤활제는 Acheson사의 Oildag 와 미강유에 흑연을 회석 비율 1:1로 혼합한 Soy이다. 이러한 네 가지 종류의 윤활제의 특징을 Table 1에 나타내었다.

2.2 링 압축 시험

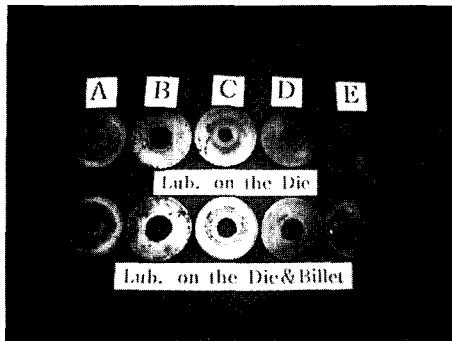
링 압축 시험은 150톤 프레스를 사용하였으며, 금형 재질은 열간 단조용 공구강인 SKD61을 사용하였다. 온간 단조 성형온도의 최저 한계치는 재료의 성형성 및 단조장비의 하중을 고려해서 성형할 수 있는 온도로 하고, 최대 한계치는 사용재료가 산화스케일이 발생하지 않는 온도로 선정한다. 따라서 탄소강의 경우 $450^\circ\text{C} \sim 900^\circ\text{C}$ 가 일반적인 온간 단조 성형온도 구간이다⁽⁹⁾. 이것을 고려하여 SCM 420H의 온간 단조 시험온도를 850°C 로 선정하였다. 소재는 전기로를 이용하여 가열하였고 금형은 상·하부에 열선을 장착하여 300°C 가열하고, 시험동안 온도가 유지되도록 하였다. 링 소재의 높이 감소율이

20%, 30%, 40%, 50% 및 60%가 되도록 압축하였으며, 변형률 속도를 일정하게 하여 압축시험을 실시하였다.

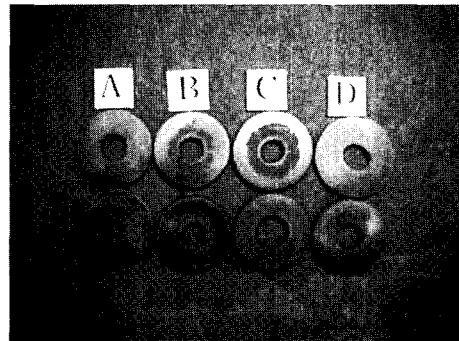
2.3 윤활 방법

수용성 윤활제 및 유용성 윤활제의 링 압축 시험에 사용한 윤활 방법을 Table 2에 나타내었다. 또한 링 압축 시험에서 각각의 윤활 방법에 대하여 보다 정밀한 데이터를 확보하기 위하여 세 번의 시험을 실시하였으며, 균일한 윤활제의 도포를 위하여 타이머 장치가 되어있는 스프레이기를 이용하여 금형 및 소재에 윤활제를 분사하여 초기 윤활제 두께가 $60 \sim 70 \mu\text{m}$ 이 되도록 하였다. 윤활제 두께는 피막두께 측정기인 MIMI TEST-2100을 이용하였다.

각각의 윤활제와 윤활 방법에 따른 링 압축 시험 결과를 Fig.1에 나타내었다. 첫 번째 윤활 방법인 무윤활 상태에서, 높이 감소에 따른 내경 감소가 가장 크게 나타났다. 즉 무윤활 상태이므로 금형과 소재 사이의 마찰이 상대적으로 증가하여 링 소재의 내경이 중심부로 많이 유동하였다. 두 번째 윤활 방법에서는 사용 윤활제에 따라 높이 감소에 따른 내경 감소가 차이를 보였다. 유용성 윤활제의 경우 Soy 윤활제에서 내경 감소가 가장 작게 발생하였고, 수용성 윤활제의 경우 Deltaforge #31 윤활제에서 내경 감소가 가장 크게 발생하였다. 세 번째 윤활 방법에서는 두 번째 방법으로 시험한 결과와 유사한 결과를 얻었으나 두 번째에 비하여 내경 감소가 작게 일어났다. 이러한 결과로 금형에만 윤활하는 것보다는 소재와 금형 모두에 윤활 처리하는 것이 마찰을 더 줄일 수 있을 것으로 생각되었다. 마지막 방법으로 윤활한 경우에는 소재에는 Soy 윤활제를 사용하고 금형에는 Deltaforge #31 윤활제를 사용하는 것의 시편 내경 감소가 가장 작았다. 즉 나머지 윤활 방법으로 윤활한 경우



