



전기식 워터펌프 및 가변 유량형 오일펌프 동시 적용을 통한 엔진 열관리 시스템 최적화

Optimization of Engine Thermal Management System by Simultaneous Application of Electric Water Pump and Variable Flow Oil Pump

저자 (Authors)	윤흥수, 류민열, 박성진 Heungsoo Yoon, Minyeol Ryu, Sungjin Park
출처 (Source)	한국자동차공학회 춘계학술대회 , 2017.5, 1262-1268 (7 pages)
발행처 (Publisher)	한국자동차공학회 The Korean Society Of Automotive Engineers
URL	http://www.dbpia.co.kr/Article/NODE07205143
APA Style	윤흥수, 류민열, 박성진 (2017). 전기식 워터펌프 및 가변 유량형 오일펌프 동시 적용을 통한 엔진 열관리 시스템 최적화. 한국자동차공학회 춘계학술대회, 1262-1268.
이용정보 (Accessed)	홍익대학교 223.194.71.*** 2017/08/11 05:16 (KST)

저작권 안내

DBpia에서 제공되는 모든 저작물의 저작권은 원저작자에게 있으며, 누리미디어는 각 저작물의 내용을 보증하거나 책임을 지지 않습니다. 그리고 DBpia에서 제공되는 저작물은 DBpia와 구독계약을 체결한 기관소속 이용자 혹은 해당 저작물의 개별 구매자가 비영리적으로만 이용할 수 있습니다. 그러므로 이에 위반하여 DBpia에서 제공되는 저작물을 복제, 전송 등의 방법으로 무단 이용하는 경우 관련 법령에 따라 민, 형사상의 책임을 질 수 있습니다.

Copyright Information

Copyright of all literary works provided by DBpia belongs to the copyright holder(s) and Nurimedia does not guarantee contents of the literary work or assume responsibility for the same. In addition, the literary works provided by DBpia may only be used by the users affiliated to the institutions which executed a subscription agreement with DBpia or the individual purchasers of the literary work(s) for non-commercial purposes. Therefore, any person who illegally uses the literary works provided by DBpia by means of reproduction or transmission shall assume civil and criminal responsibility according to applicable laws and regulations.

전기식 워터펌프 및 가변 유량형 오일펌프 동시 적용을 통한 엔진 열관리 시스템 최적화

윤 홍 수 · 류 민 열 · 박 성 진

홍익대학교 기계공학과

Optimization of Engine Thermal Management System by Simultaneous Application of Electric Water Pump and Variable Flow Oil Pump

Heungsoo Yoon · Minyeol Ryu · Sungjin Park

Department of Mechanical Engineering, Hongik University, Wowsan-ro94, Mapo-gu, Seoul 04066, Korea

Abstract : In cold start driving cycles, the use of the electric water pump and variable flow oil pump for diesel engine saves fuel and reduces emissions. The electric water pump and variable flow oil pump allow the engine coolant and lubricant system to select the optimized operation condition. In this study, electric water pump and variable flow oil pump are designed for engine warm up system based on GT-Suite simulation. Also, the designs are compared based on the practical flow and temperature conditions of WLTP driving cycle.

Key words : Electric Water Pump(전기식 워터펌프), Variable Flow Oil Pump(가변유량형 오일펌프), VTMS(자동차열관리시스템), Engine Warm-up(엔진 워-업)

1. 서 론

최근 배출가스 및 연비 규제가 점차 강화됨에 따라 연비 향상에 관련한 Vehicle Thermal Management System(VTMS) 연구의 중요도가 증가하고 있다. 엔진은 다양한 방법으로 엔진 워업 시간을 최소화 또는 열관리 최적화를 통해 연비 상승은 물론 배기가스 저감이 가능하다고 알려져 있다. Wagner 등은 자동차의 냉각 시스템에 기계식 시스템을 대체하여 전자화 시켰을 때 연비가 5% 향상한다 하였고¹⁾, Loganathan 등은 전기식 가변유량 오일펌프를 적용한 실험을 통해 유량제어 및 Parasitic loss 저감으로 2.2% 연비 향상한다 하였다.²⁾ 이들의 공통적인 특징은 워터 펌

프와 오일펌프를 엔진 스피드 및 토크에 의존하지 않고 독립적으로 제어하여 냉각수 및 오일 유량을 최적화 할 수 있다는 것이다.

