

배압 성형기술을 이용한 Lock-up Hub의 정형제조 기술에 관한 연구

권용철¹ · 이정환¹ · 이영선[#] · T. Ishikawa²

A Study on Net-shape Technology of Automotive Lock-up Hub using Cold Back Pressure Forming

Y. C. Kwon, J. H. Lee, Y. S. Lee, T. Ishikawa

(Received October 11, 2007)

Abstract

Net shape forging technologies give many effects into the costs and qualities for the finished products. So, the studies to reduce the additional machining amount are very important in forging industry. Specially, there are two main topics in cold forging industry, such as, tool life and precision forging. In this study, new forging technique was proposed to eliminate the machining process for fixing up the length and improve the lead accuracy of gear. The lock-up hub is manufactured through many processes, such as upsetting, piercing and direct extrusion. The gear is formed in direct extrusion process; however, lead accuracy of the gear is over allowance limit. Therefore, the additional sizing process must be added. In this study, process design for closed-die forging of a lock-up hub used for a component of automobile transmission was made using three-dimensional finite element simulations, and the strain distributions and velocity distributions are investigated through the post processor. The rigid-plastic finite-element method for back pressure forging has been used in order to reduce development time and die cost. Using the FEM simulation, we found the optimum value of back pressure. The prototypes of lock-up hub parts were forged into the net-shape. In the experiment, lead precision of tooth are measured by the CCMM(Contact Coordinate Measuring Machine). The dimensional accuracy of forged part was improved up to the 40% when back press was applied.

Key Words : FEM, Back Pressure Forming, Net-shape, Direct Extrusion, Lead Precision

1. 서 론

정밀단조기술은 생산성이 높고, 재료 이용율이 높으며, 제품의 개당 생산비가 낮고, 제품의 기계적 특성이 우수하므로 자동차, 항공기등 산업 전반에 걸쳐 핵심 부품의 생산에 적용되고 있다. 또한 정밀단조기술은 최종제품에 최대한 가까운 형상과 치수를 단조품에 부여함으로써 단조 후

추가 공정을 삭감하고 원가를 절감하고자 노력하여 최근에는 무절삭 정밀 단조품(Net Shape Forged Part)을 실현하고 있는 사례가 증가하고 있다. 1975.년부터 국내에 일본의 단조 기술 도입을 시작으로 최근까지 많은 국내 및 국외 연구 학자들은 단조 공정 중 급형의 수명 향상 및 급형의 탄성 변형에 의한 제품의 정밀도 향상에 대해 연구를 지속적 하고 있다. 본 연구에서는 자동차 자동 변

1. 한국기계연구원 부설 재료연구소
2. Dept. of Materials Sciences and Engineering, Nagoya University, Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya
교신저자: 한국기계연구원 부설 재료연구소,
E-mail: lys1668@kims.re.kr

속기 부품에 사용되는 록업허브(Lock-up Hub)를 이용하여 실험 및 유한요소해석을 수행하였다. 현재 양산 되고 있는 록업허브의 제조 방법은 전방 압출을 이용하여 원소재에서 최종제품에 이르기까지 4 공정으로 제조 및 치형부위의 리드정밀도를 향상 시키기 위해 기존 단조 형태와 다른 배압성형 기술을 개발하였다. 배압성형기술(Back Pressure Forming)이란 단조공정 시 소재의 유동 속도를 동일한 조건으로 제어함으로써 정형단조에 적합한 기술이며, 또한 치수 정밀도를 향상 시킬 수 있는 기술이다. 우선 유한요소해석을 이용하여 배압성형 시 필요한 배압력을 계산하였으며, 해석의 정확성을 높이기 위해 소재의 물성치를 상온에서 압축실험을 통해 실제 측정값을 이용하였다. 해석에 의해 계산된 배압력을 이용하여 800[ton] 유압 프레스에서 배압력을 가할 수 있도록 특수 다이셋을 이용하여 실험을 수행하였으며, 제품 치형부위의 리드정밀도를 측정하기 위해 접촉식 3 차원 측정기(Contact Coordinate Measuring Machine)을 사용하였다. 배압성형품의 신뢰성을 입증하기 위해 기존 전방압출에 의해 제조된 제품과 리드정밀도를 비교 분석하였다. Fig. 1은 실험과 해석의 흐름도를 설명하고 있다.

