

## 디젤차량용 통합연료히터의 저온유동성 성능평가

# Low Temperature Fluidity Performance Evaluation of Compositd Package Fuel Heater for Diesel Cars

이 정 화\*, 박 형 원\*, 이 응 수\*, 이 영 재\*\*, 이보희\*\*\*, 윤 달 환\*\*\*

Jeong-Hwa Lee\*, Hyung-Won Park\*, Woong-Su Lee\*, Young-Jea Lee\*\*,  
Bo-Hee Lee\*\*\*, Dal-Hwan Yoon\*\*\*

### Abstract

It is very important to supply the diesel fuel from fuel tank to combustion chamber in case of cold start procedure. the paraffin hydrocarbons are easily solidified at low fuel temperature and it can be blocking the fuel supply to the high pressure fuel pump. In order to reduce the fuel crystallization (Waxing), it have been used to develop not only cold flow additives but also the proper mounting design of fuel filter. Block heater in the fuel filter assembly have been also contained to improve the cold start and prevent blocking the fuel supply in Common Rail Direct Injection System. we can obtain the fuel pressure drop and fuel flow rate, power consumption of fuel heater to have the cold flow evaluation test with the saperated and compositd fuel heater at the low ambient temperature, Due to evaluating cold flow performance of two block heater , we knew that compositd package fuel heater was the excellent cold flow performance compared to separated type and obtained the parameters of cold flow.

### 요 약

본 연구에서는 저온유동성 성능검사 시스템 구현을 통해 디젤 차량용 통합형 연료히터의 성능을 평가한다. 저온 유동성 시험장치에서 +20 ~ -30 °C 온도범위에 따라 분리형과 통합형 연료히터 성능을 비교하고, 필터 진후에 따라 유압과 시동시간, 히터의 소모전력을 측정한다. 이때 다양한 종류의 필터면적을 사용함으로써 통합형 연료히터와 분리형을 비교한 결과 시동 시간이 23% 향상되었고, 저온시동성능은 19% 정도 향상된다.

*Key words : Compositd Fuel Heater, Cold Flow , Cloud Point, Cold Filter Plugging Point, Pour Point,*

---

\*Korea Transportation Safety Authority  
\*\*Dept. of Mechanical Engineering, SungKyunKwan University  
\*\*\*Dept. of Electrical Engineering Engineering and Electronic Engineering, SeMyung University,  
★Corresponding author yoondh@semyung.ac.kr, 043-649-1308  
※ Acknowledgment  
"This research was financially supported by the Ministry of Trade, Industry & Energy(MOTIE), Korea Institute for Advancement of Technology(KIAT) and Gangwon Institute for Regional Program Evaluation(GWIRPE) through the Leading Industry Development for Economic Region"  
Manuscript received Mar.4,2014; revised Mar.8,2014 ; accepted Mar, 11. 2014

## 1. 서론

경유자동차는 압축착화기관으로 공기만을 흡입하여 고압축비로 압축하고 경유를 분사하여 출력을 발생시키는 시스템으로 연료탱크에서 연소실까지의 연료공급이 시동성측면에서 중요하다. 경유연료의 특성상 40~60%를 차지하는 파라핀계 탄화수소가 온도가 내려가면 쉽게 결정화(Waxing)되어 연료필터의 유동성을 저해한다. 왁스형성을 억제하기 위한 방법으로 첨가제 개발, 연료필터의 적절한 장착 위치 선정, 왁스침적시간지연을 위한 여과면적 증대 등이 사용된다[1].

최근 직접분사식 경유자동차는 시동초기 원활한 연료공급을 위해 연료가 일정 온도이하로 내려가면 공급연료를 가열하여 연료 필터내에 왁스성분을 제거하고 연료공급차단을 방지할 수 있도록 블록히터가 장착되어 있다. 동절기 경유자동차의 저온 시동성을 예측할 수 있는 방법으로 유동점(Pour Point : PP), 필터막힘점(Cold Filter Plugging Point : CFPP) 등을 관련 지표로 사용하고 있으나 경유자동차 저온시동성 및 주행성과의 상관성이 현실적으로 높지 않다[2].

