

1000cc급 가솔린 엔진의 내구성능 개발

김창수¹, 안호상², 박성영^{3*}

¹공주대학교 일반대학원 기계공학과, ²주)엘이엔티, ³공주대학교 기계자동차공학부

Durability Development of 1000cc Level Gasoline Engine

Chang-Su Kim¹, Ho-Sang Ahn², Sung-Young Park^{3*}

¹Mechanical Engineering, Graduate School, Kongju National University,

²LE&T,

³Div. of Mechanical & Automotive Engineering, Kongju National University

요약 본 논문에서는 1000cc급 엔진의 내구성능 시험을 진행하였다. 총 300시간의 내구 시험이 WOT조건으로 진행되었다. 엔진토크, 출력, 제동연료소비율, 블로바이 가스량, 오일압력 등을 시간에 따라 측정하였다. 실험결과, 고 rpm에서의 성능은 시간에 따라 감소하였으나, 저 rpm에서의 성능은 안정적이었다. Blow-by gas 유량은 평균 흡입 공기량의 0.4%로 우수한 성능을 나타내었다. 엔진의 토크와 연료소모율은 100시간까지는 길들이기 특성을 보였으며, 그 이후에 노화되는 경향을 보였다. 300시간 내구시험 후 엔진을 분해하여 부품의 파손 및 균열 여부를 확인하였다.

Abstract In this paper, durability test of 1000cc level gasoline engine has been carried out. Durability test set total 300 hours and WOT condition. Engine torque, power, fuel consumption, blow-by gas flow rate, and oil pressure are measured to analyse performance variation by time. As a result, engine performance of high rpm range gradually reduced by time but for relatively low rpm range shows stable performance. Blow-by gas flow rate shows 0.4% of averaged induction air flow rate, which is excellent rate for 1000cc level gasoline engine. Engine torque and fuel consumption data show the break-in upto 100 hours and aging trend after that. After 300 hours, engine is disassembled and each part is checked for the damage or crack.

Keywords : Engine Durability, BSFC, Blow-by gas, UTV, WOT

1. 서론

최근 레저, 제설차량, 군사차량, 청소용, 방역용, 운송용 또는 농업용 등 다양한 목적으로 사용할 수 있는 ATV(All Terrain Vehicle) 및 UTV (Utility Terrain Vehicle)의 수요가 증가하고 있는 추세이다. 이 중 ATV는 험한 지형에도 잘 달리게 고안된 소형 오픈카로써, 1인승으로 주로 레저용으로 사용되고 있다. 이에 반해, UTV는 1인승인 ATV의 단점을 보완한 2~3인승 차량

으로 산악지형, 사막, 설원 등 어떠한 험한 지형에서도 빠르고 안정감 있게 달릴 수 있다. 또한, 튼튼한 상단 프레임을 설치할 수 있어 차량이 전복되더라도 탑승자를 보호할 수 있는 장점이 있어, 군사차량, 제설차량으로 쓰임새가 확대되고 있는 추세이다.

현재 UTV 생산 업체는 미국의 ARCTIC CAT, 캐나다의 CAN-AM, 일본의 YAMAHA 등 주로 외국업체 위주로 생산이 되고 있으며, 국내에서는 대동을 비롯한 몇몇 업체만이 제작을 하고 있다. 하지만, 국내 업체에서는

본 연구는 중소기업청 구매조건부 신제품개발사업의 “30마력급 Compact 다목적 UTV용 소형 가솔린엔진 개발” 과제의 일부로 수행되었음.

*Corresponding Author : Sung-Young Park(Kongju National Univ.)

Tel: +82-41-521-9275 email: sungyoung@kongju.ac.kr

Received May 28, 2015

Revised July 15, 2015

Accepted August 6, 2015

Published August 31, 2015

엔진 등 주요 부품을 수입해서 쓰는 입장이며, UTV용 엔진 개발은 미흡한 상태이다[1]. UTV에 사용되는 엔진은 550cc부터 1200cc까지 다양하게 존재하고 있으며, 본 연구에서는 L사에서 자체적으로 개발한 4행정 1000cc급 가솔린 엔진을 사용하여 실험을 진행하였다. 내구 시험을 통한 엔진의 내구성과 토크, 출력 및 제동연료소비율의 변화 추세, Blow-by gas 유량이 일반적인 엔진의 조건을 만족하는지를 파악하여 UTV용 엔진의 적합성을 측정하였다.