Table 1 Chemical composition of S25C

| Component | C | Si | Mn | P | S |
|-----------|---------------|---------------|---------------|--------------|--------------|
| Wt.% | 0.22~ 0.28 | 0.15~ 0.35 | 0.30~ 0.60 | Max. 0.04 | Max. 0.05 |

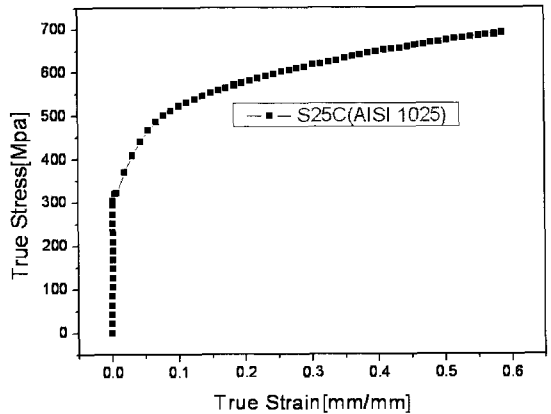


Fig. 2 Flow stress of S25C by the Compression test

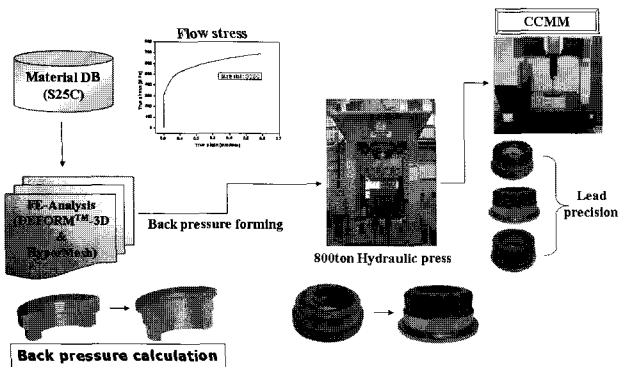


Fig. 1 Experimental and FE-Analysis procedures to investigate the Back pressure forming

2. 실험 및 유한요소해석

본 연구에 사용된 소재는 S25C(AISI 1025)이며, 소재의 물성치를 정량화 시키기 위해 원통형 빌렛을 이용하여 상온에서 압축실험을 수행하였다. Table 1은 S25 소재의 화학 조성표를 나타내고 있다. Fig. 2와 같이 압축 실험을 통해 정량화된 소

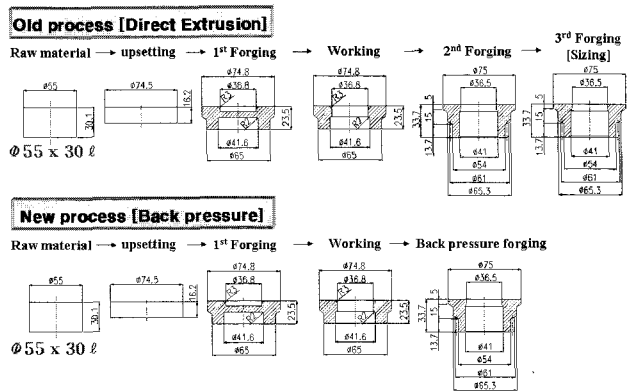


Fig. 3 The comparison for manufacturing process of Lock-up Hub

재의 유동응력(Flow stress)을 측정하였으며, 실험에 의해 측정된 유동응력을 해석에 이용하였다. 앞에서 언급하였듯이 록업허브의 실 제조 시 최적의 배압력을 결정하기 위해 해석을 수행하였으며, 해석 조건을 보면 소재는 소성체(Plastic Material), 펀치와 다이는 강체(Rigid Body)로 놓고 강소성유한 요소해석을 수행하였다. Fig. 3은 기존 단조 공정도(Direct Extrusion)와 배압성형 공정도를 나타내고 있다. 본 그림과 같이 3 공정을 제외한 나머지 공정은 모두 동일하며, 배압성형을 수행함으로써 인해

치형의 사이징 공정을 삭감할 수 있다.

Fig. 4 는 기존공정과 배압공정에 대해 유한요소 해석 시 사용된 모델을 비교한 것이다. 해석에 사용된 소재의 요소수는 83066 개로서, 모델의 형상을 최대한 고려하기 위해 메쉬 전용 프로그램인 Hyper_Mesh 를 사용하였다. 본 해석은 전공정에 대해서 해석을 수행하지 않았으며, 피어싱 후 3 공정에 대해서만 해석을 수행하였다. 또한 해석 시간을 고려하여 1/12 모델을 이용하였다. 성형 해석 시 펀치 속도는 40mm/sec, 배압력은 0.5, 1, 2, 2.2, 3, 4[ton]등 8 가지 방안으로 각각 압력을 부가시켜 적정값을 찾고자 하였다(Table 2).

