

냉간단조용 수용성 윤활제의 평가 및 윤활 처리 공정의 최적화

임우진¹, 이인수², 제진수³, 고대철⁴, 김병민[#]

Evaluation of Water-Soluble Lubricant for Cold Forging and Optimization of Coating Process

W. J. Lim¹, I. S. Lee², J. S. Je³, D. C. Ko⁴, B. M. Kim[#]

Abstract

The zinc prosthate film treatments used to lubricating treatment of mostly cold forging processes. But there are several problems happened to lubricating treatment process such as happening harmful environment on person, complex lubrication processing occurring in energy and time consumption, eco-destructive and chemical by-product generation, the needs of waste disposal etc. As a result, a water-soluble lubricant was developed to replace the perfect or some of the zinc prosthate film in the world. In order to solve these problems, this study evaluated the performance of the typical water-soluble. In this study, for these requirement inquiry of two part. First, about possibility of replace zinc phosphat lubricant, quantitatively evaluation developed of water-soluble lubricant for cold forging vs zinc phosphat lubricant. Second, About optimization of coating Process use to equipment with practicable automatic coating Process. The performance evaluation of these lubricants was conducted using the double cup extrusion test and spike forging test. With the use of the commercial FE 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. Survey of comparative analysis use to SEM that sprayed lubricant surface structure of grain shape and characteristic of lubricant performance based on grain shape and deformed lubricant surface expansion. As a result, developed lubricant were found to perform comparable to or better than zinc phosphat. And thought this result, innovatively cope with generated problem of existing lubrication process.

Key Words : Cold forging; Zinc phosphat; Double cup backward extrusion test; SEM

1. 서 론

냉간단조 공정에서 윤활제는 공구와 가공소재 간의 마찰을 감소시킴으로 가공 하중을 상대적으로 줄이는 역할을 한다. 결과적으로 공구의 파손을 방지하여 수명을 연장시키고, 가공 한계를 향상 시키며, 소재 내부의 변형을 균일화 할 수 있다. 또한 공구와 피가공재 사이의 시저(seizer)를

방지하여 제품 정밀도를 향상시키는 역할을 한다.

1915년경부터 냉간 단조가공의 윤활 처리에 널리 이용되어온 인산염 피막(zinc phosphate coating) 처리는 금속 소재의 표면과 인산염과의 화학 반응에 의해서 피막을 생성 시키고 이 피막과 유화제를 반응시킨 금속 비누로 강력한 윤활 피막을 형성 시키는 방법이다. 이러한 인산염 피막 처리는 냉간 단조공정에서 발생하는 높은 압력과 고

1. 부산대학교 정밀기계공학과

2. 부산대학교 정밀기계공학과

3. 경상대학교 기계항공공학부

4. 동남권부품소재산업학협력혁신사업단

교신저자: 부산대학교 기계공학부, bmkim@pusan.ac.kr

온으로 인한 소착을 방지하고 금속비누에 의한 윤활 작용으로 뛰어난 성형성을 가지게 된다.

하지만 인산염 피막처리는 인산염 층을 형성하는 과정에서 슬러지가 생성되고, 처리과정에서 침전된 슬러지에 의해서 열화현상을 일으킨다. 또한 세척 후 산성폐기물이 발생되며, 넓은 설비 공간이 요구된다. 처리 공정시간은 Table.1과 같이 대략 1시간 정도의 시간이 소요된다.

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

이에 따라 이러한 문제점들을 해결하기 위해서 기존의 인산염피막에 비해 간소화된 처리 공정과 보다 작은 소요 에너지로 뛰어난 마찰 성능의 윤활제에 대한 연구가 국내·외적으로 진행되어왔다. 일본의 Mec International사는 Mec Homat 수용성 윤활제를 개발하였으며, 기존의 인산염피막처리-10공정을 3공정으로 줄인 윤활처리 장치를 개발하였다. 또한 일본의 大同化学사는 Royalcoat라는 수용성 윤활제를 개발하였다.

