

비축대칭 와셔 캠 볼트의 다단 단조공정 설계를 위한 유한요소 해석

김관우* · 김이태* · 김완중** · 조해용†

(원고접수일 : 2008년 3월 12일, 심사완료일 : 2008년 4월 26일)

Finite Element Analysis for Multi-stage Forging Process Design of Bolt with Nonaxisymmetric Washer Cam

Kwan-Woo Kim* · Yi-Tae Kim* · Wan-Jong Kim** · Hae-Yong Cho†

Abstract : Process design of multi-stage forging for a bolt with nonaxisymmetric washer cam has been studied by using finite element method. For shape complexity of the bolt, it is impossible to manufacture in a single stage forging. To design multi-stage forging for the bolt the forging load and fiber flow of each step have been analyzed by using commercial finite element code DEFORM-3D. Simulated results have been compared with experimental ones.

Multi-stage forging process has been designed with four stages. The workpiece should be eccentric shape until third forging stage. And then bolt head and washer of eccentric shape is created in last stage. As a results, It was predicted that shape of product would be good and effective strain would be uniformly distributed in the product. Also, it was predicted whether defects would exist or not by reviewing the fiber flow.

Key words : Cold-forging(냉간단조), Cam bolt(캠볼트), Finite element analysis(유한요소해석), Forging process(단조공정), Multi-stage forging(다단단조)

1. 서 론

자동차의 캠 볼트는 자동차의 조향장치에 결합되는 요소로써 와셔 부분이 편심된 형태이다. 와셔의 형상은 자동차의 정비나 속업쇼버 앵글 변경을 위한 로워마운팅의 위치를 정밀하게 변경 할 수 있게 하는 역할로 충분한 강도와 내구성이 요구된다. 한

편, 캠 볼트는 와셔부와 볼트부를 각각 단조 성형한 후 용접하거나, 프레스로 가압하여 조립하는 방법으로 생산되고 있어서 많은 제작 시간과 생산원가가 소요된다. 냉간 단조법의 적용으로 캠 볼트의 기계적 요구조건을 충족시키고, 제조원가를 절감할 수 있지만 그 시도는 미미하다.

냉간 단조에 의한 부품은 기계적 강도가 우수하

† 교신저자(충북대학교 기계공학부/중전기 미래기술개발 연구센터), E-mail:hycho@cbnu.ac.kr, Tel: 043)261-2464

* 충북대학원 정밀기계과

** LS산전(주)

여 많은 기계 부품으로 사용되지만, 공정 설계 시 설계자의 경험과 단조품의 특성에 따라 설계 및 공정이 다르게 될 수 있으므로, 많은 시행착오와 그에 따른 시간 및 경비의 낭비를 초래한다. 최근 이러한 문제해결을 위해 컴퓨터를 이용한 연구가 활발히 진행되고 있다. Altan 등¹⁻²⁾이 밀폐형 단조에서 축대칭 및 평면변형을 하는 부품에 대해 슬래브법을 적용하고 컴퓨터를 이용하여 응력과 하중을 계산한 이후로 Choi 등³⁾은 현장 설계 전문가들의 경험적 지식과 유한요소해석을 통해 다단 포머에 의한 볼트류 제품의 냉간 단조 성형을 위한 공정 및 금형설계 자동화 시스템을 구축 하였으며, Petrov 등⁴⁾은 냉간 폐쇄 단조 공정을 유한요소 시뮬레이션과 실험을 비교하여 깊은 공동이 있는 불규칙한 형상을 겹침 결합 없이 성형하였고, 겹침 결합의 크기와 다이 형상과의 관계를 제시하였다. 이 밖에도 Altan 등⁵⁾은 컴퓨터를 이용하여 유동응력, 마찰 및 온도에 관하여 해석하였다. 최근에는 강소성 유한요소 해석 프로그램인 DEFORM을 사용하여 Monaghan 등⁶⁾은 볼트의 냉간 단조 성형공정 시 볼트머리를 전단에 의하여 절삭하는 방법과 단조법을 조합하여 성형하는 공정에 대해 유한요소법을 적용하여 다이의 응력 분포가 최소가 되는 트리밍 다이를 설계하는 방법을 제시하였다. 그러나 이들 대부분은 축대칭 및 좌우 대칭인 일반적인 부품에 대한 유한요소 해석 및 자동화에 관련된 것들이다. 최근 제품의 종류가 다양해짐에 따라 비축대칭 및 비대칭인 것에 대한 관심이 높아지고 있으나 아직까지 비대칭 형상에 대한 연구는 미비하다.

본 연구에서는 현재 리벳과 볼트가 용접과 조립에 의해 생산되고 있는 실정에서 제조원가와 시간을 줄이기 위하여 다단 포머에 의한 냉간 단조공정을 설계하였으며, 상용 강소성 유한요소 해석 코드인 DEFORM-3D를 사용하여 성형하중, 금속유동결합, 미충진, 금형에 따른 재설계를 통해 냉간 단조로 성형하는 자동차용 캠 볼트의 성형 공정을 제시하고자 하였다.

2. 이론적 배경

소성가공에 대한 유한요소 해석 프로그램인

DEFORM-3D는 다음과 같은 강소성식을 사용하고 있다.

$$\text{평형방정식} : \sigma_{ij,j} = 0 \quad (1)$$

$$\text{적합방정식} : \dot{\epsilon}_{ij} = \frac{1}{2}(\dot{\mu}_{i,j} + \dot{\mu}_{j,i}) \quad (2)$$

$$\dot{\epsilon}_v = \dot{\mu}_{i,j} = 0$$

$$\text{구성방정식} : \sigma'_{ij} = \frac{2}{3} \cdot \frac{\bar{\sigma}}{\bar{\epsilon}} \cdot \dot{\epsilon}_{ij} \quad (3)$$

$$\text{경계조건} : \sigma'_{ij}n_i = F_j \quad \text{on } S_F \quad (4)$$

$$\mu_i = U_i \quad \text{on } S_U$$

여기서 σ'_{ij} 와 $\dot{\epsilon}'_{ij}$ 는 각각 변형재료의 응력과 변형률 속도를 나타내고 $\bar{\sigma}$ 와 $\bar{\epsilon}$ 는 각각 재료의 유효 응력과 유효변형률 속도를 나타내고 있는 데 각각 다음과 같이 정의 된다.

$$\bar{\sigma} = \sqrt{\frac{2}{3}(\sigma'_{ij}\sigma'_{ij})}, \quad \bar{\epsilon} = \sqrt{\frac{2}{3}(\dot{\epsilon}'_{ij}\dot{\epsilon}'_{ij})} \quad (5)$$

F_j 는 재료의 경계면에 걸리는 힘을, U_i 는 경계면에서의 변형속도를 나타내고 있다. (1) ~ (4)식에 변분법을 적용하여 다음과 같은 약형을 구할 수 있다.

$$\int_V \bar{\sigma} \delta \bar{\epsilon} dV + K \int_V \dot{\epsilon}_v \delta \dot{\epsilon}_v dV - \int_{S_f} f_i \delta v_i dS = 0 \quad (6)$$

여기에서, V 와 S 는 각각 표면적을 나타내고, K 는 페널티 상수를 나타낸다.

3. 냉간 단조공정 설계

냉간 단조 금형 및 초기소재 설계에 3D 모델링 프로그램인 Pro/ENGINEER를 사용하였고 이를 강소성 유한요소해석 프로그램인 DEFORM-3D를 통해 시뮬레이션하였으며, ANSYS를 이용하여 금형에 발생하는 응력을 예측 및 분석을 하여 강도 평가 및 설계보완을 하였다.

Fig. 1은 공정 및 금형설계를 위한 해석내용 및

과정을 나타낸 것이다. DEFORM-3D를 이용한 단조공정 해석에서는 초기 설계를 바탕으로 각 공정에서의 성형하중, 금속유동, 성형성 등을 분석한다. 그리고 성형 중 금형 내면에 작용하는 압력 결과데이터는 ANSYS를 이용한 각 공정의 금형강도 평가에 입력데이터로 이용된다. 해석결과로써 금형의 응력분포를 분석, 비교하여 금형과 공정 설계의 수정 및 보완을 반복한다. 따라서 냉간 단조공정 설계는 첫째 금형설계, 둘째 각 공정에서의 소요하중을 통한 프레스 용량결정, 셋째 가공 중 소재유동 분석, 넷째 금형 내면에 작용되는 성형압력 적용을 한 구조해석 결과분석의 금형 강도평가 순으로 이루어진다.

다는 가정을 통해 최종형상에 대한 브로커와 초기 소재의 형상과 치수를 정하였다. 그리고 성형성 및 프레스하중, 금형강도 평가의 반복된 과정을 통하여 그 적정형상 및 치수를 결정할 수 있었다.

