

EGR Cooler에 CNC 첨가시 열교환 특성에 관한 연구

이병호† · 이중섭* · 김보한 · 정효민 · 정한식**

(원고접수일 : 2008년 4월 18일, 원고수정일 : 2008년 7월 3일, 심사완료일 : 2008년 8월 28일)

A Study on the Heat Exchange Characteristics of EGR-Cooler with CNC

Byung-Ho Lee† · Chung-Seub Yi* · Bo-Han Kim · Hyo-Min Jeong · Han-Shik Chung**

Abstract : Although combustion is essential in most energy generation processes, it is one of the major causes of air pollution. Circle fin exhaust pipes 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 designs adopted in this study were 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. Nanoparticles 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. This paper use Water and CNC fluid at normal cooling system of EGR. Experimental result showed all good agreement at $Re=2.54 \times 10^4$.

Key words : Heat exchanger(열교환기), EGR cooler(EGR 가스 냉각장치), Nox(질소산화물), CNC(탄소나노용액), PM(입자성물질), Plain tube(평판 원관), Re(Reynolds number).

1. 서 론

현재 전 세계적으로 에너지 수요가 눈에 띄게 늘어나고 있다. 이는 고도 산업사회로 전환됨에 따라 경제, 사회적 변화에 기인 한 것이다. 결과적으로 온실가스를 확산시키는 주원인인 이산화탄소의 배출 증가를 보여주었다. 나아가, 전 세계의 환경문제까지도 심각한 영향을 미치고 있는 실정이다. 구

체적으로 자동차 배출가스가 지구환경에 미치는 영향으로는 오존층파괴 그리고 황산화물(SOx)과 질소산화물(NOx)의 성분에 의한 산성비상승을 들 수 있다. 특히, 미연탄화수소와 질소산화물의 광화학 반응에 의한 오존 발생 문제와 폐암의 원인이 되는 입자성 물질 생성이 환경오염의 주범으로 대두되고 있다. 불안정 연소에 의한 배기 유해물 과다배출, 기관출력의 급격한 변동으로 과다 액막 연

† 교신저자(경남정보대학 기계자동차산업계열 E-mail: dreamlbh@yahoo.co.kr, Tel: 051)320-2810)

* 삼원기술(주) 기술연구소

** 경상대학교 정밀기계공학과, 해양산업연구소

료의 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_2 와 반응하여 NO의 생성이 증가 하여 이에 따른 대기오염을 줄이기 위해 재순환된 배기가스를 스로틀바디에 유입시키면 과도상태에서 기존 시스템보다 미연탄화수소(UHC)를 상당량 감소시킬 수 있고 정상 상태에서는 기존 시스템과 동일한 수준으로 NO_x 를 감소시킬 수 있다^[2-3]. 또한 전자제어의 새로운 개념을 제안하는 동시에 배기가스 재순환 장치의 가능성과 잠재성도 확인하였다^[4].

전술한 내용과 같이 기존에 연구 발표된 논문은 주로 일반적인 연소영역의 공기-연료비에 EGR의 연소특성 및 압력변동성에 관하여 해석과 희박연소 영역에서의 연비와 유해가스 저감을 고려한 흡기조성 중 산소체적분을 배기재순환 가스의 영향 및 냉각된 가스의 영향에 관한 연구가 주로 이루어졌고 EGR은 배기가스 중의 질소산화물을 줄일 수 있는 효과적인 방법이다. 특히 펌프 손실과 냉각 손실을 감해주기 때문에 연비를 향상시킬 수 있다. 그리고 연소 온도를 저하시켜 NO_x 의 배출을 줄이는 영향도 있다.

일반적으로 차량이 중속이고 중 부하 이외의 상태일 때는 흡기 중에 배기재순환 방식을 적용하게 되는데 이 방법은 연소 안전성을 유지하는 것이 상대적으로 어렵기 때문이다. 연소상태가 불안정해짐으로 인하여 엔진출력의 변동계수(COV)가 커져서 심지어 기관의 본체가 떨리는 현상까지 발생하기도 한다.

