Transactions of KSAE, Vol. 19, No. 5, pp.134-142 (2011)

Copyright © 2011 KSAE
1225-6382/2011/113-18

탄소나노콜로이드 냉각수를 사용하여 자동차 엔진성능의 향상에 관한 연구

이 중 섭[1] · 이 병 호[*2]

경상대학교 기계항공공학부[1] · 경남정보대학 자동차과[2]

A Study on the Effect of Automotive Engine Performance by Using Carbon Nano Colloid Cooling Water

Chung Seob Yi[1] • Byung Ho Lee[*2]

[1]*School of Mechanical & Aerospace Engineering, Gyeongsang National University, Gyeongnam 660-701, Korea*
[2]*Department of Automotive Engineering, Kyungnam College of Information & Technology, Busan 617-701, Korea*
(Received 7 February 2011 / Accepted 12 April 2011)

Abstract : Although combustion is essential in most energy generation processes, it is one of the major causes of air pollution. Exhaust pipes with circular fin were designed to study the effect of cooling the recirculated exhaust gases (EGR) of Diesel engines on the chemical composition of the exhaust gases and the reduction in the percentages of pollutant emissions. The gases examined in this study were oxides of nitrogen (NOx), carbon dioxide (CO_2) and carbon monoxide (CO). In addition, O_2 concentration in the exhaust was measured. The designs adopted in this study were about exhaust pipes with solid and hollow fins around them direct surface force measurement in water using a nano size colloidal probe technique. The direct force measurement between colloidal surfaces has been an essential topic in both theories and applications of surface chemistry. As particle size is decreased from micron size down to true Carbon nano Colloid size (<10 nm), surface forces are increasingly important. Nano particles at close proximity or high solids loading are expected to show a different behavior than what can be estimated from continuum and mean field theories. The current tools for directly measuring interaction forces such as a surface force apparatus or atomic force microscopy (AFM) are limited to particles much larger than nano size. This paper use Water and CNC fluid at normal cooling system of EGR. Experimental result showed all good agreement at $Re=2.54\times10^4$ by free convection and $Re=3.36\times10^4$ by forced air furnace.

Key words : CNC(탄소나노용액), EGR Cooler(EGR 가스 냉각장치), Heat exchanger(열교환기), NOx(질소산화물), PM(입자성물질), Flat tube(평판 원관), Re(레이놀즈 수)

1. 서 론

현재, 전 세계적으로 고도 산업사회로 전환됨에 따라 사회경제적 변화에 기인하여 에너지 수요가 눈에 띄게 늘어나고 있다. 결과적으로, 온실가스를 확산시키는 주원인인 이산화탄소의 배출 증가를 가져왔다. 나아가, 전 세계의 환경문제까지도 심각한 영향을 미치고 있는 실정이다.

구체적으로 자동차 배출가스가 지구환경에 미치는 영향으로는 오존층파괴와 황산화물(SOx)과 질소산화물(NOx)의 성분에 의한 산성비상승을 들 수 있다. 특히, 환경오염의 주범은 미연탄화수소와 질소산화물의 광화학 반응에 의한 오존 발생 문제와

*Corresponding author, E-mail: dreamlbh@yahoo.co.kr

폐암의 원인이 되는 입자성 물질 생성을 들 수 있다. 더불어, 불안정 연소에 의한 배기 유해물 과다배출의 발생과 기관출력의 급격한 변동으로 과다 액막연료의 생성 및 유입에 따른 연료 소비율 증가 등이 일어난다고 보고 되고 있다.[1)]

SI 기관의 연소에 의해 생성되는 배기 배출물 중에 질소산화물은 주로 일산화질소이다. 공기 중 질소가 고온의 연소온도에 노출되면 O_2와 반응하여 NO의 생성이 증가 한다.[2)] 이에 따른 대기오염을 줄이기 위해 재순환된 배기가스를 스로틀바디에 유입시키면 기존 시스템보다 미연탄화수소(UHC)배출을 상당량 감소시킬 수 있다.[3)] 또한 전자제어의 새로운 개념을 제안하는 동시에 배기가스 재순환 장치의 가능성과 잠재성도 확인되었다.[4)]

전술한 내용과 같이 기존에 연구 발표된 EGR의 관련 논문은 주로 일반적인 연소영역의 공기-연료비에 관련된 EGR의 연소특성 및 압력변동성 해석과 희박연소영역에서의 연비와 유해가스 저감을 위한 배기재순환 가스의 영향 또는 냉각된 가스 영향에 관한 연구가 주로 이루어졌다. EGR 사용은 배기가스 중의 질소산화물을 줄일 수 있는 효과적인 방법이다. 특히 EGR은 펌프 손실과 냉각 손실을 감해주며, 연소 온도를 저하시켜 NOx의 배출을 줄이기도 한다.

일반적으로 차량이 중속이고 중 부하 이외의 상태에서는 흡기 중에 배기재순환 방식을 적용하게 되는데 이 방법은 연소 안전성을 유지하는 것이 상대적으로 어렵기 때문이다. 연소상태 불안정은 엔진출력의 변동계수(COV)가 커져서 심지어 기관의 본체가 떨리는 현상이 종종 발생한다.

