

엔진 냉각수 유량 단속에 의한 디젤 차량의 연비 및 배기가스 특성 연구

김성철^{1*}

¹자동차부품연구원 그린카파워트레인연구본부

A Study on the Characteristics of Fuel Consumption and Emissions of Diesel Vehicles Using Engine Coolant Flow Rate On/Off Control

Sung Chul Kim^{1*}

¹Green Car Powertrain R&D Division, Korea Automotive Technology Institute

요 약 내연기관 차량에 전자기식 클러치 워터펌프의 적용은 연비 향상 및 배기가스 저감을 꾀할 수 있다. 이러한 클러치 워터펌프는 엔진 냉각시스템의 유량 단속에 의하여 최적 운전 조건을 가능케 한다. 본 연구에서는 클러치 워터펌프를 이용한 냉각시스템을 제어함으로써 디젤 차량의 연비 및 배기가스 특성을 살펴보았다. 전자기식 클러치 워터펌프에 의한 저온 시동시 냉각수 흐름을 차단하여 아이들 조건에서 예열 시간을 기존 워터펌프 대비 49% 정도 단축시켰고, 주행 중에는 냉각수가 최적 고온상태를 유지하도록 제어하였다. 그리하여 NEDC 모드에서 연소 효율이 개선되어 최대 5% 정도의 연비 향상 효과를 나타내었다. 또한 NOx를 제외한 HC, CO 및 CO₂ 배기가스의 농도가 전반적으로 감소하였다.

Abstract The use of the electromagnetic clutch water pump for internal combustion engine vehicles saves fuel and leads to a reduction in emissions. The clutch water pump allows the engine cooling system to select the optimum operation condition by using coolant flow rate on/off control. This study investigated the characteristics of fuel consumption and emissions of the diesel engine cooling system using the clutch water pump. The electromagnetic clutch operation reduced by about 49% of engine warm up period at idle condition and controlled the optimum high coolant temperature at driving condition. Therefore, fuel consumption was enhanced by about 5%, and emissions such as HC, CO and CO₂ were also reduced to a certain degree even though NOx increased a little bit, compared to those of the conventional water pump under NEDC mode which represents the real driving pattern.

Key Words : Water pump, Electromagnetic clutch, Fuel consumption, Emission, Warm-up, NEDC

1. 서론

전 세계적으로 고유가 및 환경규제 문제를 극복하고자 연비의 향상과 배기가스를 저감할 수 있는 고효율·친환경 자동차 기술을 발전시켜 나가고 있다. 특히, 대기 오염으로 인한 지구 온난화에 대하여 관심이 더욱 더 높아지는 시점에서 배기가스 규제는 갈수록 강화되어지고 있으며, 연비 규제까지 확대 적용되고 있다. 이러한 흐름에 맞

추어, 엔진 열관리 및 냉각시스템 최적화에 관한 기술개발의 추세는 엔진 성능 향상은 물론이고 배기가스 저감에 관한 기술적/환경적 연비 개선에 중점을 두고 개발되어지고 있다[1-3].

엔진의 저온 시동 시에 예열 시간이 지연되게 되면, 엔진 시동에 관여하는 부품 요소들이 그 능력을 충분히 발휘하지 못하여 냉각 손실, 배기 손실 및 연소 효율 저하로 이어져 연비로까지 영향을 미친다[4]. 최근에는 소

*Corresponding Author : Sung Chul Kim(Korea Automotive Technology Institute)

Tel: +82-41-559-3093 email: sckim@katech.re.kr

Received February 8, 2013

Revised March 11, 2013

Accepted May 9, 2013

형트럭, 승용차 등 디젤엔진의 보급성이 다양화되는데, 디젤엔진의 경우 예열 시간이 가솔린엔진에 비하여 떨어지므로 저온 시동 시 엔진 예열의 확보는 중요한 문제로 인식된다.