(a) Photograph of the ring compression test using the method I, II, III



(b) Photograph of the ring compression test using the method IV

		A	B	C	D	E
Upper	Die	-	Soy	Oildag	#31	Renite
	Billet	-	-	-	-	-
Lower	Die	-	Soy	Oildag	#31	Renite
	Billet	-	Soy	Oildag	#31	Renite

		A	B	C	D
Upper	Die	#31	Soy	Soy	#31
	Billet	Renite	Oildag	#31	Soy
Lower	Die	Renite	Oildag	#31	#31
	Billet	#31	Soy	Soy	Oildag

Fig. 1 Results of the ring compression test at 60% height reduction

보다 가장 좋은 윤활 상태를 보였다. 이러한 마찰의 특성을 마찰 보정 곡선(Calibration curve)으로 정량화하여 비교하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 수용성 및 유용성 윤활제의 마찰 특성 평가
SCM 420H 재료에 대한 마찰 보정 곡선(Theoretical calibration curve)은 강소성 유한요소 해석 코드인 DEFORM-2D⁽¹⁰⁾를 사용하여 작성하였다. 유한요소 해석은 시험 조건과 동일하게 하기 위하여 변형률 속도를 령 압축 시험과 동일하게 하였으며, 압축 동안의 온도 변화도 고려하여 수행하였다. 유한 요소 해석 결과로부터 높이 감소에 따른 내경을 측정하여, 높이 감소율에 대한 내경 변화율로 마찰 보정 곡선을 구하였다. 압축된 령 소재의 내경은 최소 내경으로 측정하였고, 해석하는 동안에 마찰 상수값은 일정하다고 가정하였다.

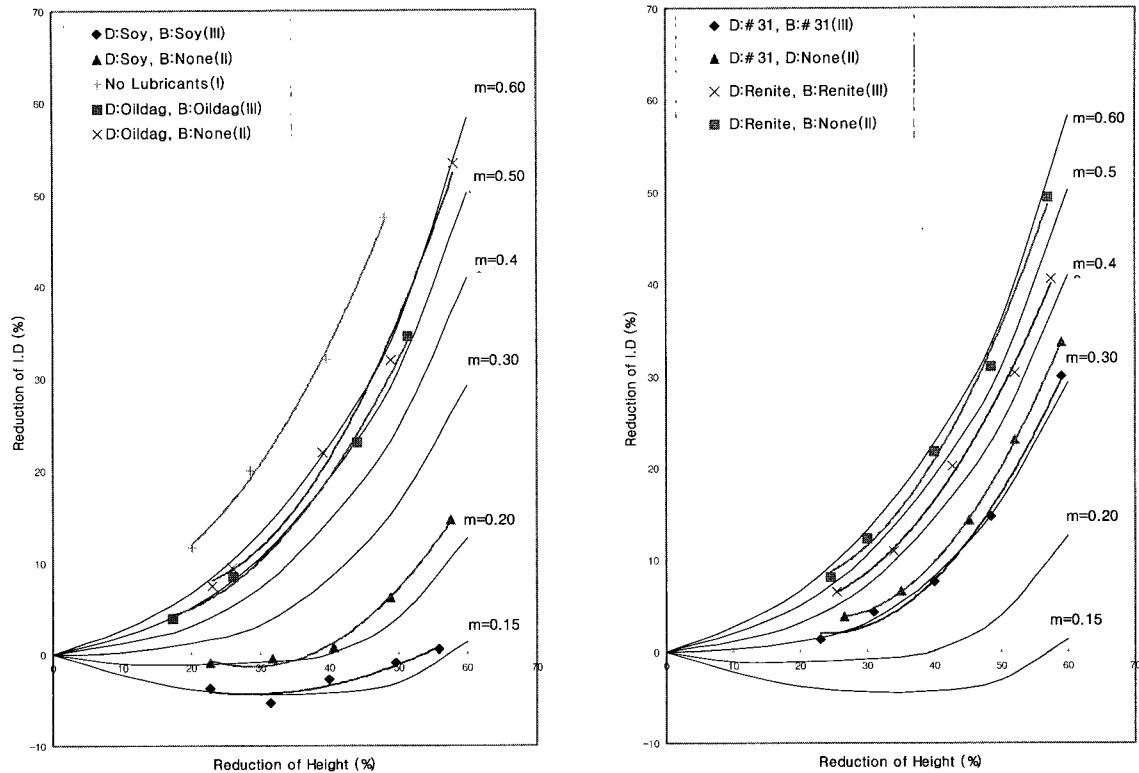
마찰 보정 곡선을 이용하여 첫 번째, 두 번째, 세 번째 윤활 방법에 대해 령 압축 시험하여 측정한 높이 감소율에 따른 내경 감소율의 변화를 마찰 보정 곡선을 이용하여 마찰 상수값으로 정량화 하였다.(Fig.2)