워터펌프 관련 선행 연구사례들은 크게 전기 모터로 워터펌프를 대체한 방식과 크랭크축과 워터펌프 사이에 클러치를 적용하여 on/off제어 하는 방식으로 나뉜다. 전기모터 방식은 엔진 스피드 및 토크에 의존하지 않고 독립적인 작동을 할 수 있으며 펌프 설치 위치가 자유로운 장점이 있으나 전력을 소모하는 단점이 있다.³⁾ 클러치 방식은 구조가 단순하고 베이스 시스템의 구조와 비슷하여 적용이 쉬운 장점이 있으나 클러치 off시 동력이 차단되면서 워터펌프 회전수가 0rpm에 가깝게 되어 엔진 Hot-spot이 발생할 위험이 있다.⁴⁾

오일펌프 관련 선행 연구사례들은 크게 전기 모터로 대체하는 방식과 밸브제어를 통해 펌프 토출유량을 제어하는 방식이 있다. 전기모터 방식은 엔진 스피드 및 토크에 의존하지 않고 독립적인 작동을 할 수 있으며 펌프 설치 위치가 자유로운 장점이 있으나 전력을 소모하고 엔진 스피드 및 토크가 급변 시 즉각적인 유량 제어가 제한되는 단점이 있다.⁵⁾ 밸브제어 방식은 베이스 시스템과 동일한 기계식 구동 방식을 유지하며 특정구간에서 밸브제어를 통해 펌프 토출유량을 제어하여 펌프 파워 손실을 저감할 수 있는 장점이 있으나 기계식 구동 방식을 그대로 유지함에 따라 펌프 설치 위치가 제한적인 단점이 있다.^{6,7)} 본 연구에서는 파워트레인 모델에 전기식 워터펌프와 가변 유량형 오일펌프 모델을 적용한 VTMS 모델을 통합한 통합 VTMS 모델을 이용하여 전기식 워터펌프와 가변 유량형 오일펌프 개별적용 및 동시적용 시 냉각수 및 오일 율입 효과에 대해 비교하였다.

2. 통합 VTMS 모델 개발

2.1. 파워트레인 모델 개발

파워트레인 모델은 Kim 등이 상용프로그램인 GT-Suite을 이용하여 선행연구에서 개발 및 검증한 모델과⁸⁾ 추가로 개발한 전력시스템 모델을 적용하여 2.0 liter급 승용 디젤엔진의 엔진연소, 쿨링회로, 오일회로, 전력시스템, ECU 등 8가지 모델로 구성된다. Fig 1은 통합 VTMS 모델의 구성도를 나타내고 Table 1은 해당 차량 및 엔진 사양을 나타낸다.

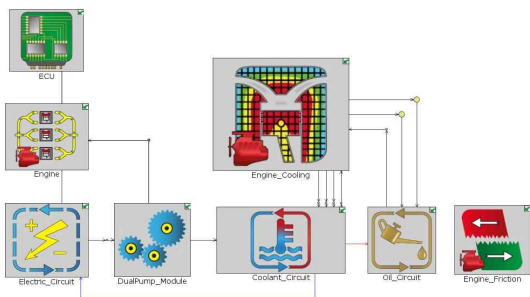


Fig 1. Overview of integrated VTMS model in GT-Suite

Table 1 Engine and vehicle specification

Engine type	4 cylinder Diesel(Turbo charged)
Mass	1659 kg
Rolling resistance coefficient	0.02
Drag coefficient	0.36
Frontal area	2.61 m ²
Maximum power	136.71 kW
Maximum torque	40.5 kgf·m

2.2. VTMS 모델 개발

2.2.1. 전기식 워터펌프 모델

전기식 워터펌프(Electric Water Pump, EWP) 모델은 전력시스템 및 전기모터 모델을 개발하여 기존의 워터펌프와 연결하는 방식으로 모델링 하였다. 전력시스템 모델은 2kW/14V급 알터네이터, 140W/12V급 전기모터, 12V80Ah AGM 배터리 모델로 구성되어 있으며, 전기모터, 전동팬, 차량 기본 전기부하에 해당하는 소비전력을 합산하여 배터리 모델에서 전력을 소비하였고 다시 배터리 터미널 전압을 피드백 신호로 하여 알터네이터 모델에서 PI제어를 통해 배터리 터미널 전압을 일정하게 유지시킴으로서 발전 전력을 계산하였다. Fig 2는 전력시스템 구성도를 나타낸다.