워터펌프는 차량 엔진의 적절한 온도유지를 위해 냉각수 순환을 제어하는 역할을 담당하는 부품이며, 저온 시동시 엔진 성능에 악영향을 미치게 된다. 엔진의 예열 시간 단축을 위하여 기존의 기계식 냉각시스템으로는 기구적으로 어려움이 있다. 하지만 클러치 워터펌프를 적용할 경우, 워터펌프 폴리가 엔진의 회전과 연동되어 벨트로 구동되는 기계식 워터펌프와는 달리, 벨트로 구동되는 폴리 내부에 전자기식 클러치가 결합되어 독립적이고 능동적인 워터펌프 작동이 가능하므로, 엔진 예열 시간을 단축시킬 수 있고, 배기가스 저감과 연비 향상을 꾀할 수 있다. 최근 엔진의 예열 시간을 단축시키고 주행 중 엔진 열효율을 최적화할 수 있는 유량 단속식(On/Off 제어, 승용 디젤) 및 가변 유량식(2단 변속 제어, 상용 디젤) 클러치 워터펌프에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[5,6]. 또한, Dayco사는 마찰식 구조의 클러치 장치를 폴리 외부에 적용한 워터펌프의 제어 방법을 연구 수행하였으며, 상용화 단계에까지 이른 제품도 나오고 있다[7].

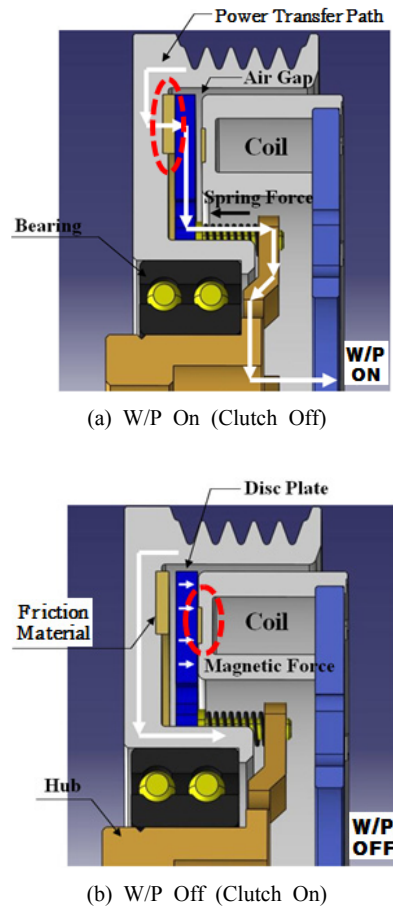
본 연구에서는 유량 단속식 클러치 워터펌프를 디젤 차량에 적용하여 저온 시동시 엔진 예열 시간을 단축시키고, On/Off 제어에 의한 유럽 표준 주행모드인 NEDC(New European Driving Cycle)를 통하여 연비 성능 향상과 배기가스 저감 효과를 알아보려고 한다.

2. 실험 장치 및 방법

2.1 클러치 워터펌프 실험 장치

본 연구에서는 유량 단속식 클러치 워터펌프의 작동 제어를 위하여, 엔진에서 온도가 가장 높은 부위인 실린더 헤드부의 냉각수 온도를 제어변수로 하여 설정온도 이하이면 클러치에 전원이 인가되어 임펠러 구동이 정지되므로 유량 단속이 이루어지고, 반대로 설정온도 이상이 되면 전원 공급이 중단되어 임펠러가 회전하도록 제어조직 초안을 구성하였다. 또한, 이러한 작동 원리를 갖는 유량 단속 장치는 클러치의 오작동 시에도 워터펌프가 회전하게 되어 엔진 냉각의 안전성 문제를 자동적으로 해결하였다. 전자기식 클러치 워터펌프의 작동 유무에 따른 시스템 개략도는 Fig. 1(a),(b)에 나타내었다. 워터펌프 구동시 클러치 시스템의 미작동으로 기계적인 스프링 힘에 의해 동력이 마찰재에서 디스크로 전달된다. 반대로 워터

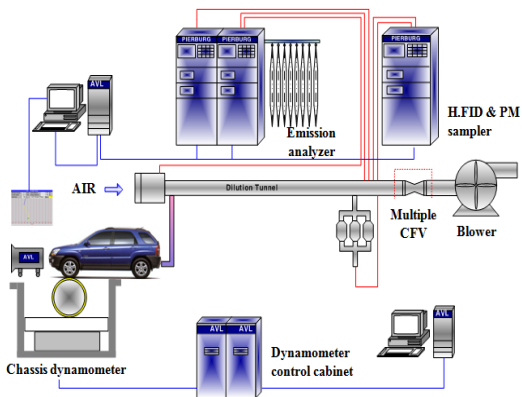
펌프 정지시에는 클러치 시스템의 작동으로 코일에서의 전자기력에 의해 마찰재와 디스크 간 서로 분리가 되어 폴리만 공회전하는 상태가 된다. 이러한 전자기식 클러치 시제품의 사진은 Fig. 2에 나타내었다.