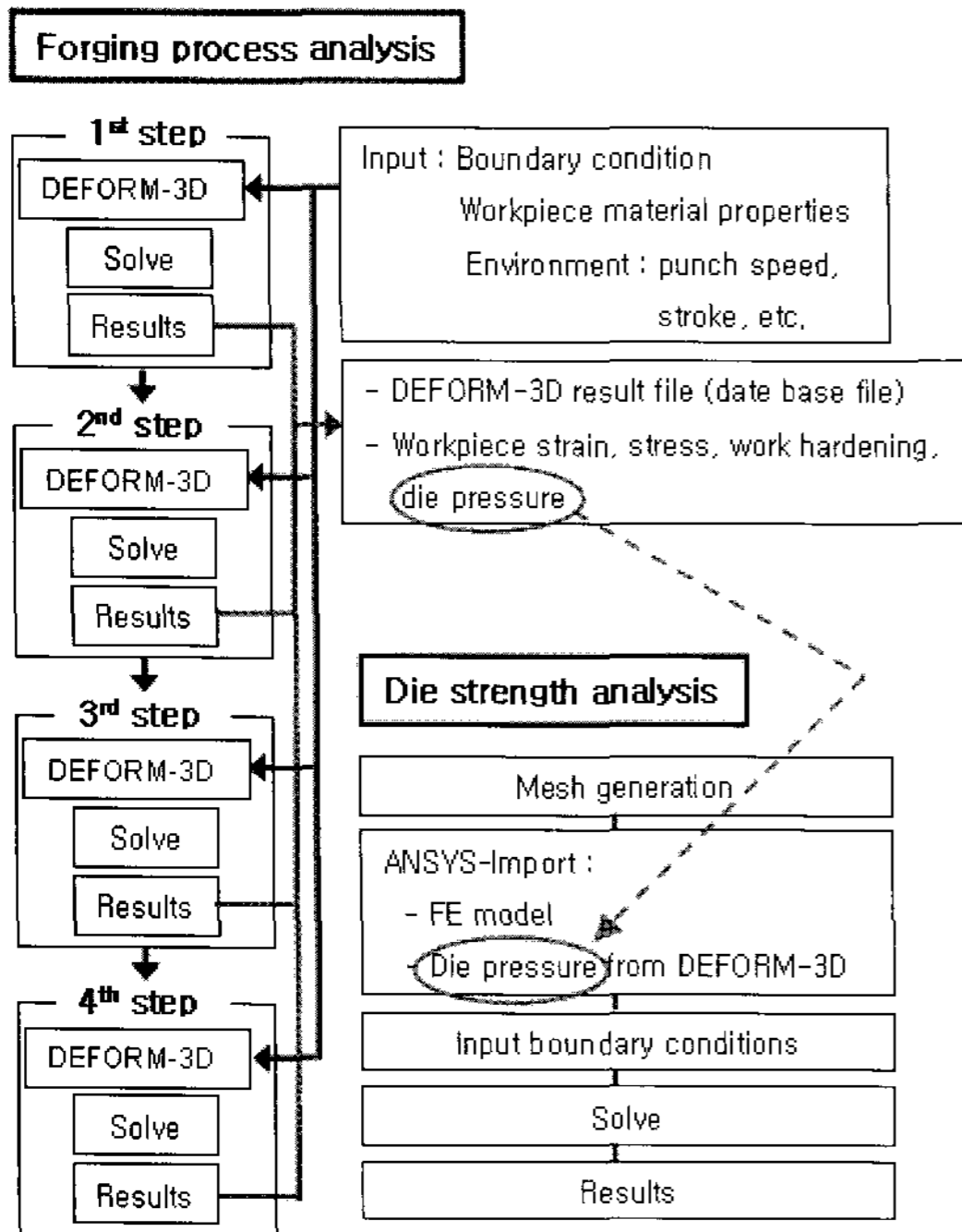
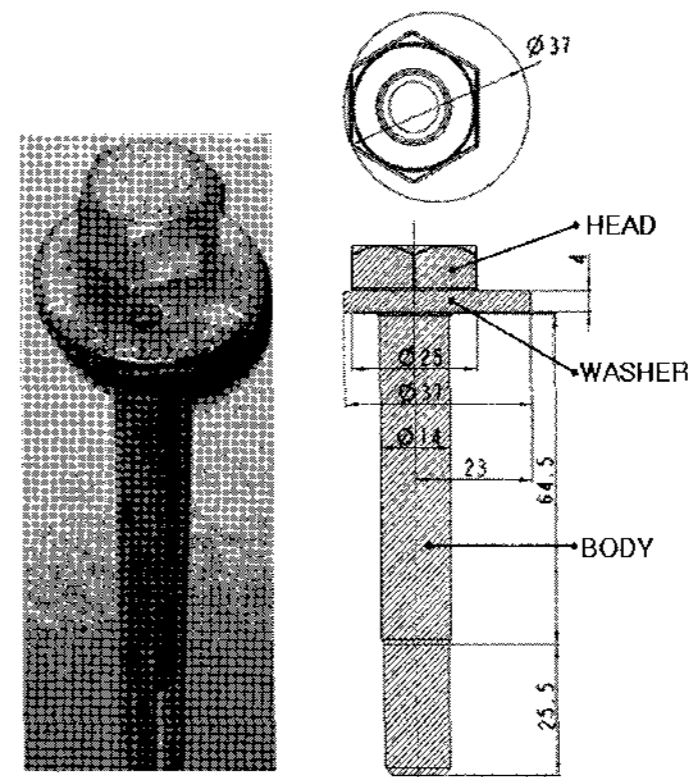
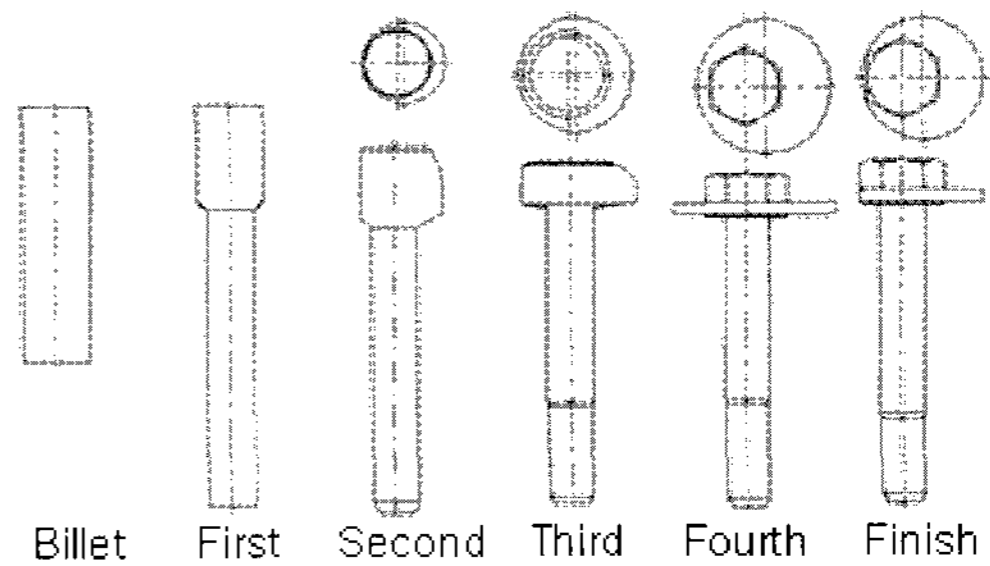


Fig. 1 Analysis procedure for designing forging process and die

캠 볼트의 최종형상은 Fig. 2(a)에서와 같이 헤드부, 와셔부, 바디부로 나뉘어진다. 와셔부가 편심된 형상이므로 Fig. 2(b)에서 볼 수 있듯이 우선 바디를 성형하고 헤드부와 와셔부의 편심을 유도한 후 헤드의 육각 형상을 쉬어링하는 방법을 고려하였다. 성형가공은 체적일정조건을 만족해야 한



(a) Final product



(b) Product by process

Fig. 2 Shape of cam bolt

Fig. 3은 캠 볼트 단조공정의 금형 및 성형과정을 나타낸 것이다. Fig. 2(b)의 마지막 5번째 제품그림은 요구치수를 만족하도록 캠 와셔의 불필요한 부분 제거하는 트리밍작업을 뜻한다. 따라서 단조공정은 총 4단계로 이루어진다. Fig. 3(a)는 가공 전 초기소재이고 Fig. 3(b)는 원기둥형 소재를 전방 압출시켜 볼트 머리부와 생크를 성형하는 1단계 공정이다. 생크의 하단 부는 전조가공 하여 나사산을 가공하게 되며 볼트 머리 부는 비대칭 캠 와셔와 육각 볼트 머리로 성형될 부분이다. Fig. 3(c), (d)는 볼트 상부의 편심을 유도하기 위해 금형을 설계하고 예비 성형체의 상단부를 편치로 가압하여 편심을 유도, 성형하는 2, 3단계 공정이다.