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

따라서 인산염피막처리의 문제들을 해결하기 위해 처리공정이 간단하며, 친환경적인 수용성 윤활제와 이를 처리할 수 있는 윤활처리장치의 개발이 요구된다.

T. Altan은 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 더블컵 전후방 압출 실험(double extrusion test)을 수행하여 윤활성을 평가하였다[2].

본 연구에서는 기존의 인산염피막 공정이 가지는 문제점을 극복하기 위하여 새롭게 개발된 친환경적인 수용성 윤활제의 성능을 기존의 윤활제와 비교 평가하였다. 또한 윤활 성능에 영향을 미치는 인자를 이용하여 최적의 윤활 처리 공정을 제안하였다. 이를 위해 성형 테스트를 위한 윤활 처리 조건을 직교 배열표를 이용하여 계획하였다. 더블컵 전 후방압출 실험(doublecup backward extrusion test)과 스파이크포징 실험(spike forging test)을 통해 마찰 상수를 평가하였고 성형 후의 성형 측벽부의 스크래치 형상을 비교하여 윤활 특성을 비교 평가하였다. 또한 윤활제의 도포 특성을 SEM Image 를 통해 윤활제 도포 표면 형상이 윤활 성능에 미치는 영향을 관찰하였다.

2. 수용성 윤활제와 Inline 윤활장치

2-1 수용성 윤활제의 개발

본 연구에서 개발된 수용성 윤활제는 철강, 스테인리스 및 비철금속의 냉간 단조에 사용되는 윤활제로 원액은 백색의 무취 액상형태로 존재하며 소재의 특성에 따라 희석비를 조절하여 사용한다. 윤활제가 소재에 도포된 후 건조되면 표면의 윤활제 입자는 Fig.1 과 같이 나타난다.

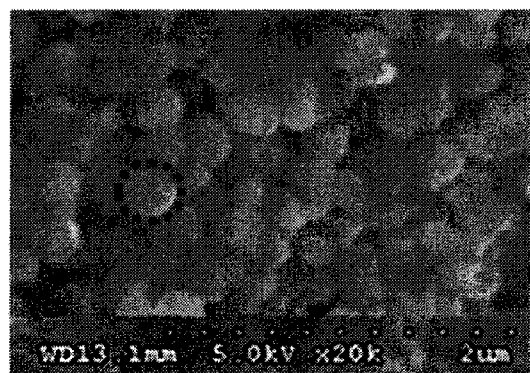


Fig. 1 SEM Image of developed lubricant

SEM Image 상에서 나타난 0.3um 크기의 구상형태 소재는 Ethylene 과 Acrylate 의 공중합체이며, Emulsion Polymerization 으로 합성한 제품으로서, colloid 형태의 입자로 구성되어 있다.

이 소재의 물성 특징은 일정한 형태의 구상모

로, 윤활피막에서 요구되는 이상적인 형태로, 소재 자체가 발수성, 고윤활성, 내열성 및 충격을 완화할 수 있는 탄성을 가지고 있다.

개발된 단조용 수용성 윤활제는 위 소재를 바탕으로 하여 별도의 Binder 와 Inorganic Compound(무기 화합물) 와 Additive(첨가제)로 구성되어있다. 개발된 윤활제의 성분비는 Table. 2 와 같이 구성된다.

Table 2. Sheet of the chief ingredient rate of lubricant

H ₂ O	44%
Leveling agent	7.0%
Dispersing Agent	4.3%
Polymer resin	28.0%
Crosslinking Agent	4.0%
Zinc composite	2.0%
Surface active agent	3.0%
Extreme Pressure Agents	2.0%

2-2 Inline 윤활 처리 장치의 개발

Inline 윤활처리 장치는 인산염피막 처리 공정에서 요구되는 복잡한 여러 공정을 Fig.2 에서와 같이 탕세, 윤활, 건조의 3 공정으로 간소화 하여 기존의 공정에 비해 공정수와 처리 시간을 대폭 줄이면서 개발된 수용성 윤활제를 도포할 수 있게 설계된 윤활 처리 장치이다.