EGR Cooler를 적용하면 노킹 방지와 연비 증가라는 효과를 기대 할 수 있다. 추가적으로 장착된 차지 에어 쿨러(Charge air cooler)가 흡기된 공기의 온도를 낮춰주는 기능을 하기 때문이다. 흡기 가스는 낮은 온도에서 응축율이 높아져 더 많은 산소 입자를 포함할 수 있기 때문에 동량의 흡기가스로 출력과 연소효율을 개선할 수 있는 장점이 있으며, 이 유체는 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 카본나노 용액(carbon nano colloid)을 냉동기와 같은 냉각장치 기능을 사용하지 않고 일반적인 대류작용에 의해 EGR Cooler내에 물과 첨가하여 사용했을 때 종전과 같은 방식인 물만 활용했을 경우와의 열량 대비와 유동특성 등을 비교 분석해 보았다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

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

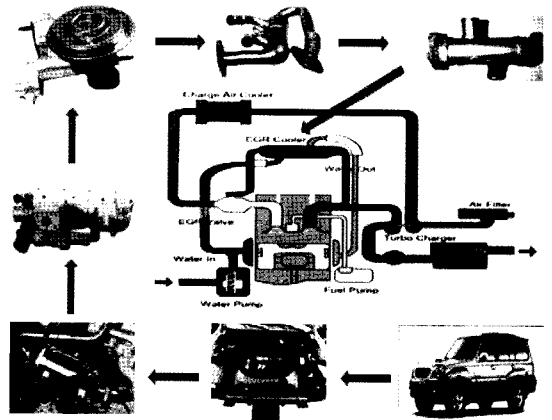


Fig. 1 Schematic diagram of EGR cooler

질소산화물 규제로 미국의 배출가스 OBD-II (On Board Diagnostics)와 FTP-75 모드, 발전된 SFTP(Supplemental Federal Test procedure)가 있으며, 2001년부터 모델이 적용되고 있다. 그래서 Fig. 1에서와 같이 대형 스포츠카나 SUVs 차량도 EURO V 대상에 포함시켰다. 이를 위해 배기가스 재순환(EGR)의 Cooler사용을 권장하고 있다.

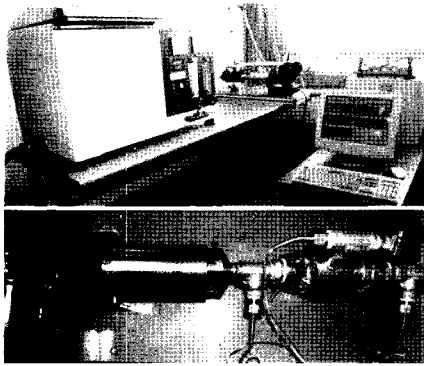


Fig. 2 Photograph of experimental apparatus

EGR Cooler는 H. K사의 엔진 배기가스 재순환용 냉각기로서 Fig. 2에 도시하였고 시스템의 전체 구성은 고온의 공기 측과 냉각수 측을 위한 냉각수 측의 순환회로를 구성하였다⁶⁾.

본 실험에서 냉각수 또는 카본나노용액을 순환 냉각기에 의존하지 않고 일반 대류특성을 파악함으로써 카본나노용액의 효능을 알아보고 결과를 도출하고자 한다. 공기 측의 배기가스와 동일한 조건을 위하여 3.0KW급 Air Heater에 0~400℃까지 온도변화가 가능한 가열기를 사용하였고, EGR Cooler입구에는 283ℓ/min의 고정 터보 팬을 일체형으로 하였다. 그리고 유량 조절이 가능한 2,4,6,8ℓ/min으로 원심식 펌프에 의해 순환하도록 하였다. EGR Cooler의 공기 측과 냉각수 측의 입구부와 출구부의 온도는 K-type의 열전대를 이용하여 측정하였고 항온순환수조에는 T-type의 열전대를 내부에 설치하여 실험 시작온도를 30℃에서 측정하였다.

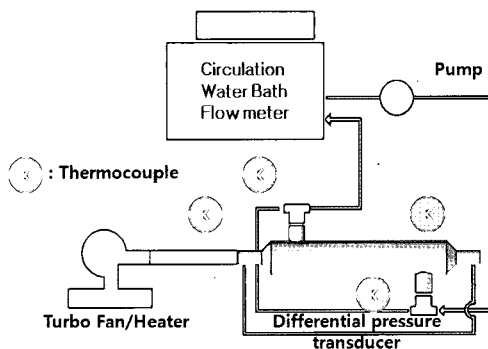


Fig. 3 Schematic diagram of experimental apparatus.