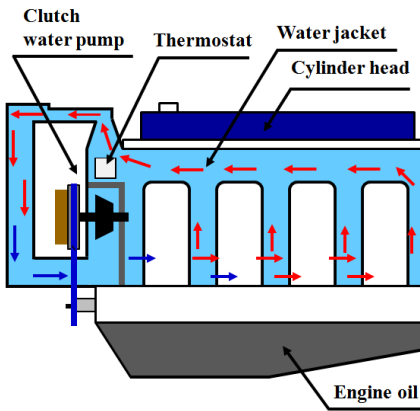
[Fig. 1] Schematic diagram of the electro- magnetic clutch system



[Fig. 2] Photograph of the electromagnetic clutch water pump



[Fig. 3] Schematic diagram of vehicle test facility



[Fig. 4] Schematic diagram of an engine cooling system

실제 차량에서 클러치 워터펌프 시제품의 성능평가를 위하여, 디젤 2.0 VDCi 엔진 장착차량에 Fig. 3에서와 같이 시험 장치를 설치하였다. 차대동력계 시험에 사용된 평가 장비는 AVL사의 48인치 싱글 롤 다이내모미터, Pierburg사의 배출가스 분석계, 희석터널, 유량측정기 등으로 구성되어 있다. 배기가스 분석은 임계유량 벤츨리형 정용량 시료채취장치(CFV: 20 m³/min)를 사용하여 일정량의 공기와 희석시킨 후 시료 채취 백에 담아 분석하여 자동차의 단위 주행거리(km)당 시험오염물질 배출량을 산출하였다. Fig. 4에서 보여지는 바와 같이, 실린더헤드 내부 워터재킷 중 온도가 가장 높은 부분으로 예상되는 지점(제어변수 #1)과 써모스탯 전(제어변수 #2)/후단, 워터펌프 입구, 엔진 오일팬 등에 온도센서를 장착하였고, 냉각수가 써모스탯을 지나 라디에이터 입구로 흐르는 지점에 유량계를 설치하여 방열을 위한 냉각수의 흐름을 파악하였다. 실린더헤드 온도와 더불어 써모스탯의 온도를 클러치 워터펌프의 제어변수로 선정하여 써모스탯의

작동과 연동될 수 있게 하였다. 이는 보다 클러치 워터펌프의 최적제어에 도움이 될 것으로 판단하였다. 온도 센서는 K타입의 열전대로서 온도 측정 범위 0~800℃, 오차 ±0.2℃ 내외이고, 유량계는 미국 Turbines사의 터빈유량계이며 측정 범위 19~190 lpm, 오차 ±1.0% 내외이다. 또한, 냉각수 유량 단속을 위한 클러치 작동 제어기와 각 부위의 온도 및 유량 측정값을 저장할 수 있도록 데이터 획득 장치를 차량에 장착하였다.

2.2 실험 조건 및 방법

본 실험은 차량상태에서 무부하 조건인 아이들 상태로 의 워업 시험과 도로주행을 모사한 NEDC 모드로 시험을 각각 수행하였다. 워업 시험의 경우 엔진 예열시간을 알아보기 위하여, 상온 측정실에 차량을 일정시간(6시간 이상) 동안 유지한 후 아이들 상태에서 1시간 동안 데이터를 측정하였다. 차대동력계 시험 평가는 유럽규제 시험 모드인 NEDC(ECE15+ EUDC)로 진행하였으며, 이는 현재 국내 디젤용 연비/배기가스 인증시험 모드로도 지정되어 사용하고 있다. 시험의 주행 사이클은 도시주행모드(ECE15)와 고속주행모드(EUDC)로 분류되어 있으며, 총 주행거리는 11.01 km이고 총 주행시간은 1,180초이다. 평균 속도는 ECE15와 EUDC 각각 18.7 km/h, 62.6 km/h로 주행 패턴에 따라 운전하여 각종 데이터가 실시간으로 측정된다. 실험은 1,2차에 걸쳐서 Case 1~4로 진행하였으며, 유량 단속을 위한 각각의 클러치에 의해 워터펌프 제어 온도 조건을 Table 1,2와 같이 설정하였다.

