

냉각팬 전자제어를 통한 시내버스의 연비 개선

김기복¹⁾ · 박진일^{*1)} · 이종화¹⁾ · 박경석²⁾

아주대학교 기계공학부¹⁾ · 금오공과대학교 기계시스템공학과²⁾

The Effect of Cooling Fan Control on Fuel Economy of City Bus

Kibok Kim¹⁾ · Jinil Park^{*1)} · Jonghwa Lee¹⁾ · Kyoungseok Park²⁾

¹⁾Department of Mechanical Engineering, Ajou University, Gyeonggi 442-749, Korea

²⁾Department of Mechanical System Engineering, Kumoh National Institute of Technology, Gyeongbuk 730-701, Korea

(Received 21 July 2011 / Revised 24 December 2012 / Accepted 8 July 2013)

Abstract : This paper focuses on cooling fan control by using a magnetic clutch type for the improvement of fuel economy on a heavy city bus. In general, Heavy duty vehicles use viscous clutch type cooling fan which has some disadvantages, such as slow response, wide temperature variation of engine coolant water. But a magnetic clutch type cooling fan can be controlled electronically so the engine coolant temperature can be precisely controllable and this effects could be used to reduce fuel consumption. A control system for applying the magnetic clutch type cooling fan was developed in this study and applied to the real field test and chassis dynamometer test. The result showed well controlled coolant temperature and enhancement of fuel economy.

Key words : Vehicle thermal management system(능동형 열관리장치), Electronic clutch cooling fan(전자식 클러치 냉각팬), Viscous clutch cooling fan(유체 클러치 냉각팬), CNG bus(CNG 버스), Fuel economy(연비)

1. 서론

2001년 11월 교토의정서 공포 이후 온실가스 배출량 감소를 위한 국제적 노력이 활발하게 진행되고 있으며 이에 따라 선진국들은 2008년부터 2012년까지 전체 온실가스 배출량을 1990년 대비 5.2% 감축하기로 합의하였다.¹⁾ 따라서 자동차 산업에서도 온실가스 배출을 줄이기 위한 다양한 기술들이 개발되고 있다. 자동차 온실가스 배출량 저감은 연비 개선을 의미하는데 관련 기술은 엔진 고효율화, 보기류 소모동력 저감, 동력전달 효율 증대, 공력개선, 저마찰 타이어, 경량화 등 차량의 모든 구성 요소를 대상으로 한다.²⁾

이 중 차량에서 버려지는 열에너지를 줄임으로써 연비를 개선하고자 하는 VTMS (Vehicle Thermal

Management System, 능동형 열관리 시스템) 가 최근 큰 주목을 받고 있는데 이는 배기열회수, 엔진/과급기/구동계 냉각 최적화, 관련 보기류 구동력 저감 등을 포함하는 기술이다. VTMS와 관련된 부품으로는 냉각수펌프, 오일펌프, 라디에이터, 인터쿨러, 오일쿨러, 냉각팬 등이 있는데 이 중 냉각팬은 냉각수 온도제어를 위해 필수적인 부품이다.^{3,4)} 냉각팬은 승용차의 경우 차량 정지 시나 저속 운행 시 등에 제한적으로 사용되기 때문에 오래 전부터 전기모터로 구동되고 있으나 중대형 차량, 특히 엔진이 차량 후미에 위치하는 버스의 경우 승용차에 비해 냉각팬의 구동이 많기 때문에 전기모터 구동은 연구단계에 그치고 있으며^{5,6)} 엔진에 의한 직접구동 방식이 채택되고 있다. 이 때 냉각팬 구동을 단속하기 위한 클러치가 필요한데 기계식과 전자식 두 종류가 있다.

기계식 냉각팬 클러치 동작은 냉각수 흐름을 제

*Corresponding author, E-mail: jpark@ajou.ac.kr

어하는 써머스탯과 같이 온도에 반응하는 물질을 사용하여 구동이 단속되는 방식이며 전자식 클러치는 에어콘압축기에 적용된 마그네틱 방식이다. 전자식 제어 방식은 정밀한 냉각수 온도제어가 가능하고 냉각팬 소모 동력을 줄여 연비 측면에서 유리한 반면 기계식에 비해 단가가 비싸기 때문에 일부 중대형차량에 제한적으로 적용되고 있는 실정이다.