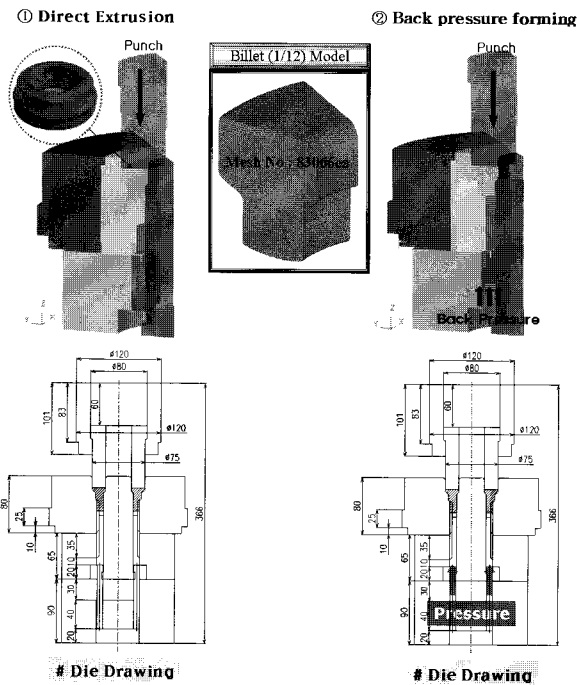
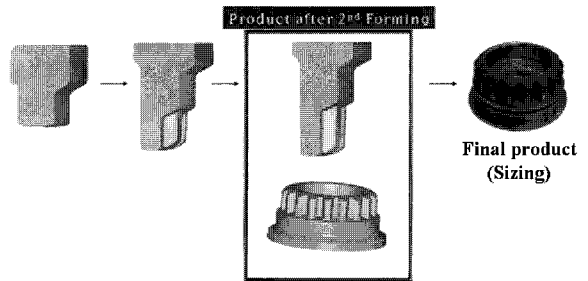


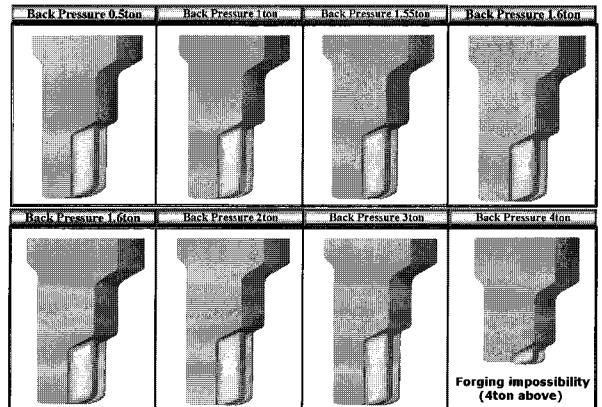
Fig. 4 The model and die design used FE-Analysis

| Pre Processor | Workpiece | Rigid-plastic model |
|---------------|--------------------|--|
| | Die | Rigid body |
| | Count Punch speed | 100mm/sec |
| | Knock-out punch | 0.5 ~ 4[ton] |
| | The number of mesh | 83066ea |
| | Raw material | S25C(AISI-1025) |
| | Die material | SKH51(AISI-M2) |
| | Solving time | Direct Extrusion(8hr) Back forming (32hr) |

Fig. 5 은 강소성 유한요소법을 이용하여 해석을 수행한 결과를 나타내고 있다. (a)의 결과는 기존 압출 공정에 의한 결과이며, (b)은 Knock-out Punch 에 각각 0.5~4ton 등 8 가지 방안으로 배압력을 가하여 해석을 수행한 결과이다. 해석 결과에 의하면 4ton(Total:48ton)이상에서는 성형이 불가능한 것으로 계산되어졌으며, 그림에서와 같이 치형부위의 외형적인 형상은 2~2.5ton(Total:24~30ton)에서 가장 적절한 배압력으로 관찰되어졌다.