첫 번째 방법인 무윤활 상태에서의 마찰 상수값은 0.80으로 매우 높은 값이 나타났다(Fig.2 (a)). 다음으로

두 번째 윤활 방법의 경우, 유용성 윤활제를 사용했을 때에는 마찰 방법에 따라 다른 마찰 특성을 보였다. Soy 윤활제의 경우 금형에 분사하였을 때에는 마찰 상수값이 0.23이었고 금형 및 소재에 각각 분사했을 경우에는 0.17로 매우 낮은 값을 나타내었다. 다른 유용성 윤활제인 Oildag의 경우, 금형에만 분사한 경우의 마찰 상수값은 0.60이었고 금형 및 소재에 각각 윤활한 경우에는 0.52로 크게 차이가 나지 않았다(Fig.2 (a)).

수용성 윤활제의 경우, Deltaforge #31을 두 번째 방법인 금형에만 분사한 경우 마찰 상수값은 0.35를 나타내었고, 세 번째 방법인 금형 및 소재에 분사한 경우에는 0.32로 약간 작게 나타났으며, 다른 수용성 윤활제인 Renite S-26-X 경우에, 두 번째 방법인 금형에만 분사한 경우 마찰 상수값은 0.55를 나타내었으나, 세 번째 방법인 금형 및 소재에 분사한 방식에서는 $m=0.45$ 로 나타나 금형과 소재에 분사한 경우가 금형에만 분사한 경우보다 마찰 상수값이 상대적으로 낮음을 알 수 있었다(Fig.2 (b)). 이러한 결과를 정리하여 Fig.3에 나타내었다.

Fig.3에서 살펴보면, 네 가지 종류의 윤활제 모두 금형에만 윤활한 방식이 소재와 금형에 윤활한 방식보다 마찰 상수값이 높은 값을 나타내고 있다. 이러한 마찰 상수값의 변화는 윤활제를 금형이나 소재의 변형될 면에



(a) Results of experiments for oil based lubricants

Fig. 2 Theoretical calibration curves and results of ring compression tests for lubricating methods I, II, III

분사할 경우 가열된 금형 및 소재의 온도가 윤활제를 도포하지 않은 금형 및 소재의 온도보다 떨어지게 된다. 마찰 상수값은 온도에 따라 변화하게 되며 온도가 낮을수록 높은 마찰 상수값을 나타난다고 Wu Shichun⁽⁶⁾의 연구결과로 알 수가 있다. 또한 유용성 윤활제에 비하여 수용성 윤활제의 마찰 상수값이 높은 것은 물의 냉각율이 기름의 냉각율보다 커서 금형 및 소재의 표면 온도를 많이 냉각시키기 때문이다.

또한 고온에서는 수용성 윤활제와 유용성 윤활제의 비등 상태의 차이도 마찰 상수에 영향을 준다. 수용성 윤활제의 경우, 사용되는 기저재인 물의 비등점은 100°C이다. 금형의 가열온도를 300°C로 하였기 때문에 Fig.4와 같이 금형 상에서 온도차 $\Delta T = 200^\circ\text{C}$ 로 막 비등(film boiling)영역에 속해 안정된 막 비등 증발이 진행된다⁽¹¹⁾. 유용성 윤활제의 경우 사용되는 기저재인 오일의 시험에서 구한 비등점은 236°C이었다. 이 경우, 금형 상에서 온도차는 $\Delta T = 64^\circ\text{C}$ 로 핵비등(nucleate boiling)영역으로

서 오일이 유체 상태와 기포 상태가 공존하는 영역이 된다. 가열된 소재의 비등 열전달을 살펴보면, 수용성 윤활제 및 유용성 윤활제 모두 소재 가열온도가 850°C로 온도차 ΔT 는 각각 750°C 및 614°C로 모두 막 비등상태이다. 비등 열전달 문제에서 살펴본 바와 같이 수용성 윤활제의 경우에는 막비등으로 인한 건마찰(dry friction)을 하지만, 유용성 윤활제는 핵비등으로 유체마찰과 건마찰의 사이인 경계마찰을 실시하게 된다. 가열된 소재는 두 조건 모두 건마찰상태 하에 있게 되고 금형 표면상에서 수용성 윤활제는 건마찰 상태로, 유용성 윤활제는 경계마찰 상태에 있게 된다. 이러한 마찰 조건의 차이로 인하여 수용성과 유용성 윤활제의 마찰 상수값이 다르게 나타난다. 마찰조건에 있어서 건마찰보다는 경계마찰 상태의 마찰 상수값이 작기 때문에⁽¹²⁾ 수용성 윤활제 보다 유용성 윤활제의 마찰 상수값이 낮게 나타났다. 이러한 결과를 검증하기 위하여 SCM 420H 재료를 300°C, 850°C로 가열한 후 Soy 윤활제와 Deltaforge #31