[Table 1] Basic control logic of clutch water pump

Case 1 control temp.	Case 2 control temp.	Clutch	Water pump
Engine head >95℃	Engine head >100℃	Off	On
Engine head <80℃	Engine head <85℃	On	Off

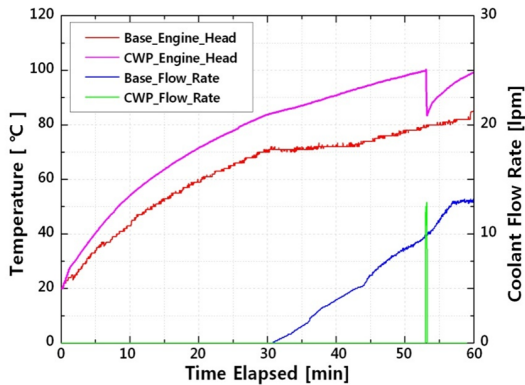
[Table 2] Improved control logic of clutch water pump

Case 3 control temp.	Case 4 control temp.	Clutch	Water pump
Engine head >105℃ or Thermostat >100℃	Engine head >110℃ or Thermostat >105℃	Off	On
Engine head <100℃ and Thermostat <98℃	Engine head <105℃ and Thermostat <103℃	On	Off

3. 실험 결과 및 분석

3.1 Warm-up 시험

유량 단속식 클러치 워터펌프를 적용한 차량에서, 아이들 상태로 1시간 동안 워밍업(예열) 실험을 한 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 써모스탯이 개방되는 근처 시점인 실린더헤드 온도 80℃를 기준으로 하여 기존 기계식 워터펌프의 경우 약 53분이 걸렸으나, 엔진 냉각수의 유량 단속에 의한 클러치 워터펌프는 약 27분이 소요되었다. 이는 기계식 대비 약 49% 정도의 워밍업 시간 단축 효과를 나타낸 것이다. 이러한 결과는 클러치에 전원이 인가되어 엔진 내부로의 냉각수 유량을 차단하여 작동 초기에 불필요한 냉각이 상당히 감소하였기 때문이다.



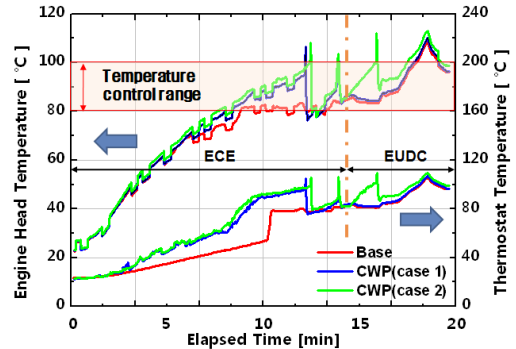
[Fig. 5] Warm-up test result at idle condition

3.2 차대동력계 시험

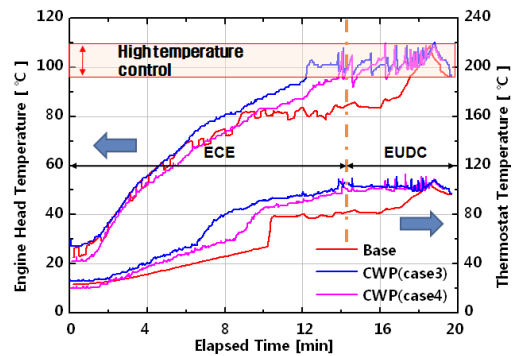
Fig. 6(a)에서 알 수 있는 바와 같이, Case 1,2의 NEDC 모드 시험 결과 클러치 작동은 총 4회 이루어졌으며 워터펌프의 구동 평균시간은 약 8초 정도였고, 미구동 시간은 1분 이상 소요되는 것으로 파악되었다. 이는 Table 1에서와 같이, 클러치 제어 온도 범위가 15℃로 설정되어 넓은 제어 영역을 사용하기 때문에, 실린더헤드의 온도 변화폭이 크고 클러치의 On/Off 횟수가 적게 나타났다. 실린더헤드부의 온도는 클러치 워터펌프의 경우가 Base 워터펌프 보다 빠른 상승을 하고, 엔진 냉각수의 온도가 일정 수준에 도달하여 써모스탯이 열리는 시점인 80℃ 부근까지의 상승 시간이 대략 1분 40초 단축되었다.