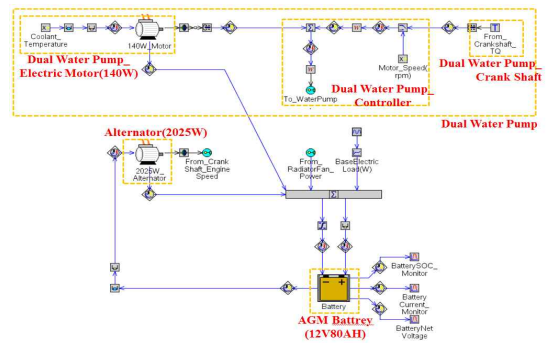


Fig 2. Overview of electric water pump model in GT-Suite

EWP 제어는 실린더헤드 출구 측 냉각수 온도를 입력신호로 하였고 목표값으로 86℃를 설정하여 PI제어 하였다. 86℃ 이전에는 펌프 회전수를 낮추어 유량을 최소화하였고 86℃ 이후에는 86℃를 유지하기 위해 유량을 적절히 조절하였

다.⁹⁾ 86℃ 이전에 펌프 회전수를 낮추는 이유는, 냉각수 유량 감소에 따라 총 열전달계수가 감소하여 실린더 벽면을 통한 흡수열이 작아져서 실린더 헤드 및 블록의 온도 상승 시간을 단축할 수 있기 때문이다.¹⁰⁾ Table 2는 EWP 제어전략을 나타낸다.

Table 2 Control strategy of Electric water pump

	coolant temperature < 86℃	coolant temperature ≥ 86℃
Pump speed	200rpm	450 ~ 2000rpm

또한, 전기모터 회전수가 200rpm 미만이 되는 고장 상황 시 엔진 Hot-spot 방지를 위해 크랭크축으로부터 펌프로 동력이 전달될 수 있도록 제어하였다.¹¹⁾ Fig 3, 4 는 각각 전기식 워터펌프 아키텍처와 쿨링회로 구성도를 나타낸다.

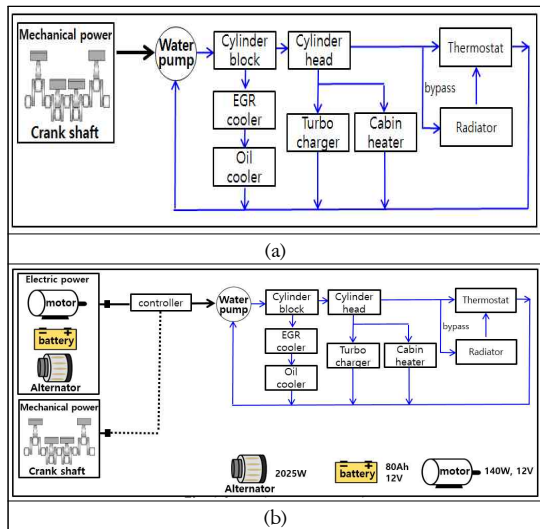


Fig 3. Architectures of base system(a), electric water pump system(b)