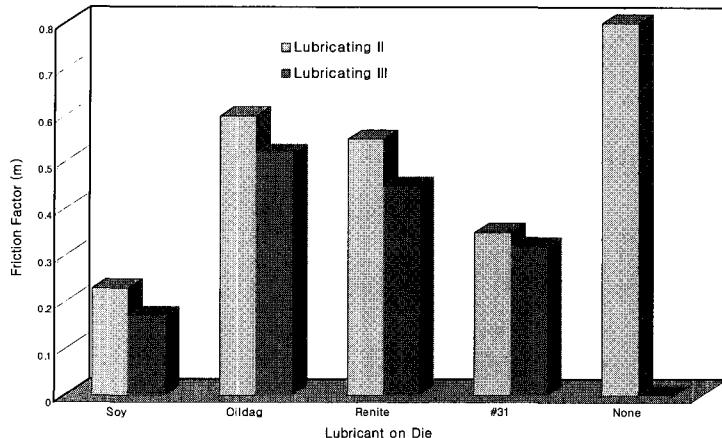


Fig. 3 Comparison of friction factor for various lubricants and lubricating methods

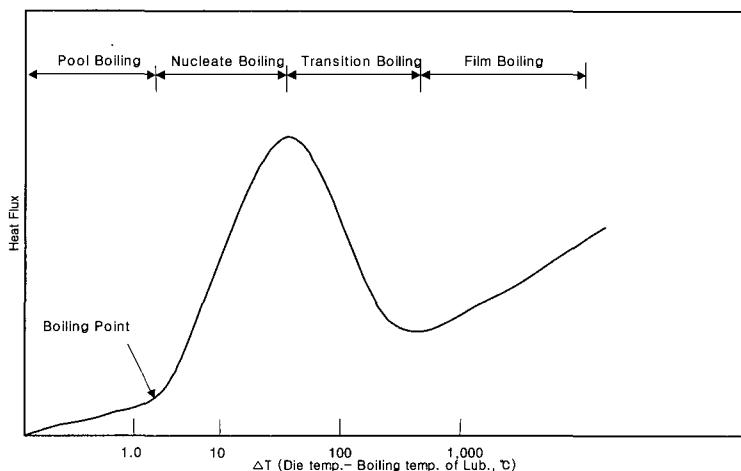


Fig. 4 Schematic boiling curve for fluid

윤활제를 분사시켜 윤활제의 표면 상태를 관찰하였다. 재료가 고온으로 가열되어 있어 윤활제가 시간에 따라 산화되기 때문에 이 것을 방지하기 위하여 윤활제 분사 후 재료를 금냉시켜 윤활제의 산화를 최소화 하였다. 소재를 300°C로 가열한 경우, 유용성 윤활제의 오일 성분은 완전히 비등되지 않고 소재 표면상에 존재하여(Fig.5 (a)) 유체마찰과 건마찰이 공존하는 경계마찰 상태가 된다. 그러나 수용성의 경우에는 물은 완전히 비등하여 그라파이트 만이 소재 표면위에 존재하여 건마찰 상태를 보인다(Fig.5 (b)). 소재를 850°C로 가열한 경우에는 유용성 윤활제, 수용성 윤활제 모두 액체성분은 모두 비등하여 건마찰 상태를 보인다. 소재 표면의 그라파이트 고착 상태는 수용성에 비해 유용성 윤활제가 좋은 것으로

관찰되었다(Fig.5 (b)). 이러한 그라파이트 고착 정도의 차이는 수용성 윤활제의 경우, 물의 급격한 비등에 의한 기포 발생이 그라파이트가 소재 표면에 고착하는 것을 억제하기 때문인 것으로 생각되었다.

두 가지 수용성 윤활제와 두 가지 유용성 윤활제도 각 특성에 따라 마찰 상수값의 차이를 보이고 있다. 수용성 윤활제에서는 Deltaforge #31이 Renite S-26-X 보다 낮게 나타나고 유용성 윤활제에서는 Soy 윤활제가 Oildag 보다 낮게 나타나고 있다. 이러한 차이는 각각의 윤활제가 가지고 있는 특성으로 볼 수가 있다. 또한 금형에만 윤활할 경우보다 금형 및 소재에 윤활하게 되면 윤활막 두께가 상대적으로 증가하게 된다. 금형에만 윤활할 경우에는 소재의 변형이 진행되면서 금형과 소재의

