

< 기술논문 >

대향류식 배기열 회수장치의 가솔린기관 적용 특성에 관한 연구

신 석 재<sup>1)</sup> · 김 종 일<sup>2)</sup> · 정 영 철<sup>3)</sup> · 최 두 석<sup>\*3)</sup>

공주대학교 대학원 기계공학과<sup>1)</sup> · 디젠스(주) 기술연구소<sup>2)</sup> · 공주대학교 기계자동차공학부<sup>3)</sup>

Study on the Apply Characteristics to the Gasoline Engine of Exhaust Heat Recovery Device Counterflow

Suk-Jae Shin<sup>1)</sup> · Jong-Il Kim<sup>2)</sup> · Young-Chul Jung<sup>3)</sup> · Doo Seuk Choi<sup>\*3)</sup>

<sup>1)</sup>Department of Mechanical Engineering, Graduate School, Kongju National University, Chungnam 330-717, Korea

<sup>2)</sup>Dgenx Co. Ltd R&D Center, 288-7 Yeonamyulgeum-ro, Eumbong-myeon, Asan-si, Chungnam 336-864, Korea

<sup>3)</sup>Division of Mechanical & Automotive Engineering, Kongju National University, Chungnam 330-717, Korea

(Received 26 November 2012 / Revised 23 December 2012 / Accepted 24 January 2013)

**Abstract** : The purpose of this study is to investigate the performance characteristics of the counterflow exhaust heat recovery device for the applied gasoline engines. The EHRS device is installed behind the catalyst. This study investigates the engine warm-up characteristic, the exhaust noise characteristic, the back-pressure characteristic. The engine warm-up characteristics is (load 0%, load 10%, load 20%) in (idle, 1000rpm, 1500rpm, 2000rpm, 2500rpm) conditions by measuring the time it warmed up, coolant temperature (25°C~80°C) until the performance evaluation is performed. The wide open throttle and the coast down the exhaust noise and the back-pressure characteristic experiment repeated twice. The test conditions is 950rpm~6,050rpm proceed experiment repeated 3-5 times. Load 0% idle conditions except the results improved engine warm-up characteristics. The exhaust noise obtain similar results the BASE+EHRS W/O\_FRT\_MUFF with BASE and back-pressure to obtain similar results BASE+EHRS W/O\_FRT\_MUFF with BASE+EHRS.

**Key words** : Exhaust heat recovery device(배기열 회수장치), Fast warm-up(빠른 워업), Heat exchanger(열교환기), Exhaust gas(배기가스), Counterflow(대향류식)

Subscripts

BASE : base system

EHRS : exhaust heat recovery system

WOT : wide open throttle

1. 서 론

최근 들어 지구 온난화에 의한 환경문제가 심각하게 대두됨에 따라 자동차 기술은 성능 향상 및 연비 저감과 함께 배기가스 규제를 만족하는 방향으로

로 개발이 요구되고 있다. 그러나 자동차 기관 및 부품의 성능 최적화는 이미 한계에 도달해 있으며, 이에 대응하기 위하여 선진 자동차 업체에서는 차량 전체 에너지의 30% 이상이 배기열을 통하여 손실된다는 점을 이용하여 배기가스로 버려지는 폐열을 회수하고 이를 기계적 전기적 에너지로 전환 재생하여 동력으로 재활용함으로써 에너지 효율을 극대화하는 폐열 회수시스템에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다.<sup>1-3)</sup>

엔진으로부터 배기열을 회수하는 가장 효과적인 방법은 배출되는 고온의 열을 그대로 열의 형태로

\*Corresponding author, E-mail: dschoi@kongju.ac.kr

재사용하는 것이다. 최근 하이브리드 차량에 배기 시스템에 열교환기를 장착하여 배기가스의 열을 회수하여 한냉 시, 자동차의 실용연비를 향상시키는데 사용하고 있는 경우가 있으며, 이 기술은 열교환을 통해 열에너지를 열에너지의 상태로 재사용하는 방법 중의 하나이다.<sup>4,5)</sup>

배기열 회수장치는 시동 초기에 연소과정에서 발생하는 높은 온도의 배기가스와 저온의 냉각수 사이의 열교환을 통하여 열에너지를 회수하는 시스템으로서 이때 가열된 냉각수가 기관오일의 온도를 상승시켜 기관 내부의 마찰 저감과 연비향상의 효과를 갖는다. 또한 한 단계 더 발전하여 현재는 냉각수 뿐만 아니라 냉간시 변속기 오일까지 상승시키는 연구가 진행되고 있다.<sup>6,7)</sup>

그러므로 본 연구에서는 대항류 방식의 배기열 회수장치를 가솔린 기관의 배기관에 설치하고 냉각수를 순환시켰을 경우 냉각수의 온도상승, 배기소음과 배압의 변화를 실험하여 배기열 회수장치 적용시 기관의 특성을 파악하고자 한다.

