

<기술논문>

자동차용 배기열 회수 장치의 성능 특성에 관한 연구

홍 영 준¹⁾ · 최 두 석²⁾ · 김 종 일³⁾

공주대학교 대학원 기계공학과¹⁾ · 공주대학교 기계자동차공학부²⁾ · 동원테크 기술연구소³⁾

Study on the Performance Characteristics of Exhaust Heat Recovery Device in Automobile

Young-Jun Hong¹⁾ · Doo seuk Choi^{*2)} · Jong-Il Kim³⁾

¹⁾Department of Mechanical Engineering, Kongju National University, Chungnam 330-717, Korea

²⁾Division of Mechanical & Automative Engineering, Kongju National University, Chungnam 330-717, Korea

³⁾R&D Center, Dongwon Tech Co. Ltd., 12-6 Sodong-ri, Eumbong-myeon, Asan-si, Chungnam 330-860, Korea

(Received 21 June 2011 / Revised 26 August 2011 / Accepted 4 September 2011)

Abstract : The purpose of this study is to investigate the performance characteristics of new exhaust heat recovery device for the engine's fast warm-up. In this study, two different interior area designed for prototyping and on the exhaust heat recovery device to evaluate the performance compare the performance characteristics were chosen a better product. A company's product and selected prototype-2 were evaluated and compared the performance. This experiment was conducted under the same conditions. The time from starting to warm-up of engine was measured. As a result, the performance characteristics of the prototype-2 was not higher than that of the A company's product. However, in comparison with base system, prototype-2 of the exhaust heat recovery device discover that the warm-up time was shortened.

Key words : Exhaust heat recovery device(배기열 회수 장치), Fast warm-up(빠른 워업), Heat exchanger(열교환기), Exhaust gas(배기가스), Waste heat recovery(폐열 회수)

Nomenclature

A : area, m²
D : diameter, mm
T : temperature, °C

Subscripts

in : inlet
out : outlet
cool : coolant
exh : exhaust gas

1. 서론

지구 온난화에 의해 전 세계적으로 CO₂ 배출 및 연비 규제가 강화되는 추세이다. 국내에서도 연비 기준을 해외 수준 이상으로 강화하고 2015년까지 17.0km/ℓ의 연비 달성을 목표로 그린카 개발에 대한 많은 노력을 기울이고 있는 실정이다.

지금까지의 자동차 연비 향상 기술은 대부분 연소과정과 동력전달과정을 개선하여 효율을 향상시키는 것이었으나 연비를 크게 향상시키기는 어려운 상황이며, 추가적으로 배기가스로 손실되는 열량을 이용한 장치들이 활발하게 개발이 진행 중이다.

자동차 기관에 따라 약간의 차이는 있지만 사용

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

되는 연료의 열에너지 100% 중 자동차에 사용되는 내연기관의 열효율은 40%를 넘지 못하고 배기가스로 대기 중으로 배출되는 열에너지는 약 30%가 버려지는 실정이다.¹⁾

배기열 회수 장치는 버려지는 배기열을 사용하여 엔진의 워밍업에 사용되는 장치이다. 또한, 배기 에너지를 회수하는 가장 효과적인 방법은 배출되는 고온의 열을 그대로 재사용하는 것이다. 배기열 회수 장치는 초기 시동 시 배기가스를 이용하여 냉각수를 가열함으로써 엔진의 예열시간을 단축하여 연비 향상 및 배기가스 저감의 효과를 얻을 수 있다.

자동차에서 배출되는 오염 물질은 엔진이 워밍업 되기 전인 아이들링시에 많이 배출되는데 워밍업 시간 단축으로 배출되는 오염물질을 저감할 수 있으며, 또한 가열된 냉각수는 엔진 오일 및 변속기 오일의 온도를 빠르게 상승시켜 엔진 내부 및 변속기 내부의 마찰을 저감시켜 주고, 겨울철 빠른 실내 난방의 효과를 갖는다.¹⁻³⁾

따라서 본 연구에서는 가솔린기관에 적용할 배기열 회수 장치의 시제품 성능평가를 위해 평가 장치를 구성하고, 작동조건에 따른 시제품의 성능을 평가한 후 성능이 우수한 시제품과 A사 제품의 성능 비교 평가를 통하여 배기열 회수 장 장치의 향후 개선사항을 제안하고자 한다.

