한국박용기관학회지 제28권, 제1호, pp. 83~89, 2004 (ISSN 1226-9549)
Journal of the Korean Society of Marine Engineers

# 유한요소해석에 의한 승용차용 플레어 너트 단조공정의 최적설계

한 규 택† · 추 덕 열*

(원고접수일 : 2003년 4월 29일, 심사완료일 : 2003년 12월 4일)

# Optimal Design of the Forging Processes of Flare Nut for Automobiles using Finite Element Analysis

Kyu-Taek Han† · Duk-Ryol Chu *

**Abstract** : Flare nut is an important part that used to joint a brake tube-end in automobiles. It was made of SWCH 10A by machining. But we studied to make it by metal forming. The main focus of this paper is to investigate an optimal forging processes for flare nut using the DEFORM$^{TM}$-3D, commercially available finite element code and tests. Actually, an explicit finite element analysis of the flare nut forging processes has been carried out to predict an optimal shape of the flare nut and its results were reflected in the tests of the forging processes design for flare nut. The simulation results which had obtained from finite element analysis were contributed to the forging processes design for flare nut. An optimal shape of flare nut showed agreements with test results. Furthermore, this paper should contribute to a development of the forging process for a variety of parts.

**Key words** : Flare Nut(플레어 너트), Brake Tube-end(브레이크 튜브 끝), Forging(단조), Rigid-Plastic Finite Element Analysis(강소성 유한요소해석)

## 1. 서 론

플레어 너트는 자동차 브레이크 오일이 출입하는 브레이크 튜브 끝 체결용 부품이며, 치수정밀도와 표면조도가 높게 요구되는 부품이다. 1980년대 초반엔 국내에서 이 부품을 가공하기 위해서는 절삭과 선삭과 같은 가공방식을 이용했었다. 이는 대량생산이 불가하며 가공조건 또한 수시로 바뀌면서 품질의 표준화를 기하기 어려웠고 생산단가도 높았다. 이러한 부품을 최적으로 생산하기 위해선 단조와 같은 가공방법에 의한 생산만이 표준화와 대량생산을 동시에 충족시켜 줄 수 있는 유일한 대안으로 떠올랐지만 국내에서는 기술과 자금부족으로 시도되지 못했다. 그러나 최근의 컴퓨터 시스템의 진보와 더불어 유한요소해석 기술의 발달로 정확하면서도 빠르고 저렴하게 최적의

† 책임저자(부경대학교 공과대학 기계공학부), E-mail: kthan@pknu.ac.kr, T: 051)620-1535
* 부경대학교 대학원 정밀기계공학과, E-mail: ses9999@edunet4u.net

결과를 도출할 수 있는 길이 열렸다. 이에 본 연구에서는 플레어 너트의 단조 금형설계에 유한요소해석 프로그램을 활용하였다. 기존의 수많은 실험을 통하여 경험적으로 최적의 단조공정을 설계하는 것 보다 컴퓨터를 이용해 시뮬레이션하면 실제 현장에 적용 시 야기되는 문제점을 미리 예측할 수 있으며 그 문제점을 수정하여 최적의 단조공정을 보다 빠르게 설계할 수 있다.

플레어 너트를 탄소강 소재인 SWCH 10A로 단조 가공하는 공정은 소성변형을 이용한 것이다. 소성가공에선 소성변형량에 비하여 탄성변형량이 매우 작기 때문에 아예 이를 무시해 버린 강소성 문제로 흔히 가정한다. 탄성변형량을 무시하면 계산량이 많이 줄어서 해석시간을 단축할 수 있는 장점이 있다. 이러한 강소성 성형조건 문제를 분석하는데 유한요소법을 응용하기 시작한 학자는 Kobayashi 등[1]이 있고, Zienkiewicz 등[2]이 일반화했다. 소성가공문제는 현재 강소성 유한요소법[3~5]으로 많이 연구되고 있다. 본 연구는 상용유한요소해석 프로그램인 DEFORM™- 3D을 이용하여 플레어 너트의 성형공정을 해석하고 그 결과를 설계에 반영하여 최적의 플레어 너트 단조공정을 개발하였다.