경유는 올레핀, 파라핀, 방향족이 혼합된 연료로써 파라핀성분은 세탄가가 높아 연소성이 좋은 반면 저온에서 쉽게 결정되는 단점이 있다. 결정체의 크기는 연료성상에 따라 차이가 있으나 저온에 노출된 경우 대략 50 $\mu$ m로 결정화되고, 연료필터의 평균 유효공극이 약 8~10 $\mu$ m이므로 저온에서 연료필터를 막아 연소실로의 연료공급을 방해할 수 있다. 특히 고압직분사시스템은 연소실로 공급되는 연료의 청정도를 높이고, 오염물질여과능력을 향상시키기 위해 연료필터의 유효공극을 미세하게 제작하는 추세이므로 동절기 시동성에 문제가 발생할 가능성이 높다. 동절기 연료는 왁스 생성, 왁스 입자 및 상호간의 작용 등에 따라서 저온유동특성이 상이하고 자동차 운전성(Vehicle Operability)에도 영향을 끼치게 된다[3].

따라서 겨울철 경유자동차 실차상태의 저온 시동성 및 주행성을 예측할 수 있는 유동성 평가 알고리즘 개발이 필요하고, 연료온도센서와 블록히터가 통합된 연료히터가 기존의 분리형 연료와 비교하여 제작원가, 안정성 이외에 히터발열량에 따른 저온유동성 개선효과에 대한 검증이 필요하다[4].

본 연구에서는 센서와 히터가 결합된 통합한 통합연료히터와 분리형 연료히터의 저온성능을 비교하기 위해 저온유동성 시험 장치와 시험절차를 개발, 평가함으로써 경유자동차 저온시동성능 예측과 저온시동성 관련 인자 및 지표 개발을 통해 연료히터 생산과정에서의 제품신뢰성 확보에 기여하고자 한다.

## II. 경유자동차의 저온유동성

일반적으로 경유자동차의 저온유동성은 연료와 자동차로 구분하여 검토한다. 연료가 저온에서 쉽게 결정되는 현상을 억제하기 위해 정제과정에서 저온물성치를 향상시키거나 유동개선제를 혼합한다. 자동차 측면에서는 연료공급장치의 구성품인 연료탱크의 재

질, 연료공급압력, 연료필터규격 및 설치위치 등을 최적화하고, 연료히터를 연료공급라인에 장착하므로 써 저온유동성을 향상시킬 수 있도록 설계한다.

### 1. 연료

석유 및 석유대체연료사업법에서는 동절기 경유 품질기준 중 담점(Cloud Point : CP), 유동점(PP), 필터 막힘점(CFPP)을 일반적인 저온특성으로 분류하여 관리한다.

담점(CP)은 규정조건에서 시료를 냉각할 때 왁스와 다른 물질이 석출 또는 분리되기 시작하는 최초 온도를 말한다. 담점 측정방법은 ASTM D2500에서 규정하고 있고 일반적으로 자동차는 담점 이하에서 정상주행이 가능하므로 자동차 운전성과 상관성은 낮다.

유동점은 용기(jar)에 연료를 넣고 기울였을 때 유동이 시작하는 최저온도로서 ASTM D97로 측정하고 CFPP에 비해 자동차 운전성능(Vehicle Operability)과의 상관성은 낮다.

필터막힘점(CFPP)은 자동차의 저온성능과 밀접한 CFPP[5]는 ASTM D6371에서 규정하고 있고, 연료를 냉각하면서 1분동안 20ml의 시료가 유효공극이 45 $\mu$ m인 필터를 통과하는지 여부를 1 $^{\circ}$ C마다 측정한다. CFPP는 연료의 저온성상을 예측할 수 있는 유용한 항목으로 그림 1과 같이 자동차의 저온성능과 우수한 상관성을 나타내므로 전 세계적으로 경유의 저온성능을 예측하는 기준 지표로 활용되고 있다[5].