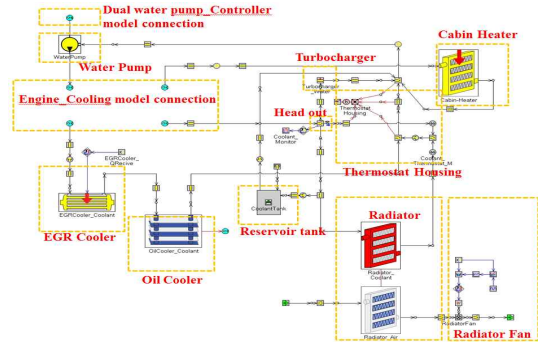


Fig 4. Overview of coolant circuit model in GT-Suite

2.2.2. 가변 유량형 오일펌프 모델

가변 유량형 오일펌프(Variable Flow Oil Pump, VFOP) 모델은 베이스 시스템과 동일한 펌프 사양과 크랭크축 구동방식을 그대로 유지하면서 펌프 출구 압력을 제어할 수 있는 압력제어밸브(Pressure Control Valve, PCV)와 오일쿨러 바이패스 라인의 오일 유량을 제어할 수 있는 유량제어밸브(Flow Control Valve, FCV)로 구성하였다. Fig 5는 베이스 시스템과 가변 유량형 오일펌프 적용 시스템 아키텍처를 나타내고 Fig 6은 가변 유량형 오일펌프 구성도를 나타낸다.

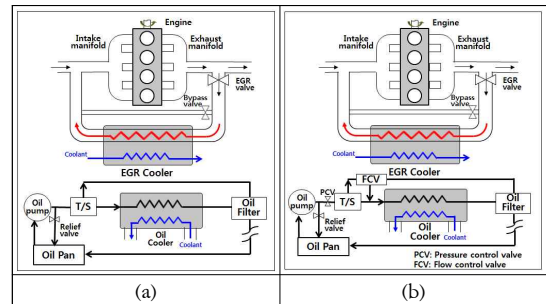


Fig 5. Architectures of base system(a), variable flow oil pump system(b)

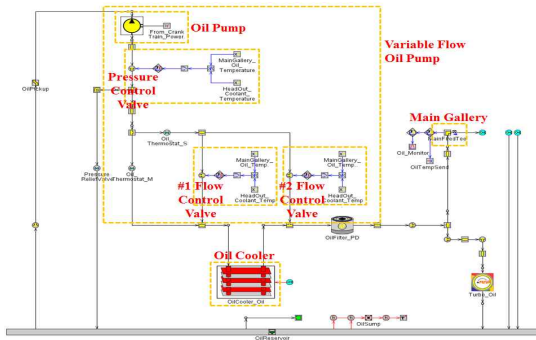


Fig 6. Overview of variable flow oil pump model in GT-Suite

PCV 제어는 실린더헤드 출구 냉각수 온도와 메인갤러리 오일 온도를 신호로 하여 노멀모드, 저유량모드로 2단계 제어하였다.

노멀모드는 냉각수 온도가 오일 온도 보다 높을시 PCV를 off하여 베이스 시스템과 동일한 유량을 형성하였다.

저유량모드는 오일 온도가 냉각수 온도 보다 높을시 PCV를 on하여 펌프 토출유량을 낮췄다.¹⁰⁾ Table 3은 가변 유량형 오일펌프의 압력 제어밸브(Pressure Control Valve, PCV) 제어전략을 나타낸다.

Table 3 Control strategy of PCV(Pressure Control Valve) in variable flow oil pump

	Normal mode coolant \geq oil ($^{\circ}$ C)	Low flow mode coolant $<$ oil ($^{\circ}$ C)
PCV	off	on
Oil flow rate	-	Low flow rate

또한, 냉시동시 냉각수 온도가 오일 온도보다 높으므로 오일쿨러 내부에서 열전달 방향은 냉각수에서 오일이다. 따라서 오일히터 역할을 할 수 있으나 베이스 시스템은 냉시동시 대부분의 유량이 오일쿨러를 거치지 않고 바이패스 라인으로 흘러 오일 워밍업을 방해하므로 FCV를 적용하여 유량을 제어하였다.¹⁰⁾

FCV 제어는 오일쿨러 내부 냉각수 온도와 오일 온도 신호를 입력받아 냉각수 온도가 오일 온도보다 높을 시 #1, #2번 FCV를 각각 on, off하고 냉각수 온도가 오일 온도 보다 낮을 시 반대로 제

어하여 오일쿨러 바이패스 유량을 제어하였다. Table 4는 가변 유량형 오일펌프의 유량제어밸브(Flow Control Valve, FCV) 제어전략을 나타낸다.