유동 패턴은 Counterflow 방식으로써 공기는 입구부와 디퓨저에 다수의 관다발로 분배되어 튜브관 외부의 셀을 통과하는 냉각수와 카본나노용액의 두 가지 조건으로 일반 냉각 후 출구부에 디퓨저에서 합류한다. 관은 일반적으로 사용하고 있는 원관이며 길이는 80 mm, 내경은 5 mm, 두께가 0.5 mm이며 총 튜브(관)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.

Table 1 Thermal conductivity of various materials (300K)

Material	k (W/m ² 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 liquids	
- Water	0.613
- Carbon Nano Colloid	0.676
- engine oil	0.145

고체 입자를 함유하고 있는 부유(suspensions) 물의 유효 열전도도 (effective thermal conductivity)에 관하여 수많은 이론적이고 실험적인 연구들이 100년 전에 Maxwell⁷⁾의 이론에 발표된 이래 지금까지 행하여져 왔다. Maxwell의 모델은 구형입자를 함유한 부유물의 유효 열전도도는 고체입자의 부피율(volume fraction)이 증가하는 것을 보여주고 있다.

2.2 실험방법

실험적 연구를 수행하기 위하여 냉각수의 유량을 변화시키면서 열교환 특성을 고찰하고 해석하기 위해 최근에 나노크기의 입자가 열전도도 향상에 기여한다는 연구결과가 보고된 것을 근거로 유체가 일반 유동하는 상태에서 열전달 효율을 측정하는 연구를 진행하였다⁸⁾⁻⁽¹²⁾.

카본나노입자를 냉각수에 분산하여 열전도도를 측정하여 실험한 결과 초기 온도에서는 열 교환 성능이 향상되는 것을 확인할 수가 있었다. 지금까지 카본나노용액을 사용함으로써 절연유 또는 가공유나 마찰, 마찰, 등에는 효과가 있다고 입증 되었다^[13].

그러나 나노유체에 대한 연구는 아직까지 이론적인 실증이 없는 상태로 실험에 의한 검증만이 연구되는 실정이다. 본 논문에서는 특수 냉각 장치에 의존하지 않고 EGR 내 카본나노용액 유동 시 열전도도 향상에 미치는 영향을 분석하여 나타내었다.

열전도율에서는 고체(액체)기체의 순서로 냉각매체인 미소입자의 혼합물은 열전도도를 획기적으로 증가시키고 있다는 것을 이론적으로 보여주고 있다. 부피비가 4.3% 인 $v = Al_2O_3$ 는 물의 30% 까지 유효 열전도도를 증가시킴을 실험적으로 보여 주었다^[14].

이론적인 식을 근거로 카본입자를 물에 섞어 매끄러운 37개의 튜브 관외의 파이프 내에 유동시켰다. 난류 열전달 계수는 Dittus-Boeltel 으로부터 다음과 같은 식을 적용시킬 수 있다.

$$Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^{1/3} \quad (1)$$

흑연입자인 카본나노용액을 첨가해 Nusselt Number 수식에 성립하여 이론적으로 정의하면 20°C기준으로 8.8%의 열전달 상승 율을 알 수 있고, 식(2)~식(5)와 같은 계산식에 의해 값을 산출하였다. 또한 실험변수인 Re Number는 식(6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{Nusselt Number } N_u = \frac{h \times D_h}{k} \quad (2)$$

$$h = N \times \frac{k}{D_h} \quad (3)$$

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

$$h_n = h_w \times 1.088 \quad (5)$$

$$Re = \frac{\rho v D_h}{\mu} \quad (6)$$

Table 2 Carbon nano colloid property analysis

Item	Value analyze	Item	Value analyze
Density	1.04g/ml 0.4wt%, 20°C	Specific heat	54.143J/g K 0.4wt%, 20°C
lepton	10~20 nm Dynamic Light Scattering: 20~200 nm	pH	2~3
Dispersoid image	Circularity	Dispersion Stability	Satisfactory. -50mV (Zeta-Potential)
ingredient	C:50.19%, H:0.42%, N:0.22%, O:49.17%	Molecular structure	Carbon External Atom : Number of Hydroxide a Carboxyl
Thermal conduction	0.676 W/m·k 0.4 wt%, 20°C	Viscosity	1.14mm ² /s 0.4 wt%, 20°C

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

3. 실험결과 및 고찰

자동차의 시스템에 관련하여 워터펌프와 동일한 시뮬레이션 프로그램인 원심식 펌프에 의해 순환하였고, 냉각수 유량 변화에 따른 냉각 특성을 나타내었다.