Fig. 1. Daedong's MECHRON 2230

2. 본론

2.1 선행 개발

제작된 엔진의 사양은 Table 1과 같으며, 본 연구에 사용된 엔진을 제작하기에 앞서 선행 개발로 성능 개선을 위한 흡기포트 및 냉각수 코어의 설계와 유동해석을 통한 성능 해석이 진행되었다. Fig. 2는 유동해석에 사용된 흡기포트와 냉각수 코어의 모습이다. 여러 번의 설계 개선을 통해 Fig.2(a)의 흡기포트 모델이 선정되었으며, 해석 결과 4밸브 시스템의 평균 성능에 가까운 매우 우수한 성능 보였다[2,3]. Fig. 2(b)는 냉각수 코어 모델로써 해석 결과 초기에 설계된 냉각수 코어 모델에서 실린더 블록에서의 유량 정체와 과열 및 높은 압력 강하량 등으로 인한 문제점들이 발견되었다. 이를 해결하기 위해 우회 통로를 설치한 개선 모델이 설계되었으며, 해석 결과 우회로를 통한 열전달로 과열을 방지할 수 있었으며, 초기 설계 모델 대비 압력 강하량도 전 작동 구간에서 약 5% 정도의 저감 효과를 보였다[4]. 설계 및 해석 결과를 바탕으로 흡기포트 및 냉각수 코어가 제작

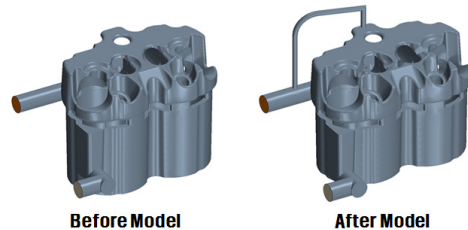
되었으며, 최종적으로 본 논문에서 사용된 엔진에 장착되어 내구 시험 및 성능 시험을 진행하였다.

Table 1. 1000cc Class gasoline engine

Description	Unit	1.0L
Bore × Stroke	mm	88 × 82
Displacement	cc	997
Cylinder No.	-	2
Valve Train	-	OHV, 2-valve
Balancer	-	1st Balance Shaft
Size (L × W × H)	mm	270 × 350 × 540



(a) Intake port



(b) Coolant core

Fig. 2. Intake port and Coolant model

2.2 실험 장비 및 실험 방법

본 연구에서는 엔진다이나모미터[5]를 사용하여 1000cc급 엔진의 성능 및 내구 시험을 수행하였다. Fig. 3(a)는 설치된 엔진다이나모미터와 냉각수 타워의 모습을 보여주고 있다. 내구 시험은 총 300시간을 진행하였으며, 각각의 성능 시험은 내구 시험 시 0시간, 100시간, 200시간, 300시간이 되는 부분에서 진행하였다. 각 데이터의 측정을 위해 상용 소프트웨어인 Lab-View를 사용하였으며, 데이터의 양이 방대하여 내구 측정시에는 30분 단위로 데이터를 측정하고, 성능 시험 시에는 각 토크 및 rpm별로 5000개씩의 데이터를 받아 평균을 산출하였다[6]. 내구 시험은 3600rpm, WOT(Wide Open

Throttle), AFR(Air Fuel Ratio) =13으로 설정하였으며, 기능 시험은 부분 부하시 AFR=14.5, WOT에서는 AFR=13으로 진행하였다. 냉각수 타워를 이용하여 엔진으로 유입되는 냉각수의 온도는 85℃를 유지하였으며, 배기 라인의 과도한 온도 상승 조절을 위한 터보 팬을 각 중요 부위별로 설치하였다. 또한, Fig. 3(b)의 AVL 442 Blow-by meter를 사용하여 Blow-by gas 유량을 측정하였다[7].