## 2. 본 론

### 2.1 단조공정 설계

본 연구에서는 기존의 절삭, 선삭가공과 같은 기계 가공 방식에 의한 플레어 너트의 제조 공정을 개선하기 위하여 냉간단조에 의한 다단계 성형공정을 채택하고, 그에 맞게 3차원 캐드프로그램으로 모델링 한 후 상용 유한요소해석 프로그램으로써 유한요소해석을 수행하였다. 단조금형은 총 4단계의 공정으로 설계하였으며, 플레어 너트의 전조경 및 튜브가 삽입되는 내경 부위에 정밀단조가 이루어지도록 하였다. Fig. 1 은 성형 공정순서를 나타낸 것이다. Fig. 2 는 플레어 너트의 설계도면이다.

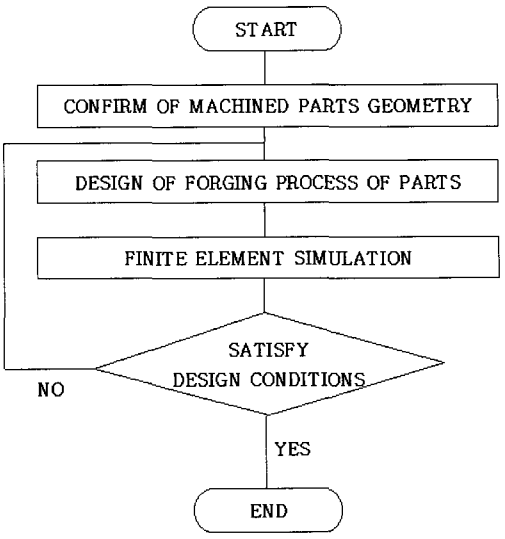


**Fig. 1 Flow chart of process planning for flare nut**

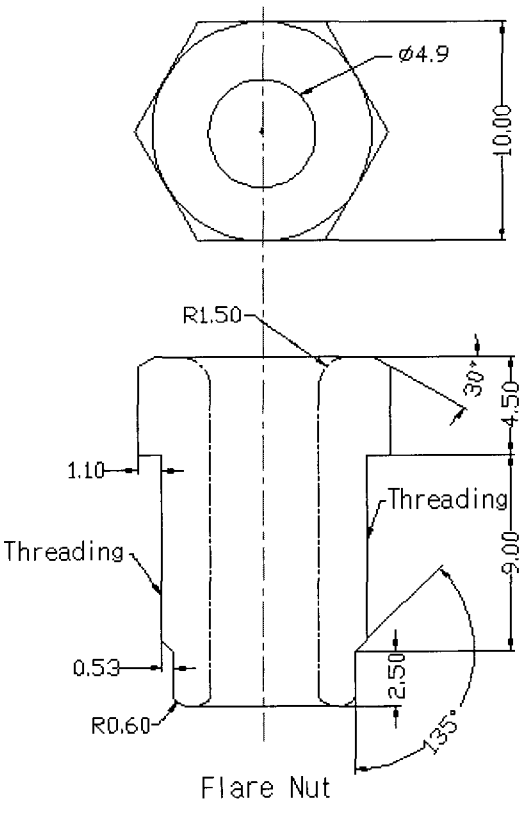


**Fig. 2 Geometry of flare nut**

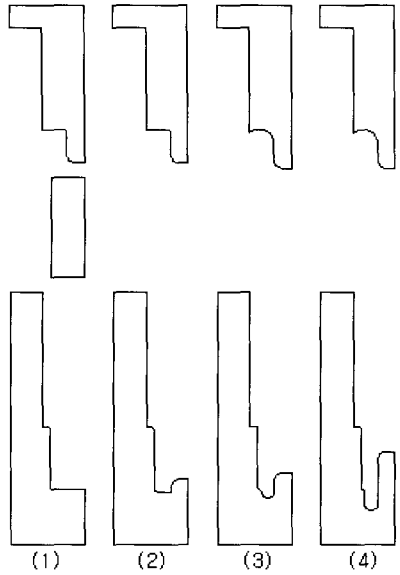


**Fig. 3 Forging process for flare nut**

Fig. 3 은 4단계 단조금형 도면이다. 축대칭 형상(axisymmetric shape)이므로 1/2 단면으로 나타내었다.