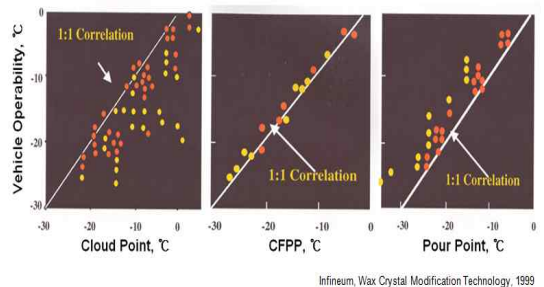


Fig. 1 Correlation of vehicle operability  
 그림 1. 차량동작 상관관계

북미에서 중대형 화물트럭에 적용할 수 있는 LTFT[6]시험법을 제안하고, 시험온도까지 16~20hr이 소요되는 단점이 있으나 정밀한 결과를 요구하는 경우에 사용하고 있다. 초저온 경유의 필터막힘점을 결정하기 위해 유럽에서는 SFPP (Simulated Filter Plugging Point)를 사용하고 있고 반복성과 재생산성이 CFPP보다 우수하다.

점성(Viscosity)은 연료의 유동을 방해하는 정도를 수치로 나타낸 것으로 경유연료는 저온에서 점성이

증가하므로 연료공급라인 10m당 0.4bar 압력강하가 발생한다. KS M 2014에서 동점도 시험법을 규정하고 있고 경유의 저온성능에는 포함되지 않지만 저온유동성과의 상관성은 있다.

**2. 경유자동차용 통합연료필터**

경유자동차용 연료필터는 연료내의 불순물을 여과하는 장치로 헤드부와 연료히터, 필터카드리지, 수분센서 블록으로 구성된다. 겨울철 연료동결을 방지하기 위해 설치하는 연료히터는 플라스틱 몸체, 하측플레이트, 상측플레이트, 정지기, PTC 히터 및 고정나사 등으로 구성된다[7]. PTC 소자는 그림 2처럼 특정 임계온도(Tc)에 도달하면 온도상승에 대하여 저항치가 급격히 증가하는 정특성 Thermistor를 의미하고, Tc 이상에서 급격한 저항상승으로 전류와 표면온도가 제한되므로 과전류를 방지할 수 있고 화재위험성이 없다는 것이 특징이다.

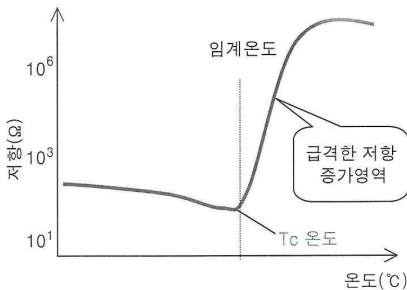


Fig. 2. Resistance characteristic of PTC  
그림 2. PTC 소자 저항 특성

**가. 분리형 연료히터**

분리형 연료히터(그림 3)는 연료온도를 감지하는 열스위치(Thermoswitch)가 헤드부에 설치되어 있고 엔진으로 공급되는 연료온도를 검출하여 엔진제어장치(ECU)가 블록히터에 공급되는 전원을 제어하는 방식이다[8].

**나. 통합형 연료히터**

통합형 연료히터(그림 4)는 바이메탈방식의 연료온도센서와 블록히터가 일체형으로 연료온도센서가 연료온도가 일정온도이상의 상승하게 되면 자동으로 차단시킨다[9]. 블록히터의 전원공급을 제어하는 열스위치와 ECU 제어가 불필요하므로 원가절감효과와 함께 두개의 부품을 1개로 통합함으로써 부품생산 및 품질관리측면에서 유리하다.



Fig. 3. Separated fuel heater  
그림 3. 분리형 연료필터

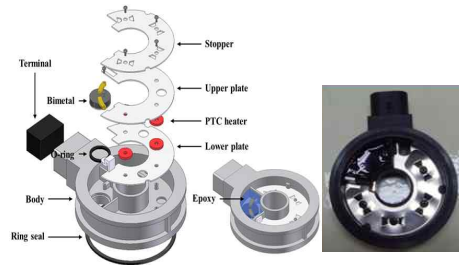


Fig. 4. Composited package fuel heater  
그림 4. 통합 패키지 연료히터

**III. 저온유동성 평가**

동절기 저온시동성 및 주행성과 저온유동성의 상관성 규명을 위해 경유자동차 연료유동성 평가용 시험장치를 개발하고, 평가방법 고안하여 연료히터 사양별 저온유동성을 평가한다[11]. 유동성 시험장치의 적정성 검증을 통해 시험방법을 결정하고 연료공급유량과 필터 전후 단 압력변화를 평가지표로 선정한다. 시험 준비와 시험방법이 결정된 후 통합형 연료히터의 저온유동성 개선 효과를 시험을 통해 확인하고자 한다.