Table 4 Control strategy of FCV(Flow Control Valve) in variable flow oil pump

		coolant \geq oil ($^{\circ}$ C)	coolant $<$ oil ($^{\circ}$ C)
FCV	#1	on	off
	#2	off	on
Oil flow direction		To oil cooler	Bypass oil cooler

3. 전기식 워터펌프 및 가변 유량형 오일펌프 동시적용 효과

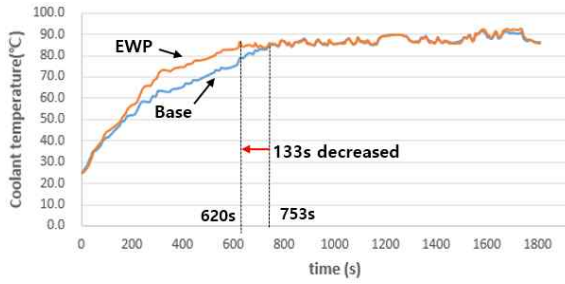
EWP와 VFOP를 적용하지 않은 Base 시스템과 EWP와 VFOP를 개별 적용한 시스템 및 동시 적용한 시스템의 냉각수 및 오일 워밍업 효과에 대해 비교하였다.

냉각수 온도는 실린더 헤드 출구 측에서 측정하였고 오일 온도는 메인갤러리에서 측정하였다. 또한, 시뮬레이션 시험 모드는 WLTP Driving cycle이고 외기 온도 조건 23° C, 오일은 5W30 사양을 적용하여 시뮬레이션 하였다.

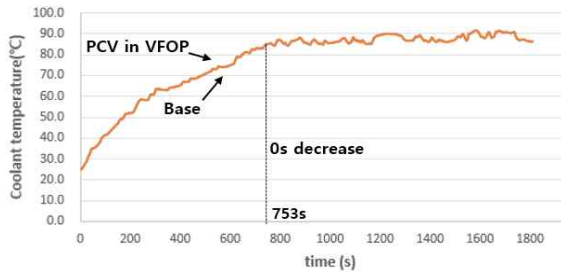
3.1. 냉각수 워밍업 영향

EWP와 VFOP를 개별 적용 및 동시 적용 조건에서 냉각수 워밍업 시간을 비교하였다.

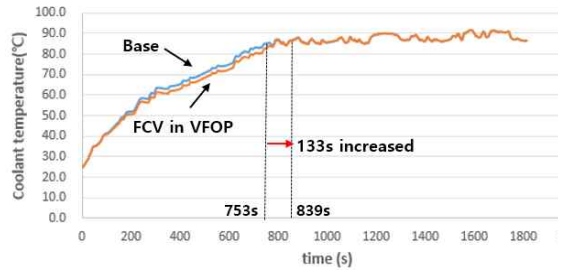
Fig 7은 EWP와 VFOP가 적용되지 않은 Base 시스템과 각 시스템별 냉각수 온도를 나타낸다. 온도 23° C에서 85° C까지 소요되는 시간은 EWP, EWP + VFOP, PCV, Base, FCV 순으로 짧게 나타난다. 냉각수온 85° 도 도달기준 base는 753초 소요되며 EWP, PCV, FCV, EWP+VFOP는 각각 620초, 753초, 839초, 650초 소요된다. Table 5는 각 시스템별 냉각수 워밍업 시간을 나타낸다.



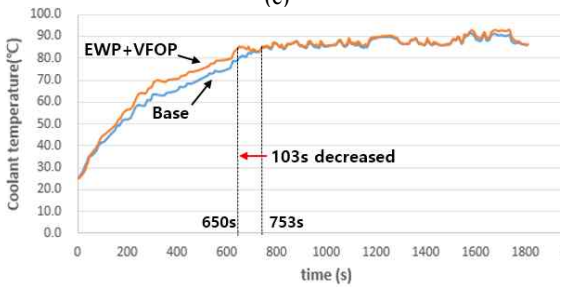
(a)



(b)



(c)



(d)

Fig 7. Comparison of cylinder head out coolant temperatures of base system and (a) Electric water pump system, (b) Pressure control valve system, (c) Flow control valve system, (d) Electric water pump + Variable flow oil pump system over WLTP driving cycle (ambient temperature = 23°C)