## 2. 실험 장치 및 방법

### 2.1 실험 장치

배기열 회수장치는 기관의 설계 변경이 없이 적용이 가능해야 하며, 이를 위하여 냉각수가 배기열을 회수하는 열교환부와 배기가스 유동을 제어하는 배기유동 제어부로 구분하여 설계한다. 열교환부는 배기가스의 열을 회수하는 역할을 하며, 배기유동 제어부는 기관 냉각수의 워업이 완료된 후에 배기열을 지속적으로 회수할 경우 냉각부하가 커지기 때문에 워업 전과 후의 배기가스 유동을 제어하는 기능을 한다. 배기열 회수장치는 열교환부와 배기유동 제어부 구조에 따라 다양한 형상을 갖는다.<sup>7)</sup>

Fig. 1(a)는 일체형으로 기존의 배기관 내부에 열교환기부와 배기유동 제어부를 두어 내부적으로 배기가스의 바이패스 유로를 두는 구조이며, 제작비용이 저렴하고, 배기가스와 냉각수 유로 변경이 간편하여 공간 활용도가 높다. 반면에 Fig. 1(b)는 분리형으로 배기가스 유로를 열교환기 유로와 배기유동 제어부를 구분하는 구조이며, 효율이 높지만 제작비용이 높은 단점이 있다. 따라서 본 실험에서는 일

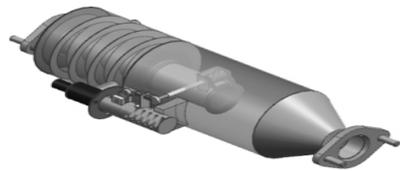


(a) All-in-one models



(b) Separate models

Fig. 1 Exhaust heat recovery device



(a) Design drawings



(b) Product photos

Fig. 2 Exhaust heat recovery device

체형 열교환기를 기본으로 하여 장치를 제작하였다.

Fig. 2(a)는 본 실험에 사용된 배기열 회수장치의 도면이며, 내부는 배기가스 유동부와 냉각수 유동부가 원통을 따라 대항류로 회전하도록 설계되었다. 열교환 장치 내부의 배기가스 통로 후단에는 가변 밸브를 설치하여 배기가스를 가스 유동부로 유도하여 냉각수와의 열교환이 가능하도록 하였고, 열교환이 진행된 후에는 기관 배기가스의 배출 성능을 유지하면서 소음감쇄 효과를 극대화하기 위하여 왁스형 서머스텝 방식의 제어밸브를 적용하였다. Fig. 2(b)는 실험에 사용한 배기열 회수장치의 외형을 나타낸 것이다.

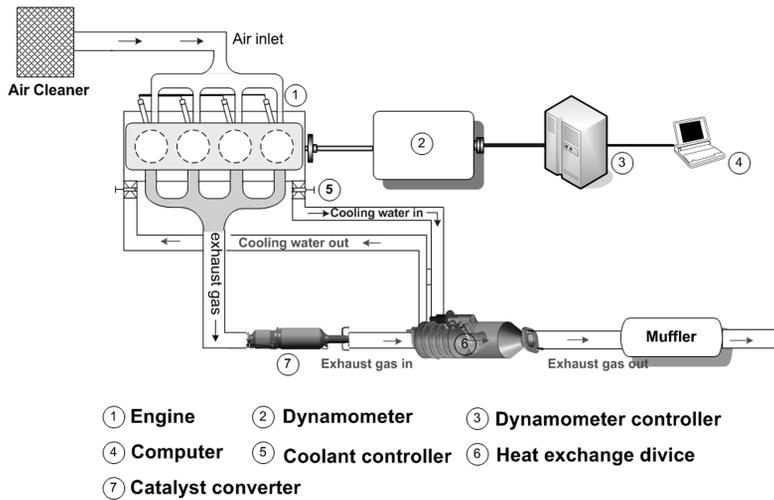


Fig. 3 Experimental setup

Table 1 Specifications of test engine

Items	Specification
Engine type	4-stroke
Total displacement (cc)	1,598
Max. torque (kg·m/rpm)	15.5/4,200
Max. power (ps/rpm)	114/6,400
Valve system	16-Valve DOHC

배기열 회수장치의 기관적용 성능실험을 하기 위하여 기관 동력계는 AVL사 APA240(EC-240KW)을 사용하였고, 기관은 Table 1과 같은 제원을 가진 1,600cc 가솔린기관을 사용하였다.