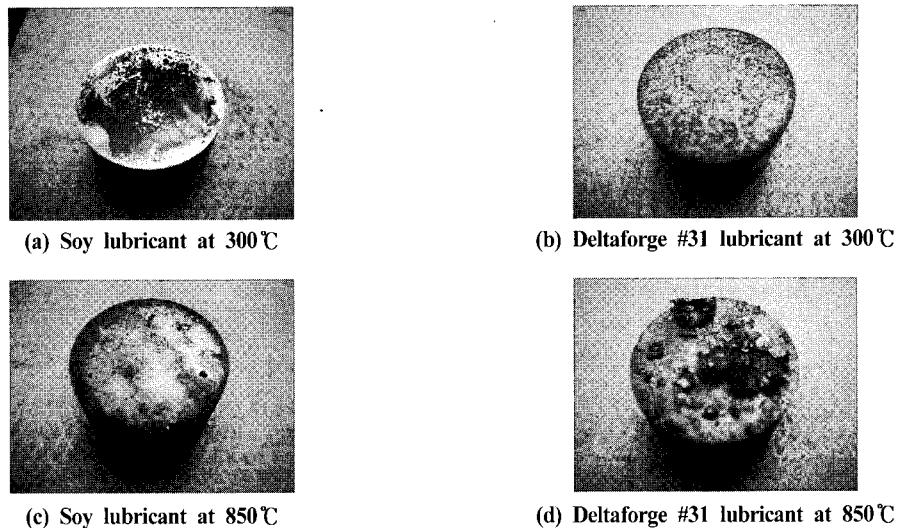


Fig. 5 Photographs of vaporized lubricants on the surface

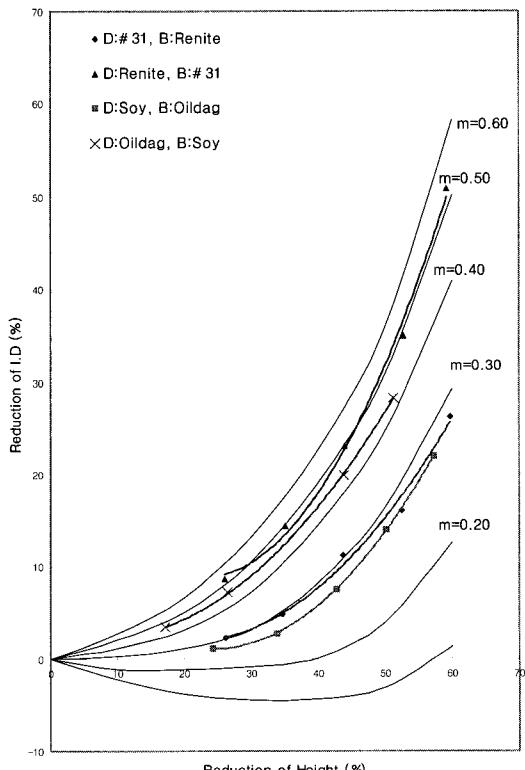
접촉면이 증가하게 된다. 이러한 접촉면의 증가는 윤활 막 두께를 얇게 만들게 되고, 변형이 지속적으로 이루어지면 윤활막이 파괴되어 소재와 금형이 직접 접촉하는 경우가 발생한다. 그러나 소재와 금형에 윤활하게 되면 소재의 요철(asperity)부에 상대적으로 많은 윤활제가 존재하여, 금형과 소재의 접촉면이 증가하더라도 윤활제가 계속 존재하여 상대적으로 금형에만 윤활한 경우보다 좋은 윤활 특성을 가지게 된다.

3.2 수용성 윤활제와 유용성 윤활제의 혼용

사용에 따른 마찰 특성 평가

네 번째 윤활 방법인 두 가지 수용성 윤활제 각각을 소재에 윤활하고, 두 가지 유용성 윤활제 각각을 금형에 윤활하였을 때 마찰 상수값의 변화와, 반대로 두 가지 유용성 윤활제 각각을 소재에 윤활하고 두 가지 수용성 윤활제 각각을 금형에 윤활하였을 때의 마찰 상수값을 보정 곡선을 이용하여 측정하였으며 그 결과를 Fig.6에 나타내었다.

먼저, 금형에는 수용성 윤활제를 윤활하고 다른 종류의 수용성 윤활제를 소재에 윤활하였을 때에는 소재와 금형에 윤활하는 윤활제의 종류에 따라 서로 다른 마찰 상수값을 보이고 있다. 즉 금형에는 Deltaforge #31, 소재에는 Renite를 사용한 경우 마찰 상수값은 0.29이었고, 반대로 금형에 Renite, 소재에 Deltaforge #31일 사용한 경우 마찰 상수값은 0.50이었다. 이는 유용성 윤활제에서도 같은 경향을 나타내었다.



