

디젤차량용 통합연료히터의 저온유동성 시험장치개발

Low Temperature Fluidity Test System of Composited Package Fuel Heater for Diesel Cars

장용성*, 윤달환***

Young-Sung Jang*, Dal-Hwan Yoon***

Abstract

In this paper, we have implemented the low temperature fluidity test system with the composited package fuel heater, which has tested the low temperature fluidity and start time to evaluate the performance. Then we have compared the separation and the unified fuel heater type at $+20 \sim -30^{\circ}C$. Also, we have tested the flowing pressure and start time, power consumption of heater. By comparing the performance with several condition, the experimental results obtain an improved start time of 23% and low temperature fluidity of 19%.

요약

본 연구에서는 저온유동성 성능검사 시스템 구현을 통해 디젤 차량용 통합형 연료히터의 성능을 평가한다. 저온유동성 시험장치에서 $+20 \sim -30^{\circ}C$ 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 : low temperature fluidity, composited fuel heater, performance evaluation, flowing amount, start time, pressure difference

1. 서론

디젤엔진은 내연기관의 일종으로 연소방식에 따라 직접분사식과 간접분사식으로 분류한다. 직접분사식은 연료를 실린더 내에 직접 분사하여 연소시키며, 간접분사식은 직접분사식에 별도의 부연소실로 분사하여 연소시키는 방식이다. 직접분사식 디젤엔진은

연소시 소음이 간접분사식에 비해 크지만 연비 면에서는 매우 뛰어나 경제적인 이점을 가지므로 현재 많은 디젤자동차가 채택하고 있다[1].

직접분사식 디젤엔진으로 CRDI (common rail direct injection(커먼레일) 엔진을 사용하며, 정밀 전자제어가 가능한 압축장치(압축 어큐뮬레이터, 레일)와 응답성이 뛰어난 연료 직접분사장치(인젝터)를 이용하여 운전 상태에 맞게 연료를 분사해주는 디젤엔진이다[2].

디젤엔진은 겨울철 저온환경의 영향으로 엔진이 냉각될 경우, 최초 시동점화가 원만하지 못한 관계로 시동성이 떨어진다. 디젤엔진의 연료인 경유는 일정한 온도 이하로 내려가면 파라핀과 같은 반고체 상태인 왁싱(Waxing)물질을 형성하여, 엔진시동이 잘 걸리지 않게 하는 원인이 되고 있다[3]. 이와 같은 시동성 불량 해소를 위해 시동전 연소실 내부의 공기온도를 점화에 유리한 온도까지 빠른 시간 안에 도달될 수 있도록 보조하는 별도의 보조 장치를 널리 채택하

* Shinwoohitec Co., Ltd.

** Dept. of Electronic Engineering, SeMyung University,

★ Corresponding author

yoondh@semyoung.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 Apr. 24, 2014; revised May. 24, 2014; accepted May. 26, 2014

고 있는데, 이것을 블록히터라 한다[4].
 본 연구에서는 히터의 안정성 견고성 및 열효율을 향상시키기 위해 센서와 히터가 결합된 블록히터와 연료필터를 통합한 통합연료히터 및 저온유동성 시험장치를 구현한다. 저온 유동성 시험용 Jig와 엔진의 조건을 동기화하고, 통합연료히터에서 사용하는 PTC 소자와 바이메탈의 특성에 따라 접화성능을 평가한다. 또한 경유자동차 저온유동성 및 주행성평가용 지그제작을 통하여 평가알고리즘 및 지표개발을 통해 연료유동성과 실차 시동성과의 상관성을 분석한다.

II. 저온유동성 시험장치 구현

1. 통합형 연료히터

디젤엔진시동에 있어 경유의 유동성을 향상시키기 위한 역할을 수행하는 것이 블록히터이며, 핵심부품으로 플라스틱 몸체(Plastic Body), 하측플레이트(Lower plate), 상측플레이트(Upper plate), 정지기(Stopper), PTC 및 고정나사, 바이메탈 등으로 구성된다[5]. 그림 1은 블록히터 구성도를 나타낸다.