2. 실험 장치 및 방법

2.1 실험 장치

본 연구에서는 엔진의 빠른 워밍업에 대한 성능을 알아보하고자 Fig. 1과 같이 실험 장치를 구성하였다.

배기열 회수 장치를 촉매 컨버터 후단에 설치하였고, 냉각수의 온도 및 유량을 제어하기 위해 냉각수 공급 장치를 사용 하였다. 배기열 회수 장치로 공급되는 배기가스 입구와 출구에 각각 온도센서와 압력센서를 장착하였으며, 배기열 회수 장치로 공급되는 냉각수 입구와 출구에도 온도센서와 압력센서를 장착하여 실험을 하였다.

배기열 회수 장치의 성능 특성 실험에 사용된 기관은 G사 1,600cc 가솔린 기관으로서 주요제원은 Table 1과 같다. 또한 사용된 엔진 동력계는 AVL사에서 제작한 것이며, Photo 1은 배기열 회수 장치 성

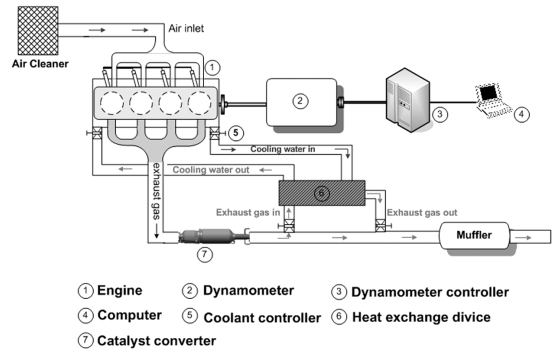


Fig. 1 Experimental setup

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



Photo 1 Mounting of exhaust heat recovery device

능 평가를 위하여 시제품을 엔진 동력계에 부착한 사진을 나타낸 것이다.

Photo 2는 배기열 회수 장치의 시험평가를 위하여 제작한 시제품-1과 시제품-2와 일본 A사 제품 사진이며, 기존 엔진에 크게 변화를 주지 않고 배기 시스템에 적용하여 성능 평가를 하였다.

Fig. 2는 시제품-1과 시제품-2와 A사 제품의 개략도를 나타낸 것으로, 시제품-1은 배기열 회수 장치의 냉각수 유로 형상과 배기가스와 냉각수의 접촉 면적에 따라 배기열 회수 장치 성능에 영향을 미치는지 파악하기 위해 설계, 제작 하였으며, 시제품-2