또한 기관의 빠른 워업에 대한 성능을 알아보기 위하여 Fig. 3과 같이 실험 장치를 구성하였으며, 배기열 회수장치를 축매컨버터 후단에 설치하였고, 히터코어 라인에 냉각수의 입·출구를 배기열 회수장치와 연결하여 냉각수를 순환시켰다. 배기열 회수장치로 들어갔다 나오는 냉각수의 온도와 압력을 알아보기 위해 냉각수 통로에 각각 온도센서와 압력센서를 장착하였다.

## 2.2 실험 방법

기관의 워업 성능은 기본 배기시스템(이하 "BASE"로 표시)과 기본 배기시스템에 배기열 회수장치를 장착한 경우(이하 "BASE+EHRs"로 표시)에 대한 비교 실험을 하였으며, 배기 소음과 배압의 평가는 BASE, BASE+EHRs, 기본 배기시스템에서

프런트 머플러를 제거하고 배기열 회수장치만을 장착한 경우(이하 "EHRS W/O\_FRT\_MUFF"로 표시)에 대한 비교 실험을 하였다.

실험에 사용된 냉각수는 열적 안정성, 시스템 내 구성과 작동 범위 선택에 유리한 순수한 물을 사용하였으며, 냉각수 온도와 기관오일 온도는 20°C까지 충분한 시간을 냉각 후 다음 실험을 진행 하였다. 배기열 회수장치의 성능평가 데이터는 냉각수 25°C에서 80°C까지 승온되는 시간을 측정하였으며, 실험 범위로는 Load 0%에서 Idle, 1000rpm, 1500rpm, 2000rpm, 2500rpm으로 실험을 진행하였으며, Load 10%와 Load 20%에서는 1000rpm, 1500rpm, 2000rpm, 2500rpm으로 실험을 진행하였다. 실험조건 중 Idle은 시동만 걸어 놓은 상태를 의미하며 약 800rpm이다.

배기 소음 및 배압 성능평가는 G사 시험법을 따라 우선 기관의 워업과 냉각수의 워업을 위해 1500rpm에서 냉각수가 80°C~90°C가 될 때까지 워밍업을 해준 뒤 배기가스의 온도를 올리기 위해 WOT 상태에서 1000rpm~6000rpm 1회 6000rpm~4000rpm 기관 관성에 따라 차츰 감소하게 1회 coast down 시킨다. 4000rpm에서 Full load로 1분간 유지 후 WOT 4000rpm~6000rpm 1회 6000rpm~950rpm 1회 coast down 시켜 배기가스 온도를 상승시킨다. 그 뒤 950rpm~6050rpm까지 기관 회전수를 상승시키며, 3~5회 반복 측정으로 실험을 진행 하였다.

### 3. 실험 결과 및 고찰

#### 3.1 기관 빠른 워업 성능 특성

Fig. 4는 Load 0%에서 기관의 회전수가 Idle, 1000rpm, 1500rpm, 2000rpm, 2500rpm 조건에서 냉각수가 25°C에서 80°C까지 승온되는 시간을 나타낸 그래프이다.

Idle의 경우 기관의 회전수가 낮아 냉각수의 흐름이 느리고 배기열이 높지 않아 BASE와 BASE+EHRs 모두 비슷한 워업 시간이 걸리는 것을 확인할 수 있었다. 하지만 기관의 회전수를 높였을 경우 BASE보다 BASE+EHRs인 경우가 워업 시간이 단축됨을 확인할 수 있었다. 이는 배기열 회수장치에 의해 냉각수로 열교환이 활발히 일어났기 때문이라고 판단된다.