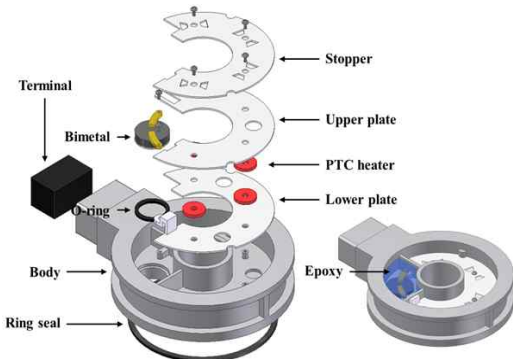


Fig. 1. The block heater for a commercial car.
 그림 1. 사용차용 블록히터.

그림 2는 블록히터와 연료필터가 결합된 통합 연료히터 구성 사례를 나타낸다.



Fig. 2. The composited fuel heater
 그림 2. 통합연료히터

상용디젤 차량 및 S.U.V(Sport Utility Vehicle) 차량용에는 65Watt정도의 발열량을 지닌 P.T.C 4개를 주로 사용하고, 고압펌프의 정격유량은 60L/Min 정도이다. 공급전원은 12 V로 승용차, SUV 및 적재중량이 0.5톤 소형화물 차량용 엔진에 적용하고 있다[6].

그림 2에서 통합 연료히터장치는 연료필터 여과제로부터 분리된 물이 필터 아래 부분에 일정량 이상 채워지면 모아둔 수분이 다시 고압펌프 방향으로 유입될 수 있다. 이를 방지하기 위하여 수분이 일정량 이상 일 경우 수분을 배출하라는 신호를 감지하여 주는 물센서(water sensor)가 연료필터 아래 부분에 장착되어 있다. 이때 히터 내 세라믹 P.T.C는 온도가 상승함에 따라서 저항이 정(正)으로 상승하는 특성을 이용하여 전류를 제어하는 레지스터 역할을 한다[6]. 즉 어느 온도 이상 도달하면 저항이 커지며 전류를 차단한다[7-9].

2. 저온유동성시험장치 구현

저온유동성 시험 장치는 경유자동차 CRDI 연료분사장치를 기반으로 연료 탱크내 연료펌프 공급압력을 유지하고 연료이송 중 간섭이 없도록 실차 연료호스와 동일한 직경으로 구현한다. 실차 연료필터 전후단과 연료탱크 회수라인에 T-Type 열전대를 각각 구성하고, 연료필터 전후에 0~1 MPa ±1% 압력계를 설치한다. 또한 실차 고압펌프로 유입되는 연료량과 연료탱크로 회수되는 연료량을 측정할 수 있는 유량계와 연료탱크 내의 연료 온도를 측정할 수 있도록 T-Type 열전대를 구성한다. 설치된 압력과 유량센서는 데이터수집장치(DAQ)에 신호전달이 가능하도록 1~5 V 출력범위로 송신한다. 그림 3은 저온유동성 시험장치 하드웨어 구성도를 나타낸다.

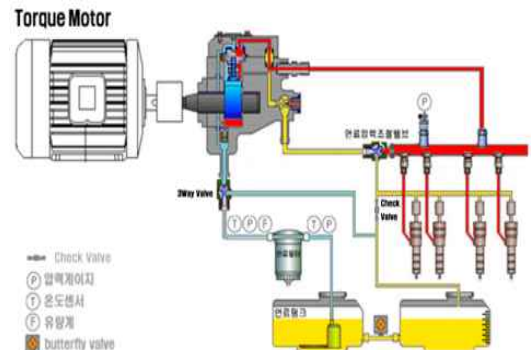


Fig. 3. The low temperature fluidity test equipment
 그림 3. 저온 유동성 시험 장치 구성도

그림 4는 저온유동성 시험장치의 성능을 모니터링 할 수 있는 모니터링장치 구성도를 나타낸다.



Fig. 4. Monitoring system of low temperature fluidity test equipment

그림 4. 저온 유동성 시험 장치의 모니터링 시스템

3. 저온유동시험 평가 알고리즘

그림 5는 유동성시험 평가알고리즘이다.