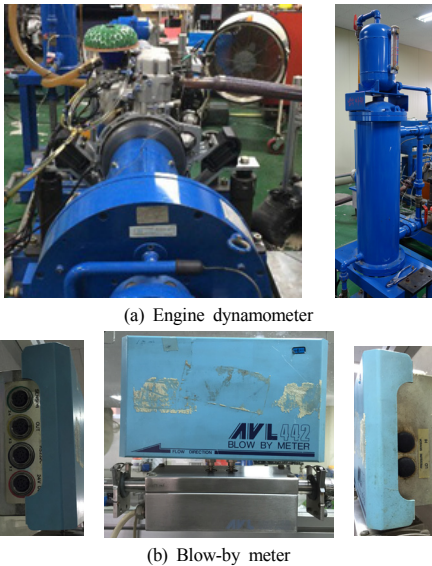


Fig. 3. Experimental equipment

성능 시험 0시간에서는 토크, 출력, 제동연료소비율 (BSFC, Break Specific Fuel Consumption), Oil pressure 및 Blow-by gas 유량을 측정하였으며, 100~300시간까지는 Blow-by gas를 제외한 데이터를 측정하였다. 또한, 엔진 내구 시험 시 3600rpm에서의 과도한 소음을 줄이기 위해 헬름홀츠 공명기를 Fig. 4와 같이 설치하였다. 사용된 공명기는 식(1)을 사용하여 체적을 도출해 내었다. 공명기의 설치로 인해 토크 및 출력에는 약간의 영향을 미칠 수 있으나, 내구 시험은 엔진 내부의 마모 특성 및 파손되는 부위를 보는 것이기 때문에 크게 문제가 없을 것으로 판단되었다.

$$f = \frac{C}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{S_m}{l \cdot V}} \quad (1)$$

f : Natural frequency, Hz

- C : Sound velocity in air, m/s
- l : Length of the pipe, m
- S_m : Sectional area of the pipe, m²
- V : Volume of the resonator, m³

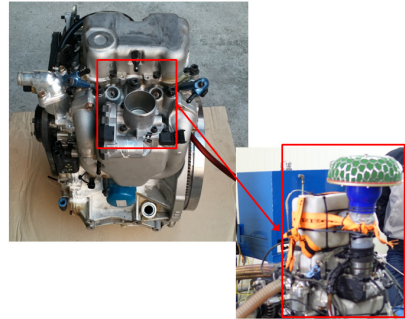


Fig. 4. Resonator setting

2.3 실험 결과

Fig. 5는 각 시간 별 성능 시험 결과를 정리한 그래프이다. 그래프의 가로축은 rpm을 나타내며, 세로축의 좌측은 토크, 우측은 출력의 수치를 나타내고 있다. 먼저, 내구 시험을 시작하기 전인 0시간에서는 3200rpm에서 토크 8.83kg_f · m로 최대값을 보였으며, 출력은 3600rpm까지 선형적으로 증가하는 것을 확인하였다. 100시간 및 200시간에서는 토크 및 출력이 유사하게 나타나는 것을 확인하였으며, 0시간에서와는 달리 토크의 최대값이 2800rpm에서 9.04kg_f · m로 나타났다. 이는 앞서 설명한 바와 같이 내구 시험 시 3600rpm에서의 소음을 줄이기 위해 설치한 헬름홀츠 공기공명기를 제거하지 않고 시험을 진행한 영향으로 사료된다. 마지막으로, 300시간에서의 성능 시험 그래프는 토크 및 출력 곡선이 0시간에서의 결과와 유사한 경향을 나타내었다. 또한, 정확한 변화 추이를 알기 위해 0시간의 결과와 300시간의 결과를 비교, 분석하였다. 1600rpm의 경우 0시간 대비 300시간에서 토크 및 출력이 각각 5.7%, 4.2% 증가한 것을 확인하였다. 2000rpm 이후에서는 0시간 대비 300시간에서 토크 및 출력이 감소하였으며, 4000rpm에서 최대 5.7%가 감소하였다.