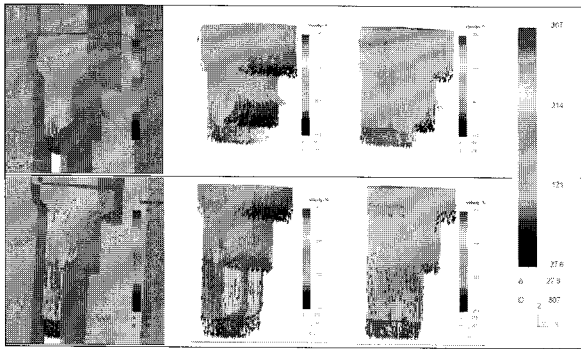
(a) Forming analysis result for Direct Extrusion



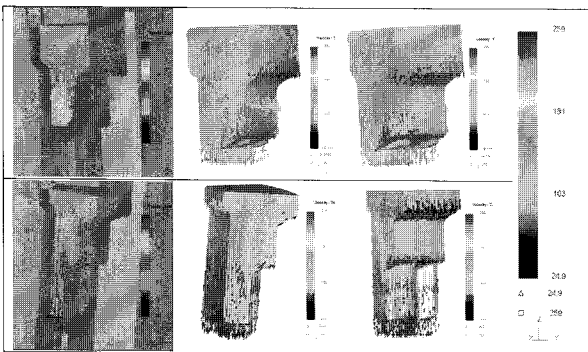
(b) Analysis results for back pressure

Fig. 5 The forming analysis results using Rigid-plastic FEM

해석 결과에서 제품의 외형적인 형상뿐만 아니라 배압력으로 인해 치형 부위의 유동 흐름을 정량적으로 분석하기 위해 배압성형 후 최종 제품에서의 유효 변형율(Effective strain)와 유동 속도(Flow velocity)을 비교 분석 해본 결과 Fig. 6, 7 와 같이 나타남을 확인 할 수 있다. 그림에서 알 수 있듯이 기존 공정에 비해 배압 성형에서 유동 속



(a) Direct Extrusion

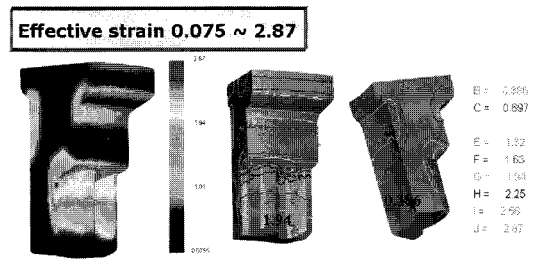


(b) Back pressure forming

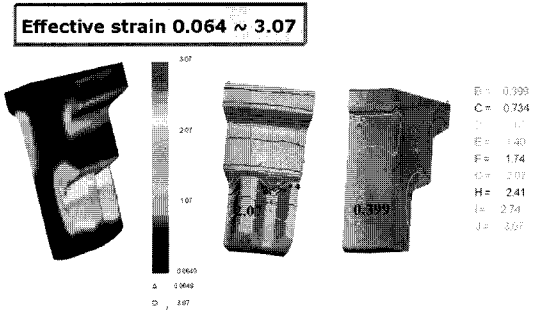
Fig. 6 The comparison analysis of flow velocity in the final product

도 및 유효 변형율의 분포가 전체적으로 거의 동일하게 제어 되는 것을 확인 할 수 있다. 따라서 압출 성형품에 비해 배압 성형품이 치형 부위의 형상이 우수함을 확인 할 수 있으며, 최적의 배압력은 24ton임을 확인 할 수 있다.

해석 시간을 측정해 본 결과 압출 공정은 8시간, 배압 공정은 32시간이 소요되었다. 본 해석을 통해 결정된 배압력을 이용하여 실금형을 제작하여 실험을 수행하였다. Fig. 8은 실험과 해석에서의 하중값을 비교 분석한 결과이다. (a)에서 알 수 있듯이 배압력이 증가 할수록 펀치의 하중값은 증가하는 것을 확인 할 수 있다. 또한 측정치와 계산치를 비교 분석해 본 결과 실험에 의해 측정된 최고 하중값은 580[ton], 배압력 2[ton]으로 계산되어진 펀치의 최고 하중값은 640[ton]으로 측정치와 계산치의 차이는 60[ton]정도 나타내고 있다. 그러나 그림에서 알 수 있듯이 동일한 양상으로 하중값이 증가하는 것을 확인 할 수 있다.