**1. 연료공급장치 지그**

자동차의 연료공급장치만을 독립적으로 모사하기 위해 2.0ℓ CRDI 엔진을 대상으로 연료탱크, 연료필터, 고압펌프, 고압레일, 인젝터 등 실제 자동차와 동일한 부품을 사용하여 Fig. 5와 같은 연료공급장치 지그를 구성하였다.

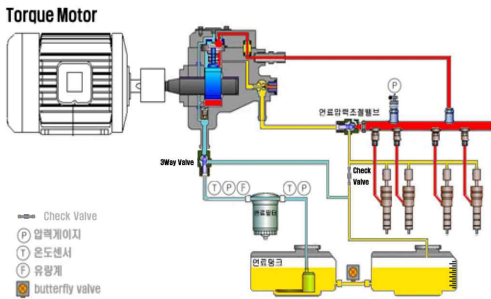


Fig. 5. Cold Flow Evaluation Test Device  
그림 5. 냉연료 흐름평가 시험장치

연료를 고압펌프로 공급하는 연료공급펌프는 정압식으로 3~3.5kg/cm<sup>2</sup>의 유압으로 고압펌프에 연료를 공급한다. 고압펌프는 최대 압력 1800bar까지 압축하여 레일로 연료를 이송하고 잉여 유량은 오버플로우밸브를 통해 연료탱크로 회수된다.

**2. 계측채널 선정**

연료공급 장치의 저온유동성 평가와 관련된 변수를 고려하여 계측채널을 선정하였다. 연료필터가 저온유동성을 지배하는 부품이므로 연료필터 전후단을 중심으로 온도, 압력, 유량센서를 설치한다. 연료공급장치 지그에 설치한 센서는 표 1과 같고 주변온도와 연료 필터내에 장착되어 있는 블록히터의 열원이 유동성에 미치는 영향을 확인하기 위해 연료필터 전후단에 열전대를 설치한다. 저온유동성과 직접적인 상관성이 있을 것으로 예상하는 연료 필터전후단 압력차와 필터를 통과한 유량을 측정하기 위해 압력센서 2채널, 유량센서 1채널을 설치하고, 블록히터 소비전력과 고압펌프 작동에 의한 레일압력 및 회전수를 측정한다. 주변온도는 시험온도 ±1℃에서 유지하고, 데이터계측주기는 10Hz로 설정한다.

Table 1. Measuring Channels of Test JIG

표 1. 시험지그 측정 채널

구분	사양	위치
온도	T-Type T/C, 3개소	주변온도, 연료필터입구, 출구
압력	0 ~ 2000 bar, ±0.25% FS	고압펌프 출구
	0 ~ 10bar 2개소, ±0.25% FS	연료필터 입구 연료필터 출구
유량	15 ~ 200 lph, 펄스출력	연료필터 출구

**3. 연료 시험 알고리즘**

연료는 국내 경유 품질관리 기준에 적합한 연료를 사용하고, 시험연료의 장기간 저장에 따른 적층분리가 발생하지 않아야 한다.

Table 2. Cold Flow Properties of Test Fuel

표 2. 시험연료의 냉류특성

항목	분석방법 (ASTM)	측정 결과	품질 기준
담점 (CP), ℃	D 2500	-8	-
유동점 (PP), ℃	D 97	-35.0	-17.5 이하
저온필터막힘점 (CFPP) ℃	D 6371	-27.0	-18 이하

본 시험에 사용연료는 동절기 시판제품으로 저온유동성관련 물성분석 결과는 표 2와 같다. 저온유동성 시험방법은 CEC-M-11-T-91[3]과 CRC Project No. DP-2-04[4] 저온시동성 평가절차에서 단품시험을 감안하여 시험절차 중 해당 사항만을 준용하고 시험에 필요한 절차는 일부 보완한다.

