

차량 연료히터의 전기적 성능시험 평가 시스템 구현

Implementation of Electrical Performance Test Evaluation System for Car Fuel Heater

윤 달 환*

Dal-Hwan Yoon*

Abstract

In this paper, we have implemented the performance evaluation system of the unified fuel heater for CRDI diesel engine. If the diesel engine be cold by low temperature in winter, then that makes the waxing materials like a paraffin and is the source of poor engine starting. The unified fuel heater is the barrow meter that estimate the start performance of diesel engine, and be tested by test chamber. The chamber perform the normal temperature, an extremely low temperature, an operating performance in an extremely high temperature, the resistance operation delay time and current operation delay time in setting up test resistance, the bimetal delay time test in temperature variation, the current and resistor test of the composited heater, a heating operation test.

요 약

본 연구에서는 차량용 연료히터의 전기적 성능검사 챔버를 구현한다. 겨울철 저온환경의 영향을 받는 디젤 엔진이 냉각될 경우 일정한 온도 이하로 내려가면 파라핀과 같은 반고체 상태인 왁싱(Waxing)물질을 형성하여 엔진 시동이 잘 걸리지 않게 하는 원인이 된다. 히터내에 센서를 안착시켜 통합한 일체형 통합히터는 시동성 평가에 중요한 요소이며, 성능평가 시험 챔버 시스템을 통해 전기적인 특성을 시험한다. 최근 CRDI(커먼레일) 엔진을 주로 사용함에 따라 연료히터로 디젤오일을 가열하여 점화성능을 향상시키기 위한 연료히터 성능시험은 엔진의 시동성을 향상시키는 중요한 요소이다. 따라서 연료히터의 전기적 성능시험 검사항목은 상온, 극저온, 극고온에서 동작검사, 시험저항 설정에 따른 저항동작 지연시간 및 전류동작 지연시간, 온도변화에 따른 바이메탈 지연시간 검사, 블록히터의 전류 및 저항 검사, 히팅 운전검사 등을 수행하도록 설계한다.

Key Words : CRDI diesel engine, unified fuel heater, performance estimation system, monitoring, Ip convergence

1. 서론

디젤엔진은 내연기관의 일종으로 연소방식에 따라 직접분사식과 간접분사식으로 분류한다. 직접분사식

은 연료를 실린더 내에 직접 분사하여 연소시키며, 간접분사식은 직접분사식에 별도의 부연소실로 분사하여 연소시키는 방식이다. 직접분사식 CRDI(common rail direct injection) 디젤엔진은 연소시 소음이 간접분사식에 비해 크지만 연비 면에서는 매우 뛰어나 경제적인 이점을 가지므로 현재 많은 디젤자동차가 채택하고 있다[1].

정밀 전자제어가 가능한 압축장치(압축 어큐뮬레이터, 레일)와 응답성이 뛰어난 연료 직접분사장치(인젝

* Dept. of Electronics Engineering, SeMyung University, yoondh@semyung.ac.kr, 043-649-1308

※ Acknowledgment

Manuscript received Mar.18,2013; revised Mar. 22,2013

; accepted Mar, 25. 2013

터)를 이용하여 운전 상태에 맞게 연료를 분사해주는 디젤엔진이다[2]. 그림 1은 이산화탄소 배출량이 적은 친환경 엔진으로 널리 사용하고 있는 CRDI 엔진의 동작 구성도이다. 겨울철과 같이 저온환경의 영향을 받아 엔진이 냉각될 경우에 있어서의 디젤엔진의 시동은 최초 폭발, 즉 점화가 원만하지 못한 관계로 시동성이 떨어지는 단점이 있다. 특히 디젤엔진의 연료인 경유는 일정한 온도 이하로 내려가면 파라핀과 같은 반고체 상태인 왁싱(Waxing)물질을 형성하여, 엔진시동이 잘 걸리지 않게 하는 원인이 되고 있다[3].