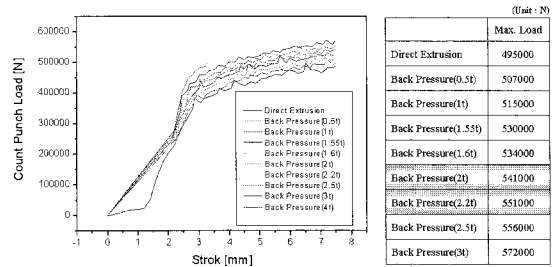
(a) Back pressure forming



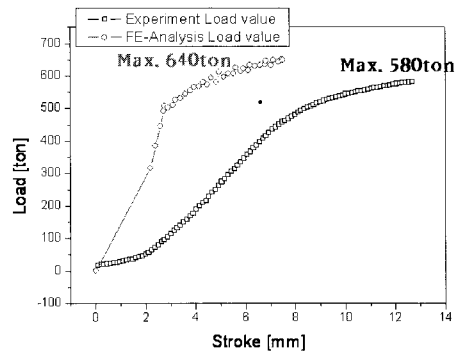
(b) Direct Extrusion

Fig. 7 The distribution of effective strain for FE-Analysis results

◆ Load Value Comparison



(a) FE-Analysis results



(b) Load value comparison

Fig. 8 Comparison of load value on the FE-analysis and Experiment

3. 리드정밀도 측정

본 연구를 통해 최적의 배압력으로 계산된 값 (24ton)을 사용하여 실 금형을 제작하여 실험을 수행하였다. 20ton 이상의 배압력을 가하기 위해 특별히 제작된 유압기기를 사용하였다. 실험에 사용된 유압펌프의 최대 용량은 100ton이다. Fig. 9은 자동차용 부품인 록업허브의 기존 압출 공정에 의해 성형된 최종제품과 본 연구를 통해 개발된 배압 성형품을 나타내고 있다. 외형적인 형상 및 표면은 해석의 결과와 동일하였다. 또한 압출 성형에 의해 단조된 최종 제품과의 형상을 비교 분석해본 결과 그림과 같이 배압 성형품이 압출성형품에 비해 외형적인 형상 및 표면이 우수함을 확인 할 수 있다. 제조된 배압성형품의 리드정밀도를 정량적으로 측정하기 위해 정밀도가 높은 접촉식 3차원 측정기를 이용하여 측정하였다.

Fig. 10은 리드정밀도 측정 결과를 나타내고 있으며, 정량적인 분석을 위해 각 부위별로 치형의 내경, 외경, 측면 부위를 측정하였다. 측정 결과에 따르면 배압 성형품은 기준점에 비해 치형의 측

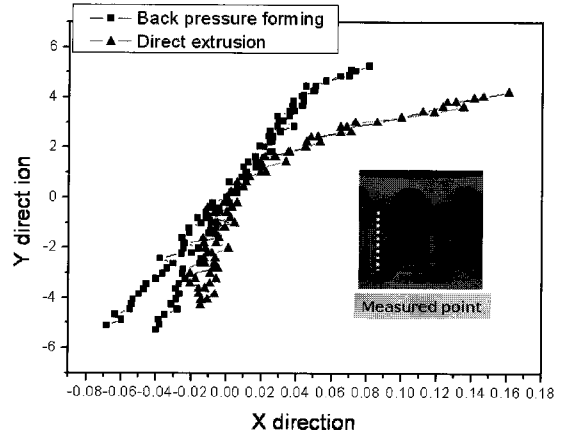


Fig.10 The measurement results of lead precision using the CCMM

면 부위는 최대 $31\mu\text{m}$, 내경 $80\mu\text{m}$, 외경은 $80\mu\text{m}$ 로 측정되었으며, 압출품은 측면부위 $35\mu\text{m}$, 내경 $20\mu\text{m}$, 외경은 $20\mu\text{m}$ 로 측정되었다. 따라서 전체적으로 압출품에 비해 배압 단조품의 리드정밀도가 $35\mu\text{m}$ 정도 높게 분포하는 것을 알 수 있다.