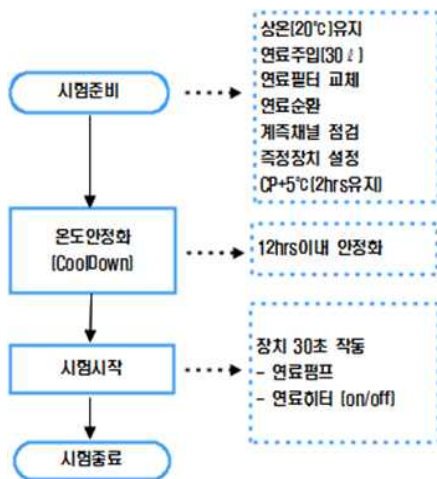


Fig. 5. Evaluation algorithm of low temperature fluidity
그림 5. 저온 유동성 평가알고리즘

A. 정압구조(constant pressure structure)

그림 6은 정압구조도를 나타낸다. 그림 3과 그림 4에서

시험유체(경유, 등유)를 설정압력과 설정유량으로 통과시켜 챔버의 탱크와 필터에 채운 후 유체 흐름을 차단하고, 설정 시간 동안 설정온도로 냉각한 후 시험 조건에 따른 정압 환경 조건을 형성한다.

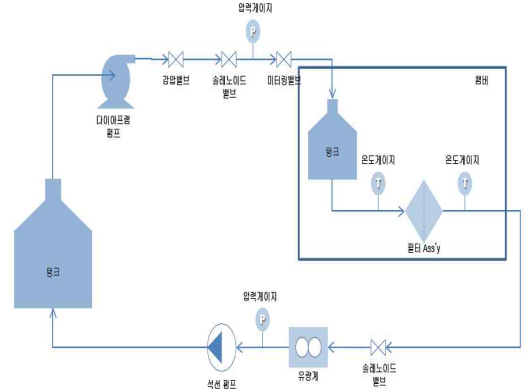


Fig. 6. A constant pressure structure
그림 6. 저온유동성 시험장치의 정압구조

이때 통합 연료히터에 시험전압 13 V를 인가하여 냉각된 시험유체의 흐름을 실시간으로 분석해 연료필터에 사용되는 블록히터의 성능을 시험한다. 그림 6에서 정압 및 정량 모니터링 알고리즘은 그림 7과 같다.

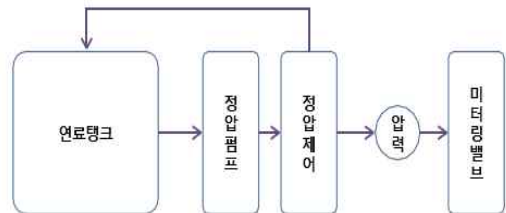


Fig. 7. Monitoring algorithm of
그림 7. 저온 유동성 시험 장치의 모니터링 시스템

그림 7 정압과 정량 제어 모니터링 알고리즘은 그림 3과 그림 4에서 연료탱크의 경유나 등유는 정압펌프를 이용하여 고압을 생성하고, 생성된 고압을 정압제어장치로 1 ~20 bar범위내에서 제어한다. 이때 단위시간당 이송되는 유량은 식(1)처럼 압력과 미터링 밸브를 이용한 관로저항(관로직경)의 제어로 결정되며, 유량은 관로저항에 의해 변화하므로 미터링 밸브를 이용한 관로저항의 제어로 시험환경이 구축된다.

$$Q_{\text{The flowing amount}} = f(p) + g(r) \quad (1)$$

식(1)에서 $f(p)$ 는 경유의 압력이고 $g(r)$ 은 관로저항의

직경합수를 나타낸다. 이때 통합연료히터의 전력측정은 전 원공급 장치에서 인가되는 13V 전원이 블록히터에 입출력 되는 전류 및 소모전압 정보를 제어장치에 전송함으로써 통합히터의 전류, 전압 및 전력량을 알 수 있다.

그림 8은 에어 배출 및 시험유체 제거 알고리즘을 나타낸다. 연료필터 내부의 공기는 진공탈포기(진공펌프)를 이용하여 제거한다. 진공펌프의 탈포기능은 연료필터 내부의 잔류공기를 제거하고, 석션(suction)기능은 경유 또는 등유 교체시 관로상의 시험유 제거를 위함이며, 부압기능은 부압 조건의 시험시 연료이동을 위한 부압펌프로 동작한다.