순환구조와 동일한 항온수조와 함께 배기가스 대체용인 Air Heater의 공기는 EGR Cooler의 입구 시작 온도를 30°C로 하고 고온에서는 340± 2°C의 차이를 허용하였다.

Fig. 4는 실험 시작 후 40분이 지난 후부터 발열량이 950W에 근접 일정해지는 것을 알 수 있었고, 카본나노용액의 냉각 특성을 알아보기 위해 $Re=8.46 \times 10^3$ 으로 일정하게 하였는데 튜브 내부의 낮은 냉각유속으로 인해 Nano가 800W이하의 발열량을 보였다. 또한 일반적으로 가장 적당하다는 냉각수의 유량 즉 $Re=1.49 \times 10^4$ 보다 높은 유량의 $Re=1.69 \times 10^4$ 으로 하였는데, 카본나노용액과 냉각수의 발열량 차이가 $Re=8.46 \times 10^3$ 일 때와 같이 현격하게 나타났다. 냉각용 CNC의 발열량은 초기에 800± 50W로 10분까지는 뛰어난 냉

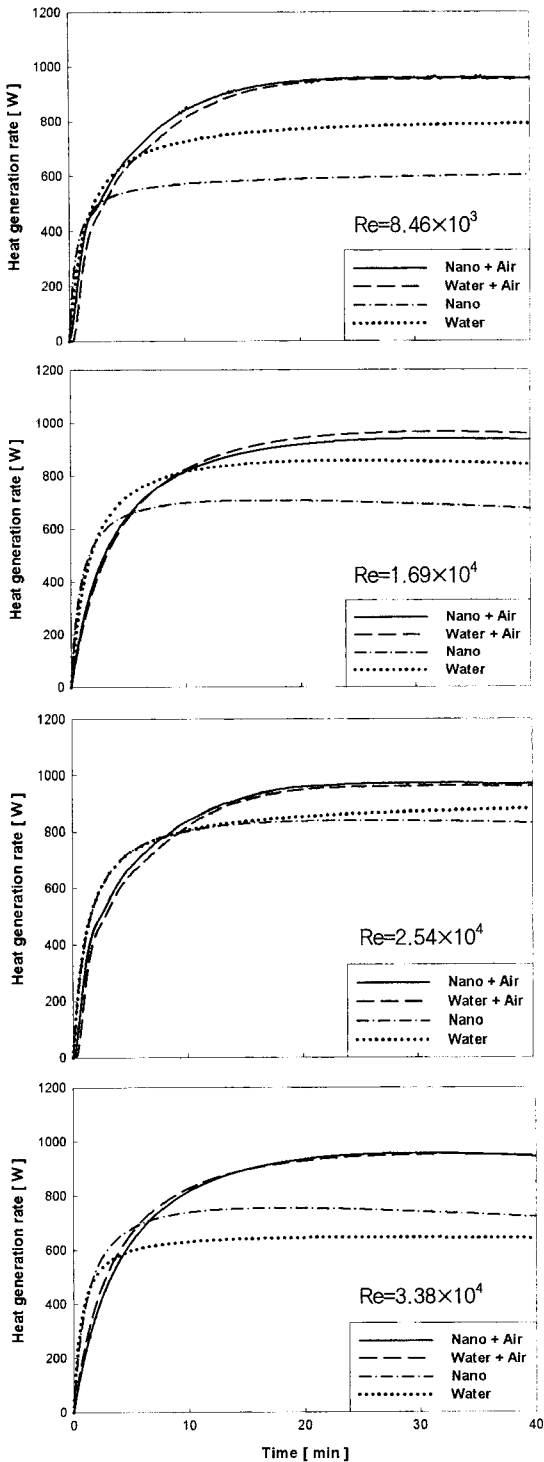


Fig. 4 Heat generation rate comparison according to Re number in EGR.

각효과를 나타냈는데 이후로는 좋지 못한 결과가 나왔다. 40분이 지난 후도 발열량 차이에 있어서 카본나노용액이 냉각수 보다 저조한 모습을 보여 주었다.

Re=2.54×10⁴일 경우는 공기 대비 카본나노용액 및 냉각수의 발열량 상태는 원만해진 것을 볼 수 있었고, 일부 구간에서 카본나노용액이 냉각수 보다 열전달 성능이 고온에서는 일부 효과가 있는 것으로 나타났다. 또한 Re=3.38×10⁴일 경우 Re=2.54×10⁴보다 효율이 떨어졌다. 이는 유체의 유속증가와 연관이 있는 것으로 판단된다.