EGR Cooler를 적용하면 노킹 방지와 연비 증가라는 또 다른 효과를 기대 할 수 있다. 이는, 추가적으로 장착된 차지 에어 쿨러(Charge Air Cooler)가 흡기된 공기의 온도를 낮춰주는 기능을 하기 때문이다. EGR Cooler는 동량의 흡기가스로 출력과 연소효율을 개선할 수 있는 장점이 있으며, 작동유체는 열교환기에서 열전달 물질로서 중요하게 사용된다.

열전달 증진을 위해 수많은 연구 및 개발 노력에도 불구하고, 열전달 유체들의 낮은 열전도도 때문에 효과를 높이는 데는 한계가 있어 왔다. 본 논문에서는 열전도도가 물보다 좋은 카본나노용액(Carbon Nano Colloid)을 냉동기와 같은 냉각장치 기능을 사용하지 않고 자연대류 또는 강제대류조건을 적용 EGR Cooler내에 물과 첨가하여 사용했을 때 종전과 같은 방식인 물만 활용했을 경우와의 열량 대비와 유동특성 등을 비교 분석하였다.

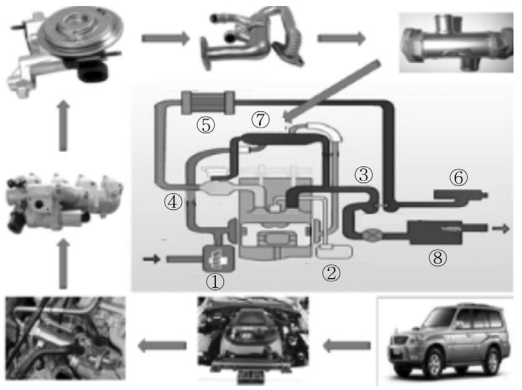
2. 실험장치 및 방법

미국 환경보호국(EPA)에서는 특히 에어컨을 작동시킬 때 연소 최고 온도를 낮추어서 NOx 배출을 저감시키기 위하여 배기가스 재순환의 사용을 의무화 하고 있으며 특허 출원도 급속도로 증가하고 있다.[5)]

질소산화물 저감을 위해 Fig. 1과 같이 대형 스포츠카나 SUV 차량도 EURO-V 규제 대상에 포함시켰다. 이를 위해 EGR Cooler사용을 권장하고 있다. EGR Cooler는 국내 H, K사의 엔진 배기가스 재순환용 냉각기로서 Fig. 2의 사진과 같으며, 시스템의 전체 구성은 고온의 공기 측과 냉각을 위한 냉각수 측의 순환회로를 구성하였다.[6)]

본 실험에서 Water 또는 CNC를 순환 냉각기에 의존하지 않고 일반 대류 특성을 파악함으로써 CNC의 효능을 알아보고 결과를 도출하고자 한다.

공기 측의 배기가스와 동일한 조건을 위하여



①	Water pump	⑤	Air cooler
②	Fuel pump	⑥	Air filter
③	Turbo charger	⑦	EGR cooler
④	EGR valve	⑧	Muffler

Fig. 1 Schematic diagram of EGR cooler

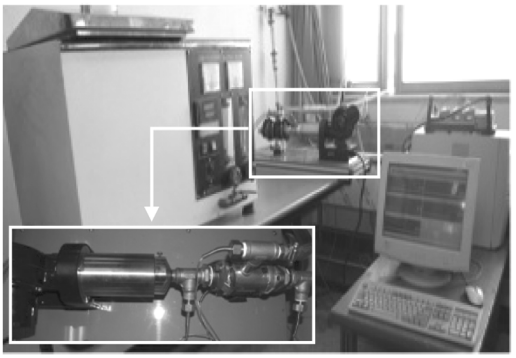


Fig. 2 Photograph of experimental apparatus

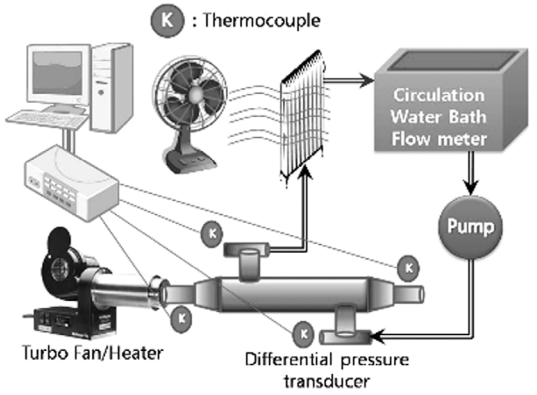


Fig. 3 Schematic diagram of experimental apparatus

3.0kW급 Air Heater에 0~600°C까지 온도변화가 가능한 가열기를 사용하였고, EGR Cooler입구에는 283 ℓ/min의 고정 터보팬을 일체형으로 하였다. 그리고 유량 조절이 가능한 원심식 펌프에 의해 순환하도록 하였다. 이를 Re값으로 환산하여 나타내었다.