전자식은 단순 on-off 방식과 3-speed 방식으로 구분할 수 있는데 on-off 방식의 연비효과와⁷⁾ 3-speed 방식의 연비효과가 대형트럭과 고속버스에서 보고되었다.^{8,9)} 본 연구에서는 가감속 운전이 빈번한 시내버스 차량에 3-speed 전자식 클러치를 적용하여 이에 따른 연비 개선 효과를 파악하고자 한다. 특히 연비 효과에 대한 신뢰도를 높이기 위해 실차/실도로 시험과 실차/차대동력계 시험을 병행하여 그 효과를 검증하고자 한다.

2. 연구 내용

본 연구에서는 먼저 전자식 클러치 및 냉각팬의 단품 특성을 파악하기 위한 예비 실험을 실험실 내에서 수행하였다. 실험을 위해 AC Dynamometer와 축토크 센서, 전자식 클러치 냉각팬 등을 이용하여 실험 장치를 구성하고, 엔진 속도에 따른 각단 냉각팬 회전 속도, 엔진 속도에 따른 각단 냉각팬 소모 토크를 측정하였다.

이를 바탕으로 시스템의 개선 효과를 알아보기 위해 실도로 시험을 수행하였는데, 11,000cc급 CNG 엔진 시내버스 차량에서 기존 유체 클러치 냉각팬 시스템과 전자식 냉각팬을 비교하였다.

본 연구에서 사용한 실 도로 주행 노선은 약 37.6km의 운행 거리로 총 89개의 정류장을 포함하며 정상적인 운행 시간은 약 110분 정도이다. 비교 기준 물리량으로서 엔진 냉각수 온도 변동을 선정하여 냉각시스템의 성능을 비교해 보았다.

이를 위해 자체 제작한 데이터 수집 장치를 이용하여 주행 동안 냉각팬 속도 및 엔진 냉각수 온도, 순시 연료량, 엔진 속도, 차량 속도 등을 실시간으로 측정하여 기록하였다.

실 도로 운행 실험 취득 데이터와 단품 실험 결과를 바탕으로 유체 클러치 냉각팬과 전자식 클러치

냉각팬 적용 시 엔진 작동 온도 상승 및 냉각팬 소모 동력 차이에 따른 연비 개선 효과를 기존의 모델링을 통해 수치적으로 계산하였다.^{2,10)}

또한, 전자식 클러치 냉각팬 적용을 통한 연비 개선 효과 확인 실 도로 실험을 위해 자체적으로 제어 시스템을 구성하였다. 전자식 클러치 냉각팬의 각 단별 작동 영역을 설정하였고, 자체 제작한 컨트롤러를 이용하여 전자제어를 냉각 팬 제어를 수행하였다. 마지막으로 기존 유체 클러치 냉각팬에 대하여 전자식 클러치 냉각팬 적용에 따른 연비 개선 효과의 정확한 비교를 위해서 주행 조건을 동일하게 설정할 수 있는 차대동력계 실험을 수행하였다.

3. 냉각팬 단품 실험

클러치 방식과 상관없이 냉각팬 자체의 회전 속도에 따른 소모 동력을 알아보기 위해 단품 실험을 수행하였다. 실험 장치는 Fig. 1과 같이 AC Dynamometer에 샤프트 및 플렌지를 이용하여 냉각팬 클러치에 연결하고, 냉각팬 클러치와 냉각팬 및 라디에이터 어셈블리를 장착하여 구성하였다. Digital Fiber-Optic 증폭기를 사용하여 냉각팬 회전 속도를 측정하였다. 측정된 냉각팬 소모 토크의 특성은 Fig. 2와 같이 냉각팬 속도에 따라 점점 가파르게 증가하여 나타났다. 이 특성은 동일한 냉각팬을 사용하는 경우, 유체 클러치이든 전자식 클러치이든 상관없이 동일한 특성이다.

