Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society
Vol. 15, No. 2 pp. 653-659, 2014

http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2014.15.2.653

# LPI 차량용 연료필터하우징 개발

이병훈[1], 박성영[2*]
[1]공주대학교 기계공학과, [2]공주대학교 기계자동차공학부

# Development of LPI Vehicle Fuel Filter Housing

**Byeong-Hoon Hong[1] and Sung-Young Park[2*]**
[1]**Mechanical Engineering Dept., Graduate School, Kongju National University**
[2]**Div. of Automotive & Mechanical Engineering, Kongju National University**

**요 약** 자동차용 LPI 연료필터 하우징의 냉간단조 공정에 대한 성형해석을 수행하였다. 변형과 하중의 분배를 고려하여 금형과 시제품을 제작하였다. 또한 기존 모델과 신규 모델의 유동 특성을 분석하기 위하여, 유동해석을 수행하였다. 유동해석 결과, 두 모델은 동등한 압력강하량을 나타내었다. 기존 제품 대비, 상부 하우징은 16 g, 하부 하우징은 30.5 g이 감소하여, 총 46.5 g의 중량이 감소하였다. 안정성을 검증하기 위해서 기밀시험 및 내압시험을 수행하였으며, 시험 기준을 만족하였다.

**Abstract** Computer simulation has been performed to optimize cold forging process of automotive LPI fuel filter housing. A mold and the test product have been manufactured considering the strain and load distribution during the cold forging process. Also, fuel flow simulation has been performed to analyze flow characteristics of existing model and new model. Simulation result shows that two models have equivalent pressure drop. Compared with the mass of existing product, raw material reduction of 16 g and 30.5 g has been achieved from the upper and lower housing, respectively. Total mass reduction of the new housing was 46.5 g. Leak test and internal pressure test have been performed to verify the safety standard and test results were satisfactory.

**Key Words :** Cold Forging, Fuel Filter, LPI, Mold, Process simulation

## 1. 서론

현재 세계적인 자동차 시장은 고유가로 인하여 가솔린 연료 대신 클린디젤이나 액화석유가스(LPG/LPI)나 가솔린 연료의 사용이 가능한 Bi-Fuel 차량이 각광받고 있다. 또한 환경에 대한 관심이 사회적으로 높아지고, 각국의 정부에서 법률적으로 환경 친화적인 제품이나 기업에 절세혜택을 주는 등 환경을 중시하도록 유도함에 따라 LPI 차량의 수요도 지속적으로 증가하고 있다.

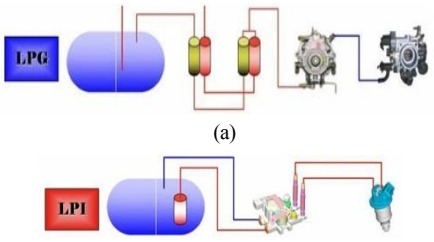
LPI 엔진은 기존 LPG 엔진의 공연비 제어 문제 개선 및 강화되는 배기가스 규제에 대응하기 위하여 개발되었다. 기존 LPG 엔진은 Fig. 1(a)과 같이 액체상태의 연료를 기화시켜 기체 상태에서 연소하는 방식하였으나, 개선된 LPI 엔진은 Fig. 1(b)와 같이 LP연료를 고압 액화하여 액체상태의 연료를 인젝터로 고압 분무한다. 이 기술로 인하여 공연비 정밀 제어가 가능할 뿐만 아니라, LPG 엔진의 단점인 동계 시동성 문제가 개선되었다.

LPI 엔진의 연료필터는 Fig. 2와 같이 엔진룸 외부에 장착된다. 연료필터는 붐베 내의 이물질로 인한 연료라인과 인젝터의 손상방지 뿐만 아니라, 연료의 공급성과 차량의 가속능력에 긍정적인 영향을 미치는 연료계통에서 매우 중요한 부품이다[1].