(a) Results of experiments using method IV
(D for die and B for billet)

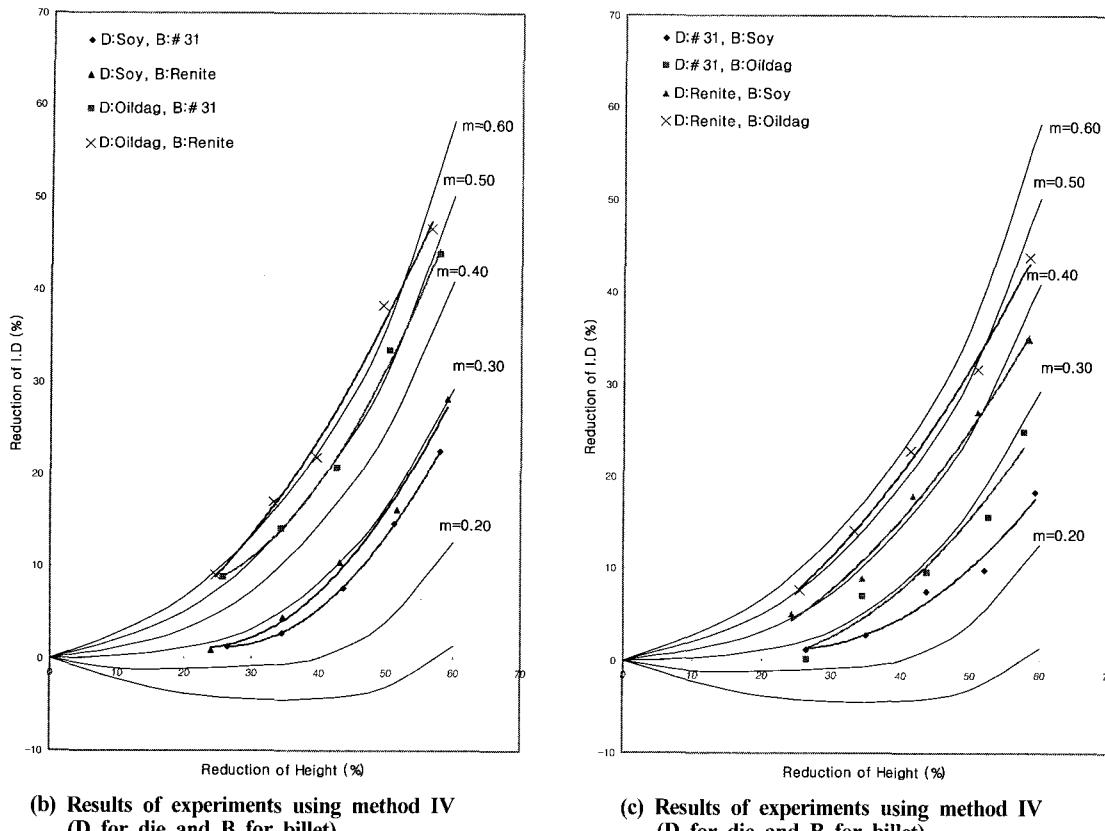


Fig. 6 Theoretical calibration curves and results of ring compression tests for lubricating method IV

금형에 Soy 윤활제를, 소재에는 Oiltag을 윤활한 경우의 마찰 상수값은 0.27이었고, 반대로 금형에 Oiltag, 소재에 Soy 윤활제를 사용한 경우에는 0.45이었다.

두 번째 윤활 방법에서는 Deltaforge #31과 Soy 윤활제의 마찰 상수값이 가장 작은 값을 나타내었다. 이러한 두 가지 윤활제를 금형에 분사하고 소재에는 각기 다른 종류의 윤활제를 사용하여 시험한 경우가 다른 경우에 비해 상대적으로 낮은 마찰 상수값을 나타내었다(Fig.6). 즉 금형에 Soy 윤활제를 사용하고 소재에는 Deltaforge #31을 사용한 경우 마찰 상수값은 0.27, 소재에 Renite를 사용한 경우에는 0.29 이었다(Fig.6 (b)).

금형에 Deltaforge #31을 분사하고 소재에는 Soy 윤활제를 사용한 경우 마찰 상수값은 0.25, 소재에 Oiltag을 사용한 경우에는 0.29 이었다(Fig.6 (c)). 이러한 경향을 통해서 금형과 소재에 서로 다른 수용성 또는 유용성 윤활제를 교차해서 윤활할 경우, 소재에 사용된 윤활제의 마찰 상수값이 높더라도 금형에 사용된 윤활제의 마

찰 상수값이 낮을 경우, 전체적으로 마찰 상수값을 줄일 수 있었다.