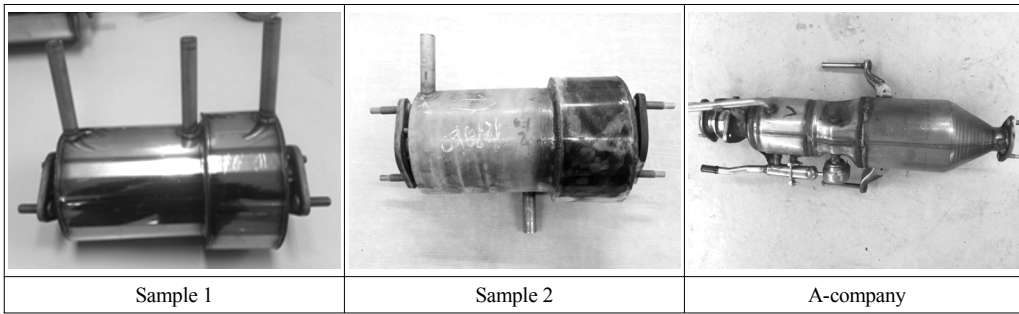


Photo 2 Sample of exhaust heat recovery device

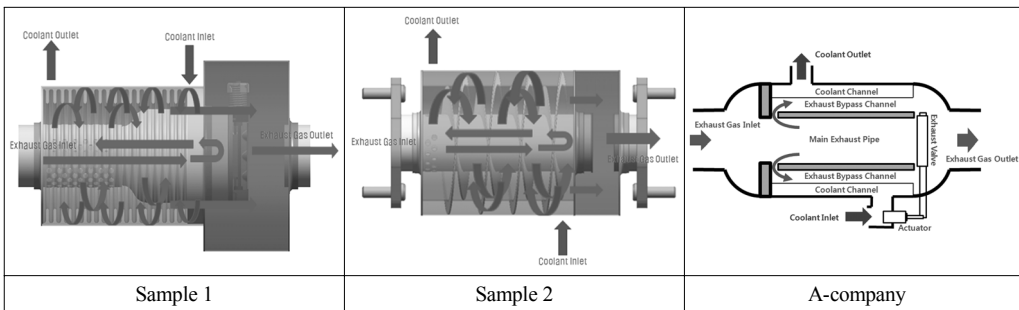


Fig. 2 Exhaust heat recovery device model

는 시제품-1보다 배기가스와 냉각수 열교환 효율을 높이기 위해 배기가스 유로와 냉각수 유로를 독립적으로 설계, 제작한 시제품이다. 또한, 배기가스를 사용하여 배압이 높아지면 배기가스 제어밸브가 열려 배압을 조절할 수 있게 장치를 구성하였다.

2.2 실험 방법

본 실험의 첫 번째는 기존의 배기 시스템(Base)과 본 연구를 위하여 설계, 제작한 시제품(배기열 회수 장치)를 부착한 경우에 성능을 비교하기 위해 수행하였다. 첫 번째 실험에서는 배기가스 압력에 의해 작동하는 배기가스 제어밸브는 배기열 회수 장치의 성능을 비교하는 변수로 작용할 수 있으므로 밸브를 막고 실험을 진행 하였다. 실험 조건은 부하 0% 조건, 부하 10% 조건에서 각각 1,000rpm 및 1,500 rpm, 2,000rpm, 2,500rpm에서 엔진 작동 후 배기열 회수 장치에서 유입된 냉각수가 20°C에서 80°C까지 도달하는데 걸리는 시간을 측정하여 Base, 시제품-1, 시제품-2의 성능 특성을 비교 분석하였다.

두 번째 실험에서는 첫 번째 실험을 통하여 성능

이 우수하다고 판정된 시제품-2와 시중에 시판중인 A사 제품에 대하여 성능을 비교하기 위해 수행하였다. 두 번째 실험에서는 2개의 제품에 대한 성능을 평가하기 위해 배기가스 제어밸브는 막지 않고 실험을 진행 하였다. 실험 조건은 첫 번째 실험에서와 같이 부하 0% 조건, 부하 10% 조건에서 각각 1,000rpm 및 1,500rpm, 2,000rpm, 2,500rpm에서 엔진 작동 후 배기열 회수 장치에서 유입된 냉각수가 20°C에서 80°C까지 도달하는데 걸리는 시간을 측정하여 시제품-2와 A사 제품의 성능 특성을 비교 분석하였다.

실험에서 배기가스 제어밸브는 배기가스 메인 유로를 차단하여 배기가스와 냉각수 사이에 열교환이 이루어지게 하며, 일정한 온도로 열교환이 일어난 후 배기가스 메인 유로를 열어 열교환이 없이 배기가스가 외부로 방출하게 하였다.

세 번째 실험은 배압을 측정하기 위하여 수행하였으며, 기존의 배기 시스템(Base), 시제품-1, 시제품-2 및 A사 제품에 대하여 기관 회전수를 1,000rpm에서 500rpm씩 증가시켜 6,000rpm까지 배압을 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 배기가스 온도 특성

Fig. 3은 부하 0%와 부하 10%에서 기관 회전수에 따라 배기열 회수 장치의 입구로 유입되는 배기가스 온도를 분석한 것이다. 부하 0%-1,000rpm의 경우 엔진에서 배출되는 배기가스 온도가 400초 구간에서 150°C로 확인되었고, 엔진 회전수가 상승함에 따라 배기가스 온도가 증가하여 부하 0%-2,500rpm에서는 450°C까지 상승하는 것을 확인할 수 있었다.

엔진의 부하를 상승시켜 부하 10% 조건으로 실험하였을 경우 부하 0% 보다 배기가스 온도가 짧은 시간에 높이 상승하는 것을 확인할 수 있었다.⁴⁾