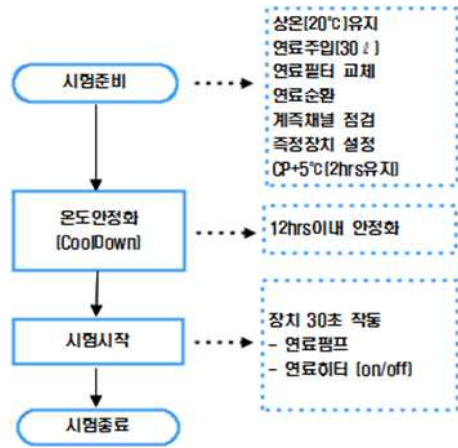


Fig. 6. Cold flow evaluation test procedure  
그림 6. 냉류 평가시험절차

**4. 인자별 저온유동성 영향평가**

냉각속도, 고압펌프on/off가 저온유동성에 미치는 영향을 확인하기 위해 급속냉각(약 12℃/hr)과 2℃/hr 냉각속도, 고압펌프 작동여부를 대해 저온유동성 영향평가를 실시하였다. 그림 7은 상온 25℃에서 고압펌프 작동유무에 따른 연료공급 유량변화로써 고압펌프 작동에 따른 유량의 변화가 작고 연료필터 유동성에 미치는 영향이 크지 않았다.

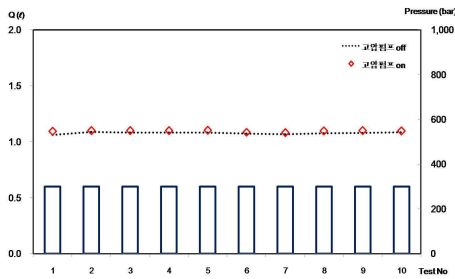


Fig. 7. Flow variation of high pressure pump  
그림 7. 고압펌프의 흐름변화

그림 8은 -27°C에서 12시간 안정화절차를 시행한 경우와 안정화를 생략하고 4시간 시험온도를 유지한 경우의 유량변화로써 시험 초기 유량차가 상대적으로 크고 차수가 거듭될수록 왁스의 필터막힘현상이 심화되므로 유량차가 감소한다. 따라서 12hr 안정화단계는 왁스침적시간을 증가시키므로 저온유동성에 영향을 미치는 인자임을 알 수 있다.

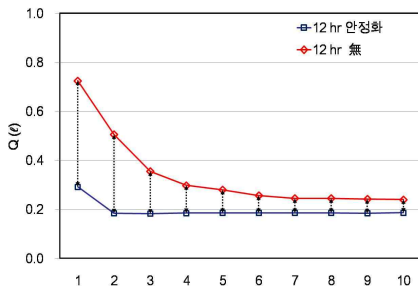


Fig. 8. Flow variation of soak condition  
그림 8. 쇼크조건에서의 흐름변화

5. 저온유동성 평가

시험온도는 CFPP기준으로 전후 -20°C, -30°C 온도를 선정하고, 연료히터 on/off에 따른 유동성 평가를 실시한다. 시험품은 분리형과 통합형 연료히터를 대상으로 비교시험하고 각 시험온도 별로 1분간 시험하여 연료필터의 전후단 압력차(ΔP)와 연료공급유량(Q)을 측정하였다. 온도가 낮을수록 연료필터 전후단 압력차는 증가하고 유량이 감소하며 연료히터작동으로 저온유동성이 개선됨을 알 수 있다(그림 9).

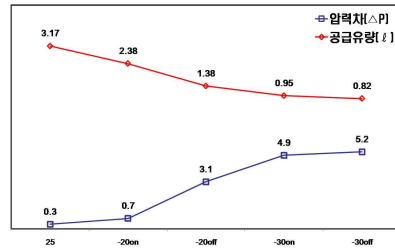


Fig. 9. Fuel flow and pressure deviation at CFPP  
그림 9. CFPP 기준 연료흐름과 압력편차

그림 10은 통합형 연료히터와 분리형의 유동성 시험결과로써 -30°C에서 유동성이 분리형 대비 최대 85% 개선됨을 알 수 있다. -20°C에서는 유동성 개선 효과가 미미(5%)하지만 가혹조건(-30°C)에서는 효과가 크다.