전자식 클러치인 경우 냉각팬은 0단 슬립, 1단 부분 슬립, 2단 직결의 3단계로 회전 속도를 제어할 수 있다. 이는 클러치 내의 독립된 2개의 전자석에 의해 결정된다.

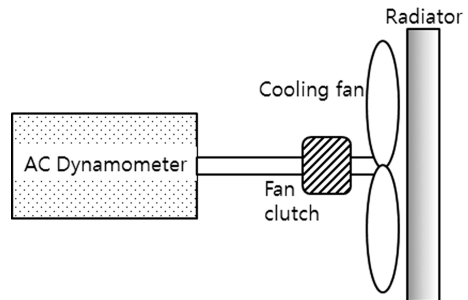


Fig. 1 Experimental setup of cooling fan operation

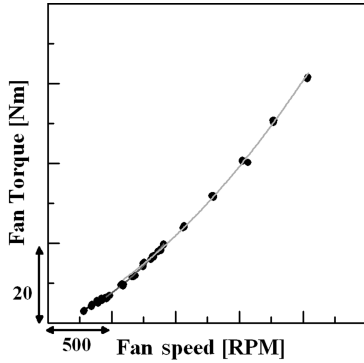


Fig. 2 Fan torque as a function of fan speed (conventional system)

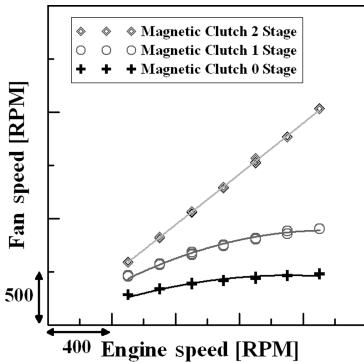


Fig. 3 Fan torque as a function of fan speed & magnetic clutch state

Fig. 3은 측정된 각 단 별 팬 속도와 엔진 회전속도의 관계를 보여주고 있는데, 0단과 1단은 슬립상태로써 엔진 속도와 냉각팬 회전 속도의 비율이 일정하지 않은 것을 알 수 있었다. 그러나 2단의 경우에는 직결상태로 엔진 속도 증가에 따라 냉각팬 속도가 선형적인데, 이는 엔진 크랭크 풀리와 냉각팬 클러치 풀리간의 풀리비로 결정되기 때문이다.

유체 클러치 냉각팬의 경우 단수 제어가 전자적으로 가능하지 않다. 라디에이터를 통과한 공기온도가 설정 온도보다 낮은 경우 클러치에 의해 냉각팬이 슬립하고, 설정 온도보다 높은 경우 엔진과 직결된다. 회전 제어는 온도에 대한 히스테리시스 효과로 인해 완전 슬립과 완전 직결을 오르내리며 냉각팬을 회전시키게 되는데, 보통 완전슬립에서 완전직결까지는 대략 120초가 소요된다.

전자식 클러치는 전자적으로 제어가 가능하며 반

응 속도 또한 매우 빠르다. 따라서 유체 클러치 방식과는 달리 온도 히스테리시스 효과에 있어 매우 유리할 것이라고 예상할 수 있다.

4. 유체 클러치 방식의 실 도로 운행 시험

기존에 사용되고 있는 유체 클러치 냉각팬의 작동 특성을 실 도로 운행 시험을 통하여 알아보았다. 시험 노선은 수원 시내버스 운행 노선으로 모든 정류장에서 정차 후 출발하는 방법으로 수행하였고, CAN통신을 통하여 차량 속도, 엔진 냉각수 온도, 엔진 속도, 실시간 연료량 등을 취득하였으며, Digital Fiber 센서를 이용하여 냉각팬 속도를 측정하였다. 시험에 사용된 차량제원은 아래와 같다.

Table 1 Test vehicle specification

엔진배기량	11,149 cc
연료	CNG
최대출력	290 ps
승차인원	57 인

Fig. 4와 Fig. 5의 실험 결과를 보면, 여름철 엔진 냉각수 온도는 85°C와 96°C 사이, 겨울철 엔진 냉각수 온도는 82°C와 95°C 사이이고, 냉각팬 작동 속도는 여름 평균 855RPM, 겨울 평균 539 RPM을 나타내고 있다.