Inline 윤활 처리 장치를 이용해서 윤활 처리하는 공정 별 처리 시간 및 조건을 Table. 3 에서 나타내었다.

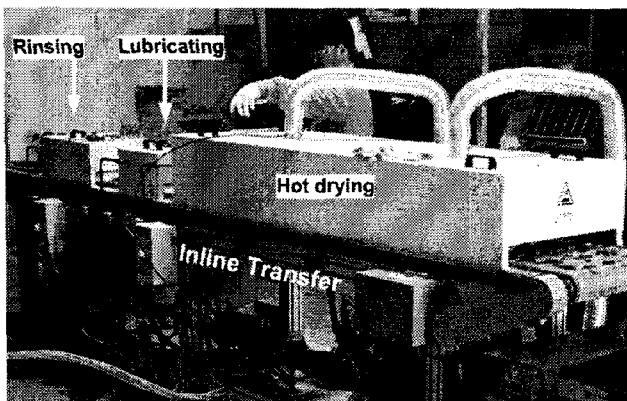


Fig. 2 Device for lubricating water-soluble lubricant

Table 3 Process sheet of lubricating water-soluble lubricant

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

3. 수용성 윤활제의 윤활처리공정 최적화

3.1 수용성 윤활제의 윤활처리공정

본 연구에서는 각 공정 별 조건의 영향력을 분석하기 위해 실험계획법을 적용하여 공정 별로 각각 3수준의 L27(3¹³)형 직교 배열표(orthogonal array)를 통해 실험계획을 세웠으며 Table 4에 각 인자 별 수준을 나타내었다.

Table 4 Parameters and levels selected for optimization of water-based lubricant coating process

Parameters	Levels
Dilution ratio (lubricant : water)	1:1, 5:3, 3:1
Rinsing temp.	80°C, 90°C, 100°C
Rinsing time	10sec, 1min, 2min
Lubricating temp.	20°C, 40°C, 60°C
Lubricating time	1sec, 3sec, 1min
Drying temp.	20°C, 60°C, 100°C
Drying time	1min, 2min, 3min
Leaving time after processing	1hour, 9hour, 1day

3.2 각 공정변수의 특성 분석

각각의 공정 변수에 따라 직교 배열표로 실험 순서를 정하여서 공정변수에 따른 특성을 Fig.3 과 같이 분석하였다.

분석 결과 윤활제와 물의 희석 비율이 5:3일 때가 최적 희석비로 판단되었다. 두번째 요인으로는 탕세 온도로 윤활공정에서 탕세 온도를 높이면 소재에 온도가 올라가서 윤활제의 표면 유동과 건조시간 등에 영향을 미치는 것으로 판단 되었다.

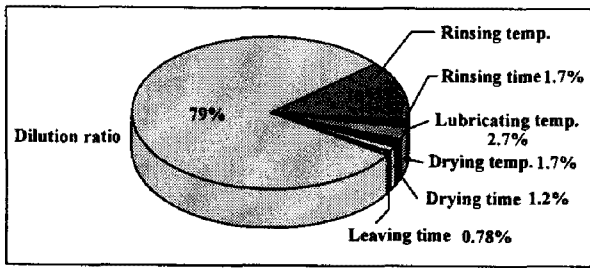


Fig. 3 Effect of parameters

각 공정 변수에 따른 최적화의 기준은 인산염 피막을 대치 가능한 범위에서 동일한 수준의 윤활 성능을 유지하며 최소의 에너지와 최소한의 윤활처리 제반 비용을 고려한 것으로 Table.5에 나타내었다.

Table 5 Optimal coating process of water-soluble lubricant

No.	Process	Processing time	Temperature
1	Rinsing	1 min	100 °C
2	Lubricating Dilution ratio (5:3)	1 sec	20 °C
3	Drying	1 min	20 °C

또한 최적화로 판단된 공정변수를 적용하여 윤활제의 성능을 위한 성형 테스트를 수행하였다.