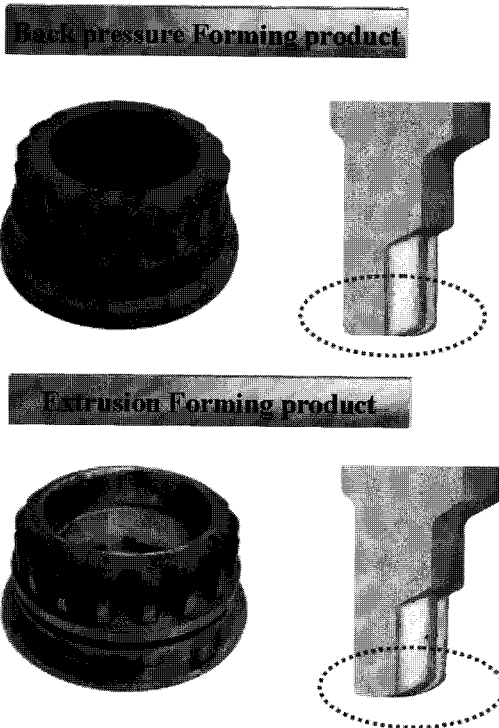


Fig. 9 The comparison of the final product on the Experiment and FEM Analysis

4. 결론

본 연구에서는 록업허브의 제조 공정 시 배압력을 이용하여 제품의 품질을 향상시키고, 단조 공정을 단축시키기 위해 배압성형기술을 개발하였다. 우선 제조 공정 시 최적의 배압력을 얻기 위해 강소성유한요소해석을 수행하였으며, 계산에 의해 결정된 배압력을 이용하여 실험을 수행하였다. 또한 실험에 의해 제조된 시제품의 리드 정밀도를 정량적으로 분석하였다. 본 연구 결과를 정리하면 다음과 같다.

(1) 적절한 배압력을 결정하기 위해 8 가지 방법으로 배압력을 부가시켜 해석을 수행한 결과 $48[\text{ton}]$ 이상에서는 성형이 불가능하며, $20\sim 25[\text{ton}]$ 의 배압력이 최적의 배압력으로 계산 되어졌다. 또한 배압력으로 인해 유동 속도 및 변형을 분포에 대해 정량적으로 분석한 결과 기존 압출성형품에 비해 배압성형품이 각 부위별로 동일한 분포로 속도가 제어되는 것을 확인 할 수 있었다.

(2) 해석에 의해 결정된 배압력으로 실험을 수행한 결과 제품의 외형적 형상 및 표면이 압출성형품에 비해 우수함을 입증할 수 있었다. 또한 2가지 제품에 대해 치형 부위의 리드 정밀도를

비교 분석한 결과 측정 결과에 따르면 기계가공 후 압출품은 기준점에 비해 최대 $25\mu\text{m}$, 배압품은 $60\mu\text{m}$ 의 차이를 보였다. 또한 배압 성형품은 현재 양산되고있는 압출품에 비해 $35\mu\text{m}$ 정도의 차이를 보였다. 전체적인 내용을 종합해 본 결과 배압 성형품은 기계가공 전 압출품에 비해 치수 정밀도가 40%이상 향상 되었다.

참 고 문 헌

- [1] Y. C. Kwon, C. M. Lee, J. H. Lee, Y. S. Lee, 2007, Dimensional changes and residual stress of spur gear according to the manufacturing processes, *Trans. Mater. Proc.*, Vol. 16, pp. 575~581.
- [2] S. H. Chun, J. H. Lee, Y. S. Lee, W. B. Bae, 2003, A study on the changes of involute-curve of spur gear die for cold forging and forged part, *Trans. Mater. Proc.*, Vol. 12, pp. 44~48.
- [3] J. H. Lee, Y. S. Lee, J. J. Park, 1996, Dimensional accuracies of cold-forged spur gears, *Trans. Mater. Proc.*, Vol. 5, pp. 115~121.
- [4] Y. S. Lee, J. H. Lee, Y. N. Kwon, 2004, FE techniques for the accurate prediction of part dimension in cold forging, *Trans. Mater. Proc.*, Vol. 13, pp. 3~8.
- [5] Y. S. Lee, J. H. Lee, Y. N. Kwon, T. Ishikawa, 2004, Experimental and FE analysis to predict the dimensional changes of workpiece and tool in cold forging, *Proc. Int. Conf. NUMIFORM2004*, pp. 504~509.
- [6] Y. S. Lee, J. H. Lee, Y. N. Kwon, T. Ishikawa, 2004, FE-modeling approaches to accurate dimension prediction for the cold forged part, *J. Eng. Manufac. B*, Vol. 218, pp. 1709~1722.
- [7] Y. S. Lee, J. H. Lee, Y. N. Kwon, J. R. Cho, T. Ishikawa, 2005, Analysis of the dimensional changes from the die machining to final heat-treatment for cold forging, *Proceeding of ICTP2005*.