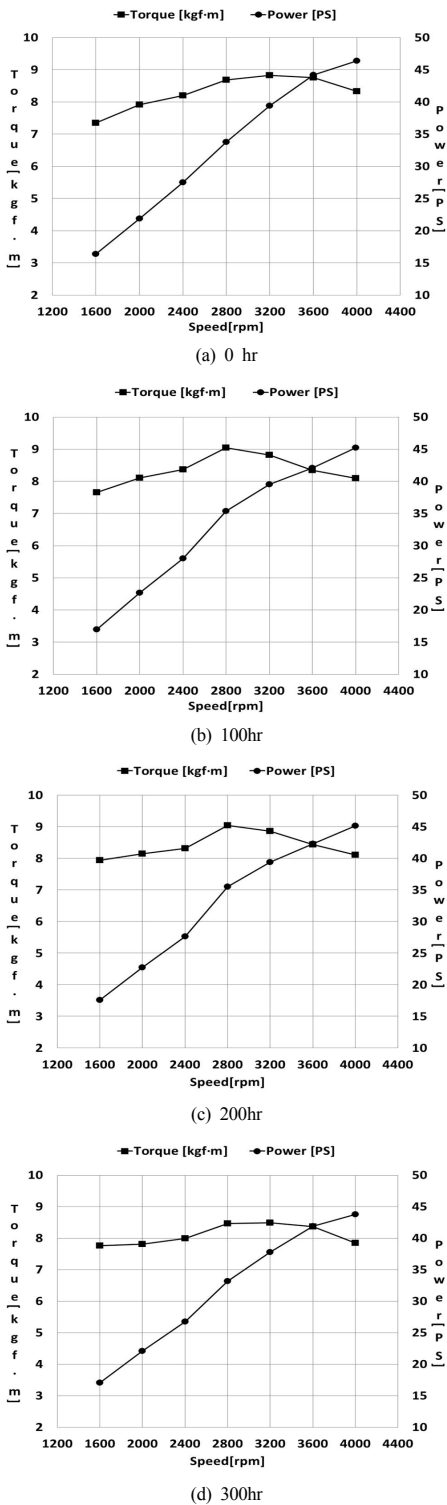


Fig. 5. Torque and Power according to the time variation

Fig. 6은 시간별 제동연료소비율의 변화를 그래프화한 것이다. 제동연료소비율은 제동 출력에 대한 단위 시간당 연료소비량으로 계산되며 일반적인 가솔린 기관의 제동연료소비율은 209 ~ 254[g/PS · h]이다. 제동연료소비율은 열효율과 반비례하므로, 이 값이 작을수록 열효율이 높아지며 엔진의 성능에도 긍정적인 영향을 미친다.

Fig. 6에 보이는 바와 같이 0시간에서는 엔진 안정화가 되기 전으로 전체적인 제동연료소비율이 210 ~ 225 [g/PS · h]의 영역에서 나타나는 것을 확인하였으며, 엔진 안정화 이후 시간이 흐를수록 제동연료소비율이 195 ~ 210[g/PS · h]의 영역으로 이동해 가는 것을 확인하였다. 이는 엔진의 성능 향상에 직·간접적으로 영향을 미칠 것으로 사료된다.