Table 5 Warm up time of coolant

	coolant temperature 23°C → 85°C	
Base	753s	
EWP	620s	133s ↓
PCV	0s	-
FCV	839s	133s ↑
EWP+VFOP	650s	103s ↓

냉각수 워업 단축 시간은 EWP 시스템이 Base 나 EWP를 적용하지 않은 시스템 보다 크다. EWP보다 EWP+VFOP가 냉각수 워업이 지연 되는 원인은 VFOP를 적용함에 따라 오일 유량이 변하여 오일쿨러 내부에서 냉각수로부터 오일로 전달되는 열량이 많아지기 때문이다. Fig 8은 EWP 시스템과 EWP+VFOP 시스템의 오일쿨러 내부에서 냉각수로부터 오일로 전달되는 열량을 나타낸다.

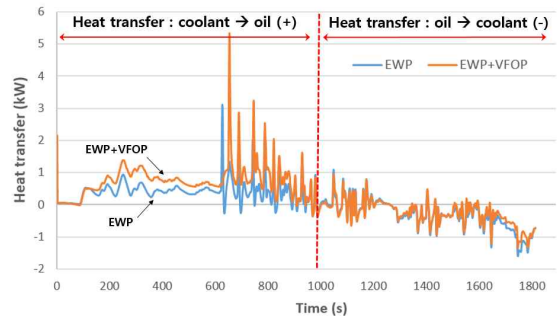
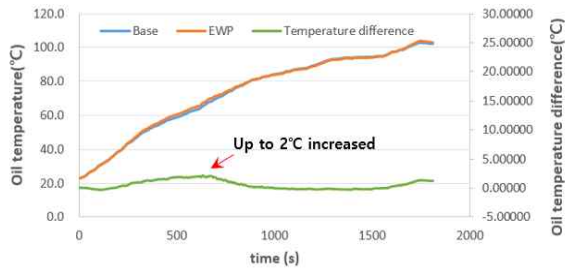


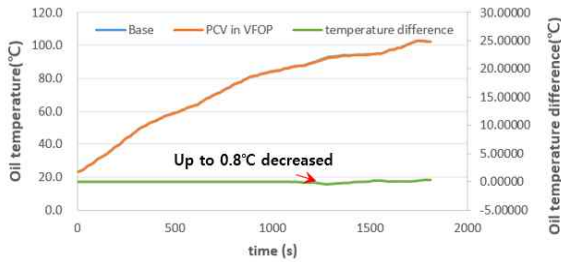
Fig 8. Heat transfer between coolant and oil in oil cooler over WLTP driving cycle (ambient temperature = 23°C)

3.2. 오일 워업 영향

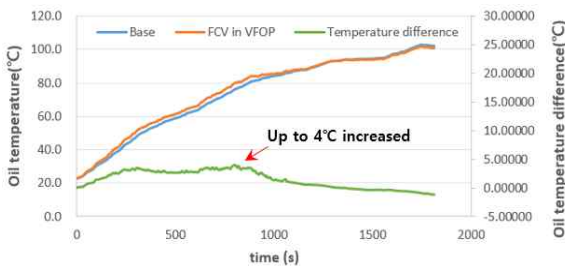
Fig 9는 EWP와 VFOP를 개별 적용 및 동시 적용 조건에서 Base 시스템과 오일 온도의 비교 그래프이다. EWP+VFOP, FCV, EWP 시스템의 오일 온도는 Base 시스템에 비해 각각 최대 7°C, 4°C, 2°C 증가하였고 PCV 시스템은 0.8°C 감소했다. Table 6는 베이스 시스템 대비 각 시스템의 오일 온도 증감량을 나타낸다.