앞의 시험 결과들을 Fig.7에 정리하였다. 가장 윤활 상태가 좋은 경우는 금형 및 소재에 Soy 윤활제를 분사하여 사용한 경우로 마찰 상수값이 0.17이었고, 마찰 상수값이 가장 높은 경우는 Oiltag을 사용하는 경우였다. 유용성의 경우 Soy 윤활제, 수용성의 경우 Deltaforge #31의 마찰 상수값이 다른 윤활제에 비해 낮은 값을 가졌다. 윤활제의 두 가지 중요한 성질은 금형과 소재의 마찰을 줄이는 것과 금형의 냉각 효과이다⁽¹³⁾. 앞의 시험에서 마찰만을 고려할 경우 Soy 윤활제를 금형과 소재에 각각 사용하는 것이 가장 좋다. 그러나 소재에 윤활제를 사용할 경우 소재의 표면 온도가 낮아져서 제품 성형시 상대적으로 높은 성형 하중이 필요하다. 이럴 경우에는 금형에만 Soy 윤활제를 사용하는 것이 좋다. 다음으로 금형의 냉각 효과를 고려할 경우에는 Deltaforge #31을 금형에 분사하여 사용하는 것이 좋다⁽¹⁴⁾. 그러나

온간 단조에서 윤활 분사 방법에 따른 마찰 상수값의 평가

금형과 소재 사이 접촉면에서의 마찰 상수는 상대적으로 증가하게 되어 소재의 유동성 및 금형 마멸 등에 영향을 주게 된다. 따라서 성형공정 설계시 각 윤활제들의 이러한 특징을 파악하여 최적의 윤활제를 선정하는 것이 매우 중요하다.

앞에서의 시험 결과를 이용하여 마찰 상수값이 성형 하중 및 제품 성형에 미치는 영향을 파악하기 위하여 유한요소 해석을 실시하였다. 빌렛의 크기는 외경 20mm, 높이 20mm로 하였으며 재질은 본 시험에 사용된 SCM 420H로 하였다. 해석에 사용된 윤활 조건은 가장 낮은 마찰 상수값 0.17을 가지는 소재 및 금형에 Soy 윤활제를 사용한 경우와, 가장 높은 마찰 상수값 0.6을 가지는 Oildag을 금형에 분사한 경우를 사용하였다. 유한요소해석 결과 및 실험 결과를 Fig.8에 나타내었다. 각 윤활제 분사시 냉각 효과를 유한요소 해석에 고려하지 못하여 해석 결과가 크게 차이나지는 않았지만, 마찰 상수값에 따라 성형하중, 성형제품의 형상 및 유효변형률을 분포가 다르게 나타남을 알 수 있었다. 이러한 금형과 소재 사이의 윤활 특성은 베벨 기어의 치형 성형과 같이 소재 유동성에 따라 치수 정밀도가 크게 좌우되는 공정에서 중요한 역할을 하게 된다. 소재의 유동성은 소재의 온도 분포뿐만 아니라 윤활 상태에 따라 크게 영향을 받으므로 각 윤활제 및 윤활 방법에 따른 윤활 특성을 파악하여 온간 단조 공정 설계시 이를 반드시 고려하여야 한다.

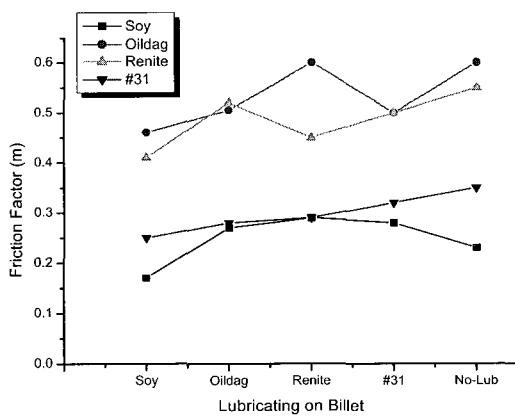
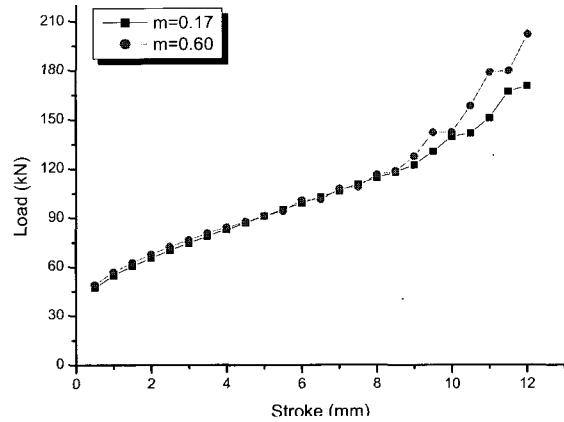
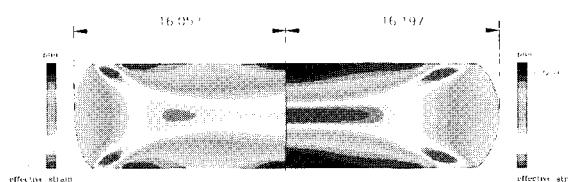