앞서 수행된 선행 연구를 바탕으로 성형 테스트를 수행하여 윤활제의 성능과 윤활제가 가지는 한계 스트레인 값과 SEM Image로 윤활제 표면 형상 및 성형 스크래치 형상을 관찰하여 윤활제의 성능을 비교 분석하였다.

4. 윤활제의 도포 표면 특징

실험에 사용된 윤활제의 특성을 분석하기 위해서 도포 후 건조된 윤활제의 표면을 Fig.5와 같이 SEM Image로 촬영하여 비교하였다

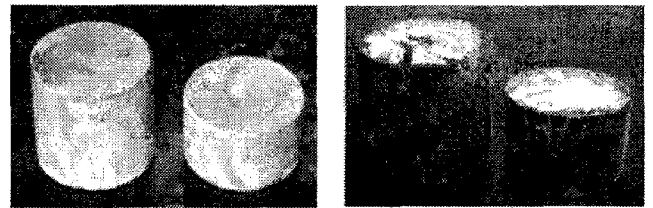
윤활제의 형상을 비교해 보면 Developed Lub.가 다른 수용성 윤활제에 비해 균일하게 도포가 되어있는 것을 확인할 수 있다. 특히 윤활제 표면 형상이 상대적으로 작으며 구형상을 하고 있어 Edge부를 비롯한 복잡한 형상의 소재에도 윤

활제의 일정한 도포가 가능할 것으로 예상되며 윤활제의 형상이 건조 시간에도 영향을 미칠 것으로 예상된다.



(a) Zinc phosphate coating

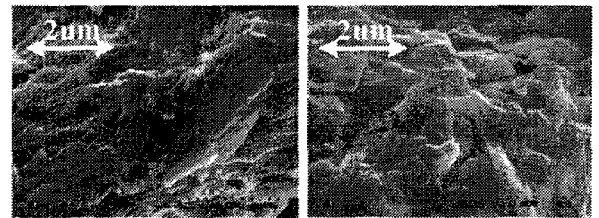
(b) Mec Homat



(c) Royalcoat

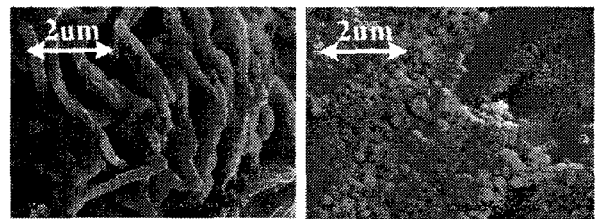
(d) Developed lubricant

Fig. 4 Lubricated billets before experiments



Zinc Phosphate

Royalcoat



Homat

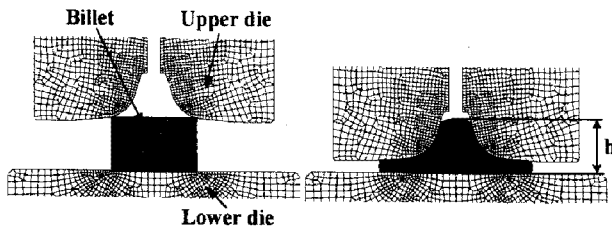
Developed Lub.

Fig. 5 Surface shape of dry lubricant

5. 윤활제의 성형 실험 및 분석

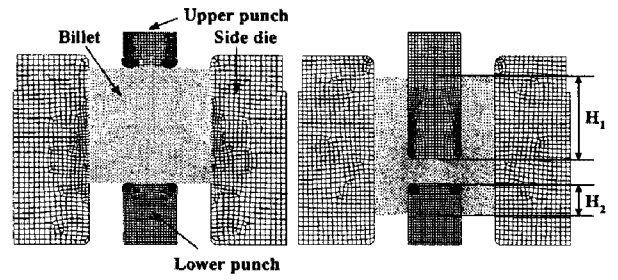
5.1 Spikeforging test

스파이크포징 테스트는 Fig. 6과 같이 상부 다이가 내려와 봉재의 시편에 업셋팅(upsetting)과 후방 압출(backward extrusion)이 동시에 일어나는 성형 방법으로 후방 압출되는 높이(spike height, h)로 마찰 상수를 결정하는 방법이다[3].