이 결과는 냉각수 온도는 계절에 관계없이 일정하게 잘 유지되나 여름철에 외기온도가 높아서 냉각수온을 적절한 온도로 유지하기 위해 냉각팬 작동이 많다는 것을 의미한다.

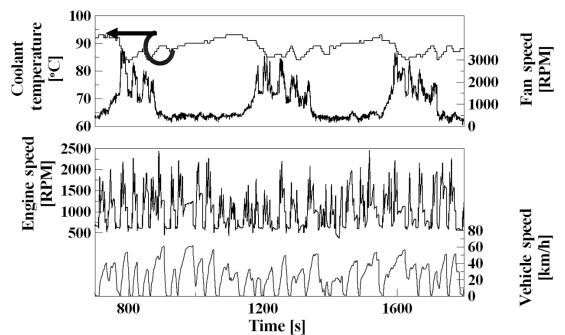


Fig. 4 Coolant temperature behavior (conventional system, summer)

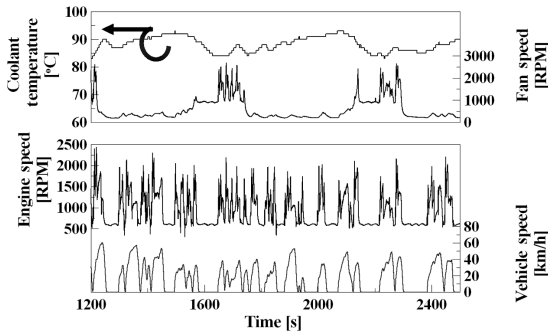


Fig. 5 Coolant temperature behavior (conventional system, winter)

테스트주행에 사용된 총 연료량 중 냉각팬 회전마찰로 소모된 연료량의 기여도는 여름의 경우 5.2%로 나타났으며, 여름보다 외기온이 낮은 겨울의 경우 2.0%로 나타났다. 주행 중 냉각팬의 소모토크는 단품 시험에서 취득된 속도에 따른 토크 특성을 이용하여 실차에서의 냉각팬 속도를 측정함으로써 계산하였고 이를 CAN으로부터 취득한 엔진토크와의 비교하여 연비기여도를 산출하였다. 자세한 계산방법은 선행시험 선행 연구자의 연구내용을 참고하였다.¹⁰⁾

5. 냉각팬 전자제어 시스템 구성 및 실 도로 시험

전자식 클러치 냉각팬의 연비 향상 효과를 알아보기 위하여 앞서 수행한 유체클러치 방식의 실차 시험 환경에 추가적으로 제어 시스템을 구성하였다. 컨트롤러는 CAN을 통하여 OBD단자에서 보내는 엔진 냉각수 온도 신호를 취득하며, 각 단별 제어 목표 온도에 따라 전자식 클러치 냉각팬의 다단 제어를 수행하였다. 시험 데이터 기록은 앞서 시험과 동일하게 CAN에서 전송한 각종 신호와 냉각팬 회전 속도를 취득하였다.

유체 클러치 냉각팬의 경우 냉각수 온도가 최고 96°C까지 상승한다. 따라서 전자식 클러치 냉각팬의 1단 작동 시작 제어 온도를 96°C로 설정하였고 1단의 작동이 정지되는 온도는 92로 설정하였다. 즉, 엔진 냉각수 온도가 저온에서 상승하는 단계에서 96°C 보다 낮은 경우에는 0단으로 슬립한다.

만약 1단 제어로 냉각이 되지 않고 온도가 계속 상승하면, 2단 제어로 넘어가게 되는데, 이 때 2단 작동 온도는 99°C로 설정하였고, 2단이 해제되는 온

Table 2 Control logic of magnetic fan clutch

	OFF → ON	On → OFF
Magnetic Clutch FAN 1 Stage	96°C	92°C
Magnetic Clutch FAN 2 Stage	99°C	93°C

도는 93°C로 설정하였다. 이렇게 온도 히스테리시스를 두는 이유는 설정온도 근처에서 제어 ON/OFF가 급속히 반복되어 고장을 일으키는 것을 방지하기 위함이다.