EGR Cooler의 공기 측과 냉각수 측의 입구부와 출구부의 온도는 K-type의 열전대를 이용하여 측정하였고 항온순환수조에는 T-type의 열전대를 내부에 설치하여 실험 시작온도를 30°C에서 측정하였다. 유동 패턴은 Counter flow 방식으로써 공기는 입구부와 디퓨져에 다수의 관다발로 분배되어 튜브 외부의 셀을 통과하는 냉각수와 카본나노용액의 두 가지 조건으로 일반 냉각 후 출구부의 디퓨져에서 합류한다.

판은 일반적으로 사용하고 있는 원판이며 길이는 80 mm, 내경은 5 mm, 두께가 0.5 mm이며 총 튜브 수는 37개이다. 방열 성능 실험에 사용된 EGR Cooler는 Fig. 3에 도시한 것과 같다.

Table 1은 상온에서의 열전도도를 나타낸 것으로서 구리는 물의 열전도도보다 700배나 크고 엔진오일보다는 3,000배나 더 크다.

고체입자를 함유하고 있는 부유물(Suspensions)의 유효 열전도도(Effective Thermal Conductivity)에 관하여 수많은 이론적이고 실험적인 연구들이 100년 전에 Maxwell[6] 모델이 발표된 이래 지금까지 행해져 왔다. 전류와 자기장 사이의 수학적인 관계를 유체에 접촉입자의 운동을 생각함으로써 구한 Maxwell 모델은 구형입자를 함유한 부유물의 유효

Table 1 Thermal conductivity of various materials (300 K)

Material	k (W/m· K)
1) Metallic solids	
- Silver	429
- Copper	401
- Aluminum	237
2) Nonmetallic solids	
- Silicon	148
3) Metallic liquids	
- Sodium @ 644 K	72.3
4) Nonmetallic solids	
- Water	0.613
- Carbon Nano Colloid	0.676
- Engine oil	0.145

열전도도는 고체입자의 부피율(Volume Fraction)에 따라 증가하는 것을 보여주고 있다.

그러나 나노유체에 대한 연구는 아직까지 이론적인 실증이 없는 상태로 실험에 의한 검증만이 연구되는 실정이다. 본 논문에서는 특수 냉각 장치에 의존하지 않고 EGR 내 CNC 유체가 유동 때 열전도도 향상에 미치는 영향을 분석하여 나타내었다.[7-12]

열전도율에서는 고체>액체>기체의 순서로 냉각매체인 미소입자의 혼합물은 열전도도를 획기적으로 증가시키고 있다는 것을 이론적으로 보여주고 있다. 부피비가 4.3%인 알루미나(Al_2O_2)는 물의 30%까지 유효 열전도도를 증가시킴을 실험적으로

Table 2 Carbon nano colloid property analysis

항 목	분석값	항 목	분석값
밀도	1.04g/㎖ 0.4wt%, 20°C	비열	54.143J/g K 0.4wt%, 20°C
입경	10~20 nm Dynamic Light Scattering: 20~200 nm	pH	2~3
입자 형상	구형	분산 안정성	양호, -50mV (제타포텐셜)
성분	C:50.19%, H:0.42%, N:0.22%, O:49.17%	분자 구조	Carbon 원자 표면 : 다수의 Hydroxide와 Carboxyl
열전 도도	0.676 W/m·k 0.4 wt%, 20°C	동점도	1.14mm^2/s 0.4 wt%, 20°C

보여 주었다.[14] 이론적인 식을 근거로 흑연입자를 물에 섞어 매끄러운 37개의 튜브 관외의 파이프 내에 유동시켰다. 난류 열전달 계수는 Dittus-Boeltel으로부터 다음과 같은 식을 적용시킬 수 있다.[13-16]

$$Nu = 0.023\,Re^{0.8}\mathrm{Pr}^{1/3} \tag{1}$$

흑연입자인 카본나노용액을 첨가해 Nusselt Number로 정의하면 20°C기준으로 8.8%의 열전달 상승률을 알 수 있고 다음의 계산식에 의해 값을 산출 하였다.

$$\text{Nusselt Number } N_u = \frac{h \times D_h}{k} \tag{2}$$

$$h = N \times \frac{k}{D_h} \tag{3}$$

$$\frac{h_n}{h_w} = \left(\frac{\rho_n}{\rho_w}\right)^{0.8}\left(\frac{\mu_n}{\mu_w}\right)^{-0.47}\left(\frac{C_{p_n}}{C_{p_w}}\right)^{0.33}\left(\frac{k_n}{k_w}\right)^{0.67} \tag{4}$$

$$h_n = h_w \times 1.088 \tag{5}$$

Table 2는 EGR Cooler의 튜브 외부의 셀을 통과하는 냉각수에 카본나노용액을 첨가함으로써 열 교환 시스템의 열전달 성능에 미치는 물성 분석을 나타낸 것이다.

