

## 냉간단조용 친환경 수용성 윤활제의 개발

이인수<sup>1</sup>, 강종훈<sup>2</sup>, 김영량<sup>3</sup>, 제진수<sup>4</sup>, 고대철<sup>5</sup>, 김병민<sup>#</sup>

### Development of Environmentally Friendly Water-Soluble Lubricant for Cold Forging

I. S. Lee, J. H. Kang, Y. R. Kim, J. S. Je, D. C. Ko, B. M. Kim

#### Abstract

Zinc phosphate coating is required in nearly all steel cold forging operations. However, the chemical byproducts of this lubricant system are difficult to dispose of and have a negative environmental impact. In order to replace zinc phosphate based lubricants partially or completely, candidate lubricant has been developed in this study. The performance evaluation of these lubricants was conducted using the double cup extrusion test and spike forging test. With the use of the commercial FEM code DEFORM, friction factor calibration curves, i.e. cup height ratio vs. punch stroke and spike height vs. punch stroke, were established for different friction factor values. By matching the cup height ratio and the punch stroke and spike height vs. punch stroke from experiment to that obtained from FE simulations, the friction factor of the lubricants was determined. Three water-soluble lubricants; namely, Mec Homat, Royalcoat, and the developed lubricant were found to perform comparable to or better than zinc phosphate.

**Key Words** : Zinc Phosphate Coating (인산염피막처리), Water-Soluble lubricant (수용성 윤활제), Double Cup Extrusion Test (전후방 압출 실험), Spike Forging Test (스파이크 포징 실험), Friction Factor (마찰상수)

#### 1. 서 론

20 세기 초에 발명되어 1915 년 경부터 냉간가공의 윤활처리에 널리 사용하게 된 인산염피막(zinc phosphate coating)처리는 금속소재의 표면과 인산염과의 화학반응에 의한 피막을 생성시키고 이 피막과 유화제를 반응시킨 금속비누화로 강력한 윤활피막을 형성시키는 방법이다. 이 윤활처리는 냉간가공 시 발생하는 높은 압력과 온도로 인한 소착을 방지하고 금속비누에 의한 윤활효과로 뛰어난 성형성을 가지게 한다.

하지만 인산염피막처리는 Table 1 과 같이 탈지, 수세, 산세, 수세, 탕세, 피막처리, 수세, 중화, 윤활 등의 많은 공정을 거쳐야 하기 때문에 이 과

정에서 많은 에너지 소비가 발생하며 처리시간도 오래 걸린다. 또한 피막생성과정에서 슬러지(Sludge) 및 오/폐기물이 부생성물로 발생하기 때문에 환경적인 측면에서도 여러가지 문제점이 발생하며, 처리비용도 많이 든다[1].

그래서 선진국에서는 에너지절약 및 환경문제를 동시에 해결하기 위해, 기존의 인산염피막처리에 비해 공정수를 줄일 수 있고 윤활 및 마찰성능이 우수한 신개념의 윤활제 및 윤활처리장치 개발을 해왔다. 일본의 Mec International 사에서는 철의 표면과 윤활제 속의 유황래디칼(sulphur radical)이 반응한 유화철을 생성시킴으로써 윤활작용을 하는 Mec Homat 이란 수용성 윤활제를 개발하였으며 4 공정으로 대폭 줄인 윤활처리장치를

1. 부산대학교 정밀기계공학과  
2. 발레오만도전장시스템코리아(주)  
3. 삼영화학  
4. 경상대학교 기계항공공학부  
5. 동남권부품소재산학협력혁신사업단  
# 교신저자: 부산대학교 기계공학부, bmkim@pusan.ac.kr

개발하였다. 또한 일본의 大同化学사는 알킬포스폰산(alkylphosphonic acid)유도체와 알루미늄 화합물이 계면활성제와 함께 물을 분산시켜 방청성과 가공윤활성능이 뛰어난 Royalcoat 라는 수용성 윤활제를 개발하였다.

Altan 은 기존의 인산염피막처리와 수용성 윤활제인 Mec Homat (Mec International), Daido AquaLub (Daido Chemical Industries), MCI z-coat (Metal Coatings International)에 대해서 링압축실험 (ring compression test)과 전후방 압출 실험(Double extrusion test)을 수행하여 윤활성을 평가하였다[2].