제어 로직을 요약하여 나타내면 Table 2와 같다.

앞서 운행한 동일한 노선에 대하여 같은 방법으로 전자식 방식의 냉각팬 시험을 수행하였다.

Fig. 7과 Fig. 8의 결과를 비교해 보면, 전자식 클러치 냉각팬 적용 시 엔진 냉각수 온도 변동은 92°C에서 96°C로 유체클러치 방식보다 온도변동폭은 감소하였고 평균온도는 약 10°C 상승하였으며 냉각팬 평균속도는 539rpm에서 350rpm으로 감소하였다. 유체클러치 방식은 냉각팬 제어가 슬립/직결 두 단계만 존재하므로 온도변동폭이 크고 이로 인해 평



Fig. 6 Schematic of real road vehicle test

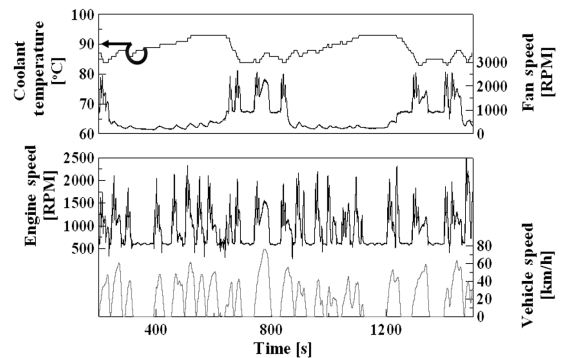


Fig. 7 Results of real road test (conventional system)

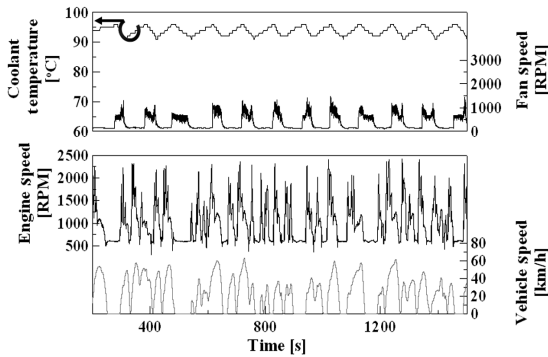


Fig. 8 Results of real road test (electronic controlled system)

Table 3 Comparison of averaged results from real road test

		Base	Fan control
Mean Value	Engine torque	22.6%	23.3%
	Engine speed	1052 RPM	1043 RPM
	Vehicle speed	25.5 km/h	24.8 km/h
	Fan speed	539 RPM	350 RPM
	Coolant temp.	87.7°C	93.6°C
Total distance		37.6 km	37.6 km
Total test time		7201 s	6700 s
F/E		1.67 km/m ³	1.80 km/m ³

균온도를 높게 유지할 수 없으나 전자클러치 방식은 슬립/1단/2단 세 단계 제어가 가능하여 평균온도를 상대적으로 높게 유지할 수 있고 냉각팬 구동도 최소화할 수 있다.

Table 3에 2가지 방식의 시험 결과를 각 항목 별로 비교하여 나타내었다. 평균 엔진 속도, 평균 엔진 토크, 평균 차량 속도, 평균 APS의 값을 보면, 각각의 시험에서 운전조건의 차이는 거의 없음을 알 수 있다. 그러나 연비는 유체 클러치 냉각팬에 비하여 전자식 클러치 냉각팬 적용의 경우 7.8% 개선되었음을 나타내고 있다.

유체 클러치 냉각팬의 경우 그래프에 나타난 바와 같이 실 도로 주행에서 엔진 냉각수 온도 변동이 크고, 냉각팬 작동 속도 또한 크게 나타났다. 주행 구간 중에 냉각수온이 낮은 동안에는 윤활유의 점성으로 인한 엔진 자체의 마찰이 증가하게 된다. 또한 전반적으로 냉각팬 작동 기간도 상대적으로 길어서 냉각팬 소모 동력이 커질 수 있다. 이러한 동작의 원인은 유체클러치의 작동 특성에 의해 ON과

OFF 사이의 전환시간이 길기 때문이다.