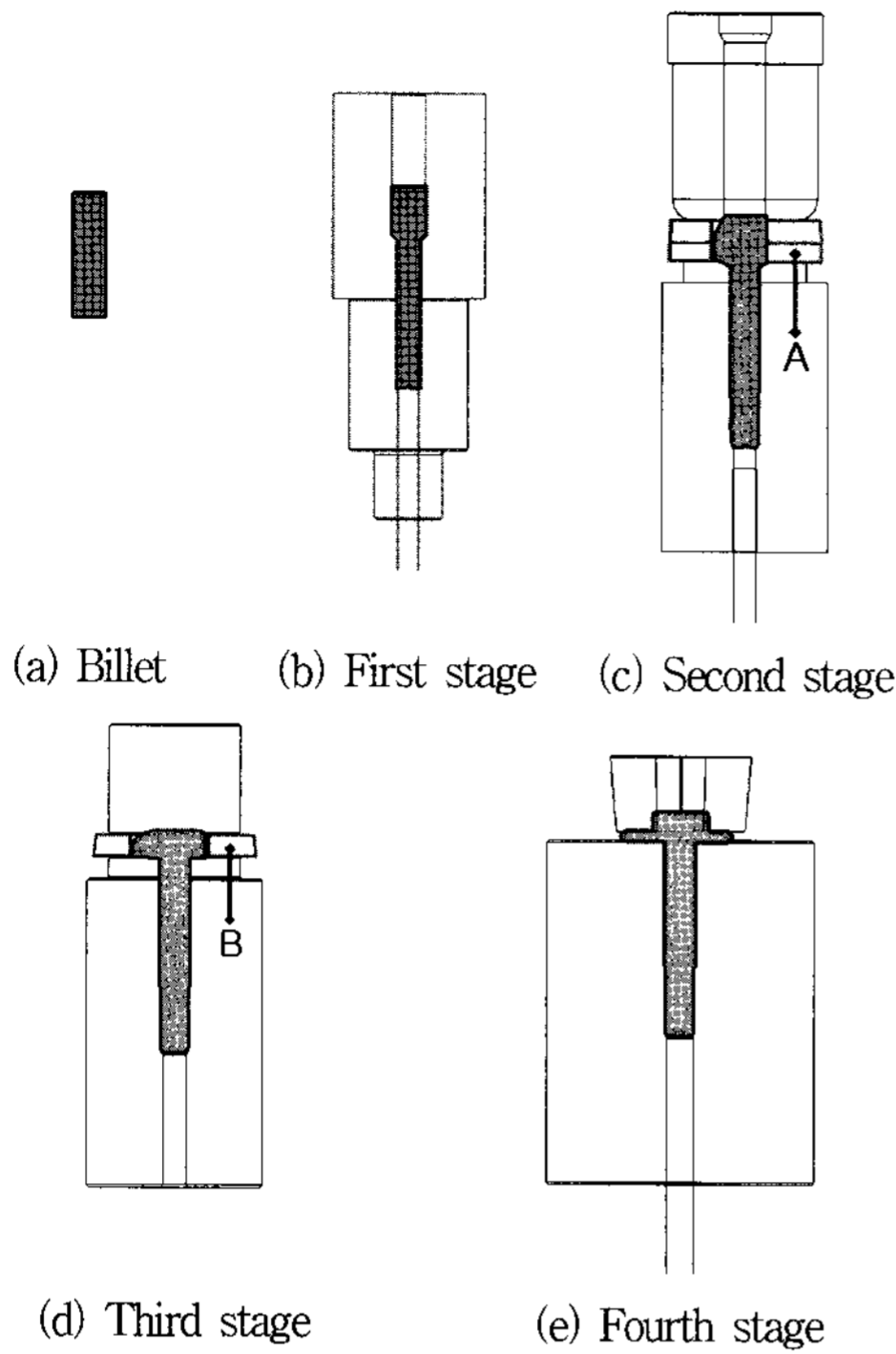


Fig. 3 Schematic description of a multi-stage forging process

Fig. 3(e)는 프레스 용량을 고려, 전단과 업세팅을 조합하여 가공하는 4단계 공정이다. 이때 육각 볼트 머리는 전단, 와서는 업세팅 방법으로 성형된다. 브로커 형상에 따라 소재의 유동을 원활하게 하기 위해 다이의 모서리 부분을 라운드 형상으로 하였고, 업세팅 높이를 조절하여 브로커의 안착이 양호하도록 하고 폴딩현상이 발생하지 않도록 설계하였다. 그리고 캠 볼트의 형상이 편심된 형상이므로 이를 유도하기 위해 Fig. 3(c)의 A금형과 Fig. 3(d)의 B금형을 따로 설계하였다.

4. 유한요소해석 및 실험

단조 공정설계는 프레스용량, 금형수명, 제품의 품질 등을 만족시키면서 최대한 공정 수를 줄이는 것이 중요하다. Fig. 1과 같은 과정의 해석적 방법을 통하여 이상의 요구조건을 만족시키는 총 4단계의 단조 공정 및 금형 설계를 할 수 있었고 그 내용 및 방법은 다음과 같다.

4.1 단조 공정 해석

단조 공정에 대한 성형해석을 위해 강소성 유한요소해석코드인 DEFORM-3D를 사용하였다. 공정 설계 및 수정은 Fig. 1과 같은 해석절차를 통해 이루어진다. 1단계 공정부터 4단계 공정까지의 해석 방법은 동일하며, DEFORM-3D에 해석을 위한 입력 정보로써 재료 물성치, 경계조건, 램 속도, 램 이동거리, 마찰 상수 등이 입력된다. 그리고 해석을 통한 결과파일은 data base file로써 재료의 변형률, 응력, 성형 시 요구되는 펀치 하중, 재료가 금형에 가하는 압력 등의 정보를 포함한다.

사용된 소재와 금형 형상은 대칭임을 고려하여 1/2 해석모델을 사용하였다. 캠 볼트 소재는 내마모성, 내충격성을 가진 구조용 합금강 AISI 4140을 사용하였고, 금형 및 펀치는 AISI H-13을 사용하였으며 Table 1에 해석조건과 함께 나타내었다. 그리고 Fig. 3에 표기된 A금형과 B금형의 중심축이 캠 볼트 바디 부의 중심축과 각각 2.5mm, 3.5mm 거리를 두어 편심을 유도 하였다.

Table 1 Process conditions of FE analysis

Material	Young's modulus (MPa)	Yield strength (MPa)	Poisson's ratio	Flow stress (MPa)
AISI4140	211,000	415	0.29	$860\epsilon^{0.2439}$
WC(G7)	480,000	3,100	0.23	-
H-13	210,000	1520	0.3	-
Forging condition	Simulation mode		Isothermal	
	Shear friction factor		0.08	
	Velocity of punch down(mm/s)		600	
	Number of element		45,000	

4.2 금형 구조 해석

냉간 단조는 재결정 온도 이하에서 소재모양을 변형시키는 가공으로 금형은 큰 성형부하의 가혹한 조건에서 사용된다. 따라서 금형수명 저하를 방지하기위해 금형외부에 보강링을 설계, 적용시켰다. 금형의 강도평가를 위한 구조해석은 첫째, 보강케

이스만 적용했을 때의 경우 즉, 금형과 간섭량 δ 를 가진 보강케이스를 억지끼움으로 조립한 상태의 경우로써 단조 작업 시 소재가 금형에 가하는 압력을 적용하지 않았을 때의 해석을 의미하며, 간섭량 δ 를 0.02mm에서 0.16mm까지 변경시켜 가며 금형에 대한 구조 해석을 한다. 둘째, 보강링에 의한 내압이 금형에 적용된 상태에서 DEFORM-3D를 통한 각 성형공정의 해석결과 데이터를 이용, 금형에 성형압력이 추가 적용될 경우를 해석하고 응력 상태를 분석한다. 이들 두 시뮬레이션 결과를 비교 분석하여 보강링과 금형의 적정 간섭량 δ 를 구하여 보강링과 금형의 억지끼움정도를 결정하고 강도평가를 통해 금형과 보강링을 설계 및 보완한다.