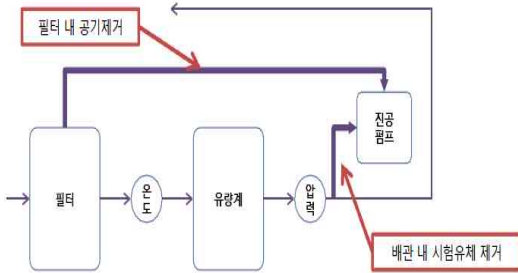


Fig. 8. Air exhaust and test oil elimination
그림 8. 에어배출 및 시험유체 제거

B. 부압 구조(negative pressure structure)

시험유체(경유, 등유)를 설정압력과 설정유량으로 통과시켜 챔버의 탱크와 필터에 채운 후 유체 흐름을 차단하고, 설정시간 동안 설정온도로 냉각한 후 시험 조건에 따른 부압 환경 조건을 형성한다. 그림 9는 부압구조 알고리즘을 나타낸다.

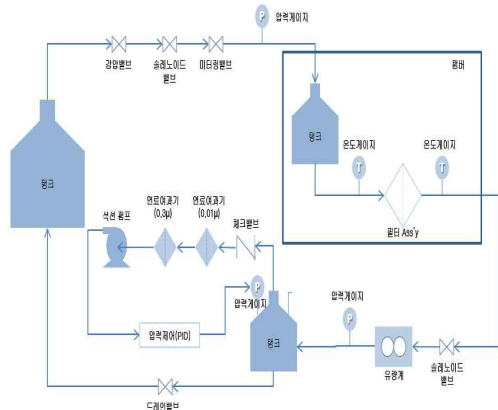


Fig. 9. A negative pressure structure
그림 9. 저온유동성 시험장치의 부압구조

그림 10은 진공펌프를 이용하여 부압을 생성하는 알고리

즘이다. 부압조건은 압력센서에서 감지되는 변화를 읽어 진공펌프를 PID(proportional integral and derivative) 제어하여 일정한 압력을 유지시킨다.

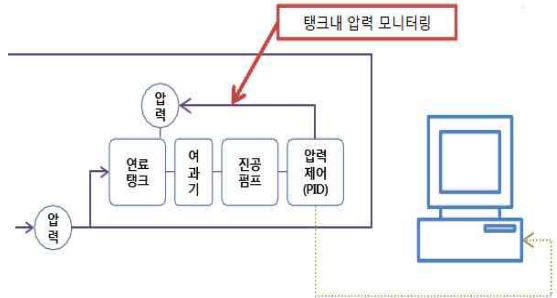


Fig. 10. A negative pressure algorithm
그림 10. 부압알고리즘

PID제어는 제어변수와 기준입력사이의 오차를 근거하여 제도의 출력이 기준조건을 유지하도록 하는 귀환제어를 말한다.

III. 실험결과

A. 저온유동성 시험장치의 유동성 평가

저온유동성시험 장치의 히터성능은 상온, -20 및 $-30^{\circ}C$ 에서 시험한다. 시험에 사용한 연료필터의 유효면적은 52, 54, 56, 58, 60 및 61을 사용하고, 분리형과 통합형 연료필터를 26회 시험한다. 이를 통해 저온시동성 및 주행성평가 결과의 상관성을 확인하고, 연료필터 유효면적 변화에 따른 저온유동성을 평가한다. 이때 측정점 선정, 안정화 절차를 통해 그림 5처럼 시험방법 알고리즘을 개발한다.

그림 11은 $-20^{\circ}C$ 와 $-30^{\circ}C$ 에서 히터를 On상태로 분리형과 통합형 연료필터의 성능을 비교한 것으로 통합형이 분리형에 비해 성능이 우수함을 나타낸다.

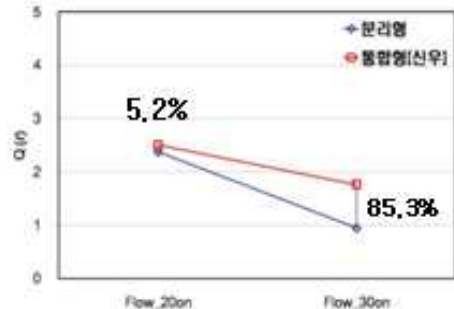


Fig. 11. Performance comparison of the separation and unified type

그림 11. 분리형과 통합형 히터의 성능비교

그림 12는 $-20^{\circ}C$ 와 $-30^{\circ}C$ 에서 통합연료히터를 On/Off시키며 연료 필터의 유효면적별 공급유량(Q)을 시험한 결과를 나타낸다. 유효면적이 작을수록 유동성이 향상되고, 통합형이 분리형에 비해 유동성이 향상됨을 알 수 있다. 이는 또한 히터의 발열량이 상대적으로 크다는 것을 알 수 있다.