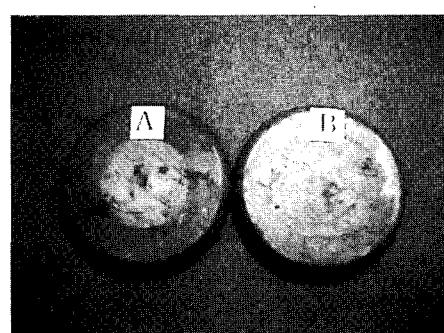
Fig. 7 Comparison of friction factor for lubricating methods II, III, IV



(a) Load - stroke curve to 60% reduction of height



**(b) Configuration of deformation
(Left:m=0.17, Right:m=0.60)**



**(c) Photograph of upsetting tests
(Left:m=0.17, Right:m=0.60)**

Fig. 8 Comparison of load-stroke and deformed shape to different friction factors

4. 결 론

본 연구에서는 링 압축 시험을 이용하여, 네 가지 윤활제를 세 가지 방법으로 금형 및 소재에 각각 분사하여 마찰 상수값의 변화를 시험한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 유용성 그라파이트 윤활제 중에서는 Soy, 수용성 윤활제에서는 Deltaforge #31이 가장 낮은 마찰 상수값을 나타내었다.

(2) 유용성 윤활제인 Soy의 경우 소재 및 금형에 분사하는 방법과 수용성 윤활제인 Deltaforge #31인 경우 금형에는 Deltaforge #31을, 소재에는 Soy를 분사하는 방법이 가장 낮은 마찰 상수값을 나타내었다.

(3) 동일한 윤활제라도 윤활 방법에 따라 각기 다른 마찰 특성을 나타내며, 금형 및 소재에 각각 다른 윤활제를 사용할 경우, 낮은 마찰 상수값을 가지는 윤활제를 금형에 분사하고, 다른 윤활제는 소재에 분사하는 것보다 양호한 윤활 상태를 가진다.

(4) 수용성 윤활제 및 유용성 윤활제에 있어서 각 마찰 특성 및 냉각 특성이 다르므로, 온간 단조성형 공정 시 이러한 특징들을 고려하여 최적의 윤활제를 선정하여야 하며, 본 연구에서는 유용성 윤활제인 Soy를 금형 및 소재에 분사하여 사용하는 것이 가장 우수한 윤활 특성을 나타낼 수 있었다.

후 기

본 연구는 부산대학교 정밀정형 및 금형가공 연구센터를 통한 한국과학재단의 우수연구센터의 지원금에 의한 것입니다.

참 고 문 헌

- (1) 美農利雄, 1973, “溫間潤滑と鍛造の研究, 現状と問題點”, 財團法人 鍛造技術研究所, pp.3~5.

- (2) H. V. Dommelen. and M. Hirschvogel, 1992, "Some application of cold and warm forging", J. of Materials Processing Technology, 35, pp.343~356.
(3) S. Sheljaskov, 1993, "Halbwarmumformung", aT-angewandte Technik, Pressen+Walzen, pp.106~110, Feb.
(4) S. Sheljaskov, 1996, "Warm forging - a technology for manufacturing of precision components", Proceedings of the 5th international Conference on Technology of Plasticity - Volume 1 ,V.1 pp.45 5~490,
(5) Tatsuro Iwama and Yasuhiro Morimoto, 1997, "Die life and lubrication in warm forging", J. of Mat. Processing Tech. 71, pp.43~48.
(6) W.Shichun, 1982, "Warm Forging of Stainless Steels", J. of Mech. Working Tech. 6, pp.333~345.
(7) T. Altan, S.I. Oh, H.L. Gegel, 1983, Metal Forming - Fundamentals and Application, ASM.
(8) E.Doege, R.Melching, and G.Kowalick, J. Mech. Work. Tech. 2, pp.129~143, 1978.
(9) "Guidelines for warm forging of steels", ICFG Data sheet 8/75, Met.u.Met.Forming, pp.366~367, 1975.
(10) SFTC, "DEFORM-2D user's manual"
(11) C.R.Boer, N.Rebelo, H.Rydstad, G.Schroder, 1986, "Process Modelling of Metal Forming and Thermomechanical Treatment", Springer-Verlag, p.368.
(12) 日本潤滑工學會編, 1974, “潤滑ハンドブック”, 養賢堂, pp.2~57.
(13) J. Schey, Tribology in Metal Working-Friction, Lubrication and Wear, ASM, 1983.
(14) 이진호, 1999, “온간 단조 금형의 수명 예측 기법 개발”, 부산대학교 석사학위 논문.