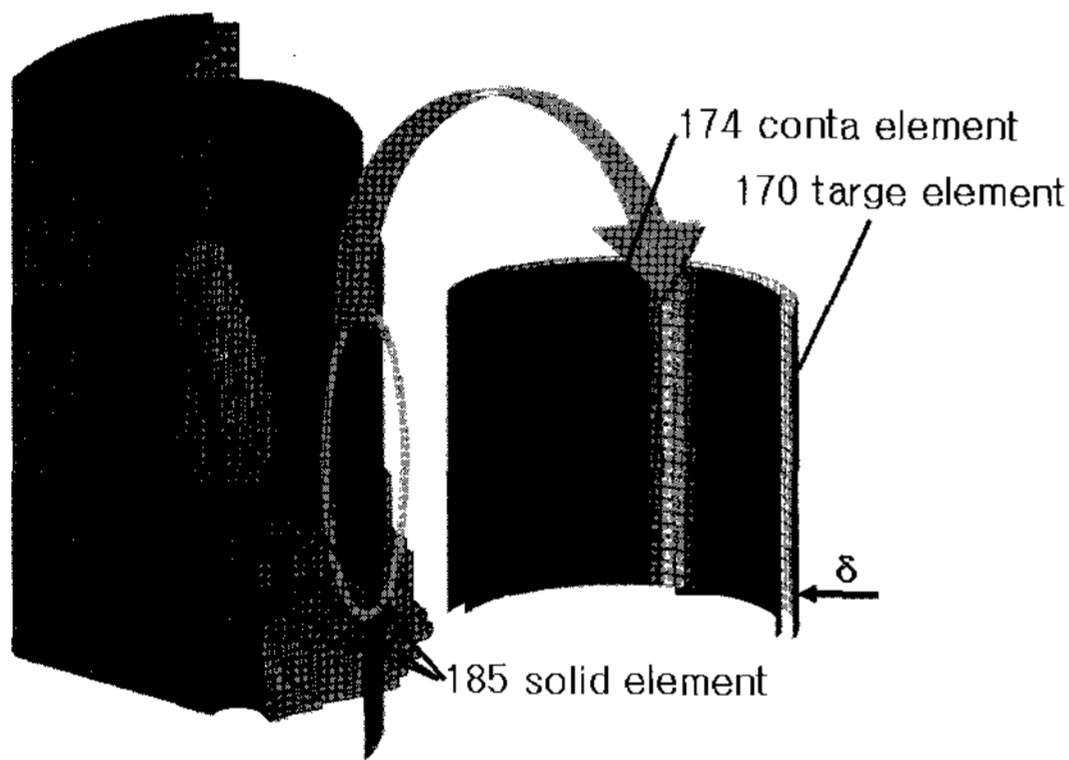


Fig. 4 Finite element model for analysis

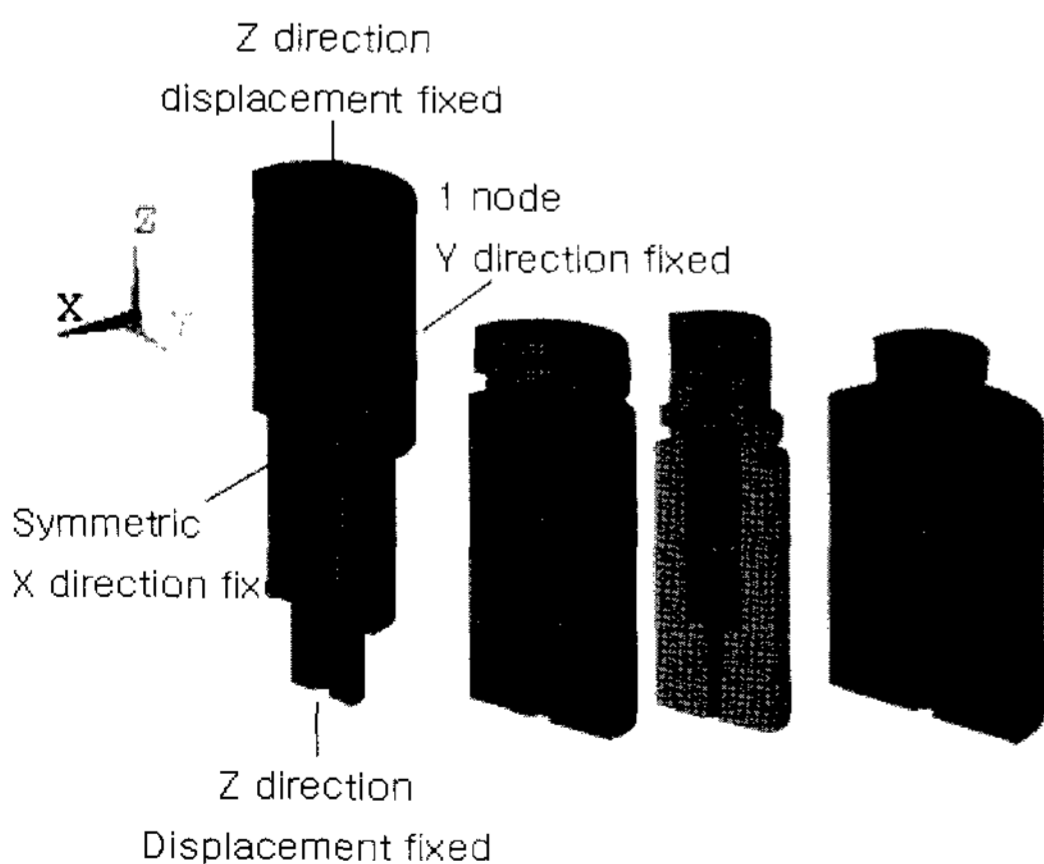


Fig. 5 Boundary conditions of structural analysis for the die

Fig. 4는 보강링이 설치된 금형에 대한 유한요소 모델을 나타낸 것이다. 금형과 보강 케이스의 유한요소 모델은 ANSYS에서의 185번 solid요소를 사용하였으며, 금형과 보강 케이스의 접촉에 대한 경계조건을 줄 수 있도록 170번 TARGE 요소와 174번 CONTA요소를 사용하여 유한요소 모델링을 하였다. 억지끼움을 시뮬레이션 하기 위하여 CONTA요소와 TARGE요소사이의 거리를 δ 만큼 떨어지도록 하여 금형은 보강케이스에 의해 압축을 받도록 하고 반대로 케이스는 인장을 받도록 하였다.

Fig. 5는 1단계 단조공정에 사용되는 금형에 대한 경계조건을 나타낸 것이다. 해석을 위해 금형과 보강링의 각 축 방향에 대한 회전 및 변위 고정이 필요하며 이하 2단계, 3단계 4단계 금형의 경계조건은 1단계 금형에서와 같은 방법으로 설정된다.

4.3 단조 실험

Fig. 6은 단조 공정 실험을 위한 다단포머 프레스를 나타낸 것으로 설계된 공정과 금형을 사용하여 해석과 동일 조건으로 실험하였다. 또한 단조품의 내부 결함 여부를 확인하고 금속의 유동을 분석하기 위하여 단조품을 절단 후 부식시켜 단류선유동을 확인하였다.



Fig. 6 Multi-step former press

5. 공정 및 금형 설계변경

Fig. 7은 주어진 조건에서 각 단조공정의 해석 결과로써 브로커 성형형상을 나타낸 것이다. Fig.

7(a)~(d)의 1, 2단계 브로커 형상과 3단계 캠볼트 바디부분은 양호하나 4단계 단조과정에서 폴딩현상이 발생하였으며, 캠 볼트 와셔바닥부분이 성형될 영역 즉, Fig. 7(e)에 표시한 부분에서 국부적으로 폴딩현상이 발생하였다. 이는 캠 볼트의 헤드와 와셔가 성형될 부분의 재료 부피가 과도하게 설정되어 소재가 금형사이로 올라온 것으로 판단된다. 그리고 3단계 단조 공정 중 캠 볼트의 바디부와 와셔부가 생성되는 부분이 금형에 의해 쉬어링되어 폴딩 현상이 발생한 것으로 판단된다.

이와 같은 해석 결과분석을 통하여 다음과 같이 금형 설계변경을 하였고, Fig. 8과 9는 설계변경 전 후의 각 공정에서의 금형을 나타낸 것으로 설계 변경 내용은 다음과 같다.

① 캠 볼트의 헤드부와 와셔부가 생성될 영역의 부피가 크게 설정되었으므로 부피를 감소시키기 위하여 1단계 단조 공정에서 펀치의 스트로크완료 시 캠 볼트 도입부와 라운드까지의 거리를 Fig. 8(a)의 37.4mm에서 Fig. 9(a)의 31.7mm가 되도록 수정하였다.

② 2단계 단조과정에서는 1단계 공정에서 성형된 브로커의 헤드 하단 부분이 잘 안착되도록 하고 반지름방향의 재료유동을 원활하도록 하기 위하여 챔퍼 각도를 Fig. 8(b)의 45°에서 Fig. 9(b)의