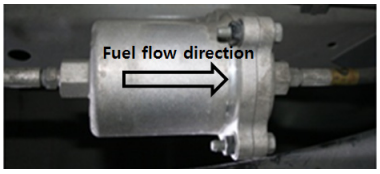
현재 대부분의 LPI 연료필터는 수입에 의존하고 있기 때문에, 본 연구에서는 국산 연료필터 결합이 가능한 연료필터 하우징을 개발하여 국산화 하고자 하였다. 또한 기존에 상용화된 제품대비 경량화 설계를 통하여 소재절

*Corresponding Author : Sung-Young Park(Kongju National Univ.)
Tel: +82-41-521-9275 email: sungyoung@kongju.ac.kr
Received October 8, 2013 Revised (1st November 5, 2013, 2nd November 20, 2013) Accepted February 5, 2014

감을 도모하고자 하였다. 연료필터 제작공정은 냉간단조 공법을 적용하였다. 냉간단조 공법은 원재료 손실이 적고 치수 정밀성 및 표면 사상층이 우수한 장점 등을 가지고 있다. 성형공정 개발에 소요되는 시간과 경비 손실을 줄이고자 소성가공 전용 프로그램인 Deform을 사용하여 유한요소해석을 진행하였으며[2], 유동해석 소프트웨어(Star-ccm+)를 사용하여 기존 제품과 신규 제품의 유동 특성을 비교, 분석하였다.




[Fig. 1] Comparison of LPG and LPI engine system (a) LPG engine system (b) LPI engine system

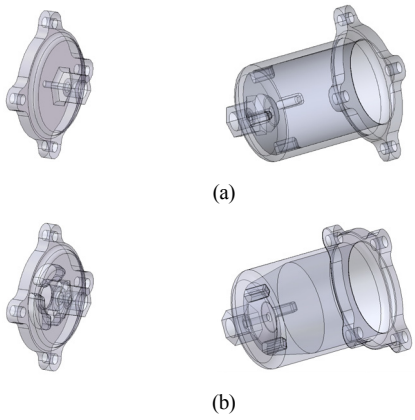



[Fig. 2] LPI fuel filter housing

## 2. 성형해석

### 2.1 연료필터 하우징 설계

차량용 연료필터 국산화를 위하여 연료필터 상부 하우징의 연료필터 결합부 형상을 신규 설계하여 국산 연료필터가 결합 가능하도록 하였다. 또한 소재 절감을 위하여 Fig. 3과 같이 제품의 형상을 변경하였다. 기존 제품의 연료필터 하우징은 Fig. 3(a)이며, 신규 제품은 Fig. 3(b)이다. 좌측의 모델이 상부하우징이고, 우측의 모델이 하부하우징이다. 신규 모델의 주 변경사항은 원소재 절감을 위하여 기존 하부하우징의 두께가 62% 축소되었으며, 필터 지지부를 1개 삭제하여 비대칭 구조로 변경되었다. 상부하우징에서는 기존 모델에 없었던 3개의 홈이 필터 안착면에 추가되었다.




[Fig. 3] 3-D model of LPI filter housing (a) existing filter housing (b) new filter housing

### 2.2 성형해석 유동 응력식

신규 연료필터 하우징의 단조공정을 진행하기에 앞서 단조 공정의 최적 조건에 대한 신뢰성 있는 데이터를 얻기 위하여 성형해석을 수행하였다. 본 연구에서의 금속의 변형량과 유동 응력의 관계는 다음과 같다.

$$\bar{\sigma} = 960\bar{\epsilon}^{0.1} \text{ [MPa]} \quad (1)$$

금형과 소재사이의 마찰조건은 전달마찰로 가정하였으며 성형해석 프로그램인 Deform내의 규정된 냉간단조의 전달마찰 상수인 $m$=0.12을 사용하였다. 강소성 유한요소법을 이용하여 해석을 수행하였으며, 강소성 재료에 대한 범함수(functional) Π는 다음과 같다.

$$\Pi = \int_V \bar{\sigma}\dot{\bar{\epsilon}} dV - \int_{S_F} \bar{t}_i v_i dS \quad (2)$$