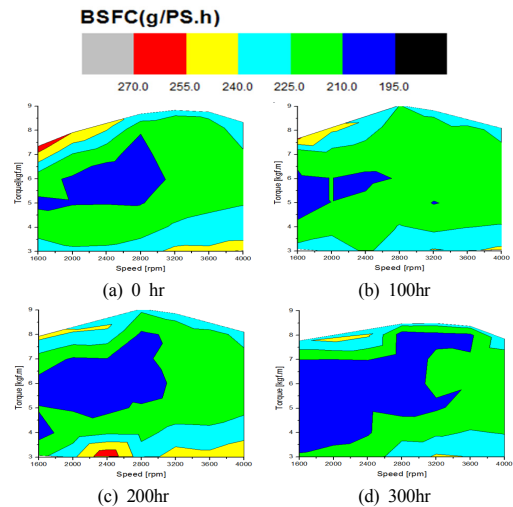


Fig. 6. BSFC according to the time variation

Fig. 7은 각 성능 시험 별 오일 압력 변화를 측정한 것이다. 0시간에서 200시간까지는 대부분의 영역에서 4bar 이상 5bar 이하의 안정적인 압력 분포를 보였으나, 예외적으로 2400rpm의 저 토크에서 5.5bar 이상의 높은 압력 분포를, 3600rpm 이상의 고 토크에서 4bar 이하의 낮은 압력 분포를 보이는 것을 확인하였다. 이는 2400rpm을 기준으로 rpm이 높아질수록 Connecting rod의 회전 속도가 증가하여 원심력에 의해 메인 갤러리의 오일 압력이 낮아지기 때문으로 사료된다. 또한, 엔진의 안정화 이후인 200시간과 300시간에서는 거의 유사한 압력분포를 보였다.

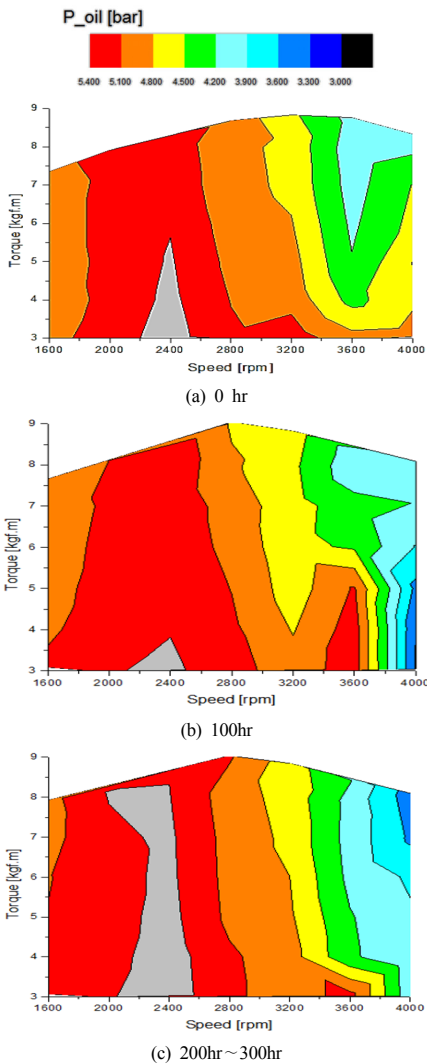


Fig. 7. Oil pressure variation according to the time variation

Fig. 8은 Blow-by gas 유량을 측정하여 Blow-by map 을 그래프화한 것이다. Fig. 8(a)는 실제 측정된 Blow-by gas 유량을 그래프화한 것으로 센서의 범위가 3 l/min이하의 유량을 측정하지 못하여 3 l/min이상의 데이터만을 측정하여 Blow-by map을 작성하였다. 전반적으로 gas 유량은 15 l/min이하의 배출량을 보였으며, 토크와 rpm 이 상승할수록 배출량이 증가하였다. Fig. 8(b)는 객관적인 수치를 나타내기 위해 흡입공기량 대비 gas량의 비율을 사용한 그래프이다. 그래프에 사용된 식은 다음과 같다.

$$V = \frac{N \times S \times 0.005}{2} \quad (2)$$

N : Engine speed, rpm

S : Engine displacement, l

V : Volume of the resonator, m³

일반적으로 신규 엔진의 평균 Blow-by gas 유량은 0.5%정도를 나타낸다. 계산 결과 평균 Blow-by gas 유량이 0.4%로 우수한 수준으로 판단된다.