3. 실험결과 및 고찰

자동차 냉각시스템에 관련된 실험 장치를 설치하였다. 자동차 냉각수의 순환구조로 워터펌프와 동일한 시뮬레이션 프로그램인 원심식 펌프로 냉각유체를 순환시켰다. 본 논문에서의 자연대류조건은 원심식 펌프만 사용하였으며, 냉각수와 Air Heater의 실험 시작 온도는 각각 300°C로 하고 그 이후 입구 측정온도는 강제 규제하지 않았다. 참고로 Air Heater 입구온도가 각각 300°C와 400°C일 때 출구온도는 125°C와 200°C정도로 측정되었다. 강제대류조건은 라디에이터와 강제 팬과 항온수조를 사용하여 냉각유체 입구 측정온도를 300°C로 항온 유지하였을 때로 규정하였다.

3.1 자연대류조건에서의 EGR Cooler내 냉각유체 특성

3.1.1 EGR Cooler 냉각 특성

냉각유체는 물(Water)을 사용하였고 유체유동을 자연대류조건으로 하였다. EGR 입출구 유량 변화에 따른 △T값을 산출하여 EGR Cooler자체의 기본 냉각 특성을 알아보았다.

EGR Cooler 배기가스의 온도를 순차적으로 최저 300°C에서부터 400°C, 500°C, 최대 600°C에까지로 구분하여 △T값을 비교해 보았다.

Fig. 4와 Fig. 5는 배기온도 300°C와 400°C일 때의 실험결과를 나타낸 것이다. △T값의 변화를 보면 Re=1.69×10^4, 2.54×10^4, 3.38×10^{4}는 각각의 그림에서 거의 동일하게 나타났고, Re=8.46×10^{3}에서는 배기온도 400°C에서 △T값이 약간 높게 나타났으며, 전

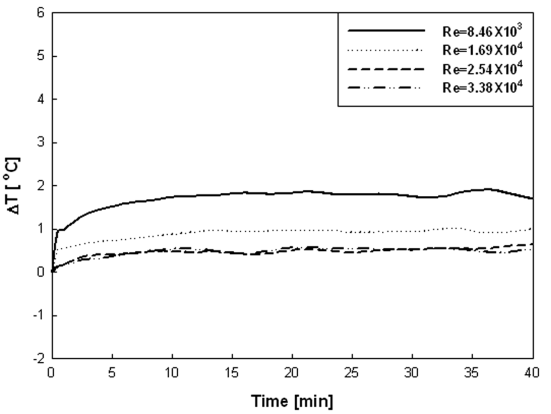


Fig. 4 Comparison of EGR inlet and outlet ΔT at air=300°C

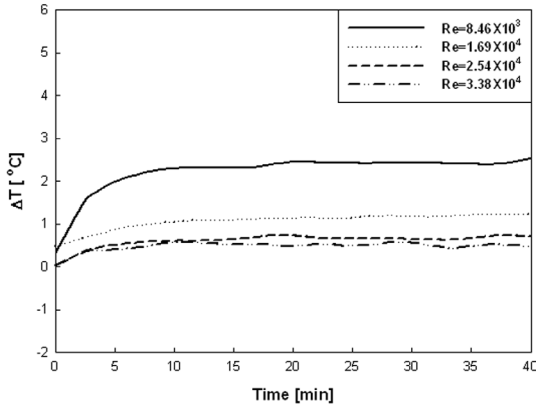


Fig. 5 Comparison of EGR inlet and outlet ΔT at air=400°C

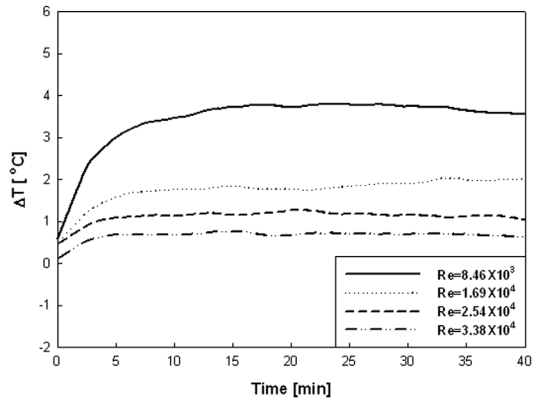


Fig. 6 Comparison of EGR inlet and outlet ΔT at air=500°C

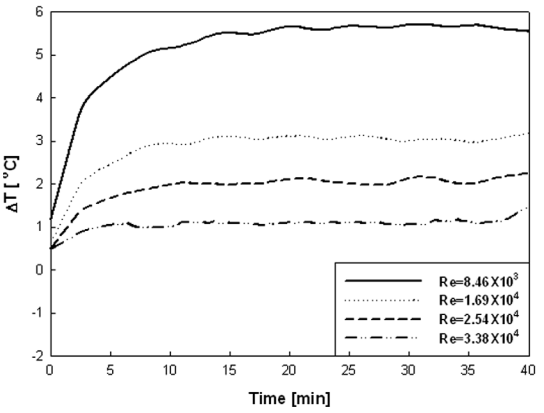


Fig. 7 Comparison of EGR inlet and outlet ΔT at air=600°C

체적으로, Re=8.46×10^{3}일 때가 가장 높았고 Re=3.38×10^{4}일 때가 가장 낮았다.