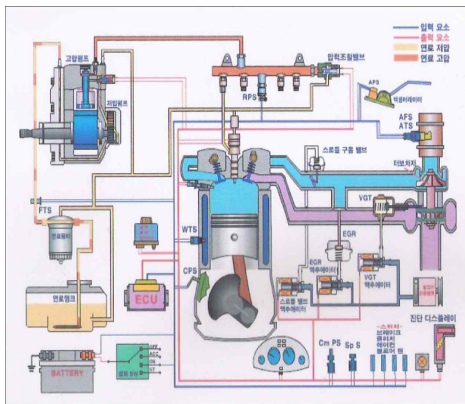


그림 1. CRDI 디젤 엔진의 구성도
Fig. 1. Diagram of CRDI diesel engine

이와 같은 시동성 불량 해소를 위해 일반적인 디젤엔진의 경우, 시동전 연소실 내부의 공기온도를 점화에 유리한 온도까지 빠른 시간 안에 도달될 수 있도록 보조하는 별도의 보조 장치를 널리 채택하고 있는데, 이것을 블록히터라 한다[4]. 그리고 히팅 방식 중에서 많이 사용되고 있는 것이 정온도계수 (P.T.C, positive temperature coefficient)방식의 히터이다. 현재 승용디젤 차량용 및 S.U.V(Sport Utility Vehicle) 용에는 65Watt정도의 발열량을 지닌 P.T.C 4개를 주로 사용하고, 고압펌프의 정격유량은 60L/Min 정도이다. 공급되는 전원은 12 V로 승용차, SUV 및 적재중량이 0.5톤 소형화물 차량용 엔진에 적용하고 있다[5].

히터와 연료필터가 결합된 연료히터 조립장치(Fuel Heater Assembly Device)는 연료필터 여과재로부터 분리된 물이 필터 아래 부분에 일정량 이상 채워지면, 걸려서 모아준 수분이 다시 고압펌프 방향으로 유입될 수 있기 때문에 이를 방지하기 위하여 걸러

진 수분이 일정량이상 일 경우 수분을 배출하라는 신호를 감지하여 주는 물센서(Water Sensor)가 연료 필터 아래 부분에 장착되어 있다. 여기서 세라믹 P.T.C는 써미스터(Thermistor)중에서 온도가 상승함에 따라서 저항이 정(正)으로 상승하는 특성을 이용하여 전류를 제어하는 레지스터이다[6]. 즉 어느 온도 이상 도달하면 저항이 커지며 전류를 차단한다.

본 연구에서는 히터의 안정성 견고성 및 열효율을 향상시키기 위해 센서와 히터가 통합된 블록히터(block heater)를 통해 성능을 평가하는 시험챔버를 개발한다. 히터의 성능을 평가함에 있어 품질검사를 효율적이고 더 많은 수량의 처리량을 확보하며, 동시에 검사에 소요되는 시간을 최소화하는 알고리즘을 개발한다.

II. 성능평가 시험챔버 구현

통합용 블록히터의 성능검사 및 불량품 검출을 위한 성능검사에 평가 장비가 필요하다. 성능검사 항목은 상온, 극저온, 극고온에서 동작검사 및 시험저항 설정에 따른 저항 및 전류동작 지연시간, 온도변화에 따른 바이메탈 지연시간 검사, 블록히터의 전류 및 저항 검사, 히팅 운전검사 등이다. 특히 평가장비의 처리능력은 전수검사를 필요로 하는 자동차 부품의 특성상 부품 생산력과 직결되는 만큼 다량 샘플처리와 최소 운용시간의 필요성이 대두되고 있다. 그림 2는 통합된 블록히터의 성능평가 시스템설계도이다.

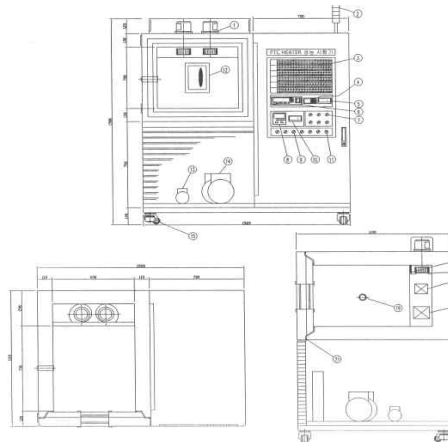


그림 2. 성능평가 시스템 구조도
Fig. 2. Structure of performance evaluation system

성능시험 챔버 평가알고리즘 그림 3은 성능평가시스템의 효율적인 동작흐름도이다. 연료히터의 생산성향상은 저비용 고효율의 성능평가 시스템을 구축한다.