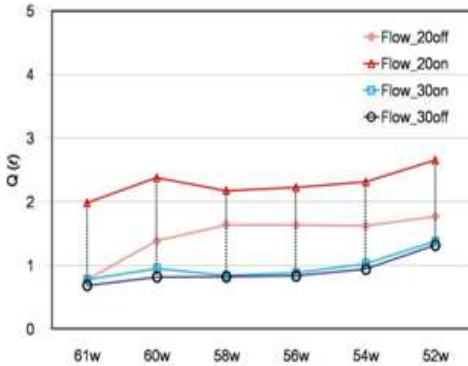


Fig. 12. A flowing amount per affective area
그림 12. 유효면적당 유량

그러나 연료필터 61 w에 비해 60 w형이 상대적으로 약간 우수한 특성이 얻어진다. 표 1은 연료필터 종류별 평균전력량을 나타낸다. 여기서 S사 통합히터 성능이 우수하다.

Table 1. Power comparison per fuel filter
표 1. 연료필터별 전력 비교

종류	52	54	56	58	60	61	S사
전력(W)/-20도	255	249	251	250	251	251	217
전력(W)/-30도	255	257	256	256	258	256	220

그림 13은 $-20^{\circ}C$ 와 $-30^{\circ}C$ 에서 히터의 On/Off를 반복하며 필터종류별 압력차를 나타낸다.

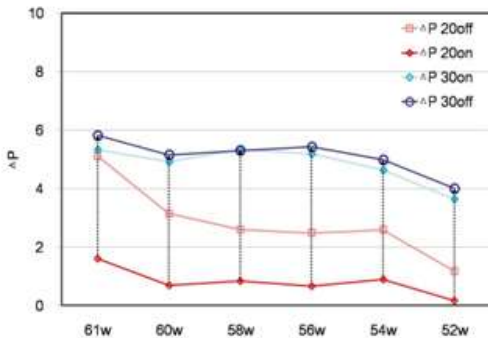


Fig. 13. Pressure difference per affective area
그림 13. 유효면적당 압력차

$-30^{\circ}C$ 에서 각 필터별 압력차는 그다지 차이가 나지 않았으나, 상대적으로 $-20^{\circ}C$ 에서 히터를 Off하였을 경우 압력차가 많이 변동되고 있음을 알 수 있다.

그림 14는 통합형과 분리형의 성능을 비교한 결과로 가로축은 온도변화이고 세로축은 발열량을 나타낸다. 따라서 $-40^{\circ}C$ 이하에서 통합형의 발열량이 크게 나타남을 알 수 있고, 이는 분리형보다 통합형이 유량의 흐름을 신속하게 함으로써 점화 능력이 향상됨을 알 수 있다.

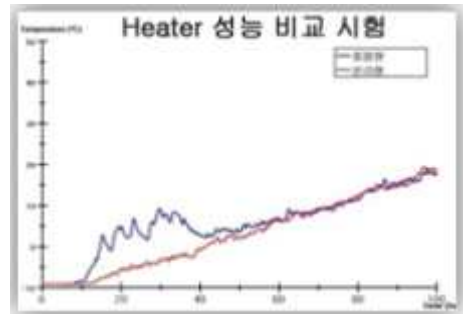


Fig. 14. Performance comparison of heater
그림 14. 히터의 성능비교

B. 저온유동성 시험장치의 시동성 평가

그림 15는 $-30^{\circ}C$ 에서 분리형과 통합형 연료히터의 시동성을 비교한 결과를 나타낸다. 통합형이 분리형에 비해 저온시동성이 우수함을 알 수 있고, 시동시간이 23% 향상됨을 알 수 있다.