**Table 1 Sheet of zinc phosphate coating process**

No.	Process	Processing time [min]	Temperature [°C]
1	Degreasing	5~10	80~90
2	Rinsing	1~2	Room temp.
3	Pickling	5~8	Room temp.
4	Rinsing	1~2	Room temp.
5	Rinsing	1~2	70~80
6	Bonderite	5~8	80~90
7	Rinsing	5~8	80~90
8	Neutralizing	1~2	Room temp.
9	Bonderlube	2~3	70~80
10	Drying	5~10	80~90

국내에서도 일부업체가 이러한 수용성 윤활제의 적용을 시도하고 있으나, 윤활 및 마찰성능 등에 관한 기술적 측면에서의 어려움으로 인해 실제 생산라인에 적용되지 않고 있다.

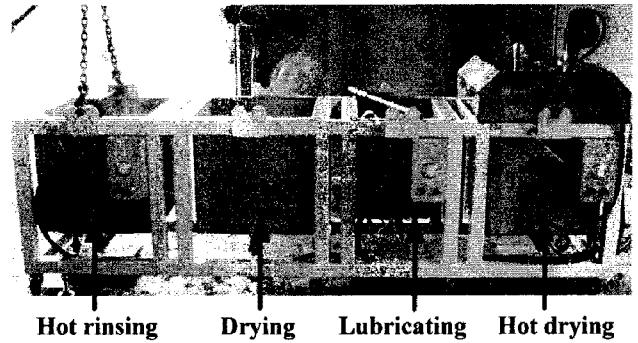
따라서 국내에서도 인산염피막처리의 문제들을 해결하기 위해 처리공정이 간단하며, 산업폐기물도 획기적으로 줄일 수 있는 친환경적 수용성 윤활제와 더불어 이를 처리할 수 있는 윤활처리장치의 개발이 필요하다.

본 연구에서는 기존의 인산염피막처리와 선진국의 수용성 윤활제, 개발된 수용성 윤활제를 비교하고자 윤활성능테스트인 스파이크 포징 실험(Spike forging test)과 전후방 압출 실험(Double cup extrusion test)를 실시하였으며 개발된 윤활제의 양호한 성능을 알 수 있었다.

## 2. 수용성 윤활처리장치

### 2.1 수용성 윤활처리장치 개요

수용성 윤활제의 도포를 위해서는 수용성 윤활제를 냉간단조용 소재에 도포하기 위한 윤활처리 시험장치를 Fig. 1 에 나타내었다. 이 장치는 탕세, 건조, 윤활, 건조의 4 공정으로 각 공정별 조건을 Table 2 에 나타내었다.



**Fig. 1 Device for lubricating water-soluble lubricant**

**Table 2 Process sheet of lubricating water-soluble lubricant**

No.	Process	Processing time [min]	Temperature [°C]
1	Rinsing	3	80~90
2	Drying	1~2	Room temp.
3	Lubricating	3	40~55.
4	Drying	5~10	90~95

먼저 단조 시험용 소재는 소둔처리된 SM10C 를 사용하였다. 수용성 윤활제의 윤활처리를 위해 시험편을 소둔처리 후 쇼트 블라스트(shot blast)를 한다. 이는 소재의 연성을 높이는 효과뿐만 아니라 윤활제의 도포 면적을 넓힐 수 있다.

윤활처리될 소재는 각 공정별로 크레인에 의해 이동된다. 제 1 공정인 탕세(hot rinsing)는 냉간단조용 소재 표면을 깨끗하게 하기 위한 공정으로 여기서 뜨거워진 소재는 제 2 공정인 건조(drying)에서 자연적으로 건조 되어진다. 제 3 공정을 통해 윤활제가 도포된 후 제 4 공정에서 윤활제가 완전히 건조될 때까지 온풍으로 건조시킨다.

Table 1 에서 볼 수 있듯이 수용성 윤활처리공정은 인산염피막처리 공정과 비교해 볼 때 공정수가 감소하여 매우 짧은 시간에 처리될 수 있으며, 또한 에너지절감효과를 가져 올 수 있음을 알 수 있다.

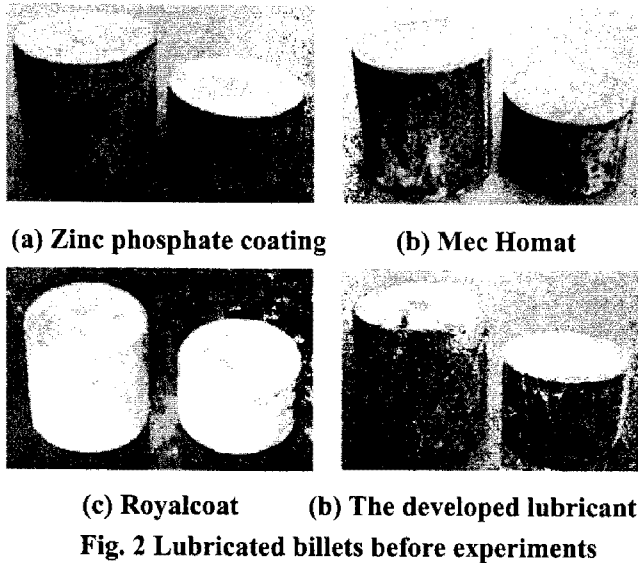
## 2.2 수용성 윤활제

새로이 개발된 윤활제의 비교 대상은 기존의 인산염피막처리와 수용성 윤활제 2 종류로 선정하였으며 이를 Table 3 에 나타내었다.