Fig. 6과 Fig. 7은 배기온도 500°C, 600°C에서의 △T 값의 변화를 나타낸 것이다. 배기온도 600°C에서 Re값의 변화에 따라 △T값도 현저하게 높아지는 것을 확인할 수 있었다. 600°C에서의 △T값은 Re=8.46×10^{3}에서 가장 높게 나타났다.

이는 유체의 유동과 관계가 깊다고 판단된다. 전체적인 EGR Cooler의 특성은 실제 자동차에서 배출되는 평균 배기가스온도인 600°C정도에서 EGR Cooler로 재순환 할 때 뛰어난 조건을 구비하고 있음을 확인할 수 있었다.

3.1.2 EGR Cooler 냉각 특성

자연대류조건에서의 냉각유체는 카본나노용액과 물을 사용하여 EGR Cooler 내 냉각유체 특성을 분석해 보았다.

자연대류조건 하에서 Fig. 8은 카본나노용액과 물의 냉각 특성을 알아보기 위해 냉각유체를 Re = 8.46×10^{3}으로 일정하게 하였는데 튜브 내부의 낮은 냉각유속으로 인해 카본나노용액이 물보다 매우 낮은 발열량을 보였다.

Fig. 9에서는 냉각유체의 유체유동을 Re=8.49×10^4 값보다 높은 Re=1.69×10^{4}로 하였는데, 카본나노용액과 물의 발열량은 Re=8.49×10^{4}보다 다소 높게 나타났으나, Re=8.46×10^{3}일 때와 같이 나노용액이 현격하게 저조함을 알 수 있었다.

Fig. 8~9에서 냉각유체인 물보다 카본나노용액의 초기발열량이 3분정도까지는 약간 높은 냉각효과를 나타냈는데, 이후로는 물이 카본나노용액보다 냉각효과가 높게 나타나기 시작해서 40분 이후에는

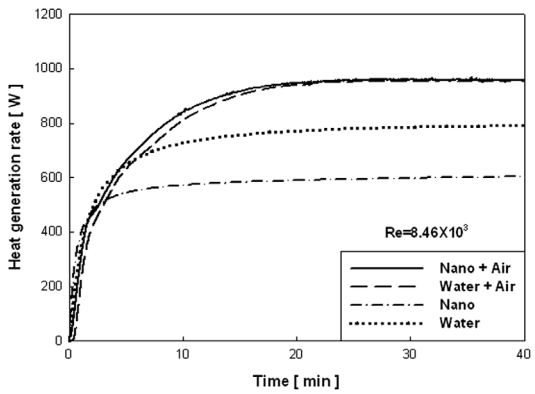


Fig. 8 Comparison of nano and water fluid in the EGR at Re = 8.46×10^3

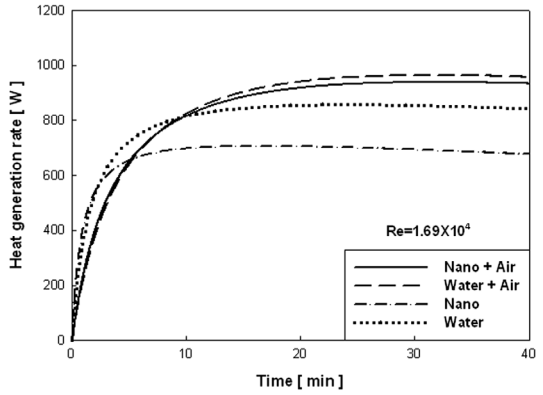


Fig. 9 Comparison of nano and water fluid in the EGR at Re = 1.69×10^4

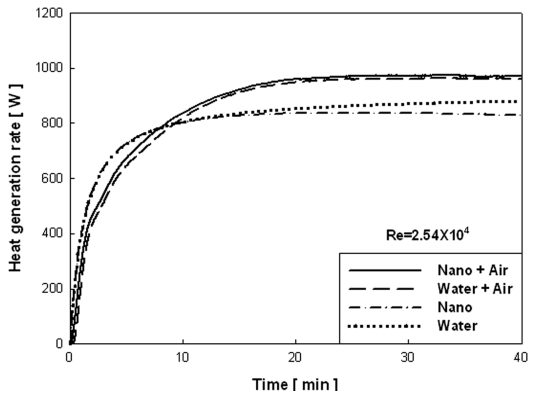


Fig. 10 Experimental calorie of nano and water fluid in EGR at Re = 2.54×10^4

물이 카본나노용액보다 냉각효과가 약 200W정도 높게 나타났다.

Fig. 10은 Re=2.54×10^4일 때이며 카본나노용액과 물의 발열량이 모두 약 800W로 가장 좋은 결과를 나타내었다. 하지만 카본나노용액의 발열량이 물보다 40분 이후에는 약 50W정도로 낮게 나타났다. 이는 냉각유체의 유동속도와 연관이 있는 것으로 판단되며, Fig. 11의 Re=3.38×10^4일 때 Re=2.54×10^4보다 효율이 현저히 떨어지는 것으로 나타났다.