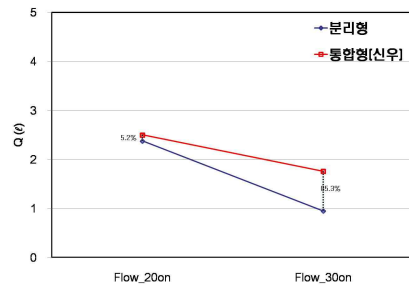


Fig. 10. Fuel flow of composited and separated heater  
그림 10. 복합형과 분리형의 연료흐름

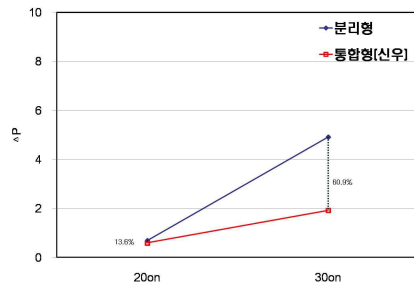


Fig. 11. Comparison of fuel flow and pressure deviation  
그림 11. 연료흐름과 압력편차 비교

연료필터 전후단 압력차 또한 그림. 11에서와 같이 통합형이 분리형에 비해 -30℃에서 60.9% 개선효과를 나타내고 있다.

통합형 연료히터의 분리형에 비해 우수한 성능을 나타내는 요인을 확인하기 위해 연료히터의 발열성능을 비교한다. 연료히터 소비전력(표 3)은 분리형 연료히터가 통합형 연료히터에 비해 높지만 초기 발열량은 오히려 통합형이 큼으로 동일한 정격 300W의 PTC히터 용량에서 열효율측면에서 통합형이 우수한 특성을 나타내고 있다(그림 12).

Table 3. Power consumption of fuel heater  
표 3. 연료히터별 전력 비교

종류	분리형 연료히터	통합형 연료히터
전력(W)/-20도	251	217
전력(W)/-30도	258	220

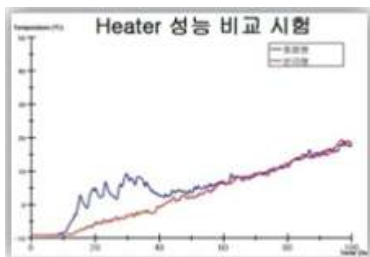


Fig. 12 Temperature variation of fuel heaters  
그림 12. 연료히터의 온도변화 비교

#### IV. 결론

경유자동차용 연료유동성을 평가할 수 있는 시험장치를 개발하고, 평가방법 고안하여 연료히터방식에 따른 저온유동성 평가시험을 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 자동차 연료공급시스템을 독립적으로 모사한 연료분사장치지그를 통해 연료필터를 왁스침적에 따른 유량과 압력변화를 평가할 수 있었다.

둘째, 경유자동차 연료공급 장치의 주요구성품인 고압펌프의 작동여부가 저온유동성에 미치는 영향은 적지만 온도안정화를 위한 냉각속도는 왁스침적시간 증가로 인해 저온유동성에 영향을 미치므로 시험방법 개발시 고려해야 한다.

셋째, 온도가 낮을수록 연료필터 전후단 압력차가

( $\Delta P$ )는 증가하고 유량이 감소하지만 연료히터작동으로 저온유동성이 개선된다.

넷째, 통합형 연료히터가 분리형에 비해 공급유량이 최대 85% 증가하고 연료필터 전후단 압력차는 60.9% 향상 되었다. 특히 가혹조건(-30℃)에서 저온유동성 효과가 극대화 된다.

향후 연료공급장치 지그를 이용한 저온유동성 평가방법을 통한 측정결과와 실차 시동성평가시험 결과를 비교분석하므로써 자동차 운전성과의 상관성을 규명하고자 한다.