전원 스위치를 동작하면, 히터 열체크 모듈로 전환되고, 시험온도와 시험저항을 설정한다. 이때 저항검사 및 전류검사 지연시간 및 1~5차까지 바이메탈 검사온도를 설정하며, 모니터링 및 점검을 수행한다.

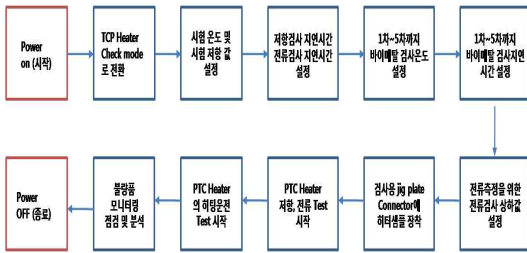


그림 3. 성능평가 시스템 구동 흐름도
Fig. 3. Operation flow of performance evaluation system

그림 4는 성능평가 시스템 하드웨어 제어부 회로도를 나타낸다. 제어부를 구성하는 요소로는 팬모터(AC1Φ/220[V]/60[Hz]/80[W]), 블로어, 냉동기, 제어판넬 등이 있다. 따라서 제어판넬에 제시된 제어 아이콘들은 냉동기를 통해 히터를 저온까지 냉동시킬 수 있다.



그림 4. 챔버의 구동제어 회로부
Fig. 4. Control circuit of chamber

그림 5는 전원입력 24V로 제어되는 히터챔버 제어용 PLC 프로그램 흐름도를 나타낸다. G61-D22A에서 각 핀포트 기능을 설명하고, P01포트 0 ~ 2는 전원 on/off 기능 담당, 포트 3은 비상정지, 포트 4 ~ 6은 저항측정 담당, 포트 7은 바이메탈의 정상동작을

체크하며, 포트8은 전원 및 포트 9는 저항시험블록을 담당한다. 이들 각 포트 외부로 제어되는 요구기능에 따라 필요한 회로가 연결된다.

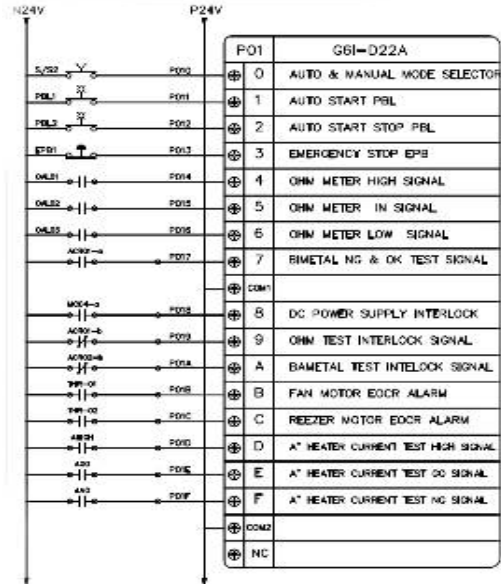


그림 5. 챔버의 PLC 제어 흐름도
Fig. 5. PLC control flow of chamber

통합히터의 전류측정을 위하여 PCB 실장용 IC 소자를 사용한다. 홀효과 방식을 이용하여 전류를 측정하고, 측정값에 따른 전압을 출력한다. 출력 신호는 측정된 전류의 양에 비례하여 선형적으로 증가 또는 감소하며, MCU 내부의 A/D 컨버터를 통해 변환된 값을 MCU에 입력된다. MCU에서는 변환된 데이터를 바탕으로 프로그램에 의해 전류량 변화(고장시)에 대한 명령을 내린다. 역 전류 방지를 위해 출력단에 다이오드를 부착했으며, 입력전압의 잡음제거를 위해 바이패스(bypass)필터를 사용한다. 그림 6은 MCU에서 내리는 명령에 대해 전원을 제어하는 회로도를 나타낸다. 그림 6에서 DC 전원은 챔버에 전원을 공급하는데 사용하며, 2-Channel로 0~30V 사이 전압가변이 가능하다. 보드로 공급되는 AC220V의 전원은 SMPS를 이용하여 DC 12V/0.9A로 정류되며 주전원으로 사용한다. 정류된 DC 12V 전원은 선형레귤레이터(Linear Regulator)를 이용하여 MCU 및 IC 소자의 동작 전압(5V)으로 강압하여 각각의 소자에 공급된다.