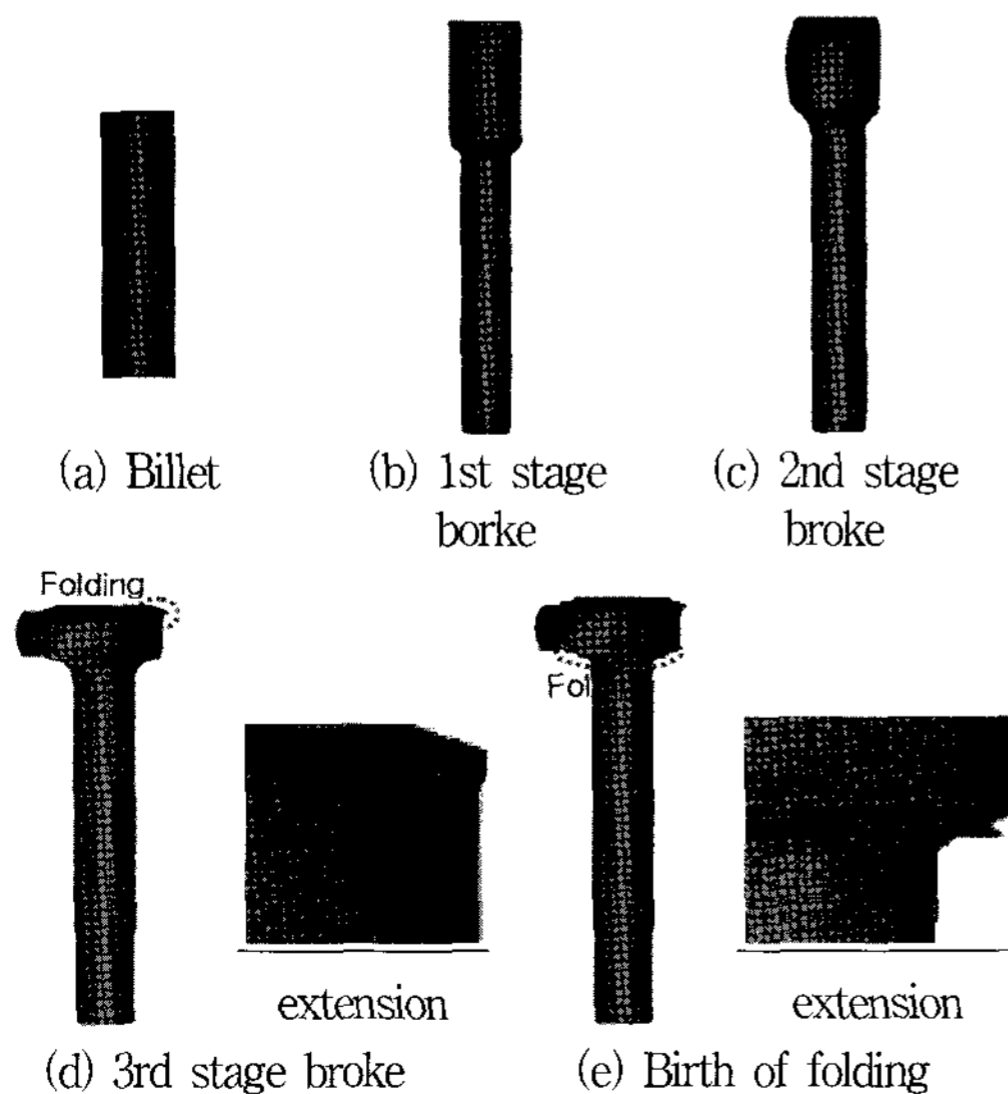


Fig. 7 Forged shape of the cambolt

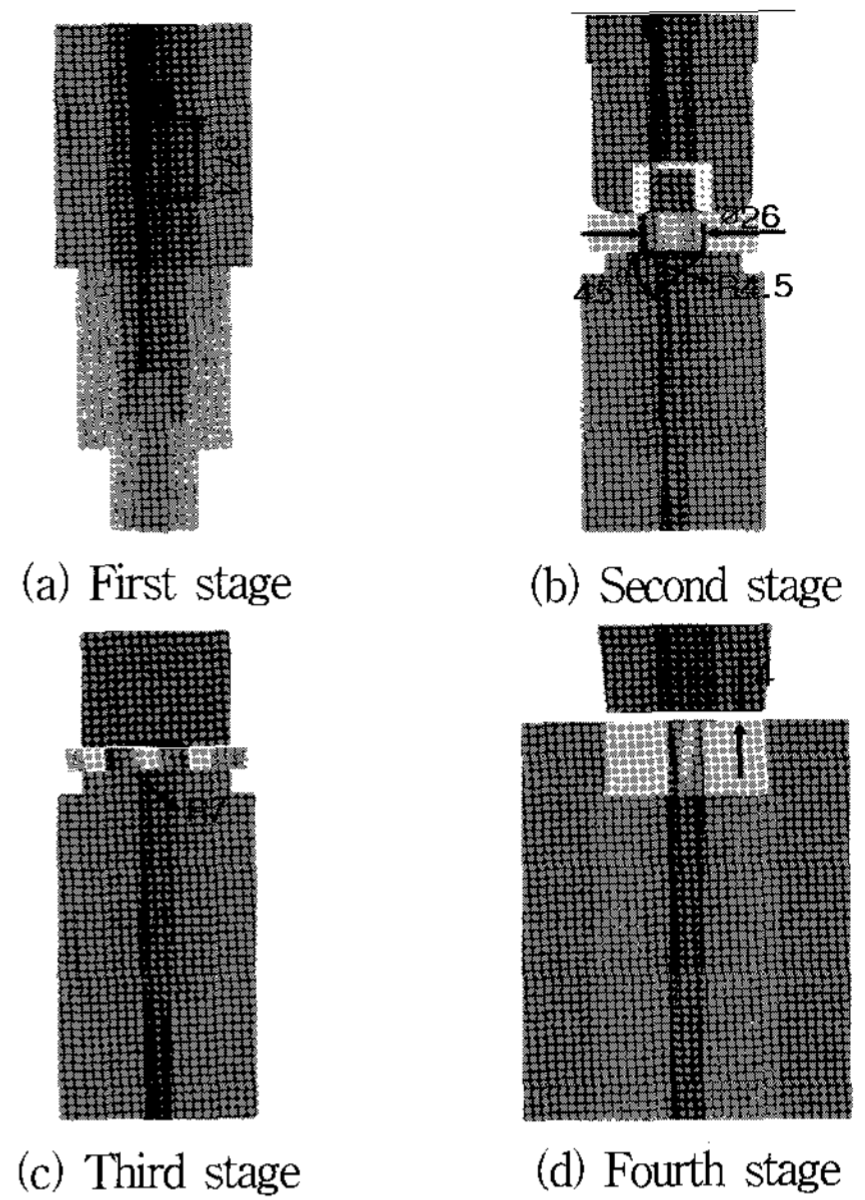


Fig. 8 Previous design of die

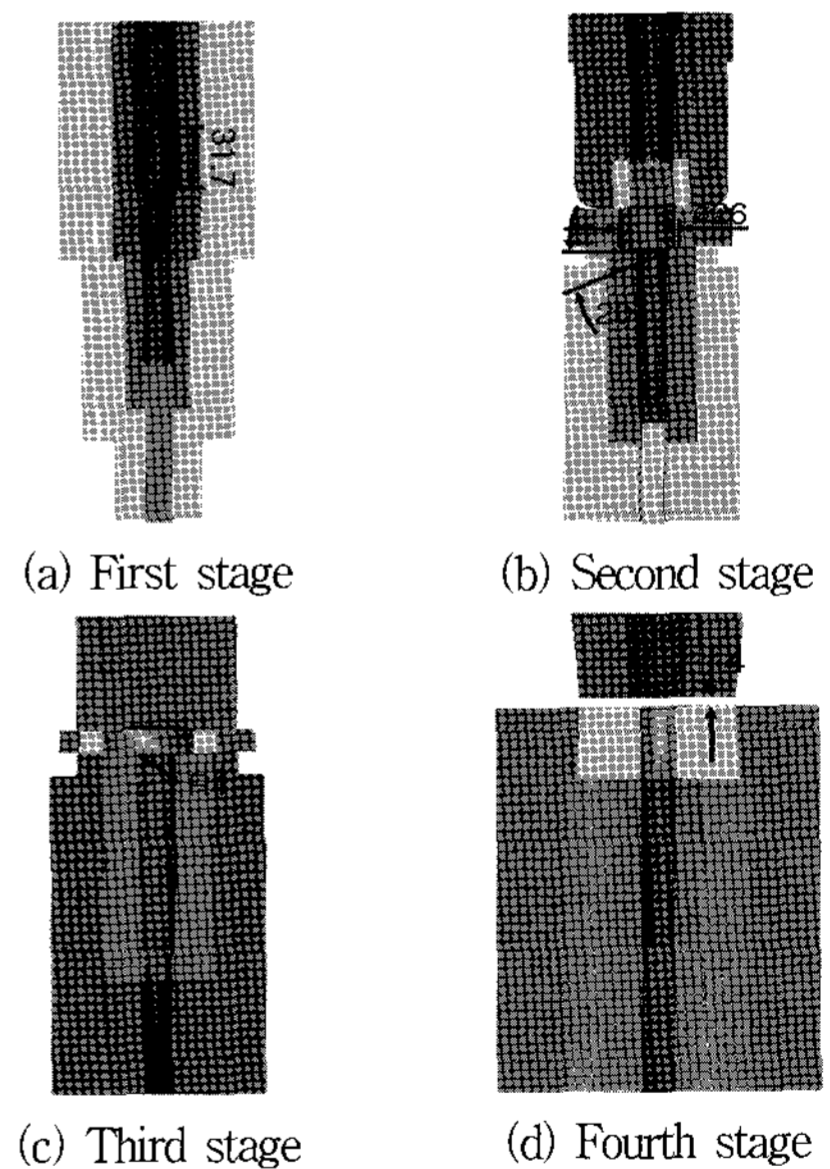


Fig. 9 Redesign of die

20°로 수정하였다.

③ 4단계 공정에서 헤드 하단부분이 쉬어링되는 현상이 나타났으므로 해당 부분의 부피를 줄이면서 금속 유동이 원활히 될 수 있도록 하기위해 라운드를 Fig. 8(c)의 7mm에서 Fig. 9(c)의 1mm로 수정하였다.

6. 유한요소 해석결과

Fig. 10은 단조공정 설계변경 후의 성형결과를 나타낸 것이다. 공정변경 후 성형된 브로커의 형상은 양호하나 피니셔의 와셔부위 중 뒤쪽 아래 부분에 재료가 차지 않는 것을 관찰 할 수 있다. 그러나 마지막 5단계 트리밍 과정에서 와셔부 가장자리 부분은 지정된 치수만큼을 남기고 트리밍 될 것이므로 양호한 최종제품을 얻을 것으로 판단된다.