또한 구체적으로는 1000rpm에서는 BASE 대비 BASE+EHRs는 약15%, 1500rpm에서는 BASE 대비 BASE+EHRs는 약13%, 2000rpm에서는 BASE 대비 BASE+EHRs는 약13%, 2500rpm에서는 BASE 대비 BASE+EHRs는 약13%의 워업 성능 향상을 확인하였고, 1000rpm에서 80°C까지 워업되는 시간 폭이 가장 큰 것을 확인할 수 있었으며, 그 뒤로 점점 워업 시간 폭이 적어지는 것을 확인할 수 있다. 이는 1000rpm에서 배기가스 온도가 낮지 않고 냉각수의 흐름도 너무 빠르지 않아 가장 많은 열교환이 일어난 것으로 판단된다. 그 이후 워업 시간 폭이 적어지는 것은 배기가스 온도는 높으나 냉각수의 흐름이 빨라 열교환 효율이 떨어진 것으로 판단된다.

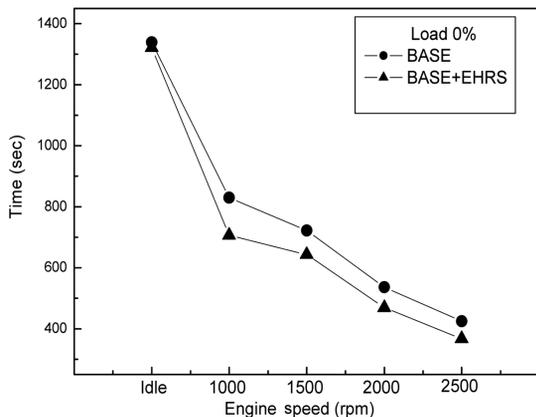


Fig. 4 Coolant characteristics from load 0% by engine speed

EHRs가 차량에 장착될 경우 초기 시동시 기관의 회전수를 높여 제어한다면 빠른 시간 내에 기관 워업이 되어 연비 및 배출가스 저감에도 큰 도움이 될 것으로 판단된다.

Fig. 5는 Load 10%에서 기관의 회전수 1000rpm, 1500rpm, 2000rpm, 2500rpm 조건에서 냉각수가 25°C에서 80°C까지 승온되는 시간을 나타낸 그래프이다.

기관의 회전수 전영역에서 Load 0%에서와 같이 BASE보다 BASE+EHRs인 경우가 워업 시간이 단축됨을 확인할 수 있었다. 이는 배기열 회수장치에 의해 냉각수로 열교환이 활발히 일어났기 때문이라고 판단된다.

또한 구체적으로는 1000rpm에서는 BASE 대비 BASE+EHRs는 약18%, 1500rpm에서는 BASE 대비 BASE+EHRs는 약17%, 2000rpm에서는 BASE 대비 BASE+EHRs는 약17%, 2500rpm에서는 BASE 대비 BASE+EHRs는 약17%의 워업 성능 향상을 확인하였고, Load 10%에서도 또한 1000rpm에서는 80°C까지 워업되는 시간차가 많이 나다가 그 이후 기관 회전수에서는 점점 차이가 줄어드는 것을 확인할 수 있었다. 이는 Load 0%와 마찬가지로 1000rpm에서 배기가스 온도가 낮지 않고 냉각수의 흐름도 너무 빠르지 않아 가장 많은 열교환이 일어난 것으로 판단된다. 그 이후 워업 시간 폭이 적어지는 이유는 배기가스 온도는 높으나 냉각수의 흐름이 빨라 열교환 효율이 떨어진 것으로 판단된다.

Fig. 6은 Load 20%에서 기관의 회전수 1000rpm, 1500rpm, 2000rpm, 2500rpm 조건에서 냉각수가 25°C에서 80°C까지 승온되는 시간을 나타낸 그래프이다.

기관의 회전수 전영역에서 Load 0%에서와 같이 BASE보다 BASE+EHRs인 경우가 워업 시간이 단축됨을 확인할 수 있었다. 이는 배기열 회수장치에 의해 냉각수로 열교환이 활발히 일어났기 때문이라고 판단된다.