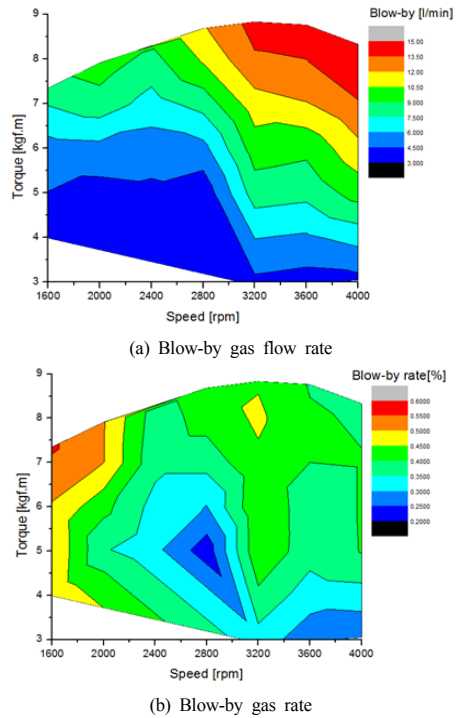


Fig. 8. Blow-by gas map

Fig. 9는 내구 시험 시간에 따른 토크, 출력 및 제동연료소비율의 변화 추세를 그래프화한 것이다. Fig. 9(a),(b)에서 보이는 바와 같이 내구 시험 시작 15시간 이후 엔진의 안정화가 이루어지면서 토크 및 출력이 감소하는 것을 알 수 있다. 토크 및 출력은 200시간 이후 안정화되었으며, 280시간 이후의 토크 및 출력의 감소는 실험 시 온도와 날씨의 영향에 의한 오차로 판단된다. 토크 및 출력이 일정한 200시간에서 280시간 사이의 평균 토크는 8.38 kgf.m, Power는 42 PS를 나타냈다. Fig. 9(c)의 제동연료소비율은 내구 시험 시작 15시간 이후 230~240 g/PSh의 구간으로 안정화되었다.

3. 결론

본 연구에서는 최근 레저, 운송, 군사 목적 등 다양한 분야에 활용되고 있는 1000cc급 엔진의 내구 시험을 통하여 엔진의 토크, 출력, 제동연료소비율 등의 성능을 파악하고 문제점을 보완하는 데 그 목적을 두고 있다. 이에 따라 엔진 다이내모 시험 진행 후 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 토크 및 출력이 1600rpm의 경우 내구 시험 0시간 대비 300시간에서 각각 5.7%, 4.2% 증가한 것을 확인하였다. 이에 반해, 2000rpm 이후에는 토크 및 출력이 감소하여 4000rpm 에서는 5.7% 정도 감소하였다. 상대적으로 사용 빈도가 적은 고 rpm에서의 성능은 양호한 것으로 판단된다.
- 2) 내구 시험 0시간에서의 Blow-by gas 유량 계산 결과 평균 흡입 공기량의 0.4%로 이론치인 0.5%보다 성능이 우수한 것으로 확인되었으며, 엔진 안정화 이후의 Blow-by gas 유량도 이론치와 유사한 수준으로 나타날 것으로 사료된다.
- 3) 엔진 안정화 이후 3600rpm, WOT에서의 평균 토크는 $8.38 \text{ kg}_f \cdot \text{m}$, 평균 출력은 42 PS 로 확인되었다. 또한, 내구 시험 완료 후 엔진 분해 과정에서 실린더 호닝의 마모 정도가 양호하며, 엔진의 파손 및 균열이 보이지 않는 점으로 미루어 특별한 문제점이 없을 것으로 사료된다. 다만, 상용화에 들어가기에 앞서 시험 시 문제가 되었던 3600rpm에서의 소음을 줄이기 위한 흡기시스템 써지탱크의 추가 설계 및 제작이 이루어져야 할 것으로 판단된다.