### 2.2 플레어 너트의 재료특성

플레어 너트의 재료로 냉간단조용 탄소강선재인 SWCH 10A 를 사용한다. 이 재료의 물성치는 Table 1 과 같다.[6]

**Table 1 Material properties of SWCH 10A**

| 구분 \ 선지름 | | 9mm |
|---|---|---|
| 기계적 성질 | 인장강도 | 340 N/mm$^2$ 이상 |
| | 연신율 | 11 % 이상 |
| | 단면수축율 | 45 % 이상 |
| | 경도 | 85 HRB 이하 |
| 화학적 조성 | C | 0.08~0.13 % |
| | Si | 0.1 % 이하 |
| | Mn | 0.3~0.6 % |
| | P | 0.03 % 이하 |
| | S | 0.035 % 이하 |
| | Al | 0.02 % 이상 |

### 2.3 유한요소해석

#### 2.3.1 유한요소해석 조건과 전처리

플레어 너트의 가공공정은 상온에서 이루어지는 냉간단조공정으로 축대칭을 이루고 있는 형상이므로 중심축을 기준으로 1/4로 문제를 축소해석하더라도 만족할만한 해석결과를 얻을 수 있다.[7] 소재 SWCH 10A 의 유동응력과 변형률 선도 Fig. 4 와 관계식, 공정조건을 참고문헌과 경험치를 활용하여 다음과 같이 가정하였다.[8,9]

○ 응력-변형률 관계식:

$\sigma = 0.28\,\bar{\varepsilon}^{0.18}$ MPa

○ 유효변형률:

$0 \leq \bar{\varepsilon} \leq 1$

○ 마찰계수:

$\mu = 0.08$

○ 펀치속도:

$v = 1.0$ mm/sec

○ 소재규격:

$\phi 9.0 \times 14.0$ mm

○ 근사법:

Newton-Raphson method

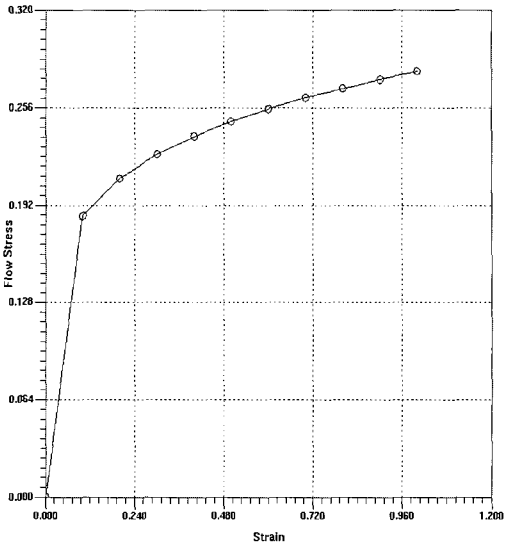


**Fig. 4 Stress-strain curve of SWCH 10A**

2.3.2 단조공정 모델링

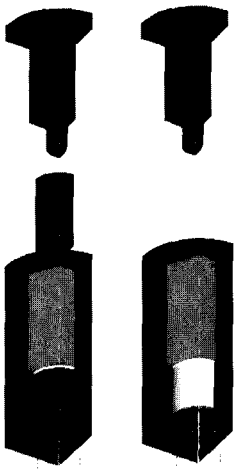

**Fig. 5 Punch & die of 1 · 2 process**

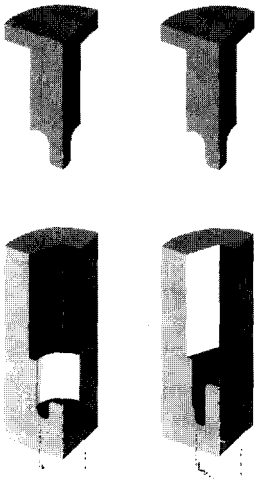

**Fig. 6 Punch & die of 3 · 4 process**

Fig. 5~Fig. 6 은 각 단조공정을 3차원 캐드 프로그램으로 모델링한 것이다.

2.3.3 유한요소해석 결과

상용유한요소해석프로그램인 DEFORM$^{TM}$-3D 을 사용하여 4단계의 단조공정을 시뮬레이션하여 Fig. 7~Fig. 9 와 같은 결과를 얻었다. Fig. 7 은 각 단조공정에서의 격자(Mesh)형상을 보여주고 있다. Fig. 8 은 각 단조공정에서의 유효응력