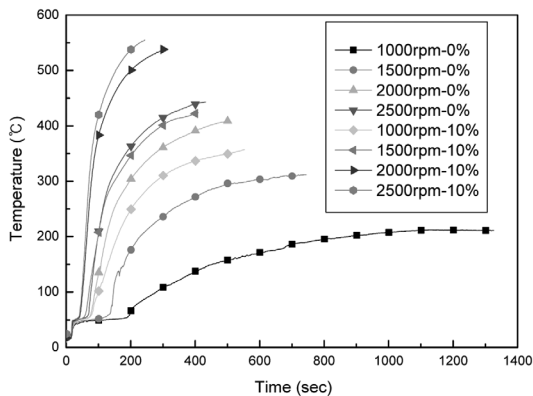


Fig. 3 Exhaust gas temperature on base load-0% condition

3.2 냉각수 온도 특성

Fig. 4는 부하 0%-1,000rpm 조건에서 냉각수 온도가 80°C 도달 시간을 나타낸 그래프이다. 시간에 따른 온도 상승률의 차이가 미미하게 나타나고 있는데 이는 엔진이 작동이 된 후 1,000rpm 상태에서는 배기가스 온도가 배기열 회수 장치와의 열교환을 발생시키기엔 충분한 열을 보유하지 못하였고, 또한 촉매에서 열을 흡수하기 때문으로 판단된다.

Fig. 5는 부하 0%-1,500rpm 조건에서 냉각수 온도가 80°C 도달 시간을 나타낸 그래프이다. base는 738초가 소요되었으며, 시제품-1은 558초가 소요되었고, 시제품-2는 534초가 소요되었다. 시제품-2의 도달 시간이 가장 짧은 것을 알 수 있다.

Fig. 6은 부하 0%-2,000rpm 조건에서 냉각수 온도가 80°C 도달 시간을 나타낸 그래프이다. base는 495

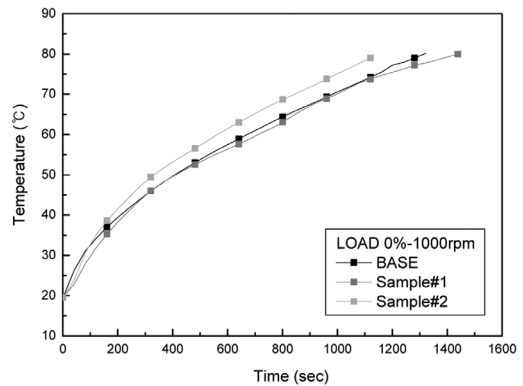


Fig. 4 Coolant on 1,000rpm condition

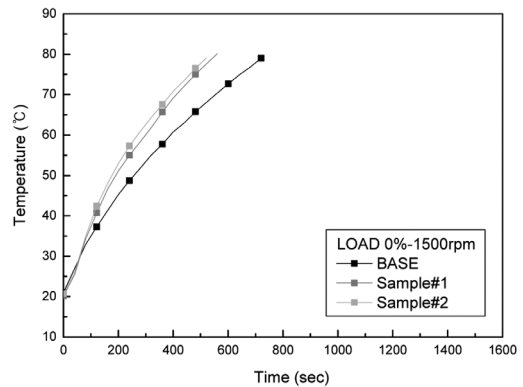


Fig. 5 Coolant on 1,500rpm condition

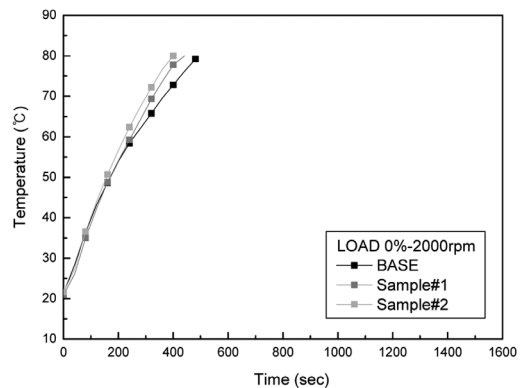


Fig. 6 Coolant on 2,000rpm condition

초, 시제품-1은 422초, 시제품-2는 395초가 소요되어 2,000rpm 조건에서도 시제품-2의 80°C 도달 시간이 가장 짧은 것을 확인 하였다.

Fig. 7은 부하 0%-2,500rpm 조건에서 냉각수 온도가 80°C 도달 시간을 나타낸 그래프이다. base는 429

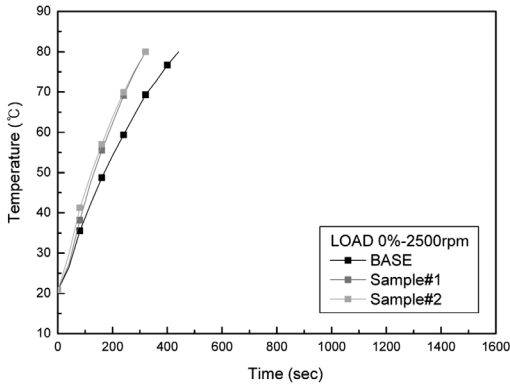


Fig. 7 Coolant on 2,500rpm condition

초, 시제품-1은 318초, 시제품-2는 315초가 소요 되었다. 2,500rpm 조건에서도 시제품-2의 도달 시간이 가장 짧은 것을 확인 하였다.