또한 구체적으로는 1000rpm에서는 BASE 대비 BASE+EHRs는 약26%, 1500rpm에서는 BASE 대비 BASE+EHRs는 약22%, 2000rpm에서는 BASE 대비 BASE+EHRs는 약21%, 2500rpm에서는 BASE 대비 BASE+EHRs는 약20%의 워업 성능 향상을 확인하였고, Load 20% 또한 1000rpm에서 80°C까지 워업

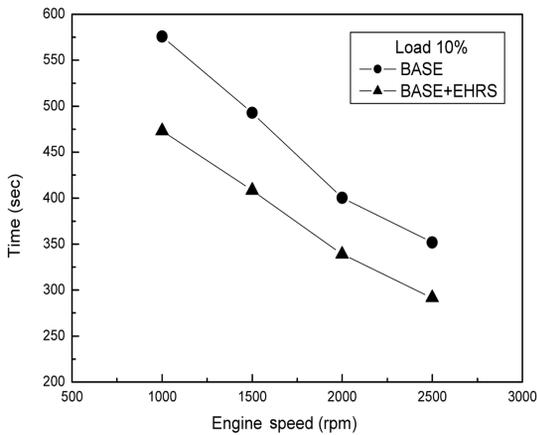


Fig. 5 Coolant characteristics from load 10% by engine speed

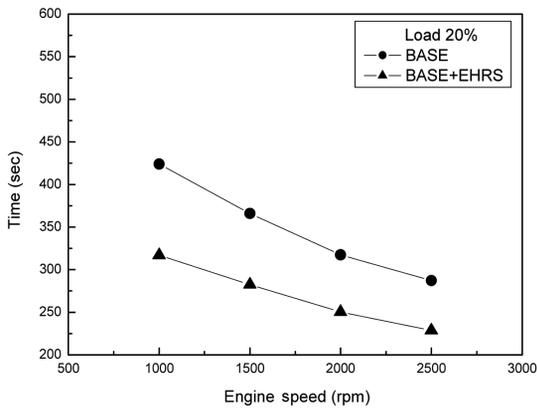


Fig. 6 Coolant characteristics from load 20% by engine speed

되는 시간차가 가장 많이 났으며, 그 이유는 Load 10% 때와 같은 것으로 판단된다.

### 3.2 배기 소음 특성

Fig. 7은 기관의 회전수별 Orifice 노이즈 레벨 성능을 평가한 그래프이다. 실험 결과 기관의 회전수 전영역에서 BASE+EHR일 때 소음 성능이 가장 뛰어 났으며, BASE+EHR W/O\_FRT\_MUFF일 때와 BASE일 때의 소음 성능은 비슷한 결과를 얻을 수 있었다. 이는 배기열 회수장치의 열교환 부분 이후의 공간이 소음 감쇠에 도움을 주며, 배기열 회수장치 내부에 있는 밸브의 역할로 인해 소음이 감쇠하는 것으로 판단된다.

그러므로 BASE에서 프론트 머플러를 제거하고 배기열 회수장치만을 장착해도 배기소음이 같게 되

므로 배기시스템에 원가절감 효과를 달성할 수 있다고 판단된다.

### 3.3 배압 특성

Fig. 8은 기관의 회전수별 배압 성능을 평가한 그래프이다. 실험 결과 기관의 회전수 전영역에서 BASE일 때 가장 배압이 낮았으며, BASE+EHR일 때는 BASE+EHR W/O\_FRT\_MUFF일 때와 배압이 비슷한 것을 확인할 수 있었다.

EHR를 장착했을 때 BASE보다 배압이 높아지는 이유는 EHR 내부에 있는 가변 밸브의 스프링 장력에 의하여 밸브가 100%열리지 않기 때문에 배압이 높아지는 것으로 판단된다. 또한 배압이 높아짐에 따라 기관의 출력을 확인해 본 결과 큰 변화가