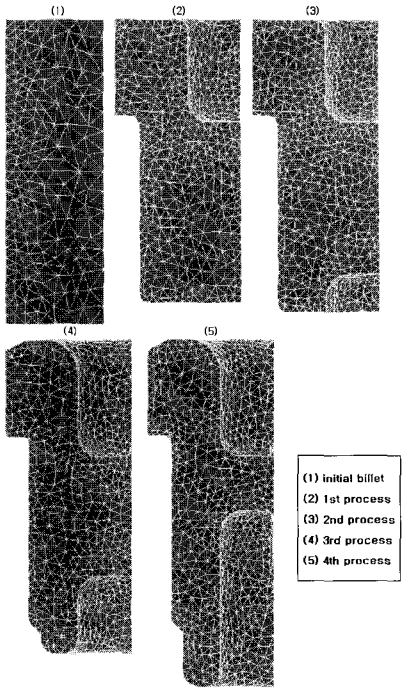


**Fig. 7 Mesh shape of forging process**

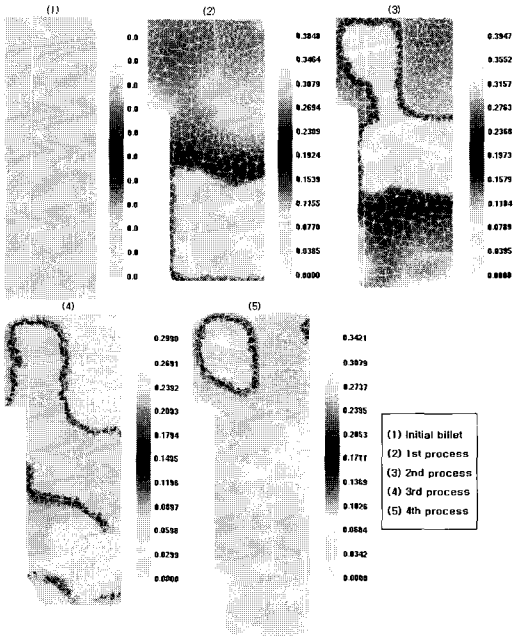


**Fig. 8 Effective stress of forging process**

분포를 보여주고 있다. 형상 변화가 많이 일어나

는 부분에서 응력값이 비교적 크게 나타났으며 각 단계의 단조공정이 진행되면서 자연스럽게 응력분포가 전반적으로 고른 경향을 보였다. Fig. 9 는 각 단조공정에서의 유효변형률 분포를 보여주고있는 그림이다. 변형률은 각각의 공정에서 변형이 많이 일어나는 부위에서 큰 값을 나타내었다. 마지막 공정이 끝난 후엔 변형률이 아주 낮아졌다. 여기에서 다음과 같은 선도를 얻을 수 있었다.

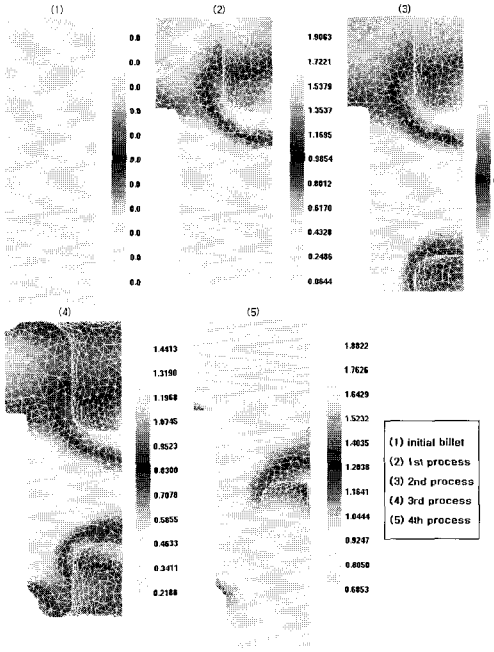


**Fig. 9 Effective strain of forging process**

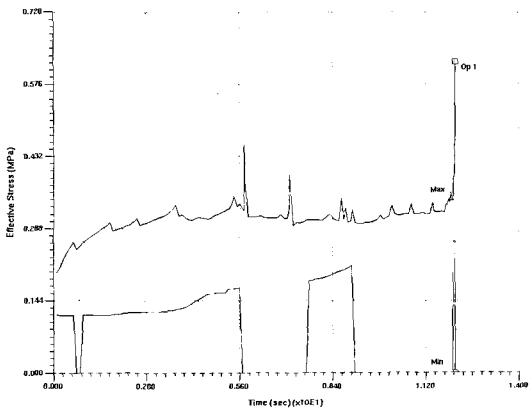


**Fig. 10 Effective stress-time curve**

Fig. 10 은 유효응력 선도이다. 공정초기에 응력의 최대값은 다소 증가하였으나 공정이 진행되면서 증가폭은 비교적 작아졌다. 1단계와 3단계 단조공정에서 응력의 최소값이 갑자기 증가하는 구간이 존재했다. Fig. 11 은 유효변형률 선도이다. 변형률은 비교적 작은 폭으로 증가했으며 1단계공정에서 변형률값이 최대로 커졌다.