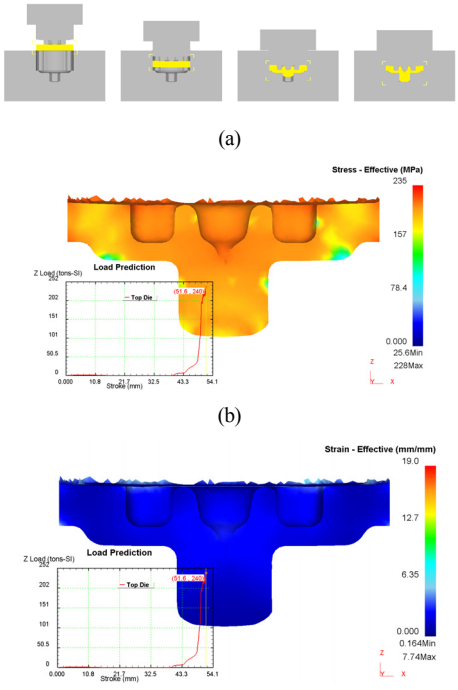
여기서, $\bar{\sigma}$는 $\sqrt{3/2\sigma'_{ij}\sigma'_{ij}}$ , $\bar{\epsilon}$는 $\sqrt{2/3\dot{\epsilon}_{ij}\dot{\epsilon}_{ij}}$, $V$는 전체영역, $\bar{t}_i$는 표면력, $S$는 $V$의 경계표면, $S_F$는 표면력이 정의 되는 경계면, $v_i$는 절점속도, $\sigma'_{ij}$는 편차응력, $\dot{\epsilon}_{ij}$는 변형률 속도해석조건이다.

### 2.3 해석결과

FEM Code인 DEFORM 3D를 사용하여 연료필터 상부 하우징의 경우 1단계 공정으로 해석을 진행하였으며 하부 하우징의 경우 3단계 공정으로 진행하였다. 연료필터 하우징 상부 하우징의 공정은 Fig. 4(a)와 같이 진행되

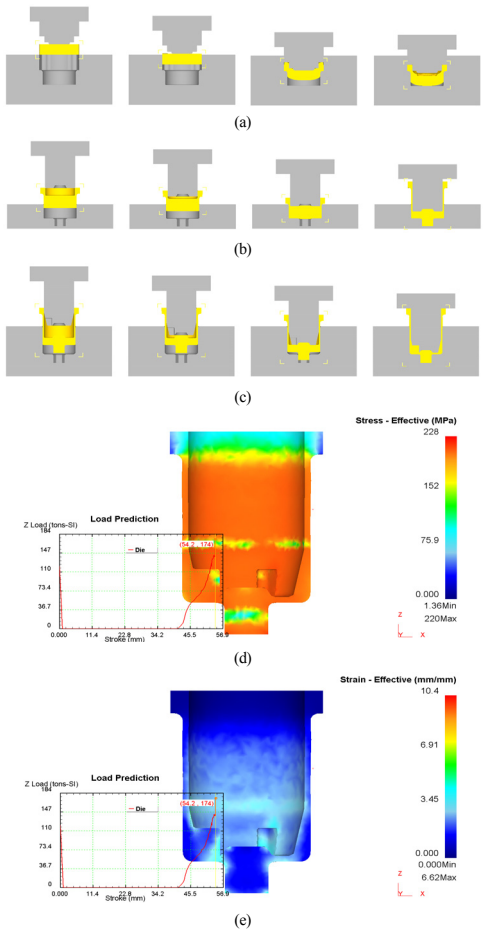
었으며 공정 중 최대 하중인 240 ton 지점에서 유효응력 228 MPa, 유효 변형률 7.74 mm/mm로 Fig. 4(b) 및 (c)와 같다.

Fig. 5는 하부 하우징 공정이며, 하부하우징 공정 중 174 ton으로 가장 큰 하중을 보이는 3차 공정의 경우 응력 220 MPa, 유효 변형률 6.62 mm/mm로 나타났다. 연료필터 상부 하우징의 경우 윗면에 응력 및 변형량이 크며 하부 하우징의 경우 밑면이 응력 및 변형량이 큰 것을 확인할 수 있다. 이 점을 참고하여 금형 공정 시 효율적으로 변형과 하중을 분배하여 금형을 설계하였다[3].