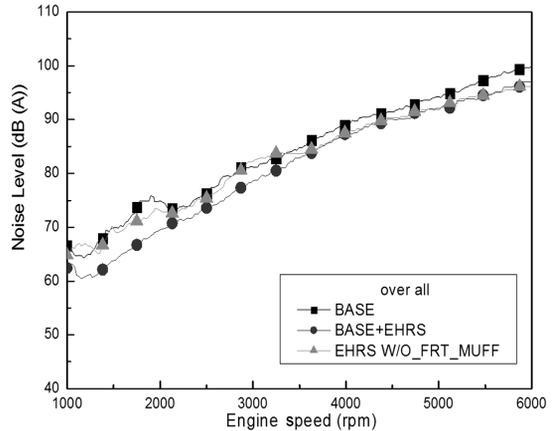


Fig. 7 Engine revolutions per minute of orifice Noise Characteristic

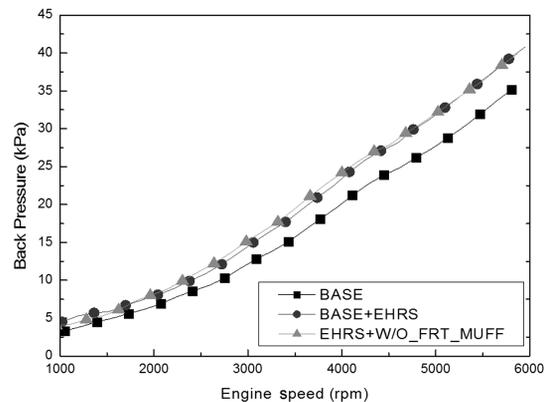


Fig. 8 Engine revolutions per minute of Back-pressure characteristics

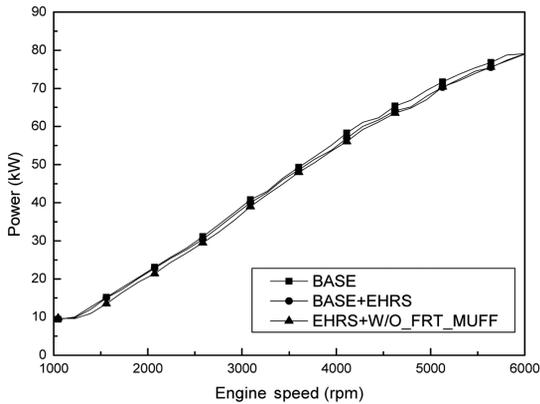


Fig. 9 Engine revolutions per minute of power characteristics

없는 것으로 확인되었으며, 기관회전수에 따른 엔진 출력 특성 그래프는 Fig. 9와 같다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 1.6L급 가솔린 기관에 배기열 회수장치를 적용하여 기관의 워업 성능, 배기 소음 및 배압 특성을 실험하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 기존 시스템 BASE에 배기열 회수장치를 장착할 경우 Load 0% Idle 의 경우에 배기열이 낮고 기관의 회전수가 적어 큰 효과가 없었지만, 그 이후 범위에서는 BASE 대비 BASE+EHRs를 적용하였을 경우 기관의 워업 성능이 우수한 것을 확인할 수 있었다.
- 2) 배기 소음 특성을 평가한 결과 BASE+EHRs W/O\_FRT\_MUFF 경우 BASE와 비슷한 소음 결과를 얻을 수 있었으므로 배기열 회수장치를 장착하면 배기시스템의 원가절감이 가능하다는 것을 확인하였다.
- 3) 배압 특성을 평가한 결과 BASE일 때 배압은 가장 낮았으며, BASE+EHRs W/O\_FRT\_MUFF의 경우 BASE+EHRs와 비슷한 배압 결과를 얻을 수 있었다.

#### 후 기

본 연구는 2011년 지식경제부 지역산업기술개발 사업비에 의한 것입니다.

#### References

- 1) R. Stobart and R. Weerasinghe, "Heat Recovery and Bottoming Cycles for SI and CI Engines - A Perspective," SAE 2006-01-0662, 2006.
- 2) T. Endo, S. Kawajiri, Y. Kojima, K. Takahashi, T. Bada, S. Ibaraki, T. Takahashi and M. Shinohara, "Study on Maximizing Energy in Automotive Engines," SAE 2007-01-0257, 2007.
- 3) H. C. Suh, K. J. Kim, S. W. Jang and K. S. Park, "Study on the Warming-up Performance of the Engine with Exhaust Heat Recovery System," KSAE Annual Conference Proceedings, pp.713-720, 2010.
- 4) D. A. Arias, T. A. Shedd and R. K. Jester, "Theoretical Analysis of Waste Heat Recovery from an Internal Combustion Engine in a Hybrid Vehicle," SAE 2006-01-1605, 2006.
- 5) N. Kawamoto, K. Naiko, T. Kawai, T. Shikida and M. Tomatsuri, "Development of New 1.8-liter Engine for Hybrid Vehicle," SAE 2009-01-1061, 2009.
- 6) Y. D. Choung, H. S. Heo, K. C. Oh, D. H. Lee, H. K. Lee, S. J. Bae, H. C. Suh and K. S. Park, "An Experimental Study on the Exhaust Heat Recovery Device for the Engine Fast Warm-up," KSAE Spring Conference Proceedings, pp.265-270, 2010.
- 7) Y. J. Hong, D. S. Choi and J. I. Kim, "Study on the Performance Characteristics and Heat Flow Analysis of Exhaust Heat Recovery Device in Automobile," Transactions of KSAE, Vol.20, No.2, pp.78-84, 2012.