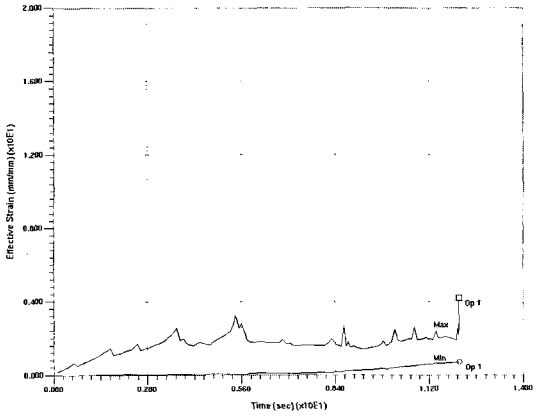


**Fig. 11 Effective strain-time curve**

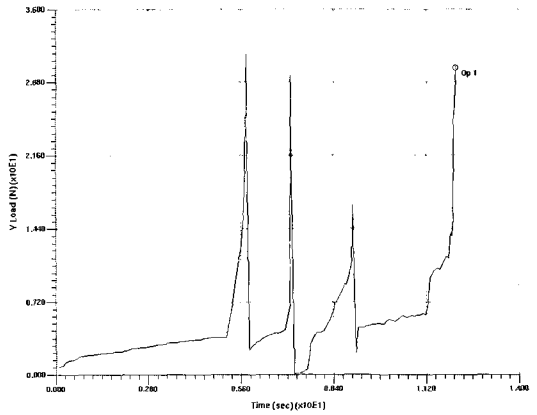


**Fig. 12 Load-time curve**

Fig. 12 는 하중-시간 선도이다. 각 공정의 마지막 부분에서 많은 하중이 요구됨을 알 수 있다. Fig. 13은 격자의 속도-시간 선도이다. 2단계의 마지막부분에서 격자의 속도가 아주 빨랐다. 각 공정의 마지막 부분의 속도가 빨라지는 경향을 보인다.

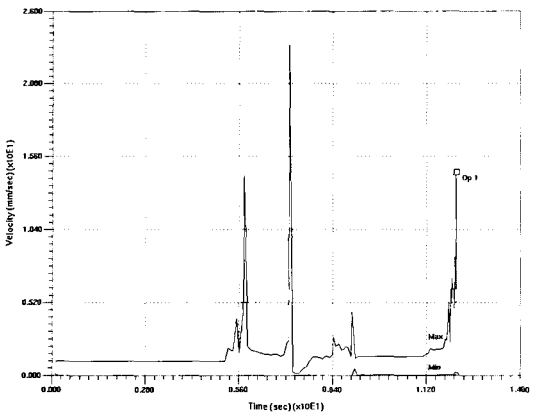


**Fig. 13 Nodal velocity-time curve**

2.3.4 시제품 평가

유한요소해석 프로그램으로 해석한 결과가 전반적으로 양호하였고, 실제 시제품(Fig. 14) 제작에서도 해석결과와 동일한 형상의 플레어 너트를 얻을 수 있었다.

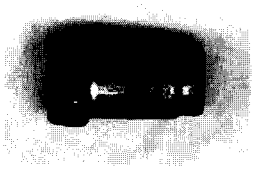

**Fig. 14 Photo of flare nut**

Table 2는 시제품을 규격에 적합한지 평가한 것이다. 단조금형에서 육각부와 외경 및 튜브가 삽입되는 내경의 정밀단조가 설계도와 같이 성형되었는지 평가한 결과 제품의 외관, 치수정밀도 등의 모든 부분에서 양산이 가능할 만큼 양호한 제품 상태를 보였으며 실차 장착도 실시하였다. 또한 기계적 · 물리적 성질도 양호한 제품으로 판명되었다. Table 3 은 단조공정 최적설계를 통해 얻을 수 있는 효과이다. 과거 절삭가공에 의한 생산에서는 생산량이 적고 가공품의 품질이 일정하지 못해 불량률이 높았을 뿐만 아니라 소요인원이 과다하게 투여되어 생산단가가 높았으나 금속의 소성변형을 이용한 단조가공 생산방식으로 대체 개발한 결과 대량생산에도 무리가 없고 플레어 너트 제작에 소요되는 인원이 감소하여 제조원가가 크게 줄어드는 효과를 가져왔다.