Fig. 12는 EGR내에 냉각유체를 카본나노용액, Fig. 13은 물을 사용하여 Re 증가에 따른 열량비를 나타낸 것이며, 전체적으로 Re = $2{,}54\times10^4$에서 물이 카본나노용액보다 냉각효율이 일률적으로 높게 나타났다

Fig. 14는 Air의 열량비를 물과 카본나노용액 전

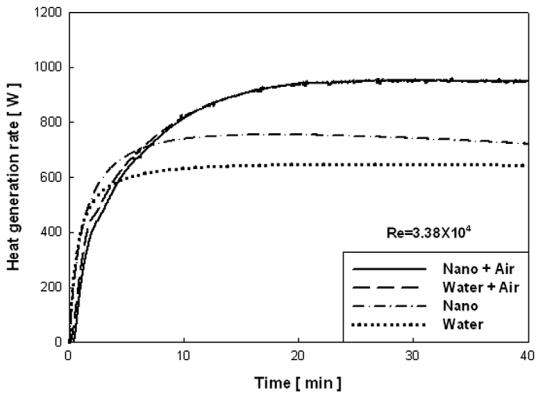


Fig. 11 Comparison of nano and water fluid in the EGR at Re = 3.38×10^4

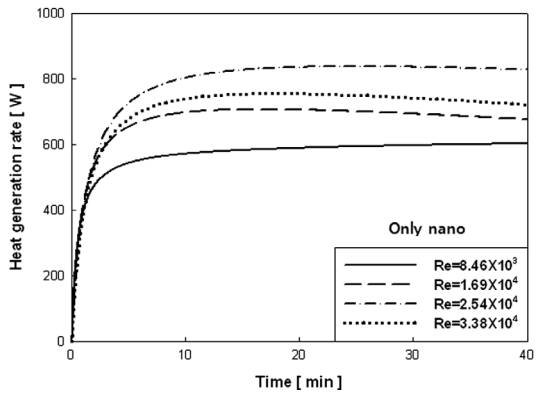


Fig. 12 Comparison of heat generation rate in the EGR at only nano fluid

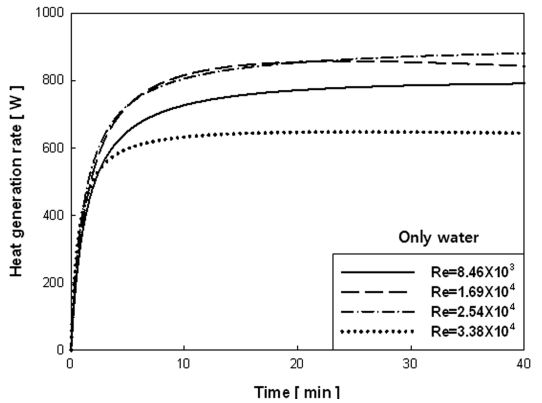


Fig. 13 Comparison of heat generation rate in the EGR at only water

체 Re 증가에 따라 비교분석한 것이다. 실험 시작 후 40분이 지난 후부터 Air Heater 열량비는 카본나노

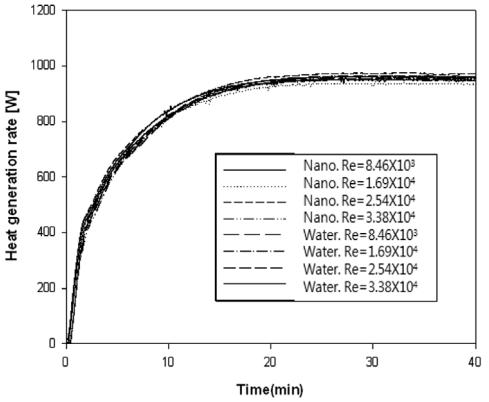


Fig. 14 Experimental calorie comparison of Air in EGR

용액과 물 모두 Re 값에 관계없이 거의 950W에 근접 일정해지는 것을 알 수 있었다.

3.2 강제대류조건 EGR Cooler 내 냉각유체 특성

강제대류조건으로 냉각유체의 냉각효과를 증대시키기 위해 라디에이터와 냉각팬과 항온수조를 사용하였다. 냉각유체 입구 측정온도는 30°C로 항온유지시켜 냉각유체의 특성을 분석하였다.

Fig. 15는 Re=8.46×10^{3}일 때이며 물에 비해 카본나노용액의 열량이 평균적으로 150W정도 떨어지는 결과를 나타내었다.

Fig. 16~18에서는 냉각효과가 능동적인 관계로 카본나노용액과 물 그리고 Air의 값이 상당히 일치함을 알 수 있었다.