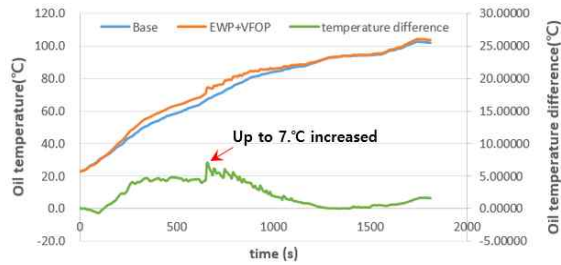
(a)



(b)



(c)



(d)

Fig 9. Comparison of main gallery oil temperatures of base system and (a) Electric water pump system, (b) Pressure control valve system, (c) Flow control valve system, (d) Electric water pump + Variable flow oil pump system over WLTP driving cycle (ambient temperature = 23°C)

Table 6 Oil temperature variation relative to base system

	Oil temperature variation
EWP	Up to 2°C increased
PCV	Up to 0.8°C decreased
FCV	Up to 4°C increased
EWP+VFOP	Up to 7°C increased

4. 결론

본 연구에서는 엔진 냉각 및 윤활 시스템의 엔진과 독립적인 제어의 효과를 확인하기 위해 1D 상용 파워트레인 시뮬레이션 소프트웨어(GT-Suite)을 이용하여 2.0liter급 승용 디젤 엔진 모델을 대상으로 전기식 워터펌프와 가변 유량형 오일펌프를 모델링하여 냉각수 및 오일 율업 효과에 대해 비교하였다. 본 연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 냉각수 율업은 EWP, EWP+VFOP, PCV, Base, FCV 순으로 효과적임을 확인하였다.
- 2) 오일 율업은 EWP+VFOP, FCV, EWP, PCV, Base 순으로 효과적임을 확인하였다.
- 3) 전기식 워터펌프 및 가변 유량형 오일펌프를 동시 적용하여 엔진 냉각 및 윤활 시스템의 엔진과 독립적인 제어를 하면 냉각수와 오일의 율업을 향상시킬 수 있다.

References

- 1) Wang, T. and Wagner, J., "A smart Engine Cooling System - Experimental Study of Integrated Actuator Transient Behavior." SAE 2015-01-1604
- 2) S.Loganathan, S.Govindarajan, J.Suresh Kumar, K. Vijayakumar, "Design and Development of Vane Type Variable flow Oil Pump for Automotive Application.", SAE 2011-28-0102
- 3) Varun Negandhi and Dohoy Jung and John Shutty, "Active Thermal Management with a Dual Mode Coolant Pump", SAE 2013-01-0849
- 4) Daeyong Cho, Heechang Oh, Jeongseo Park, Choongsik Bae, "Effect of Electromagnetic Clutch Type Water Pump", KSAE10-A00724
- 5) Paul J. Shayler, Li Cheng, and Qile Li, A Modified Oil Lubrication System with Flow Control to

- Reduce Crankshaft Bearing Friction in a Liter 4 Cylinder Diesel Engine, SAE 2016-01-1045
- 6) Joao Meira, Ayres Filho, Weber Melo, Eduardo Ribeiro, "Strategies for Energy Savings with Use of Constant and Variable Oil Pump Systems", SAE 2011-36-0150
 - 7) Junji chisaki, Kazuya Yoshijima, Takashi Kikuchi, Shoichiro Morinaka and Kenichi Yamada, "Development of a New 2.0-Liter Fuel Efficient Diesel Engine", SAE 2013-01-0310
 - 8) Jung hyun Kim, at.l., "Effect of Engine Oil Heater Using EGR on the Fuel Economy and NOx Emission of a Full Size Sedan during Cold Start," SAE Int. J. Engines 9(2):719-728, 2016, doi:10.4271/2016-01-0656
 - 9) Badih Jawad Kerry Zellner and Chris Riedel, "Small Engine Cooling and the Electric Water Pump", SAE 2004-32-0084
 - 10) O. K. Kwon, J. I. Yoon, "Heat and mass transfer of helical absorber on household absorption chiller/heater", SAREK pp. 570~578, 1999
 - 11) John Shutty and Wolfgang Wenzel and Michael Becker, Stephen Bohan and Glenn Kowalske, "Advanced Thermal Management of a Light Duty Diesel Vehicle", SAE 2013-01-0546
 - 12) Fumihiko Toyoda, Yukimori Kobayashi, Yoshinori Miura and Yojiro Koga, "Development of Variable Discharge Oil Pump", SAE 2008-01-0087