반면, 전자식 클러치 냉각팬의 경우, Fig. 8과 같이 엔진 냉각수 평균온도가 높고, 변동이 작게 나타났다. 이렇게 되면 유체 클러치 냉각팬의 경우보다 엔진 자체의 마찰 소모가 유리하게 된다. 또한 냉각팬은 낮은 속도로 짧게 운전되므로 냉각팬 소모 동력 측면에서 유리하게 나타났다.

실 도로 실험에서는 실제 상황을 반영하다는 점에서는 중요하지만 도로 상황 및 교통 신호 등으로 인해 비교 조건을 일관되게 통제할 수 없다는 단점이 있다. 즉, 실 도로 실험에서는 운전 조건이 완벽하게 일치하지 않아 유체 클러치 냉각팬 실험과 전자식 클러치 냉각팬 실험의 엔진 평균 토크와 회전속도가 약간의 차이를 보인다.

따라서 유체 클러치 냉각팬 및 전자식 클러치 냉각팬의 차이를 동일한 조건으로 정확히 확인해 보기 위해 차대동력계 실험을 수행하였다. 실험에 사용한 주행 모드는 평균 속도 27.0km/h, 주행 거리 4.9km, 919초의 주행 시간을 갖는 NIER06 이다. 유체 클러치 냉각팬과 전자식 클러치 냉각팬을 시내버스 차량에 차례로 장착하여 NIER06 모드 주행을 통해 연비 및 배출가스 결과를 얻었다. 냉각팬의 제어 조건은 실 도로 때와 동일하였다.

Fig. 9와 Fig. 10의 실험 결과를 비교하여 보면, 전자식 클러치 냉각팬을 적용한 경우 엔진 냉각수 온도 변동은 92°C에서 96°C로 유체 클러치 방식보다 작게 나타났다. 냉각팬 속도 역시 유체 클러치 방식의 616RPM보다 534RPM으로 작아졌다. 더욱이 전

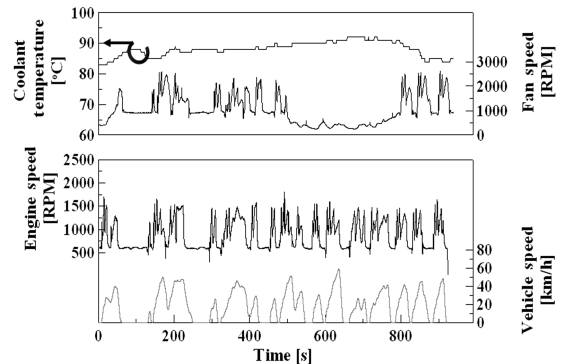


Fig. 9 Results of chassis dynamometer test (conventional system)

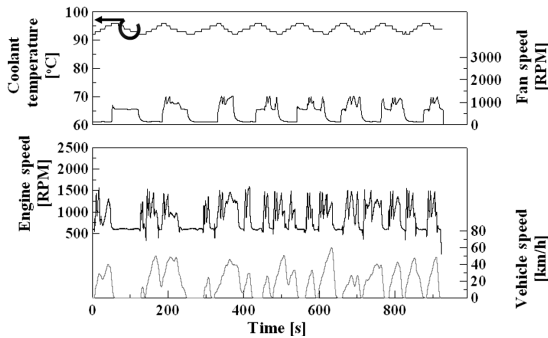


Fig. 10 Results of chassis dynamometer test (electronic controlled system)

Table 4 Comparison of averaged results chassis test

		Base	FAN Control
Mean Value	Engine Torque	22.8%	22.0%
	Engine Speed	939 RPM	939 RPM
	Vehicle Speed	22.8 km/h	23.1 km/h
	Fan Speed	616 RPM	534 RPM
	Engine Coolant Temp.	88.2°C	94.0°C
Total Distance		4.8 km	4.9 km
Total Test Time		919 s	919 s
F/E		1.797 km/m ³	1.917 km/m ³

자식 클러치 냉각팬의 경우 2단 작동은 전혀 수행되지 않았다.