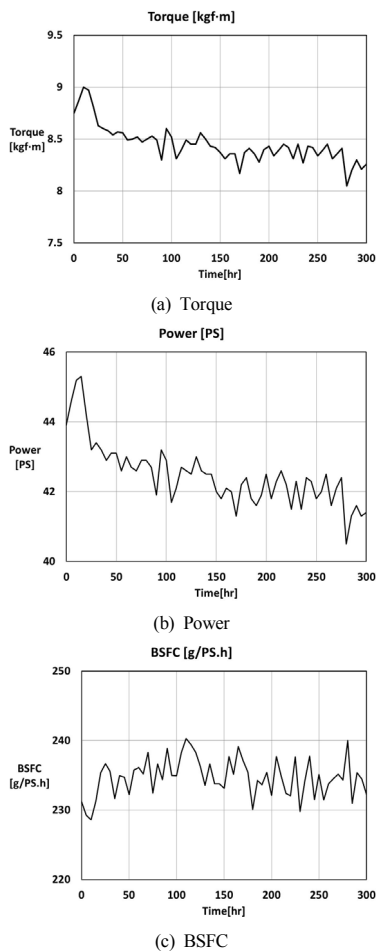


Fig. 9. Performance according to the time variation

Fig. 10은 엔진 내구 시험 후 엔진 부품의 마모 및 파손 정도를 알아보기 위해 각 부품별로 분해를 한 모습이다. 분해 결과 실린더 호닝의 마모 정도가 양호하고, 엔진의 파손 및 균열이 보이지 않는 점으로 미루어 특별한 문제점은 없는 것으로 판단된다.

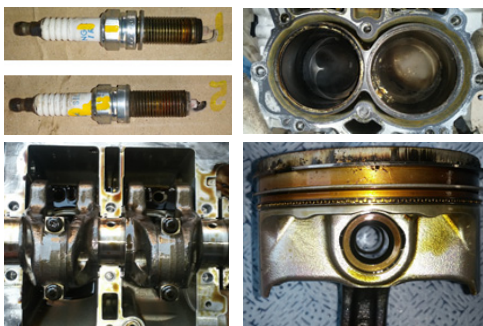


Fig. 10. Engine disassembly view

References

- [1] S. J. Lee, S. C. Kim, D. S. Kim, I. Y. Ohm, Y. S. Cho, "Numerical analysis of flow characteristics with intake port and valve design", KSME 01F29B, pp.921-927, 2001.
- [2] Y. S. Park, D. S. Choi, J. H. Lee, P. W. Shin, S. Y. Park, "Performance Development of 400cc Small Engine Intake Port," KAIS, Vol.13, No.3, pp.977-985, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/kais.2012.13.3.977>

- [3] C. H. Kim, S. Y. Park, "Development of Intake Port for Range Extender Engine Using CFD Simulation," KAIS Vol. 14, No. 6, pp.2575-2580, 2013.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/kais.2013.14.6.2575>
- [4] C. H. Kim, S. Y. Park, "Performance Development of Coolant Core for Range Extender Engine Using CFD Simulation," KAIS Vol. 14, No. 5, pp.2075-2080, 2013.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/kais.2013.14.5.2075>
- [5] S. Y. Park, "Performance Development of the 400cc EFI Small Engine," KAIS, Vol.12, No.4, pp.1547-1551, 2011.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/kais.2011.12.4.1547>
- [6] D. Y. Kwak, "Labview 8.6," Ohm, 2008.
- [7] AVL, "AVL 442 Blow By Meter," 1996.

박 성 영(Sung-Young Park)

[종신회원]



- 1993년 2월 : 충남대학교 기계공학과 (공학사)
- 1995년 2월 : 충남대학교 기계공학과 (공학석사)
- 2002년 5월 : Texas A&M Univ., 기계공학과 (공학박사)
- 2006년 4월 ~ 현재 : 공주대학교, 기계자동차공학부, 부교수

<관심분야>

열유체 해석, 내연기관 성능개발

김 창 수(Chang-Su Kim)

[준회원]



- 2009년 2월 : 공주대학교 기계자동차공학부 (공학사)
- 2011년 2월 : 공주대학교 기계공학과 (공학석사)
- 2011년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 기계공학과 박사과정

<관심분야>

열유체 해석, 재생에너지, 내연기관 성능개발

안 호 상(Ho-Sang Ahn)

[정회원]



- 1993년 2월 : 인하대학교 기계공학과 (공학사)
- 1993년 1월 ~ 2003년 1월 : 현대자동차 가솔린엔진 설계팀
- 2008년 8월 ~ 현재 : 주)엘이엔티 기술개발팀 부장

<관심분야>

내연기관 설계 및 성능개발