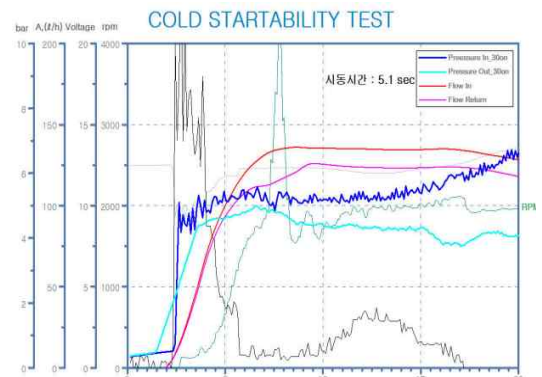


Fig. 15. Start time in low temperature
그림 15. 저온에서의 시동시간

그림 16은 $+25^{\circ}C$ ~ $-30^{\circ}C$ 사이 온도별 히터를 On/Off시키며 시동시간을 비교한 그림이다. 초기 $+25^{\circ}C$ 에서 시동시간 1.6 초, $-20^{\circ}C$ 에서 히터를 On시키고 시동시간은 1.8 초이고 Off 상태에서는 2.9초

걸린다. 마지막으로 $-30^{\circ}C$ 에서 히터를 On/Off 시키며 걸린 시간은 각각 3.5초와 3.9초이다.

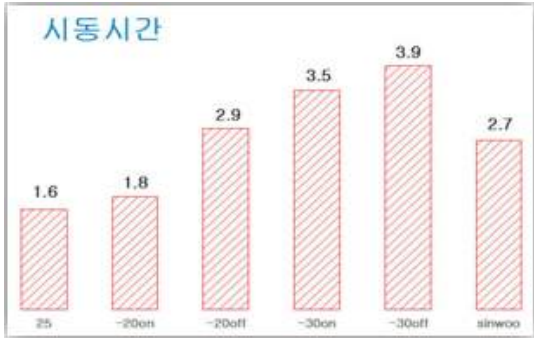


Fig. 16. Start time comparison in low temperature
 그림 16. 저온에서의 시동시간 비교

그림 17은 주행성평가에서 유량과 압력변화를 나타낸다. 가로축은 $+25 \sim -30^{\circ}C$ 사이 온도변화 세로축은 공급유량(상위선)과 압력차(하위선)를 나타낸다. 온도가 저하될 수록 연료히터의 작동으로 연료필터 전후에서 유량은 감소하고 압력차는 커짐을 알 수 있고, 통합형 연료히터가 분리형에 비해 저온성능이 19% 정도 향상됨을 알 수 있다.

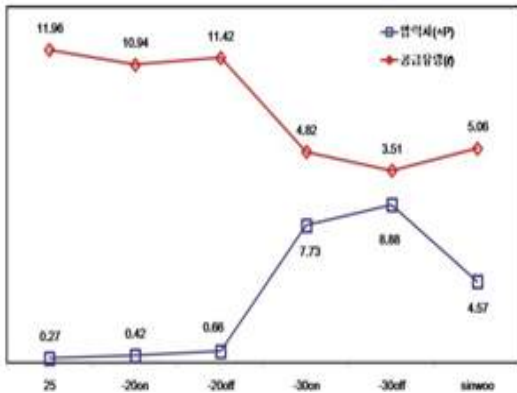


Fig. 17. Comparison of a pressure difference and flowing amount
 그림 17. 압력차와 공급유량의 비교

그림 18은 CRDI용 디젤엔진 차량을 이용하여 주위 온도 $-8 \sim -13.8^{\circ}C$ 에서 12시간 운전하며, Keyon, 시동시작, 필터진단 유량 및 반환유량, 히터전압 및 필터후단 압력을 시험 측정된 결과이다. S사에서 개

발한 통합형연료히터의 경우 우수한 특성을 나타낸다. 실제 통합히터의 문제점은 생산공정과정에서 바 이메탈의 내부 구조, 알루미늄 플레이트의 전도율 및 PTC 소자의 불량으로 인한 경우가 존재할 수 있다.