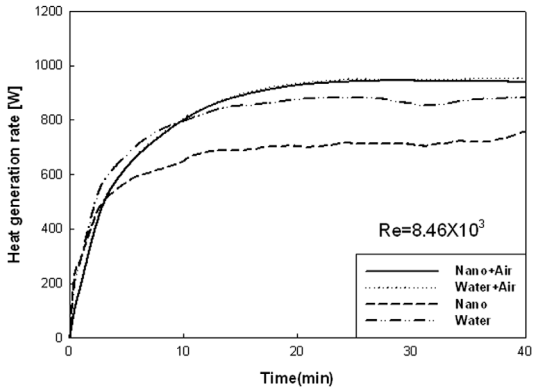


Fig. 15 Comparison of Cooling nano fluid and water in EGR at Re=8.46×10^3

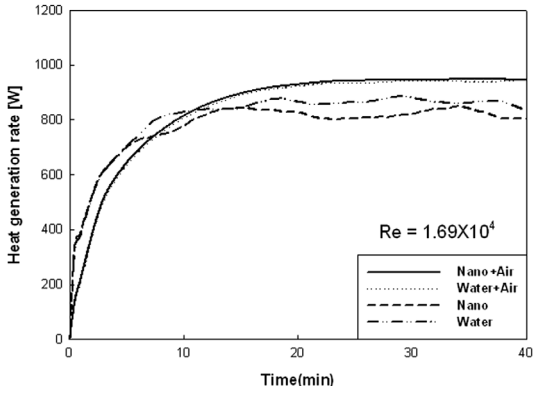


Fig. 16 Comparison of Cooling nano fluid and water in EGR at Re=1.69×10^3

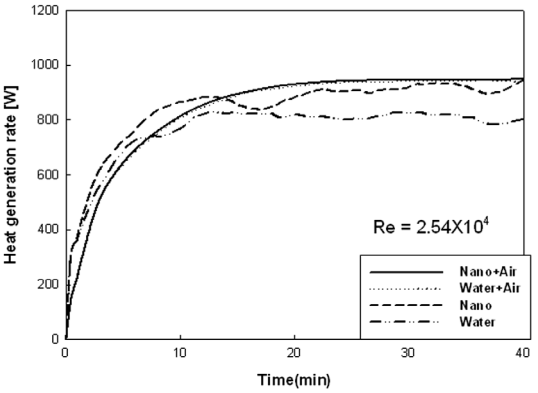


Fig. 17 Comparison of Cooling nano fluid and water in EGR at Re=2.54×10^3

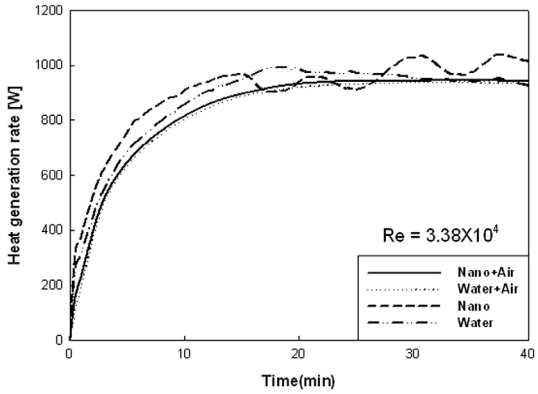


Fig. 18 Comparison of Cooling nano fluid and water in EGR at Re=3.38×10^3

특히 Fig. 17의 Re=2.54×10^{4}에서는 카본나노용액의 열량이 물보다 100W정도 상승함을 알 수 있었다. Fig. 18의 Re=3.36×10^{4}에서는 카본나노용액과 물의

열량 대비이며, 카본나노용액이 물보다 일률적으로 상승함을 알 수 있었다. 40분 이후 고온에서는 Air 발열량에 비해 물은 동등한 수준이며 카본나노용액은 100W 정도 높게 나타남을 알 수 있었다.

4. 결 론

본 연구에서는 지금까지 사용하고 있는 냉각수 물과 카본나노용액을 사용하여 일반적인 냉각유체의 효율을 실험에 의해 파악하고 특성을 알아보았다. 그 결과는 다음과 같다.