Table 3 Experimental Matrix

No.	Lubricant	Type
1	Zinc phosphate	Non-water-soluble
2	Mec Homat	Water-soluble
3	Royalcoat	Water-soluble
4	The developed lub.	Water-soluble

각 윤활제 별로 윤활피막을 입힌 형상을 Fig. 2 에 나타내었다.



(a) Zinc phosphate coating (b) Mec Homat  
(c) Royalcoat (d) The developed lubricant  
Fig. 2 Lubricated billets before experiments

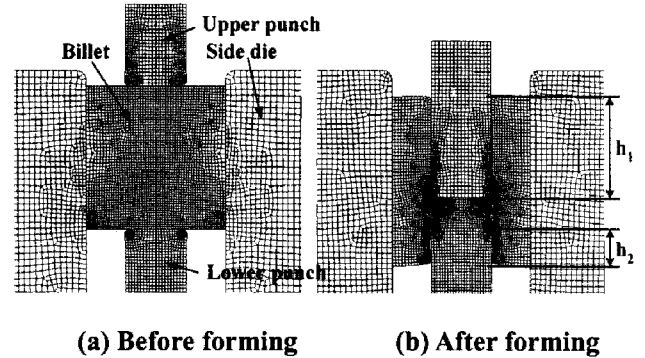
## 3. 수용성 윤활제의 윤활성능테스트

### 3.1 윤활성능테스트

냉간단조용 윤활제의 윤활성능을 나타내는 마찰계수(friction coefficient,  $\mu$ ) 및 마찰상수(friction factor,  $m$ )를 평가하기 위한 방법으로는 링압축테스트, 전방압출, 후방압출, 전후방압출, 스파이크포징 등 여러 방법이 있다. 본 연구에서는 소재의 유동이 큰 전후방압출실험과 극압의 조건에서 윤활특성평가가 가능한 스파이크 포징 실험을 실시하였다. 각각의 실험에 대한 윤활제의 성능판단 기준표인 마찰표(calibration curve)는 DEFORM-2D를 이용하여 구하였다.

### 3.2 전후방 압출 실험

전후방 압출 실험에 대해서 마찰표를 얻기 위한 FEM 해석모델을 Fig. 3 에 나타내었다. 이 테스트는 봉재의 시편에 동일한 형상의 펀치로 위, 아래에서 하중을 가하여 소재가 전후방 압출될 때 전방 압출된 높이와 후방 압출된 높이의 비 ( $h_1/h_2$ )로 마찰상수를 결정하는 방법이다[3].



(a) Before forming (b) After forming  
Fig. 3 Double cup extrusion test

마찰이 없을 때는 이론적으로 전방 압출된 소재의 높이와 후방 압출된 소재의 높이는 같다. 마찰이 크면 클수록 전방 압출 높이와 후방 압출 높이는 크게 차이가 나게 된다.

실험은 600ton 의 기계식 프레스에서 수행되었으며 윤활제별로 상부 펀치 스트로크 15[mm], 25[mm] 에 따라 각각 10 회씩 수행되었다.

FEM 을 통해 얻은 전후방 압출 마찰표에 각 윤활제별 스트로크에 따른 높이비를 Fig. 4 에 도시하였다.

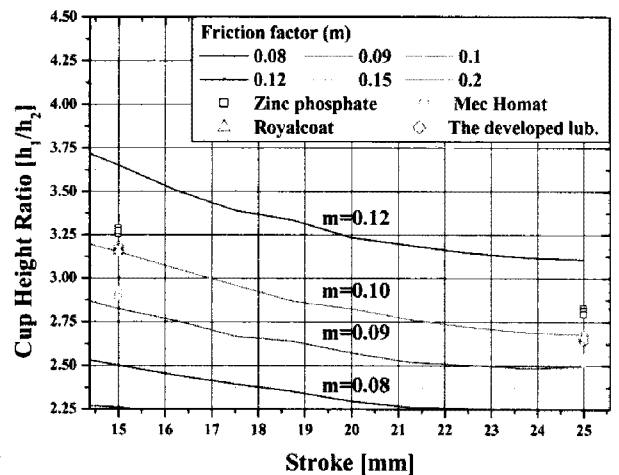
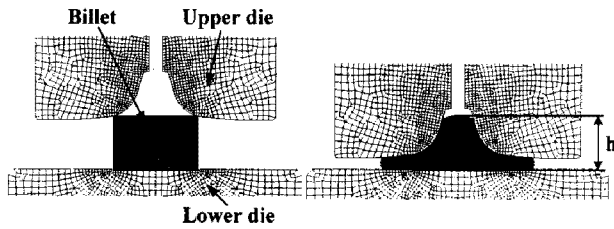