#### References

- [1] SAE 2010-01-1127 "The Possibilities of Wax Precipitation from Diesel Fuels at High Pressure and its Influence on Diesel Engine Performance", 2010
- [2] SAE 2012-01-1592 "Diesel Vehicle Cold Operability : Design of Fuel System Essential Besides Fuel Properties", 2012
- [3] CEC M-11-T-91 "Cold Weather Performance Test Procedure for Diesel Vehicles", CEC, 1991
- [4] CRC Project No DP-2-04 "Test Protocol for the Evaluation of low temperature operability prediction tests for light duty diesel vehicles for North America", 2005
- [5] KS M 2411 "Diesel Fuel Test Method for Filter Plugging Point", 2011
- [6] ASTM D4539-10 "Standard Test Method for Filterability of Diesel Fuels by Low Temperature Flow Test(LTFT)"
- [7] KSAE 04-F0074 "Research on Evaluation Technology for Sensor Type Common Rail Fuel Filter", 2004
- [8] SAE885019 "Cold Flow Properties of Automotive Diesel Fuels and Diesel Fuel Systems", 1988
- [9] SAE 932769 "Evaluation of Faster LTFT and SFPP for Protection of Low Temperature Operatbilitiey in North American Heavy Duty Diesel Trucks", 1993
- [10] Infineum Report, "7th Generation Infineum Cold Flow Additive for B100 Fame - Infineum R408", 2005
- [11] KATRI, Research Report about Production Defection of Car Body 2001, "A Survey about Low Temperature Driving Performance of Diesel Cars", 2001



---

**BIOGRAPHY**


---

**Lee Jeong-Hwa** (Member)

1997 : BS degree in Mechanical Engineering, Sungkyunkwan Univ.  
 1999 : MS degree in Mechanical Engineering, Sungkyunkwan Univ.  
 PhD Candidate in Mechanical Engineering, Sungkyunkwan Univ.

Korea 2003. 5 ~ : Chief Researcher in Korea Transportation Safety Authority,  
 Main : Vehicle Safety Regulation Revision of Accelerator Control System and Diesel Cold Start Evaluation

**Park Hyung-Won** (Member)

1994 : BS degree in Mechanical Engineering, Ajou Univ.  
 2000 : MS degree in Transportation Engineering, Hanyang Univ.  
 PhD Candidate in Transportation Engineering, AJou Univ.

1994. 1 ~ : Senior Chief Researcher in Korea Transportation Safety Authority, Korea  
 Main : Safety Regulation Revision of Active and Passive Advanced Safety Vehicle and ITS

**Lee Woong-Su** (Member)

2011 : BS degree in Mechanical Engineering, Kyonggi University  
 2012.3 ~ 2014.3 : Korea Automobile Testing & Research Institute,EFV Research,Researcher  
 2013.3 ~ Current : Currently

Enrolling Ajou Graduate school major in Mechanical Engineering

**Lee Young-Jea** (Member)

Seoul National University, B.S.  
 Seoul National University, M.S.  
 University of Michigan, Ph.D.  
 '95.9 ~ : Professor in SKKU  
 '91.3~95.8 : Professor in Hongik  
 90.7~91.2 Senior researcher in Samsung Electro-Mechanics.Co.

Main : Tribology, Mechanical engineering materials, Engineering mechanics, Mechanical design, Wear of materials

**Lee Bo-Hee** (Member)

1985 : BS degree in Electronic Engineering, Inha University  
 1984.12~1987: Researcher in Communication Research Center, Samsung Electronics Co.

1990~1996 : MS and PhD deg. in Automation Eng., Inha Univ.  
 1997.3 ~ Professor in Electrical Engineering of Semyung Univ.  
 Main Research Area: Control Engineering, Automation, Embedded System

**Yoon Dal-Hwan** (Member)

1984 : BS degree in Electronic Engineering, Hanyang University  
 1986 : MS degree in Electronic Engineering, Hanyang University  
 1994 : PhD degree in Electronic Engineering, Hanyang University  
 1987. 7 ~ 1994. 6 : Professor in Electronic Engineering, Korea Military Academy.

2005. 7 ~ 2009. 2 : President of HIWIN Co. Ltd. 1995. 3 ~ Professor in Electronic Engineering, SeMyung University  
 Main : Communication and Signal Processing, Medical Signal Processing, LED&IT Convergence , Fuel Heater & Test System for Cars, Plants.