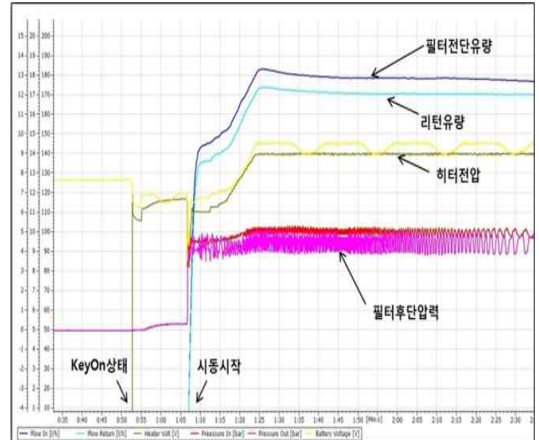


Fig. 18. Performance evaluation of composited fuel heater in derivate state

그림 18. 운전상태에서 통합형 연료히터의 성능평가

IV. 결론

통합형 연료히터의 저온유동성 시험장치를 구현하였다. 이때 경유를 설정압력과 설정유량으로 통과시켜 챔버의 탱크와 필터에 채운 후 유체 흐름을 차단하고, 설정시간 동안 설정온도로 냉각한 후, $+20 \sim -30^{\circ}C$ 에서 조건에 따른 정압 및 부정압 시험을 실시하였다.

- 연료필터의 유효면적은 52, 54, 56, 58, 60 및 61을 사용하고, 통합연료히터를 On/Off시키며, 분리형과 통합형 연료필터의 유효면적별 공급유량(Q)을 26 회 시험한 결과 통합형이 분리형에 비해 유동성이 향상되고, 히터의 발열량이 상대적으로 크다는 것을 알 수 있었다.

저온유동성 시험장치의 시동성 평가결과 통합형이 분리형에 비해 저온시동성이 우수함을 알 수 있고, 시동 시간이 23% 향상됨을 알 수 있다. 또한 주행성 평가에서 유량과 압력변화는 온도가 저하될수록 연료 히터의 작동으로 연료필터 전후에서 유량은 감소하고 압력차는 커짐을 알 수 있고, 통합형 연료히터가 분리형에 비해 저온성능이 19% 정도 향상됨을 나타내었다.

References

- [1] C. Arcoumanis, S. T. Cho, M. Gavaises and H. S. Yi, "Spray and Combustion Development in a Four-Valve Optical DI Diesel Engine," SAE 2000-01-1184, 2000
- [2] Buomsik Shin, Myungseok Lyu, Kyuhoon Choi, "The Effect of Injection Pressure Variations by Using Common Rail on the Smoke and Fuel Consumption in a Small HSDI Diesel Engine," Fall conference proceeding, KSAE, pp.97-302, 2000
- [3] Sung Wook Park, Hyung Jun Kim, Chang Sik Lee, "Investigation of Atomization Characteristics and Prediction Accuracy of Hybrid Models for High-Speed Diesel Fuel Sprays," SAE 2003-01-1045, 2003.
- [4] J. S. Jang, Y. H. Yun, "Development of Analysis Model for Device Design based on CRDI Fuel Defusion System," KSAE, Vol.17, No.3, pp. 117 - 126, May 2009.
- [5] S. D. Oh, J. K Park, H. G. Lee, etc, "Performance Characteristics of 3L class CRDI DME Engine," Proceedings of KSAE, pp 649 - 652, Nov. 2010.
- [6] Y. C. Kim, N. S. Sung, G. S. Kim etc "A Study on High Voltage PTC Heater for Cars," Proceedings of KSAE, pp.560 - 564, May 2011.
- [7] Jongsuk Lim, Seungsuk Oh, Jaesung Chung, Kangyoon Lee, Myounggho Sunwoo, "Development of a Combustion Phase Indicator for Real-Time Combustion Control in CRDI Diesel Engines," Annual Conference and Exhibition Proceedings, pp.14 - 19, 2010
- [8] KIA Co., Ltd., "Heating System of Fuel Filter for Diesel Engine" Patents No.10-09747180000, 2010
- [9] Korea Transportation Safety Authority , Sang Young Automobile Co., Ltd., "Development of Diesel Engine Combustion Appliance System", MOTIE, May 2010.

BIOGRAPHY

Jang Young-Sung (Member)



1983. 2 : BS degree in Industrial Engineering, Inha University
2013.12-current : ShinwooHitec Co. Ltd. Researcher in Institute
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.