그러므로 엔진 부하 조건 0%에서는 엔진 회전수가 상승할수록 냉각수 온도 상승시간이 단축 되는 것을 확인할 수 있었다.

Fig. 8은 부하 10%-1,000rpm 조건에서 냉각수 온도가 80°C 도달 시간을 나타낸 그래프이다. base는 549초가 소요 되었으며, 시제품-1은 400초가 소요 되었고 시제품-2는 345초가 소요 되었다. 시제품-2의 도달 시간이 가장 짧다는 것을 확인하였다.

Fig. 9는 부하 10%-1,500rpm 조건에서 냉각수 온도가 80°C 도달 시간을 나타낸 그래프이다. base는 408초가 소요 되었으며, 시제품-1은 295초, 시제품-2는 278초가 소요 되었다. 1,500rpm 조건에서도 시제품-2의 도달 시간이 가장 짧은 것을 확인 하였다.

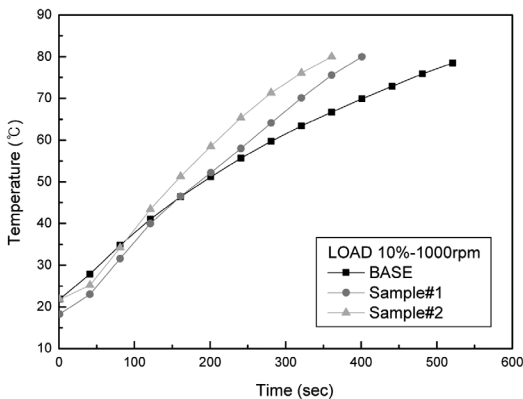


Fig. 8 Coolant on 1,000rpm load-10% condition

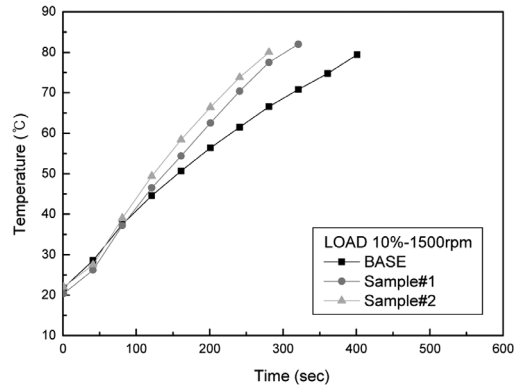


Fig. 9 Coolant on 1,500rpm load-10% condition

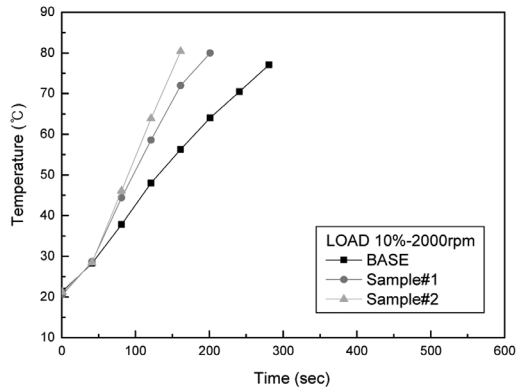


Fig. 10 Coolant on 2,000rpm load-10% condition

Fig. 10은 부하 10%-2,000rpm 조건에서 냉각수 온도가 80°C 도달 시간을 나타낸 그래프이다. base는 299초, 시제품-1은 185초, 시제품-2는 160초가 소요 되어 2,000rpm 조건에서도 시제품-2의 도달 시간이 가장 짧은 것을 확인 하였다.

Fig. 11은 부하 10%-2,500rpm조건에서 냉각수 온도가 80°C 도달 시간을 나타낸 그래프이다. base는 241초, 시제품-1은 185초, 시제품-2는 158초가 소요 되었다. 2,500rpm 조건에서도 시제품-2의 도달 시간이 가장 짧은 것을 확인하였다.

부하 0% 경우보다 부하 10% 조건에서 냉각수 온도가 빠른 시간에 80°C까지 도달하는 것을 확인할 수 있었다.