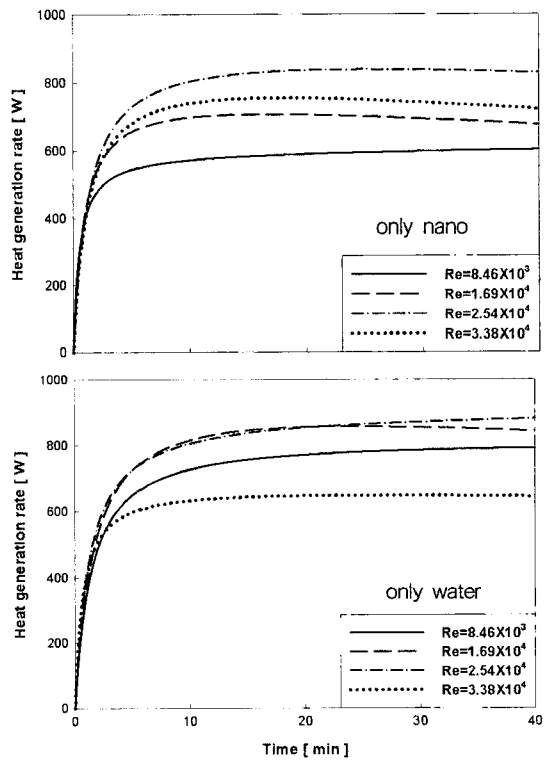


Fig. 5 Heat generation rate comparison of nano and water in EGR.

Fig. 5는 EGR 내 카본나노용액과 냉각수를 각각 사용하여 Re 수 증가에 따른 열량비를 나타낸 것이며, Fig. 6은 공기의 열량비를 나타낸 것으로서 냉각수와 카본나노용액 전체 Re 수 증가에 따른 것이다. 카본나노용액은 Re 수의 증가에 따라 상승함을 알 수 있고 냉각수는 3.38×10⁴의 열

량비가 비슷함을 알 수 있다. 공기의 열량비는 카본나노용액과 냉각수 모두 Re 수에 관계없이 거의 동일함을 알 수 있었다.

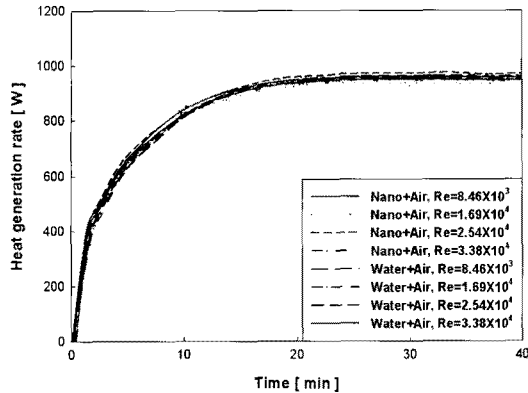


Fig. 6 Heat generation rate comparison of nano+Air and water+Air in EGR.

4. 결 론

현재 CRDI 디젤 차량에 NO_x 저감을 위하여 주목받고 있는 Cooled EGR 내에 고효율의 평판 원관을 사용하고 있다. 본 연구에서는 지금까지 사용하고 있는 냉각수와 냉각 효율이 높다고 판단되는 카본나노용액을 사용하여 일반적인 냉각수의 효율을 실험에 의해 파악하고 특성을 알아보았다. 그 결과는 다음과 같다.

1) Cooled EGR의 평판 원관 튜브의 구조 내에 카본나노용액 효과에 관한 실험을 한 결과 시작 10분까지는 5.5% 상승하였으며, $Re=8.46 \times 10^3$ 과 $Re=1.69 \times 10^4$ 에서는 효과가 저조했다. 이는 유체의 유동 속도와 밀접한 연관이 있다고 판단된다. 결과적으로 초기에는 이론적인 수식에 의한 계산 내용이 실험과 비슷하지만 온도가 상승하면서 냉각에 필요한 발열량은 온도 상승 시간대비하여 카본나노용액이 냉각수보다 저조했다.

2) 카본나노용액 효과에 대한 냉각유량의 발열량은 $Re=2.54 \times 10^4$ 에서 가장 많이 변화하는 열전달율을 보였으며, 미소하게 고온에서 카본나노용액이 냉각수보다 상승효과가 있음을 알 수 있었다.