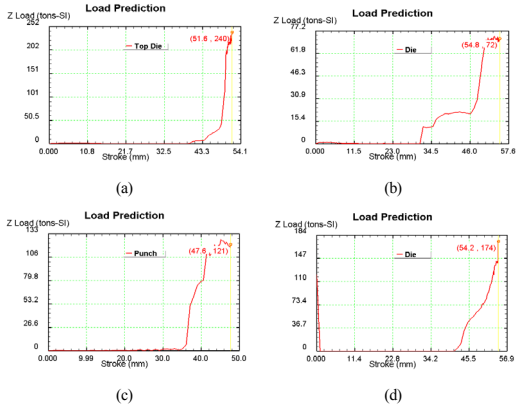



[Fig. 4] Forming analysis of upper filter housing
(a) process (b) effective strain (c) effective stress

부적절한 성형하중 결정으로 프레스의 오작동을 방지하고자 성형해석의 공정별로 최대성형하중을 파악하였다. Fig. 6과 같이 연료필터 상부 하우징의 경우 예상성형하중은 240 ton이며, 하부 하우징 1차 공정의 경우 72 ton, 하부 하우징 2차 공정의 경우 121 ton, 하부 하우징 3차의 경우 174 ton으로 예측된다. 이에 상부의 경우 600 ton의 너클 프레스, 하부 하우징의 경우 각각 400 ton의 너클 프레스를 사용하기로 결정하였다[4].




[Fig. 5] Forming analysis of lower filter housing
(a) #1 process (b) #2 process (c) #3 process (d) effective stress of the #3 process (e) effective strain of the #3 process




[Fig. 6] Load prediction
(a) process of upper forming (b) #1 process of lower forming (c) #2 process of lower forming (d) #3 process of lower forming

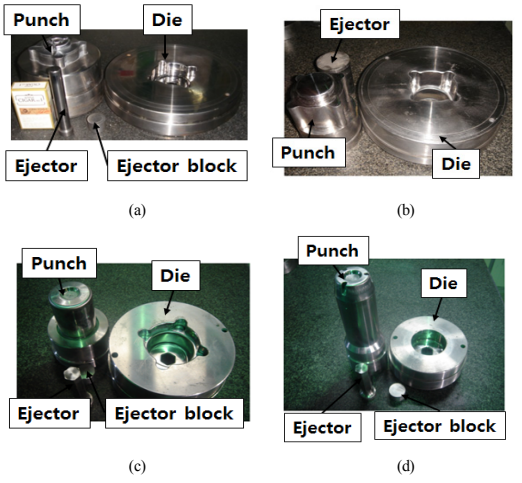
## 3. 금형 및 시제품 제작

### 3.1 금형제작

성형해석을 통해 파악된 예상 성형하중을 기준으로 결정된 프레스의 제원은 표 1과 같다.

[Table 1] Knuckle press data

| | Upper process | Lower process |
|---|---|---|
| Equipment name | Knuckle press | Knuckle press |
| Forming load | 600ton | 400ton |
| Stroke | 148mm | 160mm |
| Ejector | 70mm | 70mm |
| Max. stress location | 6mm | 6mm |
| S.P.M | 40 | 40 |

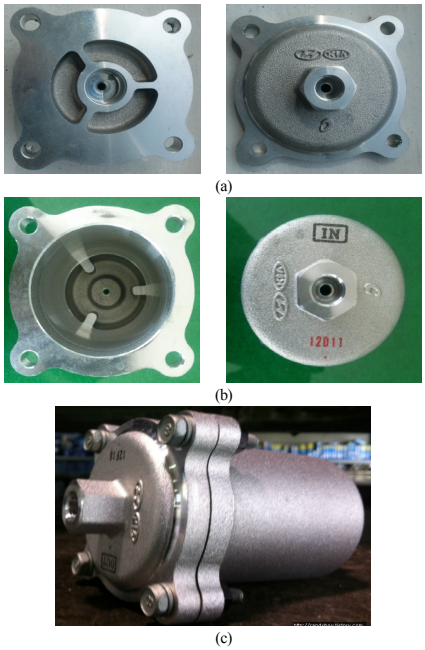



[Fig. 7] Mold
(a) process of upper mold (b) #1 process of lower mold (c) #2 process of lower mold (d) #3 process of lower mold