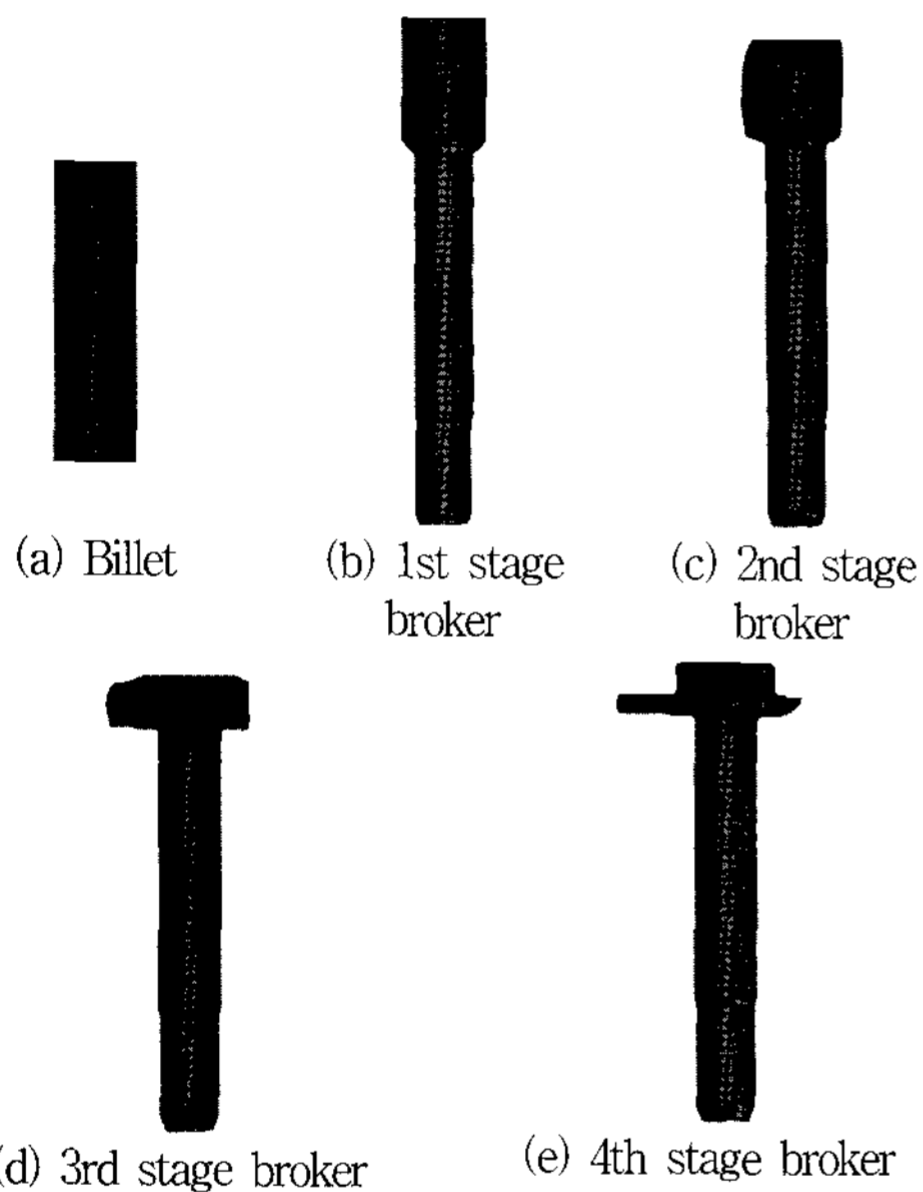


Fig. 10 Finite element analysis result of the cam bolt forging process

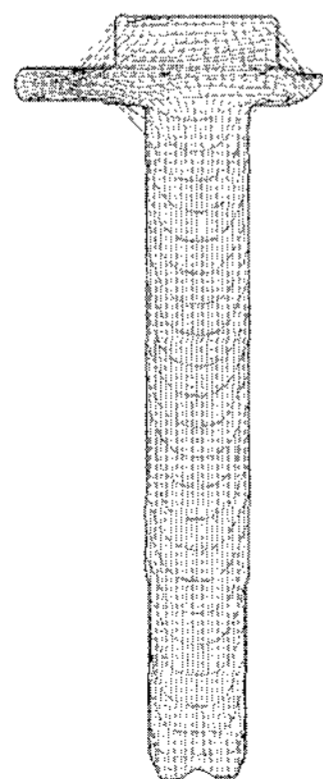


Fig. 11 Metal flow of finisher

단조품의 경우 기계적 성질은 단류선 방향에 따라 달라지므로 단류선의 평가는 반드시 필요하다. Fig. 11은 피니셔의 단류선을 나타낸 것이다. 몸체부분에서 균일한 단류선을 볼 수 있으며, 겹침부는 발견되지 않았다. 또한 비대칭 형상을 유도하는 과정과 쉬어링 단계인 4단계에서 와셔부와 헤드부에서 복잡한 단류선이 발생될 것으로 판단되며, 해석 결과 볼트 코너부의 충전 상태는 양호하게 나타났다.

Fig. 12는 공정해석에서 얻어진 단조하중을 나타낸 것이다. 1단계에서 4단계까지 최대 하중은 각각 270,000N, 190,000N, 500,000N, 480,000N으로 3단계와 4단계 공정에서 많은 하중이 소요되는 것을 알 수 있다. 3단계는 헤드 부분의 업셋팅 가공 시, 4단계는 와셔부분 성형 시 많은 부하가

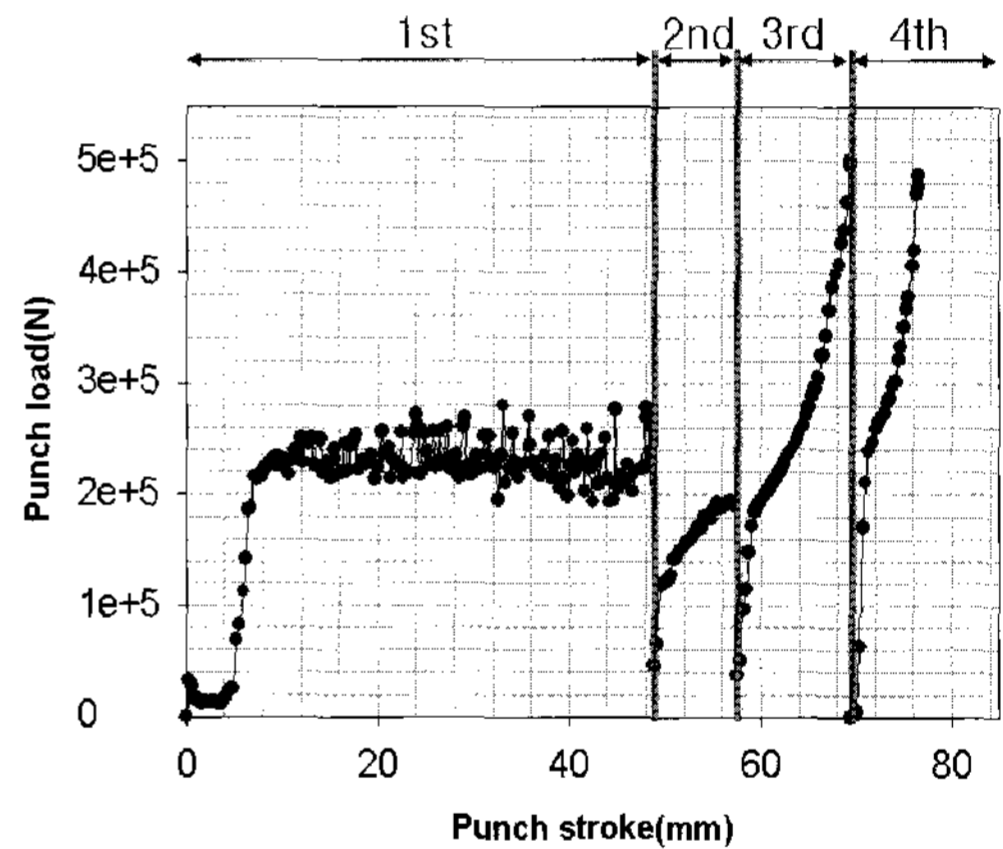


Fig. 12 Predicted load for multi forging process

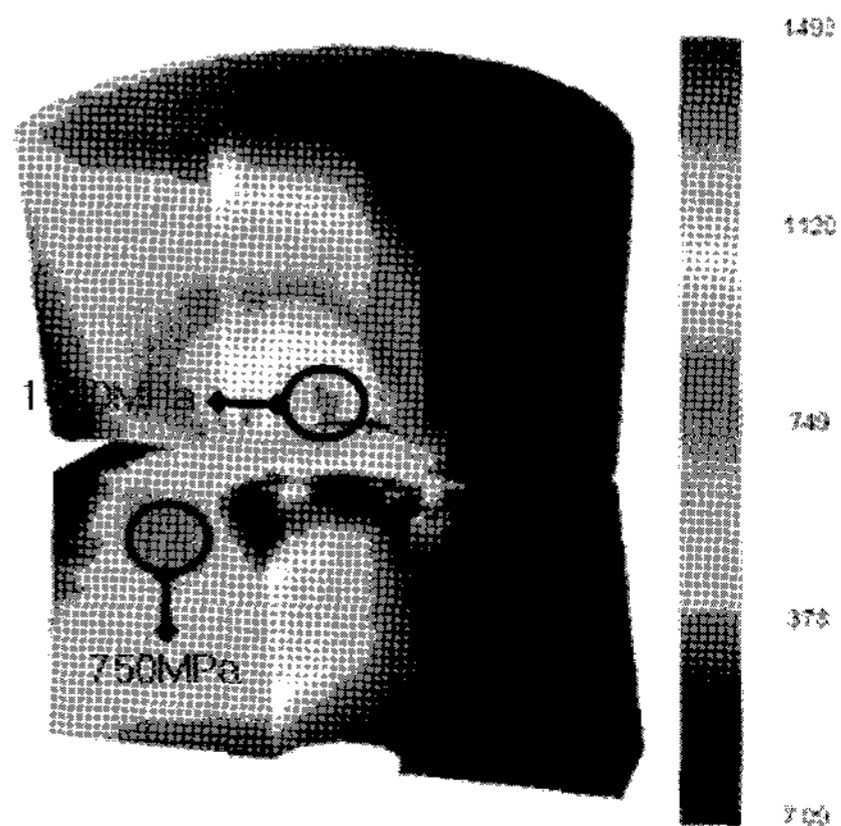


Fig. 13 Structural analysis result of the die in fourth forging process

걸렸다. 또한 다단 단조 포머의 용량은 각각단계의 최대 하중의 합보다 커야 하므로 150ton 정도가 필요할 것으로 판단된다. 단조 공정 중 4단계 금형에서 가장 큰 응력이 걸릴 것으로 예측되는데, 이는 볼트 헤드를 성형하기 위한 쉬어링 과정과 비대칭 와셔부를 4mm까지 엷셋팅하는 과정이 동시에 이루어지기 때문으로 생각된다.