(a) Before forming (b) After forming

Fig. 6 Spike forging test



(a) Before forming (b) After forming

Fig. 8 Doublecup backward extrusion test

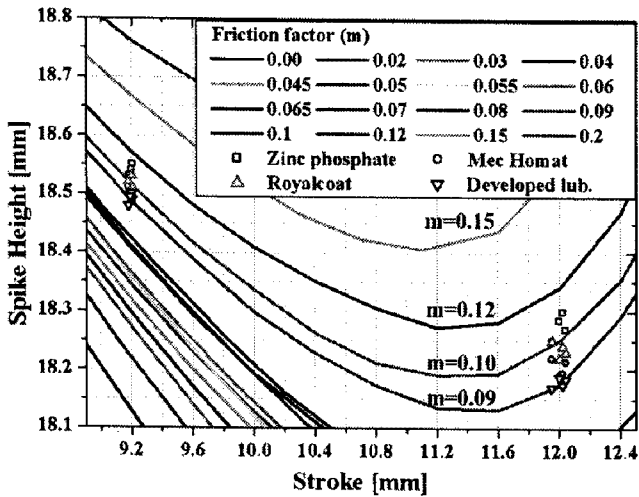


Fig.7 Spikeforging test

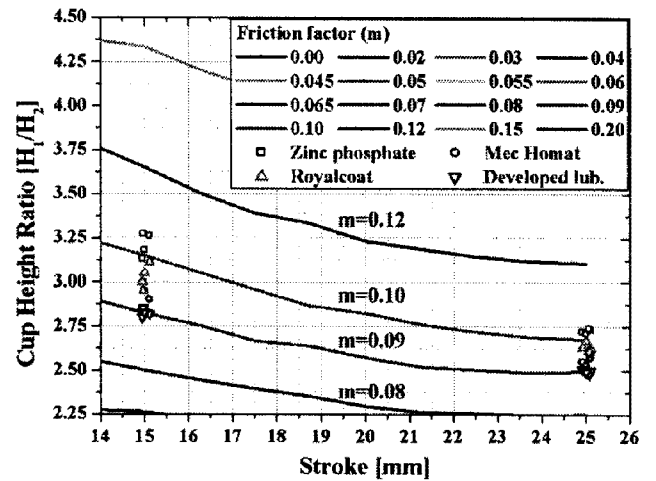


Fig. 9 Doublecup backward extrusion test

실험은 200ton 의 유압식 프레스에서 수행되었으며 윤활제 별로 상부 펀치의 스트로크 9.2[mm], 12[mm] 에 따라 각각 10 회씩 수행되었다. FEM 을 통해 얻은 스파이크 포징 마찰표에 각 윤활제 별 스트로크에 따른 스파이크 높이를 Fig. 7 에 도시하였다.

5.2 Doublecup backward extrusion test

더블컵 전/후방압출 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[4]. 스파이크포징과 마찬가지로 전방 압출에너지와 후방압출에너지의 차이에 의해 높이 차이가 발생하게 된다.

실험은 600ton의 기계식 프레스에서 수행되었으며 윤활제 별로 상부 펀치 스트로크 15[mm], 25[mm] 에 따라 각각 10회씩 수행되었다.

FEM 을 통해 얻은 전후방 압출 마찰표에 각 윤활제 별 스트로크에 따른 높이 비를 Fig. 9 에 도시하였다.

Table 6 Results for double cup backward extrusion and spike forging test

No.	Lubricant	Friction factor, m
1	Zinc phosphate	0.10~0.11
2	Mec Homat	0.09~0.10
3	Royalcoat	0.09~0.10
4	The developed lub.	0.09~0.095

전후방 압출과 스파이크 포징 실험을 통해 얻은 마찰 상수 값을 Table 6 에 나타내었다. 인산염 피막과 선진국의 수용성 윤활제와 비교해 보았을 때, 본 연구에서 사용된 수용성 윤활제가 유사한 윤활성능을 가짐을 알 수 있다.