엔진 냉각수가 실린더헤드를 통해 써모스탯을 지나 라디에이터로 흐르게 되는데, 워터펌프 작동 제어로직 개선 안인 Case 3,4에서는 이러한 써모스탯의 온도를 추가 제어할 수 있도록 Table 2에서와 같이, 제어 인자로 선정 및 로직을 구성하였다. 또한 110℃의 온도 근처에서 엔진 성

능이 적정하게 운전되어 지고, 그 이상의 온도가 되면 엔진 과열로 인한 성능 감소가 발생할 수 있으므로, 이를 최대 설정 온도로 판단하여 적용하였다. Fig. 6(b)에서는 개선된 제어 로직이 적용된 경우, 고온 영역에서 실린더헤드 내부 및 써모스탯 전단의 냉각수 온도는 변화폭이 크지 않고, 안정적으로 온도 제어가 잘 이루어지는 것을 알 수 있다.



(a) Case 1,2



(b) Case 3,4

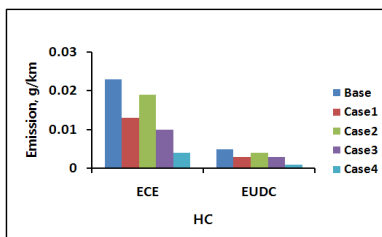
[Fig. 6] Temperature changes of engine head and thermostat at NEDC mode

[Table 3] Comparison of emissions and fuel efficiency at NEDC mode

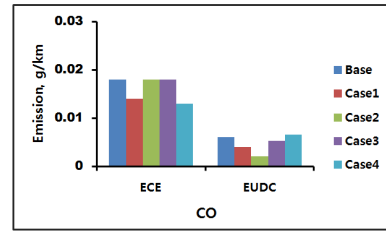
Emission	Base	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
HC (g/km)	0.008	0.007	0.009	0.005	0.002
CO (g/km)	0.010	0.008	0.008	0.010	0.009
NOx (g/km)	0.403	0.425	0.426	0.433	0.409
CO ₂ (g/km)	269.7	266.7	268.4	257.4	256.1
Fuel efficiency (km/l)	9.878	9.989	9.923	10.349	10.402

Table 3에서 알 수 있는 바와 같이, Case 1,2의 경우에 연비는 1% 내외로 다소 향상되었다. On/Off 제어 온도의 넓은 범위와 워터펌프 구동 후 클러치가 작동되는 온도가 80~85℃로 낮은 조건이므로, 연비의 성능향상 효과가 적은 것으로 판단된다. 하지만, 개선된 제어로직을 적용한 클러치 워터펌프의 Case 3,4 조건에서는 10.3, 10.4 km/l의 연비가 각각 측정되었으며, 이는 기존 워터펌프 대비 최대 5%의 연비가 개선된 것이다. 성능 향상의 주요한 이유로는 엔진의 연소실 온도가 상승함에 따라 연료의 기화가 원활해지고, 연소 조건도 개선되었기 때문이다. 그리하여, 유량 단속식 클러치 워터펌프를 적용할 경우, 예열 시간 단축 뿐만 아니라 주행 중 각 적용차량에 적합한 최적의 냉각수 온도 제어를 통하여 차량연비 향상과 NOx를 제외한 배기가스 저감 효과를 얻을 수 있었다.

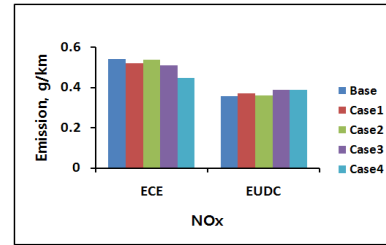
Base 워터펌프 시험의 배기가스 측정 결과는 도시주행 모드(ECE) 동안 HC와 CO가 과다 발생되는데, 이는 저온 시동에 의한 초기 불완전연소 및 농후 공연비로 인하여 발생하는 것이며, 이후 냉각수 온도가 상승하고 엔진의 온도가 정상 수준으로 올라가면서 고속주행 모드(EUDC)에서 디젤산화촉매장치(DOC)가 활성화되어 HC와 CO의 배출량이 감소하였다. 반면에 유량 단속식 클러치 워터펌프를 적용하여 시험한 결과, 초기 시동시에 워터펌프가 미작동하므로 엔진 실린더 블록과 헤드의 온도가 빨리 상승함으로 인하여, 연소 조건이 개선되어 Base 워터펌프 대비 HC 및 CO의 배출량이 도시주행 및 고속주행 모드에서 다소 감소하는 경향을 Fig. 7(a), (b)에서 알 수 있다. Fig. 7(c)의 NOx 경우에는 차량 부하가 증가하고, 이는 엔진의 온도 상승을 유발시켜 연소실분위기가 온도가 고온이 되어 흡입 공기 중의 질소가 산화되어 발생하며, 클러치 워터펌프의 경우 냉각수 고온제어로 인해 기계식보다 발생량이 다소 증가한 것으로 판단된다. 또한, 이러한 조건에서의 도시주행 및 고속주행 모드에서 워업 시간 단축과 냉각수 고온제어를 통하여 지구온난화에 지배적인 영향을 주는 CO₂의 감소 효과를 Fig. 7(d)에서 확인할 수 있다.