Fig. 7(a)는 연료필터 상부 하우징 제작에 사용되는 금형으로서 Punch 및 Die는 조질경도 50이상의 열간 금형용 강인 SKD61을 사용하였으며 Ejector 및 Ejector Block은 조질경도 58이상의 고합금 공구강인 SKD11을 사용하였다. Fig. 7(b)에서 Fig. 7(d) 는 연료필터 하부 하우징 제작에 사용된 1~3차 공정의 금형으로서 1차 공정의 Punch는 조질경도 58이상의 고합금 공구강인 SKD11을 사용하였으며 Die는 조질경도 60이상의 고속도공구강인 SKD51을 사용, Ejector 및 Ejector Block은 조질경도 58이상의 고합금 공구강 SKD11을 사용하였다. 2~3차 공정의 Punch는 조질경도 60이상의 고속도공구강인 SKD51을 사용하였으며 Die는 조질경도 58이상의 고합금 공구강인 SKD11을 사용, Ejector 및 Ejector Block은 조질경도 58이상의 고합금 공구강 SKD11을 사용하였다 [5-6].

### 3.2 시제품 제작

연료필터 하우징의 소재인 알루미늄 Al6061은 열처리 합금으로 Al-Mg-Si계 합금 6000계이다. 알루미늄합금은 가공정도와 열처리에 따라 기계적 성질이 크게 변하기 때문에 원하는 기계적 특성의 알루미늄 소재를 얻기 위해서는 특정한 가공 및 열처리가 요구된다. 이에 공정 시 소성변형이 발생되는 것을 방지하기위하여 공정 전에 어닐링 열처리를 실시하여 연화 및 결정조직의 조정 및 내부응력을 제거하였다. 프레스의 성형성을 향상시키기 위해 스테아린산 아연으로 소재에 피막작업을 하였다. 이러한 과정을 거쳐 제작된 시제품은 Fig. 8과 같으며 Fig. 8(a)는 연료필터 상부 하우징의 안쪽 면과 바깥 면이며 Fig. 8(b)는 하부 하우징의 안쪽 면과 바깥 면, Fig. 8(c)는 상부 하우징과 하부 하우징의 조립된 시제품이다.




[Fig. 8] New LPI filter housing
(a) upper housing (b) lower housing
(c) assembled fuel filter

소재 절감 효과를 검증하기 위하여 기존 제품과 시제품의 질량을 측정하였으며, 측정 데이터는 표 2와 같다. 평균값을 비교한 결과 기존 제품 대비 시제품의 경우 상

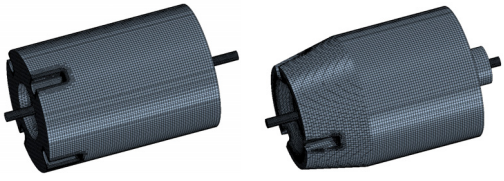
부 하우징은 16 g이 감소하였으며 하부 하우징은 30.5 g이 감소하였다.