구조해석의 대상은 캠 볼트의 와셔부와 직접 접촉되는 금형과 펀치이며, 금형을 보강하는 케이스는 성형압력의 영향이 적은 것으로 판단되어 그 대상에서 제외시켰다. Fig. 13은 금형과 펀치에 대하여 구조해석한 응력분포 결과이다. 와셔부와 직접 접촉되는 아래 금형은 응력결과 분석을 통해 안전한 것으로 판단되나, 위 펀치부에 최대 1490MPa의 응력이 발생되어 그 값이 항복강도에 근접하므로 펀치 재료에 대한 재검토가 필요할 것으로 판단된다.

6. 단조 실험결과와의 비교

시뮬레이션 결과의 비교분석을 통한 각 공정에 필요한 금형 및 케이스를 Fig. 14와 같이 제작하

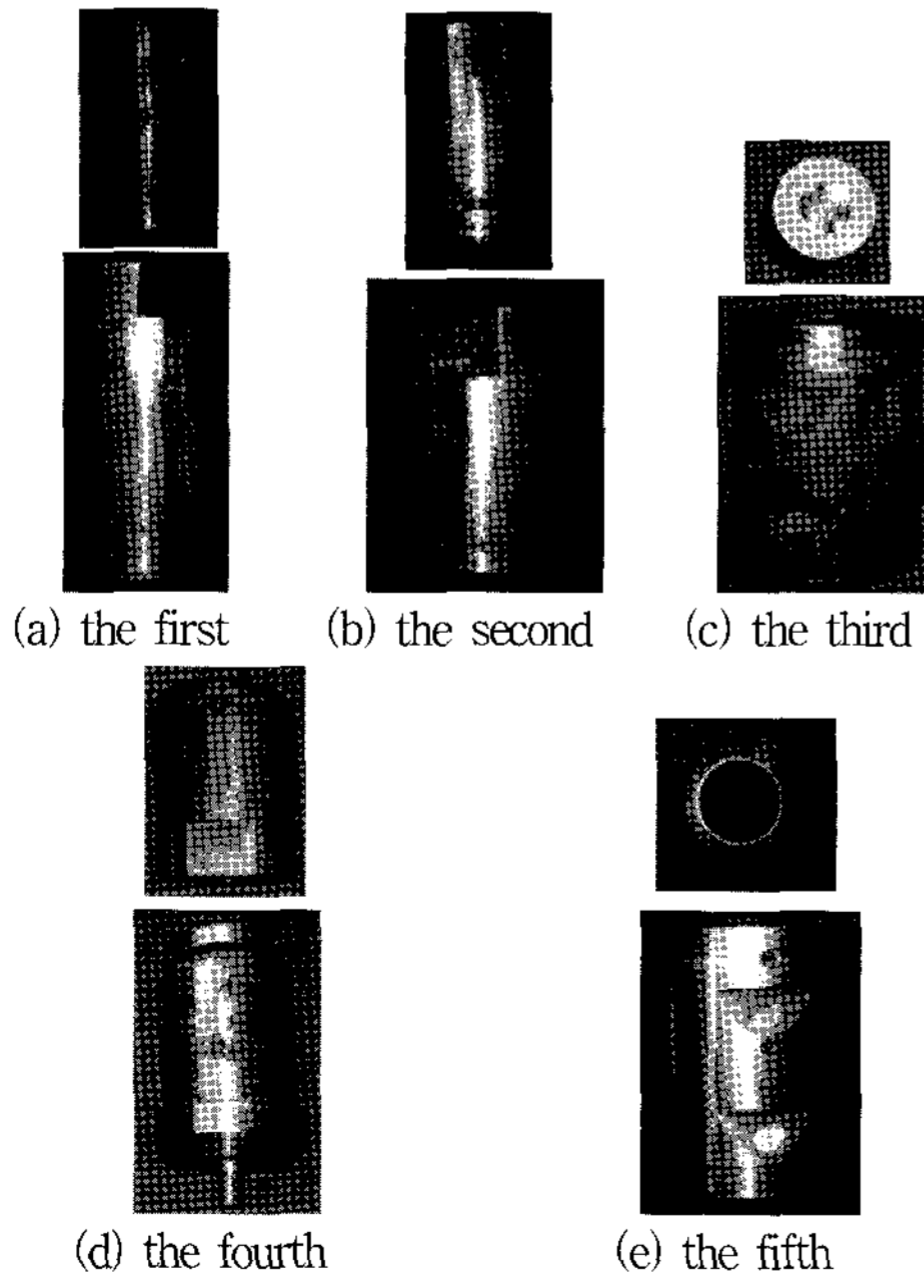


Fig. 14 Die-sets in the experiment

였으며, 이를 Fig. 6의 다단 포머 프레스에 장착하였다. 실험에 사용된 다단포머 프레스의 최대 가용 하중은 400ton이며 램의 속도를 시뮬레이션과 동일한 600mm/s로 설정하였다. 또한 금형과 소재의 윤활을 위해 가장 널리 사용되는 인산 아연계 분데라이트 처리를 하였다.

Fig. 15는 시뮬레이션과 실험의 각 공정별 성형 결과를 비교하여 나타낸 것이다. Fig. 15(a)는 실험에 사용된 소재와 시뮬레이션에서 이용된 유한요소 모델을 나타낸 것으로 유한요소모델과 빌렛의 재료물성과 형상은 동일하다. Fig. 15(b)는 1단계 단조 공정 후의 결과를 비교하여 나타낸 것이다. 실험과 시뮬레이션의 예비성형체는 펀치에 의해 상단부에 압력이 가해지는 전방압출로 성형된다. 압출되지 않은 소재 상단부의 직경은 초기 소재의 직경과 동일하므로 변형이 발생하지 않았음을 알 수 있으며, 시뮬레이션과 실험의 성형결과는 잘 일치하였다. Fig. 15(c)는 2단계 단조 공정 후의 성형 결과를 나타낸 것이다. 펀치로 소재의 상단부에 압력을 가해 베럴링 현상을 이용하여 편심을 유도하는 과정으로 실험과 시뮬레이션 결과의 형상은 매우 유사하였다. Fig. 15(d)는 3단계 단조 공정 후의 실험과 시뮬레이션 결과를 나타낸 것이다. 상단부를 볼트 머리의 높이가 될 때 까지 엷셋팅 하는 공정으로 소재가 금형 사이에 끼이는 현상이나 걸침 현상이 발생하지 않았음을 알 수 있고, 시뮬레이션과 실험결과는 잘 일치 하였다. 4단계 단조 공정 후의 실험결과와 시뮬레이션 결과를 Fig. 15(e)에 나타내었다. 전단에 의해 볼트 머리가 성형되었으므로 펀치에 의한 미세한 굽힘이 관찰 되었으나, 원하는 치수와 형상을 얻을 수 있었다. 또한 비대칭 캠 와셔의 성형에서 5단계 공정인 트리밍 공정을 진행 할 수 있을 정도로 반경방향으로의 충분한 금속 유동이 발생하였음을 알 수 있다. 4단계 단조공정의 실험과 시뮬레이션 결과는 캠 와셔 앞부분에서는 잘 일치함을 확인 할 수 있다. 그러나 캠 와셔 뒤쪽 부분의 성형된 형상에 대한 실험과 시뮬레이션이 약간 차이가 있음을 볼 수 있다. 실험에서는 충분히 뒤쪽으로 잘 펼쳐진 형상을 관찰 할 수 있으나 시뮬레이션은 그렇지 못하다.

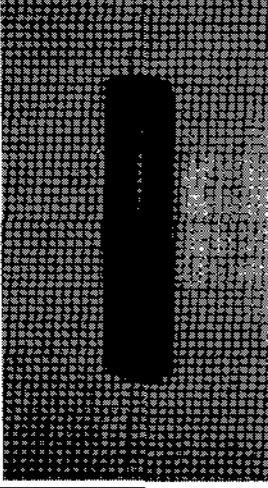

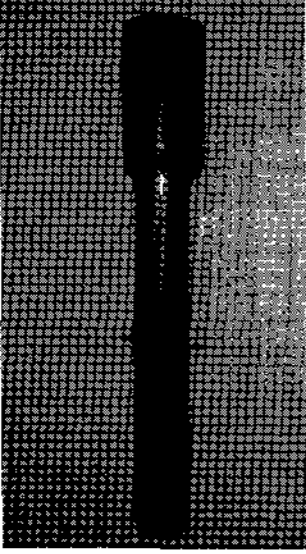

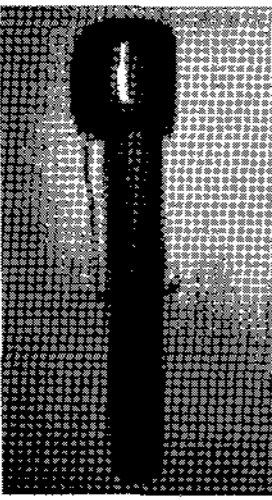
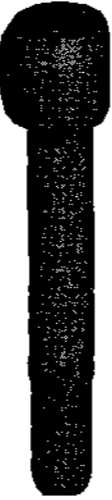
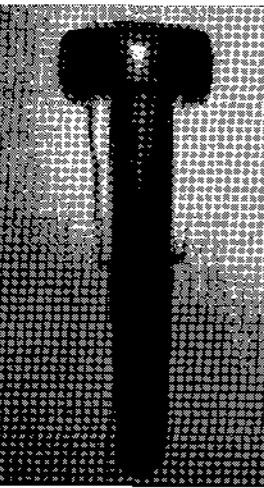