**Table 2 Test of prototype**

| 구분 / 검사 항목 | 규격 | 측정치 | 판정 |
|---|---|---|---|
| 외관 | 사용상 유해한 흠이 없을것 | 이상 없음 | 합격 |
| 재질 | SWCH 10A | 변화 없음 | 합격 |
| 도금두께 | MFZNT2-C(8μ이상) | 양호 | 합격 |
| 내식성 | 168시간 경과 후 적청 발생이 없을것 | 양호 | 합격 |

**Table 3 Process design effect of flare nut**

| 구분 / 개발 시점 | 평균제조원가 won | 평균소요량 EA/year | 대응능력 day | 실차적용 item |
|---|---|---|---|---|
| 전(수입) | 30~100 | 25000000 | 60 | 20 |
| 후(국산) | 25 | 1200000 | 30 | 1 |

## 3. 결 론

유한요소해석을 통하여 플레어 너트의 단조공정 설계를 수행하고 실제 시제품 제작을 위한 공정설계에 적용해 본 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 유한요소해석결과 응력과 변형률은 각각 그 값의 폭이 적었고 전체적으로 고르게 분포했다.

2) 기존의 기계가공방법 대신에 소성가공법인 단조를 이용하여 플레어 너트를 생산할 수 있는 최적의 공정설계법을 유한요소해석에 의한 시뮬레이션을 통해 도출하였다.

3) 해석결과를 실제 시제품 제작에 적용하여 생산해 본 결과 치수나 품질면에서 양호한 제품을 얻을 수 있었다.

## 후 기

이 논문은 2003년도 두뇌한국21사업에 의하여 일부 지원되었으며 관계자 여러분께 감사드립니다.

## 참고문헌


[1] C. H. Lee and S. Kobayashi, "New Solutions to Rigid-Plastic Deformation Problems Using a Matrix Method", J. of Eng. for Ind., Trans. ASME, Vol.95, pp.865~873, (1973).

[2] O. C. Zienkiewicz, P. N. Godbole, "Flow of Plastic and Visco-Plastic Solids with Special Reference to Extrusion and Forming Processes", Int. J. Num. Meth. Eng. 8, pp.3~16, (1974).

[3] Yu, G. B. and Dean, T. A., "A Practical Computer Aided Design Approach to Design for Axisymmetric Forging Die Cavities", Int. J. Mach. Tool, Des. Res. Vol. 25-1, pp.1~13, (1985).

[4] 류찬호, 전만수, "부유금형을 가진 냉간단조공정의 유한요소해석", 한국소성가공학회지, 제9권 제2호, pp.159~164, (2000).

[5] 김현수, 이승동, 김용조, "크라운기어 형상의 밀폐 단조공정설계를 위한 강소성유한요소해석", Theses Collection of The Institute of Advanced Materials, Vol.10, pp.57~64(1998).

[6] 日本工業規格, "JIS 鐵鋼 1991", 日本標準協會, pp.1172~1177(1991).

[7] Daryl L. Logan, "A First Course in the Finite Element Method(2/E)", PWS Publishing Company, pp.128~132 (1996).

[8] 김영석, 김현수, 김찬일, 최석탁, "토크 컨버터용 임펠러 허브의 냉간단조공정설계", 한국정밀공학회지, 17권 제11호, pp.213~219, (2000).

[9] 박승희, 윤성만, 신상엽, 박래원, 박종국, 이응기, 김대두, "선박 중형엔진용 일체형 Crankshaft 단조장치에 관한 연구", 한국소성가공학회지, 제8권 제3호, pp. 237~244 (1999).


## 저 자 소 개

**한규택 (韓圭澤)**

1958년 생. 1982년 부산대학교 기계공학과 졸업(학사). 1984년 부산대학교 대학원 기계공학과 졸업(석사). 1988년 부산대학교 대학원 기계공학과 졸업(박사). 2001년-2002년 미국 The University of Iowa 교환교수. 1988년-현재 부경대학교 기계공학부 교수

**추덕열 (秋德烈)**

1974년 생. 2001년 경상대학교 기계공학과 졸업(학사). 2003년 부경대학교 대학원 정밀기계공학과 졸업(석사). 현 대원산업(주) 기술연구소 재직중