[Table 2] Mass measurement data

| | Existing housing | | New housing | |
|---|---|---|---|---|
| | Upper | Lower | Upper | Lower |
| X1 | 181.0 | 301.8 | 165.2 | 270.6 |
| X2 | 180.5 | 301.2 | 165.0 | 270.4 |
| X3 | 181.0 | 301.5 | 165.0 | 271.0 |
| X4 | 181.0 | 301.2 | 164.2 | 271.3 |
| X5 | 180.5 | 301.5 | 164.8 | 271.5 |
| Average | 180.8 | 301.4 | 164.8 | 270.9 |

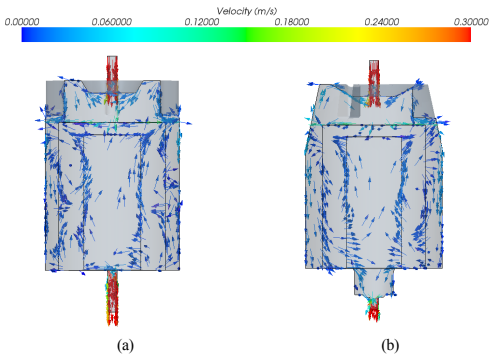
## 4. 유동해석

기존 연료필터와 냉간단조된 연료필터의 유동특성을 분석하고자 상용 소프트웨어인 Star-CCM+를 사용하여 유동해석을 수행하였다. 유동해석을 위한 계산 격자 구성을 위하여 두 모델을 25만개 이상의 trimmer 격자로 Fig. 9과 같이 구성하였다. Standard K-Epsilon Turbulence model을 적용하였으며, porous region을 적용하여 연료필터의 투과성을 모사하였다[7]. 유동해석은 입구부로 공급되는 연료의 질량유량을 0.001 kg/s 부터 0.007 kg/s까지 0.001 kg/s 씩 증가시키면서 해석을 수행하여 압력강하량을 측정하였다. Fig. 10은 기존 제품과 신규 제품의 유동흐름을 나타낸 것으로 유사한 유동을 보이고 있음을 알 수 있다. Fig. 11에서 나타난 바와 같이 기존 제품과 신규 제품 모두 질량유량이 증가함에 따라 압력강하량이 증가하는 경향을 보이고 있다. 하지만 질량유량이 0.005.kg/s 부분을 기점으로 질량유량이 증가할수록 신규 제품의 압력강하량이 기존 제품 대비 미소하게 증가된 값을 가진다. 이는 신규 제품과 기존 제품의 유동영역의 차이로 다소 원활하지 못한 유체 흐름이 발생하기에 압력 차가 발생하였을 것으로 판단된다. 그러나 그 값이 미미하여 차량적용은 가능할 것으로 사료된다[8].



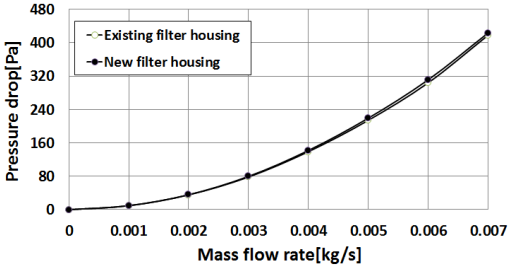
(a) (b)

[Fig. 9] Grid for computer simulation
(a) existing filter housing (b) new filter housing




(a) (b)

[Fig. 10] Velocity distribution
(a) existing filter housing (b) new filter housing




[Fig. 11] Pressure drop

## 6. 기밀시험 및 내압실험

연료필터 상부 하우징과 하부 하우징은 볼트로 결합되므로 결합 틈새를 통해 가스가 누출될 위험이 있어 기밀시험을 수행하였다. 또한 액화가스는 온도에 따라 큰 압력 변화를 보이기 때문에 안정성을 검증하고자 내압시험을 수행하였다. 시험은 인증기관의 임펄스 시험기를 사용하였으며, Fig. 12과 같이 디지털온도계, 모터 구동 스위치, 압력조절장치 및 압력 게이지 등으로 구성되어있다. 기밀시험 시험라인 Fig. 13(a)과 같이 누설 시 쉽게 파악할 수 있도록 수조에서 수행하였으며, 내압 시험라인은 Fig. 13(b)와 같이 대기 중에서 진행하였다.

[Fig. 12] Impulse testing equipment

(a) (b)

[Fig. 13] Test equipment
(a) leak test (b) internal pressure test

시험 조건은 표 3과 같이 기밀시험의 경우 2.4 MPa, 내압시험의 경우 3.0 MPa에서 2분의 시험시간동안 진행되었으며 실험결과 연료필터에서 변형 및 누설이 발생되지 않음을 확인하였다[9].