Fig. 4 Calibration curve of double cup extrusion test

### 3.3 스파이크 포징 실험

스파이크 포징 실험에 대해서 마찰표를 얻기 위한 FEM 해석을 Fig. 5에 나타내었다. 이 테스트는 상부 다이가 내려와 봉재의 시편에 업셋팅(upsetting)과 후방압출(backward extrusion)이 동시에 일어나는 성형법으로 후방 압출되는 높이(spike height, h)로 마찰상수를 결정하는 방법이다[4].



(a) Before forming (b) After forming  
Fig. 5 Spike forging test

실험은 200ton의 유압식 프레스에서 수행되었으며 윤활제 별로 상부 펀치의 스트로크 9.2[mm], 12[mm]에 따라 각각 10회씩 수행되었다.

FEM을 통해 얻은 스파이크 포징 마찰표에 각 윤활제별 스트로크에 따른 스파이크 높이를 Fig. 6에 도시하였다.

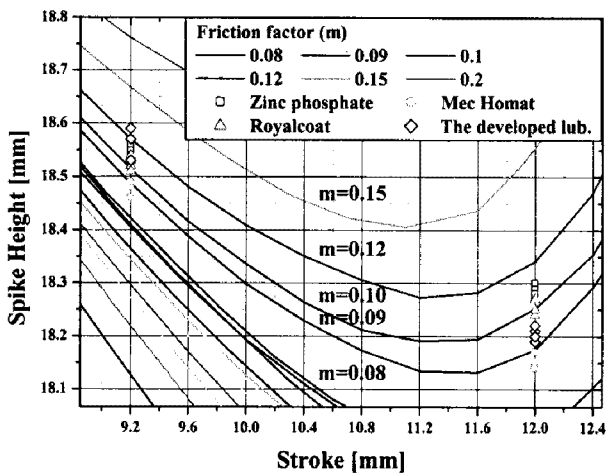


Fig. 6 Calibration curve of spike forging test

전후방 압출과 스파이크 포징 실험을 통해 마찰상수값을 측정된 것을 Table 4에 나타내었다.

Table 4 Results for double cup extrusion and spike forging test

No.	Lubricant	Friction factor, m
1	Zinc phosphate	0.11
2	Mec Homat	0.09
3	Royalcoat	0.10
4	The developed lub.	0.10

### 4. 결론

새로이 개발된 윤활제와 윤활처리장치는 다음과 같은 이점이 있음을 알 수 있었다. 첫째, 인산염피막처리공정보다 공정수가 대폭 감소되어 에너지소비 절약 및 공정시간을 단축할 수 있었다. 둘째로 공정수의 감소로 인해 설비공간이 줄어들었으며, 마지막으로 수용성 윤활제의 개발로 인해 환경적인 문제도 크게 개선되었다.

이번 연구에서 비록 일본의 Mec Homat 보다는 마찰상수가 컸지만 윤활제의 개발에 대한 연구가 앞으로 계속 진행된다면 더 좋은 결과가 나올 수 있을 것이다. 또한 윤활처리장치도 자동화 및 윤활 처리 공정조건에 대한 최적의 DB를 확보한다면 생산성이 크게 증가될 것이다.

### 후기

본 과제는 에너지관리공단의 에너지·자원기술 개발 사업의 지원으로 수행되었습니다. 또한 참여 기업인 삼영화학과 포징솔루션에 감사드립니다.

### 참고 문헌

- [1] 2003, 냉간단조 대체윤활제의 적용, 월간 프레스기술, Vol. 4, pp. 37~48.
- [2] T. Altan, 2004, Evaluation of new lubricants for cold forging without zinc phosphate coating, ICFG Annual Meeting, Turkey, September 13/15.
- [3] F. Fereshteh-Saniee, H. Bayateefar, 2002, Experimental comparison of different friction tests in bulk metal forming, Advanced technology of plasticity, Vol.1, pp. 91~96.
- [4] W. L. Xu, K. P. Rao, 1997, Analysis of the deformation characteristics of spike-forging process through FE simulations and experiments, Journal of Materials Processing Technology, Vol 70, pp. 122-128.