5.3 윤활제의 한계 스트레인

윤활제의 가공 한계는 가공 소재의 적용 범위에 중요한 지표이다. 본 연구에서는 인산염 피막과 수용성 윤활제의 한계 스트레인 값을 정의하기 위해 선행 연구를 바탕으로 Double cup extrusion test의 stroke값을 변수로 24mm, 26mm, 28.5mm로 선정하고 비교 윤활제는 인산염 피막과 수용성 윤활제 중 가장 성능이 양호한 Developed lubricant를 대상으로 비교하여 실험하였다.

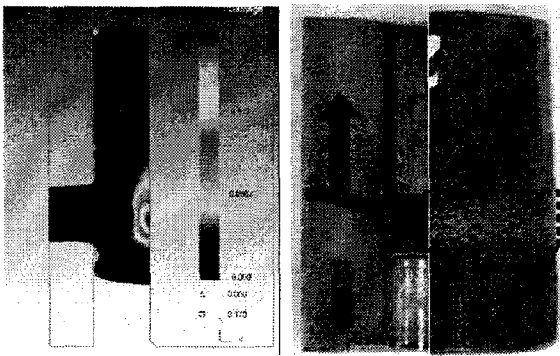


Fig.10 Limit strain rate of Lubricant

FEM 결과를 보면 Fig.10 과 같이 Double cup extrusion test에서 소재의 유동일 가장 크게 발생하는 측벽부의 Damage값이 크게 나타났다. 개발윤활제 보다는 인산염 피막의 윤활 성능이 좀더 우수하였다. 특히 개발 윤활제에서 stroke값이 26mm일 때 Damage값은 0.17, strain rate가 4.42이며, 이 부분에서 소재 표면에 crack이 발생하였다. 결과적으로 인산염 피막 윤활이 좀더 낫은 윤활 성능을 가지며 개발 윤활제의 한계 스트레인 값은 소재 특성에 따라 4.42정도가 적당한 것임을 알 수 있다.

6. 결론

기존의 냉간단조에서 광범위하게 사용되고 있는 인산염 피막처리공정을 비교 대상으로 공정수, 에너지 절감 및 공정시간 단축, 공정수 감소로 인한 설비공간의 최소화, 환경 오염 등의 항목에서 대등한 수준의 윤활 성능을 가지면서도 3 단계 공

정수, 에너지 절감, 시간 단축, 수용성이고 친환경적인 윤활제 특성, 윤활제의 환경 오염 문제 등 다각적인 개선을 얻을 수 있었다.

실험계획법의 간이 분석법에 의해 분석된 결과 윤활제 성능에 미치는 주된 기여도는 희석비 79%, 탕세온도 13%, 윤활처리온도 2.7%의 순으로 희석비가 윤활 성능에 가장 큰 영향을 끼치는 것으로 분석 되었으며 일정한 윤활제의 희석비를 제시하였다. 또한 윤활제의 도포 형상을 관찰하여 윤활제의 특징을 알 수 있었다. 윤활제의 한계 스트레인을 정의하여 한계 스트레인을 고려하여 소재에 윤활제를 적용할 수 있는 기준을 제시하였다.

본 연구를 통해서 기존의 인산염 피막 처리를 혁신적으로 간소화, 간편화, 친환경화, 저에너지화 할 수 있는 수용성 윤활제의 성능을 비롯한 다양한 특징을 확인할 수 있었다. 이 연구를 바탕으로 앞으로 지속적인 윤활제 개발, 윤활성능 분석, 최적 윤활 처리 공정 설계에 관한 연구로 더 우수한 윤활제의 개발에 대한 가능성을 제시하였다.

후 기

본 과제는 에너지관리공단의 에너지·자원기술 개발 사업의 지원으로 수행되었습니다. 연구에 참여기업으로 함께 협력한 삼영화학과 포징솔루션에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [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] 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.
- [4] 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.