[Table 3] Test condition

| | Unit | Leak test | Internal pressure test |
|---|---|---|---|
| Pressure | MPa | 2.4 | 3.0 |
| Test time | min | 2 | 2 |

## 7. 결 론

자동차의 주요 부품 중 하나인 연료필터 하우징의 상부 및 하부 하우징에 대하여 성형해석을 수행하여 금형과 시제품을 제작하였다. 또한 연료필터에 대한 유동 해석, 기밀시험 및 내압시험을 수행하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 연료필터 하우징의 단조공정 성형해석을 통하여 최적의 금형 형상 치수를 결정하고 금형을 제작하였다.
2) 기존 모델과 신규 모델에 대하여, 연료필터로 유입되는 연료의 질량유량에 따른 유동해석을 수행하였다. 압력강하량과 속도분포 분석 결과, 두 모델의 유동특성은 동등수준이다.
3) 신규로 개발된 연료필터 하우징은 기존 제품 대비 상부 하우징은 16 g, 하부 하우징은 30.5 g이 감소하여 총 46.5 g의 중량이 감소하였다.
4) 안정성을 검증하기 위해서 기밀시험 및 내압시험을 수행하였으며, 시험기준을 만족하였다.

## References


[1] T. S. Gang and J. U Park, "An Exerimental Study of a Fuel Pump Filter's Impurity", KSAE fall conference proceedings, Vol. 1, pp. 642-647, 2006.

[2] I. H. Lee, H. Y. Cho, H. K. Song, J. H. Kim, B. H. Seo and K. H. Kyoung, "Finite Element Analysis of Forging for Spring Cup of Engine Valve", KSME fall conference proceedings, pp. 350-355, 2007.

[3] Y. S. Lee, Y. N. Kwon, Y. C. Kwon, J. H. Lee, S. T. Choi, "Characteristics of tools for improving the tool life and forged product on cold forging", KSPE spring conference proceedings, pp. 125-126, 2006.

[4] S. E. Song and H. H. Kwon, "A Study on the Cold Forging Development of Guide Valve for the Fuel Pressure Regulator", Journal of the korean society of manufacturing technology engineers, Vol. 21, No.2, pp. 331-336, 2012.
DOI: http://dx.doi.org/10.7735/ksmte.2012.21.2.331

[5] B. H. Lee and S. Y. Park, "Development of E-100 Fuel Pump Lower Housing Using Cold Forging Process", Journal of KAIS, Vol. 13, No. 1, pp. 14-20, 2012.
DOI: http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2012.13.1.14

[6] K. Y. Min, B. Y. Jung, S. Y. Park and Y. B. Park, "Finite Element Analysis of Cold Forming Process for Manufacturing of Automotive Air-Conditioning Filter Housing", KAIS spring conference proceedings, pp. 525-527, 2009.

[7] CD-Adapco, "Star-CCM+ V6.04 User's Manual", 2011.

[8] B. H. Lee and S. Y. Park, "Fuel Filter Housing Design and Production", KSAE spring conference proceedings, pp. 2106-2108, 2013.

[9] J. Y. Kim, B. C. Na, S. U Park, J. H. Seo and K. C. Lee, "Research on the Development of Evaluation Technology for LPI Fuel Filter", KSAE fall conference proceedings, Vol. 1, pp. 605-610, 2005.



**이 병 훈**(Byeong-Hoon Lee) **[준회원]**

- 2007년 3월 ~ 20013년 2월 : 공주대학교 기계자동차공학부 자동차공학전공 졸업
- 2013년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 일반대학원 기계공학과 재학

<관심분야>
열유체 유동해석, 연료펌프 성능개발

**박 성 영**(Sung-Young Park) **[정회원]**

- 2002년 5월 : Texas A&M univ., 기계공학과 (공학박사)
- 2006년 4월 ~ 현재 : 공주대학교, 기계자동차공학부 부교수

<관심분야>
열유체 유동해석, 내연기관 성능개발