결과적으로 전자식 클러치 냉각팬 적용에 의하여 냉각팬 소모동력 저감과 엔진 작동 온도 상승에 따른 마찰력 저감에 따른 총 연비 개선 효과는 6.7%로 나타났다.

6. 결 론

본 연구에서는 대형 차량에서 기존 기계식 유체 클러치 방식의 냉각팬에서 전자식 클러치 방식의 냉각팬으로 대체할 경우에 있어서 연비 개선 효과를 실차 시험과 차대동력계 시험을 통하여 알아보았다.

1) 실 도로 운행 실험을 통하여 유체 클러치 냉각팬 시스템이 적용된 대형 시내버스 차량에서 냉각수 온도 변동은 82°C에서 96°C사이로 비교적 크게 나타남을 알 수 있었다. 유체 클러치 냉각팬의 연비 기여도는 여름 5.2%, 겨울 2.0%로 나타났다.

- 2) 전자식 클러치 냉각팬 적용 및 제어를 통하여 실제로 실험에서 유체 클러치 냉각팬 대비 연비 7.8%의 개선 효과를 얻었다. 이 때 평균 냉각팬 속도는 539RPM에서 354RPM으로 감소하였으며, 엔진 냉각수 온도 변동은 92°C에서 96°C로 상대적으로 작게 나타났다.
- 3) 차대동력계 실험에서 유체 클러치 냉각팬 대비 전자식 클러치 냉각팬 적용 시 6.7%의 연비 개선 효과를 얻었다. 실제로 주행과 거의 비슷한 수준의 연비 개선 효과를 보임으로서 전자식 클러치 방식의 개선을 확실히 알 수 있었다.
- 4) 보다 지능적이고 정밀한 제어를 위해 Fuel-cut 시 냉각수 온도에 따라 냉각팬 클러치를 작동하거나, 고 부하 영역에서 냉각수 온도와 부하 지속 시간에 따라 전자식 클러치 냉각팬의 2단 제어를 수행하는 등의 개선이 요구되며 이를 통하여 추가적인 연비 개선 효과를 기대할 수 있을 것이다.

References

- 1) J. Ryu, "A Study on the Characteristics of Greenhouse Gas Emissions Exhausted from Motor Vehicles," KSAE04-S0004, 2004.
- 2) H. Baker, Review of Low Carbon Technologies for Heavy Goods Vehicles, Ricardo report, 2009.
- 3) Y. Lee, "The Effect of Fuel Economy via Types of Cooling Fan on 2L Diesel Vehicle," KSAE08-S0092, 2008.
- 4) M. Lyu, "Vehicle Fuel Economy Improvement by Studies on the Engine Cooling and Ancillaries System of the Heavy Duty Engine," Transactions of KSAE, Vol.15, No.3, pp.79-84, 2007.
- 5) J.-H. Kim, J.-M. Seo, J. H. Jung and N.-K. Hur, "Investigation into the Development of a Bus Electrical Cooling System," Int. J. Automotive Technology, Vol.12, No.3, pp.417-423, 2011.
- 6) T. K. Lockwood, "Road Map and Technology Trends for Vehicle Engine Cooling Fan Speed Control," SAE 2011-01-1334, 2011.
- 7) R. L. Champoux, "Application of Electronic Controls to On-off Fan Drives and Air Condi-

tioning System,” SAE 902260, 1990.

- 8) R. Krafft, “High Efficiency Fan Drive(HEFD),” SAE 2008-01-2689, 2008.
- 9) H. Ko, “The Effect of Intelligent Control of Magnetic Cooling Fan Clutch on a F/E in the Highway Bus,” KSAE10-A0050, 2010.
- 10) H. Han, “Analysis of the Fuel Economy Factor of the Commercial Vehicle,” KSAE05-F0082, 2005.