1) EGR Cooler 내 냉각유체 특성을 알기 위해 배기온도를 순차적으로 최저 300°C에서부터 400°C, 500°C, 최대 600°C까지△T값을 구해 특성을 비교 분석한 결과 배기가스 600°C일 때 Re = 8.46 $\times 10^3$에서 가장 높게 나타났다. 이는 유체의 유동과 관계가 깊다고 판단되며, 실재 자동차에서 배출되는 평균 배기가스온도인 600°C정도에서 EGR Cooler로 재순환 할 때 뛰어난 조건을 구비하고 있음을 확인할 수 있었다.
2) 자연대류조건에서 냉각유체를 물과 카본나노용액으로 사용하여 EGR Cooler 내 냉각유체 특성을 실험 분석해 본 결과 Re=2.54$\times 10^4$일 때 효율이 가장 좋은 것으로 나타났다. 실험을 시작 약 3분정도까지는 카본나노용액이 약간 높은 냉각효과를 나타내었고, 이후부터 약 20분까지는 물과 카본나노용액의 발열량이 모두 약 800W정도로 가장 좋은 결과 얻었다. 하지만 그 이후부터는 점차 물의 발열량이 높아져 40분 이후 고온에서는 카본나노용액이 물보다 약 50W정도로 약 6%의 상승효과를 나타내었다.
3) 강제대류조건에서의 냉각유체 발열량은 카본나노용액이 Re값의 변화에 따라 일률적으로 상승함을 알 수 있었다. 카본나노용액과 물의 열량 대비로는 Re=3.36$\times 10^4$에서 카본나노용액이 가장 높은 열량 값을 나타내었다. 이때, 40분 이후 고온에서는 Air와 물의 발열량은 동등한 수준이며, 카본나노용액은 Air 또는 물보다 100W정도 즉, 약 10%의 상승효과를 나타내었다. 이는 20°C 기준 이론적 정의 값인 8.8% 보다 높은 수치이다.
4) Air Heater의 열량 비를 카본나노용액과 물 전체 Re 증가에 따라 비교분석한 결과 자연대류조건 및 강제대류조건 모두, 실험 시작 후 40분이 지난 후부터 Air의 열량 비는 냉각유체나 Re값에 관계없이 거의 950W에 근접 일정해지는 것을 알 수 있었다.
5) 항온 수조 순환용 냉각제인 카본나노용액을 주입해 장시간 사용한다면 혹연 부유물질의 침전현상으로 엔진 및 라디에이터에 있는 이물질과 더불어 미세한 냉각통로에 이물질이 축적되어서 엔진을 구성하는 주철 등의 열전도율을 떨어뜨려 엔진과열을 일으킬 수 있고 손상을 입어 큰 비용이 요구된다. 앞으로 냉각제를 카본나노용액으로 사용 시 이에 대한 연구가 필요하다고 생각한다. 본 연구를 통하여 일반적인 EGR Cooler의 열 교환 특성을 알 수 있게 되었다.

References

1) D. J. Boam and I. C. Finlay, “A Model for Predicting Engine Response during Rapid Throttle Transients in Port-injected Spark-ignition Engine,” SAE 890565, 1989.
2) Y. B. Zeldovich, P. Y. Sadovnikov and D. A. F. Kamenetskii, Oxidation of Nitrogen in Combustion, Academy of Sciences of USSR, 1947.
3) L. J. Berry, “Improved Control of EGR during Speed/Load Transients,” SAE 960068, 1996.
4) T. Michihiko, “Improving NOx and Fuel Economy for Mixture Injected SI Engine with EGR,” SAE 950684,1995.
5) B. H. Lee and H. M. Jeong, “The Patent Trend on the Automotive EGR Cooler System,” J. Ins. Marine Industry, Vol.20, pp.149-155, 2007.
6) H. S. Heo, J. P. Won and K. S. Park, “Evaluation of Thermal Fluid Characteristics for EGR Cooler with Spiral Type,” Transactions of KSAE, Vol.11, No.6, pp.44-50, 2003.
7) J. C, Maxwell, A Treatise on Electricity and Magnetism, 2nd Edn., 1435, Clarendon Press, UK, 1881.
8) A. E. Bergles, “Survey and Evaluation of Techniques to Augment Convective Heat and Mass Transfer,” in Progress in Heat and Mass

Transfer (Edited by U Grigul and E, Hahne) Vol.1, Pergamon Press, New York, pp.331-424, 1969.
9) W. Nakayama, “Enhancement of Heat Transfer,” Heat Transfer 1982, Proceedings, 7th International Heat Transfer Conference, Vol.1, Hemisphere Publishing Corp., Washing, D.C, pp.223- 240, 1982.
10) A. E. Bergles, “Some Perspectives on Enhanced Heat Transfer-second-generation Heat Transfer Technology,” Transaction of the ASME, J. of Heat Transfer, Vol.110, pp.1082-1096, 1988.
11) A. E. Bergles, “Augmentation of Heat Transfer,” Heat Exchanger Design Handbook, Vol.2, Hemisphere Publishing Corp., Washing, D.C, pp.2.5.11-13, 1983.
12) A. E. Bergles, “Techniques to Augment Heat Transfer,” Handbook of Heat Transfer Applications, McGraw-Hill, New York, pp.31-80, 1985.
13) H. Masuda, A. Ebata, K. Teramae and N. Hishinuma, “Alteration of Thermal conductivity and Viscosity of Liquid by Dispersing Ultra-fine articles (Dispersion of Ultra-fine Particles),” Netsu Bussei, Japan, Vol.7, No.4, pp.227- 233, 1993.
14) S. W. Kang, C. H. Lee and S. H. Kim, “Effect of Nano Fluid on Heat Transfer in Double Piper Heat Exchanger System,” Proceedings of the KOSEE Spring Annual Meeting, pp.159-164, 2004.
15) H. M. Jeong and H. S. Chung, “Study on Fluid Flow Characteristics of Aquarium for Optimum Environment,” SAREK, Vol.10, No.5, pp.108-117, 1998.
16) K. S. Park, J. P. Won and D. H. Jung, “A Study on Heat Transfer Characteristics of Automotive Engine Cooling Control System,” KSME, B, Vol.22, No.8, pp.1183-1194, 1998.