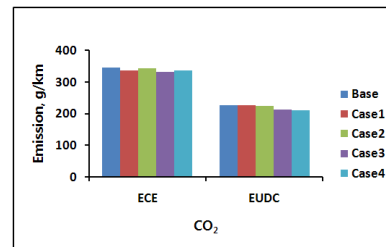
(a) HC



(b) CO



(c) NOx



(d) CO₂

[Fig. 7] Changes of HC, CO, NOx and CO₂ emissions at NEDC mode

4. 결론

본 연구에서는 차량의 연비 향상 및 배기가스 저감을 위해 엔진 냉각시스템에 유량 단속식 클러치 워터펌프를 적용하여, 엔진의 워업 단축 효과와 더불어 차대동력계에서의 엔진 성능 및 배기가스에 미치는 영향을 살펴보았으며, 이를 통해서 얻은 결과는 다음과 같다.

- (1) 유량 단속식 클러치 워터펌프를 적용함에 따라, 저온 시동시 냉각수 흐름을 차단하여 빠른 워업을 유도하였고, 이로 인해 예열 시간을 기존 워터펌프 대비 약 49% 정도까지 단축시켰다.
- (2) 개발된 On/Off 제어로직에 의하여 전자기식 클러치에 의한 냉각수를 고온으로 제어하는 경우,

NEDC 모드를 기준으로 엔진 연소 효율이 개선되어 최대 5% 정도의 연비 향상 효과를 나타내었다. 또한 NOx를 제외한 HC, CO 및 CO₂ 배기가스 농도가 전반적으로 감소함을 알 수 있었다.

향후, 실차의 다양한 운전조건에서의 보다 많은 시험 평가를 수행함으로써, 전자기식 클러치 워터펌프의 작동 최적 제어로직을 개발하고, 그 외에 엔진 냉각 장치(써모스탯 등)와의 제어 연계기술을 개발할 필요가 있을 것이다.

References

- [1] M. Chanfreau, B. Gessier, A. Farkh and P. Yves Geels, "The need for an Electrical Water Valve in a Thermal Management Intelligent System," SAE 2003-01-0274, 2003.
DOI: <http://dx.doi.org/10.4271/2003-01-0274>
- [2] E. G. Ribeiro and A. P. de A. Fillho, "Electric Water Pump for Engine Cooling," SAE 2007-01-2785, 2007.
DOI: <http://dx.doi.org/10.4271/2007-01-2785>
- [3] Z. N. Cehreli, "Cooling System Optimization on a 5-Cylinder Engine," SAE 2007-01-2600, 2007.
DOI: <http://dx.doi.org/10.4271/2007-01-2600>
- [4] D. Robert and J. Chalgren, "Thermal Comfort and Engine Warm-Up Optimization of a Low-Flow Advanced Thermal Management System," SAE 2004-01-0047, 2004
DOI: <http://dx.doi.org/10.4271/2004-01-0047>
- [5] M. Choi, M. Park, S. Cho and S. Han, "The Effect of Variable Water Pump Control of Diesel Engine on Decreasing Fuel Consumption," KSAE Spring Conference Proceedings, pp. 151-156, 2009.
- [6] R. Krafft, A. Wolf and W. Faller, "Electromagnetic Water Pump Clutch: Working Principle, Design Strategies and Applications for Heavy-Duty Vehicles," SAE 2007-01-4260, 2007.
DOI: <http://dx.doi.org/10.4271/2007-01-4260>
- [7] <http://www.dayco.com>

김 성 철(Kim, Sung-Chul)

[정회원]



- 1999년 2월 : 고려대학교 기계공학과 (공학사)
- 2001년 2월 : 고려대학교 기계공학과 (공학석사)
- 2007년 2월 : 서울대학교 기계항공공학부 (공학박사)
- 2007년 4월 ~ 현재 : 자동차부품연구원 선임연구원

<관심분야>

미래형 자동차, 모터/인버터/배터리/연료전지 냉각, 공조(냉난방)시스템 및 열전달 응용