3) $Re=3.38 \times 10^4$ 에서는 $Re=2.54 \times 10^4$ 보다

전반적으로 발열량이 저조하였으며 이는 유체의 유동 속도가 빠름에 기인 한 것으로 판단된다.

4) 항온수조 순환용 냉각재인 카본나노용액을 주입해 장시간 사용한다면 흑연 부유물질의 침전현상으로 엔진 및 라디에이터에 있는 스케일과 더불어 미세한 냉각통로에 이물질(scale)이 심하게 축적되어서 엔진을 구성하는 주철 등의 열전도율을 떨어뜨려 엔진과열을 일으킬 수 있고 손상을 입어 큰 비용이 요구된다. 앞으로 냉각제를 카본나노용액으로 사용 시엔 이에 대한 연구가 필요하다고 생각한다. 본 연구를 통하여 일반적인 EGR Cooler의 열교환 특성을 알 수 있게 되었다.

후 기

본 연구는 지식경제부 산업기술재단 중점기술개발사업(과제번호 10024337)과 경상대학교 2단계 BK21 지원에 의하여 이루어졌으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- [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 Paper No. 890565, 1989.
- [2] Y.B. Zeldovich, P.Y. Sadovnikov and D.A. Frank-Kamenetskii "Oxidation of Nitrogen in Combustion", Academy of Sciences of USSR, 1947.
- [3] Berry, L. J. "Improved Control of EGR during Speed/Load Transients," SAE 960068, 1996.
- [4] Tabata Michihiko, "Improving NO_x and Fuel Economy for Mixture Injected SI Engine with EGR," SAE 950684, 1995.
- [5] B.H. Lee, H.M. Jeong, "The Patent Trend on the Automotive EGR Cooler System," J. Ins. Marine Industry 20, 149~155, 2007.

- [6] H. S. Heo, J. P. W. K. S. P. "Evaluation of Thermal Fluid Characteristics for EGR Cooler with Spiral Type," Transactions of KSAE, Vol. No. 6, pp.44~50,2003.
- [7] Maxwell, J. C. A Treatise on Electricity and Magnetism, 2nd ed, 1435, Clarendon Press,1881.
- [8] Bergles, A .E. "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] Nakayama, W."Enhancement of Heat Transfer," Heat Transfer 1982, Proceedings, 7th International Heat Transfer Conference, Hemisphere Publishing Corp. Washing, DC, Vol.1, pp.223~240, 1982.
- [10] Bergles, A .E. "Some Perspectives on Enhanced Heat Transfer-Second-Generation Heat Transfer Technology", Transaction of the ASME, J. of Heat Transfer, Vol.1, 110, pp.1082~1096, 1988.
- [11] Bergles, A .E. "Augmentation of Heat Transfer," Heat Exchanger Design Handbook Vol.2, Hemisphere Publishing Corp. Washing, DC, pp.2.5.11~1-12, 1983.
- [12] Bergles, A. E. "Techniques to Augment Heat Transfer," Handbook of Heat Transfer Applications McGraw-Hill New York, NY, pp.31~80, 1985.
- [13] S. W. Kang, C. H. Lee, 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.
- [14] Masuda, H, Ebata, A, Teramae, K and Hishinuma, N. "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.

저 자 소 개



이병호(李炳昊)

1969년생, 2000년 거제대학(전문학사), 2003년 한국교육개발원 자동차공학과(학사), 2006년 경남대학교 기계공학과(석사), 2008년 경상대학교 기계공학과(박사수료), 현재 경남정보대학 기계자동차계열 교수



이중섭(李仲燮)

1974년생, 1999년 경상대학교 선박기계공학과(학사), 2001년 경상대학교 기계공학과(석사), 2006년 경상대학교 기계공학과(박사), 현재 삼원기술(주) 기술연구소 책임연구원



김보한(金甫漢)

1955년생, 1981년 동아대학교(학사), 1984년 동아대학교(석사), 2006년 경상대학교(박사), 현재 경상대학교 기계항공공학부 겸임교수



정효민(鄭孝玟)

1958년생, 1982년 부경대학교(학사), 1987년 부경대학교(석사), 1992년 일본 동경대학교 전산유체역학(박사), 현재 경상대학교 기계항공공학부 교수



정한식(鄭漢植)

1954년생, 1981년 동아대학교(학사), 1983년 동아대학교 열유체공학(석사), 1987년 동아대학교 열유체공학(박사), 현재 경상대학교 기계항공공학부 교수