부하 0%-1,000rpm상태보다 엔진 회전수를 증가시키고 부하를 증가 시켰을 경우 냉각수 온도를 빠른 시간에 상승시켜 워엄 시간 단축에 충분한 효과가 있는 것으로 판단된다.

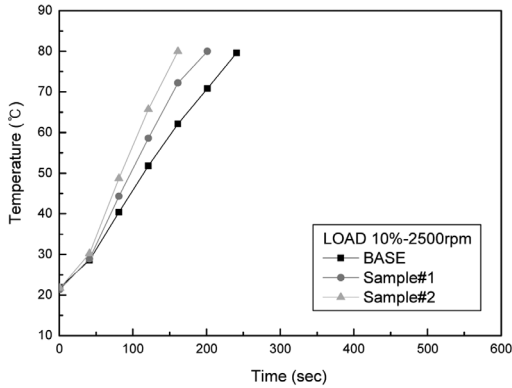


Fig. 11 Coolant on 2,500rpm load-10% condition

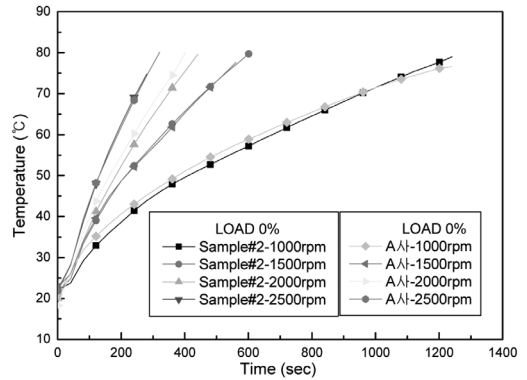


Fig. 12 Coolant temperature on sample-2 and A-company load-0% condition

3.3 배기열 회수 장치 성능 비교

Fig. 12는 시제품-2와 A사 제품의 배기열 회수 장치에 대하여 부하 0% 조건에서 냉각수 온도가 80°C 도달 시간을 나타낸 그래프이다. 1,000rpm 에서 시제품-2는 1,277초가 소요되었으며, A사제품은 1,503초가 소요되었다. 1,500rpm에서는 시제품-2는 606초가 소요되었으며, A사 제품은 593초가 소요되었다. 2,000rpm에서는 시제품-2는 445초가 소요되었으며, A사 제품은 403초가 소요되었다. 2,500rpm에서는 시제품-2는 320초가 소요되었으며, A사 제품은 240초가 소요되었다.

즉 1,000rpm 구간을 제외하고 전 구간에서 A사 제품이 시제품-2보다 빠른 시간에 냉각수를 상승시키는 것을 확인할 수 있었다. 이는 시제품-2인 경우 부하 0%-1,000rpm 구간에서는 배압으로 작동하는 배기 플랩이 닫혀 있어 배기열 회수 장치에서 열교환이 원활하게 일어나지만, 기관 회전수가 증가하면 배기 플랩이 열려 A사의 제품보다 80°C까지 도달시간이 더 많이 소요되었다. 따라서 시제품-2에 배기가스 압력을 제어하는 밸브를 보완하면 성능이 좀 더 향상될 수 있을 것으로 사료된다.⁵⁾

Fig. 13은 시제품-2와 A사 제품의 부하 10% 조건에서 냉각수 온도 80°C 도달 시간을 나타낸 그래프이다. 1,000rpm에서 시제품-2는 436초가 소요되었으며, A사 제품은 374초가 소요되었다. 1,500rpm에서는 시제품-2는 335초가 소요되었으며, A사 제품은 286초가 소요되었다. 2,000rpm에서는 시제품-2는 234초가 소요되었으며, A사 제품은 175초가 소

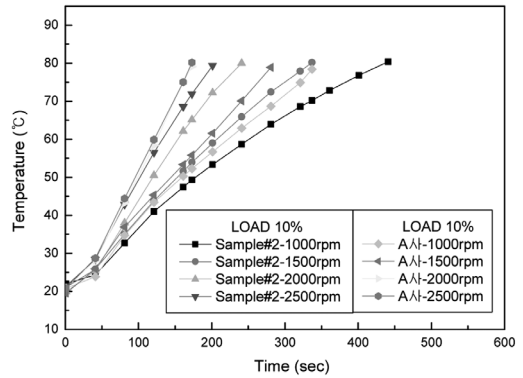


Fig. 13 Coolant temperature on sample-2 and A-company load-10% condition

요되었다. 2,500rpm에서는 시제품-2는 203초가 소요되었으며, A사 제품은 172초가 소요되었다.