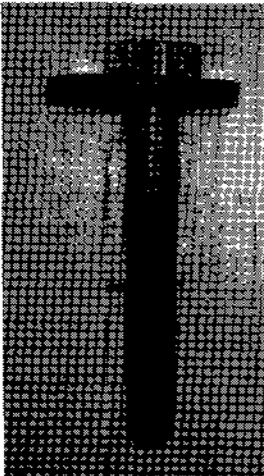
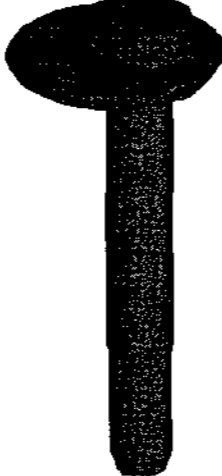
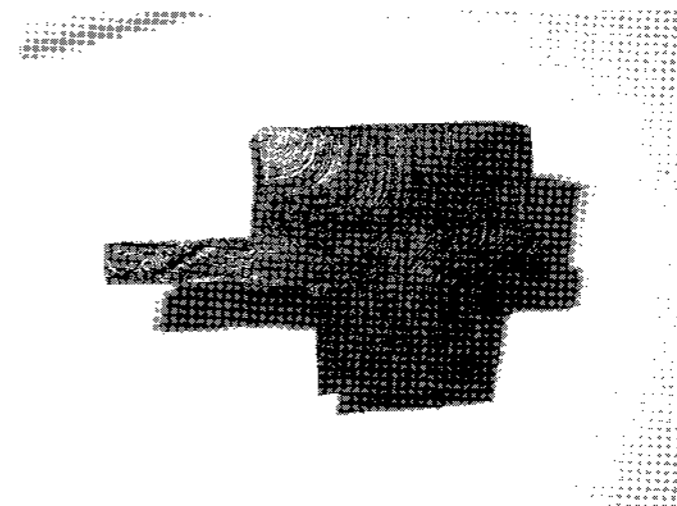
Experiment	Simulation
	
(a) a billet	
	
(b) the first step	
	
(c) the second step	
	
(d) the third step	
	
(e) the fourth step	

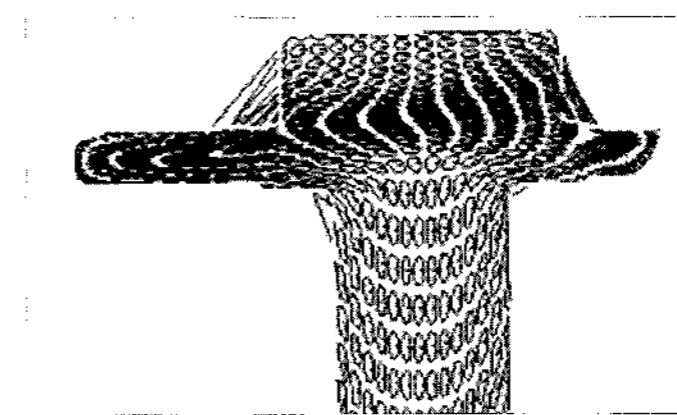
Fig. 15 Comparison of experiments with analyses

그러나 5단계 공정에서 불필요한 부분은 트리밍하여 제거됨으로 양호한 치수를 얻을 수 있을 것으로 생각된다.

최종 단조품의 금속 유동과 내부 결함을 확인 할 수 있도록 실험을 통해 얻은 단류선 유동을 Fig. 16(a)에 나타내었다. 금속의 유동은 끊어지지 않고 잘 연결 되어 결함이 발견되지 않았다. 그리고 볼트 머리 부를 보면 좌측으로의 편심을 유도 하였으므로 우측보다는 좌측으로의 금속유동이 활발히 진행되었음을 알 수 있다. 캠 와셔의 금속 유동은 굴곡을 이루며 반경방향으로의 유동이 발생 하였다. 하단부의 유동은 전방압출공정에 의해 직선으로 아래방향으로 뺏어 있어 강도 측면에서 매우 유리함을 알 수 있다. Fig. 16(b)는 시뮬레이션 결과의 금속유동을 나타낸 것이다. 볼트부와 캠 와셔부의 유동형상은 실험결과와 매우 유사하고 하단의 생크 부는 가운데 부분에서 활발한 유동이 발생하였고 금형과 맞닿는 부분은 상대적으로 활발하지 않았음을 볼 수 있다. 이는 금형과 소재간의 마찰이 소재의 유동을 방해했기 때문이라 생각된다. 실험결과와 시뮬레이션 결과를 비교할 때 금속의 유동양상과 성형형상이 매우 잘 일치하였다. 따라서



(a) experiment



(b) simulation

Fig. 16 Comparison of the flow line of experiment with that of simulation

유한요소 해석을 통해 설계된 와셔 캠 일체형 캠버 볼트의 신 공정을 현장에 적용시킨다면 원가절감과 생산 시간을 단축에 기여 할 수 있을 것이다.

7. 결 론

본 연구에서는 자동차용 캠 볼트의 냉간 단조공정에 대한 유한요소법을 적용 하였으며 적정 공정 조건 및 금형 형상을 찾기 위해 비대칭 캠 볼트 단조 공정을 해석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 비대칭 와셔를 갖는 캠 볼트의 단조공정과 금형 형상을 설계하였다. 비대칭 형상을 유도하기 위하여 추가금형을 설계 하였고 금형의 읍셋 크기는 볼트바디부의 동심 축과 추가 금형의 동심 축 사이 거리가 2단계 공정에서는 2.5mm 3단계 공정에서는 3.5mm가 적절했고 이 공정의 활용으로 비대칭 캠 볼트 제품 생산에 있어서 원가절감과 제품 생산 시간을 단축시킬 수 있을 것이다.

(2) 단조공정에서의 총 소요되는 하중을 유한요소 해석 하여 예측 할 수 있었으며, 결과적으로 장비 선정 기준이 될 수 있을 것으로 판단된다. 그리고 본 연구의 대상인 캠 볼트의 단조 시 소요되는 하중이 3단계 4단계에 전체의 70%를 차지하지만 추후 해석적 연구를 통해 효율적인 개선이 가능 할 것이다.

(3) 응력해석 결과 마지막 4단계 단조 공정의 편차에서 응력이 항복응력에 근접하므로 편차를 보강하거나 재료를 다시 선정해야 할 것으로 판단된다.

후 기

이 논문은 2007년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

참고문헌

- [1] T. Altan and R. J. Fiorentino, "Prediction of Load and Stress in closed Die forging", Trans. ASME, Journal of Eng. for Ind., Series B, pp.477-484, 1971
- [2] T. Altan, H. J. Henning and A. M. Sabroff, "Forging Loads and Stresses in Closed-Die Forging: Part One", Battelle Memorial Institute, Contract DAAG 46-68-c-0111, 1968.
- [3] J. C. Choi, C. W. Park, J. H. Kang, J. H. Lee, C. Kim and M. S. Kim "A Study of Automated Process Planning and Die Design for Multi Former-Bolt Products", Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol.20, No.4, pp.29-38, 2003.
- [4] P. Petrov, V. Perfilov and S. Stebunov, "Prevention of lap formation in near net shape isothermal forging technology of part of irregular shape made of aluminium alloy A92618", Journal of Materials Processing Technology, Vol.177, No.1-3, pp.218-223, 2006.
- [5] T. Altan and D. E. Nichols, "Use of Standardize Copper Cylinders for Determining Load and Energy in Forging Equipment", Trans. of ASME, Journal of Eng. for Ind., Series B, pp.769-774, 1972.
- [6] J. Monaghan, "A Finite Element Analysis of Cold-Forging dies using two and three dimensional models", Journal of Materials Processing Technology, Vol.118, No.1-3, pp.286-292, 2001.

저 자 소 개



김관우(金寬佑)

1974년생, 1997년도 충북대학교 공과대학 정밀기계공학과 졸업(공학사), 2001년 충북대학교 대학원 기계공학과 졸업(공학석사), 현재 충북대학교 정밀기계공학과 박사과정



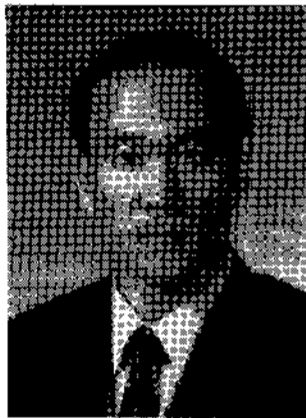
김이태(金二泰)

1977년생, 2003년도 충북대학교 공과대학 정밀기계공학과 졸업(공학사), 2008년 충북대학교 대학원 기계공학과 졸업예정(공학석사)



김완중(金完鐘)

1980년생, 2006년도 충북대학교 공과대학 정밀기계공학과 졸업(공학사), 2008년 충북대학교 대학원 정밀기계공학과 졸업(공학석사), LS산전(주) 초고압설계팀 사원



조해용 (趙海龍)

1957년생, 1983년 부산대학교 기계공학과 졸업(공학사), 1985년 부산대학교 기계공학과 졸업(공학석사), 1991년 부산대학교 기계공학과 졸업(공학박사), 1993~현재 충북대학교 기계공학부 교수, 2007~현재 중전기 미래 기술 개발 연구센터 연구센터장(산업자원부지정)