즉 A사 제품이 시제품-2보다 좀 더 빠른 시간에 냉각수를 상승시키는 것을 확인할 수 있었다. 밸브 주위에 배기가스 누설이 요인으로 거론 되었으며 밸브의 리턴 스프링과 탄성계수의 검토가 요구됨을 확인하였다.

따라서 시제품-2에 배기가스 압력을 제어하는 밸브를 보완하면 성능이 좀 더 향상될 수 있을 것으로 사료된다.⁵⁾

Fig. 14는 기존 배기 시스템(Base), 시제품-1, 시제품-2 및 A사 제품에 대하여 기관 회전수에 대한 배압 결과를 나타낸 것이다. Base와 시제품-1과 A사 제품은 기존의 배기 시스템과 동등 수준이며, 시제품-2는 기존의 배기 시스템보다 배압이 조금 상승하는 경향을 확인하였다. 그러므로 차년도 연구에서

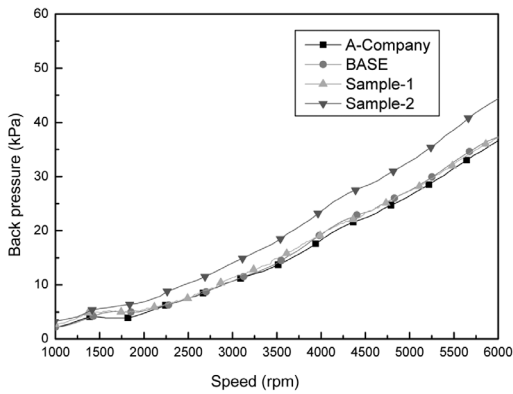


Fig. 14 Engine back pressure test result

는 배압을 조절할 수 있는 배기가스 제어밸브에 대한 연구의 진행이 필요하다고 판단한다.

4. 결론

일본 A사 제품과 비교하여 특허권 침해가 되지 않고 성능이 우수한 배기열 회수 장치를 제작하기 위한 목적으로 시제품을 설계, 제작하여 다양한 실험 조건으로 성능을 비교 분석해 본 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 엔진의 회전수가 증가하고, 부하를 증가 시킬수록 배기열 회수 장치의 냉각수 출구 온도가 점진적으로 증가하는 일반적인 경향을 확인할 수 있었다.
- 2) 시제품-1은 배기열 회수 장치 내부에 냉각수가 정체 되어 있었으나 시제품-2는 배기가스 유로와 냉각수 유로를 각각 구성하여 열교환 효율을 높였으므로 시제품-2를 장착한 배기열 회수 장치의 성능이 우수함을 알 수 있었다.
- 3) A-사 제품이 시제품-2보다 성능이 약간 우수하다는 것을 확인하였고, 시제품-2는 향후 배기가

스제어밸브를 보완할 필요가 있다는 것을 알 수 있었다.

- 4) 배기열 회수 장치를 기관에 부착시 가능하면 배기매니폴드에 근접하여 부착할수록 성능이 우수함을 알 수 있었다.

후 기

본 연구는 2010년 지식경제부 지역산업기술개발 사업비에 의한 것입니다.

References

- 1) N. Kawamoto, K. Naiki, T. Kawai, T. Shikida and M. Tomatsuri, "Development of New 1.8-Liter Engine for Hybrid Vehicles," SAE 2009-01-1061, 2009.
- 2) J. Ringler, M. Seifert, V. Guyotot and W. Hubner, "Rankine Cycle for Waste Heat Recovery of IC Engines," SAE 2009-01-0174, 2009.
- 3) T. Endo, S. Kawajiri, Y. Kojima, K. Takahashi, T. Baba, S. Lbaraki, T. Takahashi and M. Shinohara, "Study on Maximizing Exergy IN Automotive Engines," SAE 2007-01-0257, 2007.
- 4) 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," Annual Conference Proceedings, KSAE, pp.713-720, 2010.
- 5) Y. D. Jang, Y. S. Heo, K. C. Oh, D. H. Lee, K. H. K. Lee, S. J. Bea, H. C. Suh and K. S. Park "An Experimental Study on the Exhaust Heat Recovery Device for the Engine Fast Warm-up," Spring Conference Proceedings, KSAE, KSAE 10-B0045, pp.270-275, 2010.