그림 7은 외부 통신용 인터페이스 주변회로를 나타

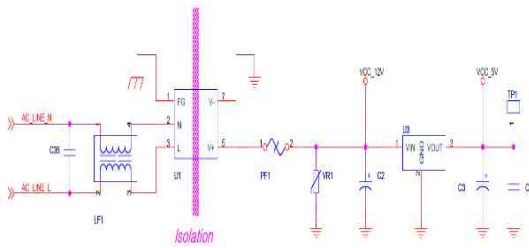


그림 6. 전원제어 회로도
Fig 6. Power control circuit

낸다. 제어판넬의 통신 모니터 및 제어판넬 RS422 인터페이스부는 2개의 RS422/485 트랜시버 (Transceiver)를 이용하여 1개의 수신기(Receiver)와 1개의 송신기(Transmitter)로 설계한다. 이는 차동 전압 방식으로 외부의 잡음에 강하다.

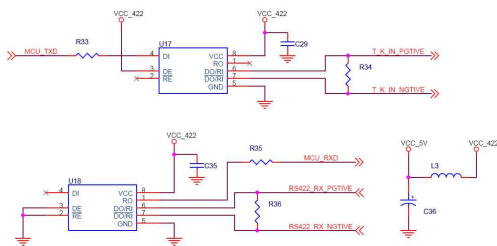


그림 7. 통신용 인터페이스 회로도
Fig 7. Interface circuit diagram

그림 8은 히터채널 시험과 연결된 릴레이스위치부를 나타낸다. 릴레이 스위치는 마스터-k200S PLC 구동칩과 전력릴레이 스위치로 동작시킨다. 그림 8의 대전력 AC를 제어하기 위해서는 그림 6처럼 MCU와 AC 선간 상호 전기적 절연이 필요하다. 소자 내부가 자체 절연 되어 있는 TRIAC 구동을 사용한다. MOC3041의 데이터시트에 의해 LED 양단 전압을 1.3V, LED 전단전류를 약 17mA 정도로 정하여 LED의 애노드 부분의 저항 값을 정한다. 입력 신호가 5V이므로, $5V - 1.3V = 3.7V$ 가 되며, 17mA 가 흐르도록 알맞은 저항을 사용한다.

전류제어 회로의 HIGH 신호에 의해 트라이액 구동기 (TRIAC DRIVER)의 LED가 ON 되면 ZERO CROSS 시점(한 주기에 2번)에 게이트(Gate)단으로 신호가 전달되고 이 신호에 의해 출력 단(4번, 6번

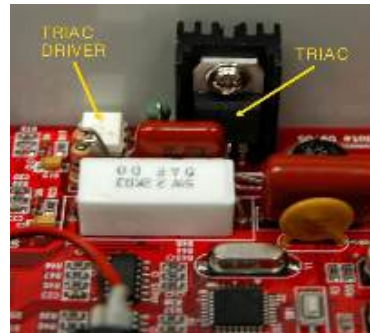


그림 8. 릴레이 스위치 회로도
Fig 8. Relay switch circuit

핀)이 도통이 된다. 트라이액의 게이트에도 신호가 전달되어 도통이 되어 전류가 흐르게 된다. 제로교차점점에서 다이오드를 동작은 가장 전류가 작은 시점이기 때문이다. 만약 피크 지점에서 다이오드를 동작시킨다면, 높은 전류로 인해 고장의 원인이 될 것이다. MCU에서 제어를 하거나, 누전 및 과전류 보호 회로에서 고장 판단으로 인하여 Low 신호를 보내면 LED가 OFF 되므로 Zero Cross 시점에 병렬 연결된 다이오드의 게이트단이 Hold Current 이하로 떨어지게 되어, 트라이액 드라이버가 차단된다. 따라서 TRIAC도 Hold Current 이하로 떨어지므로 OFF가 되어 전류가 흐르지 않게 된다.

그림 9는 히터챔버 내부의 온도제어 PLC 흐름도를 나타낸다. 핀포트 그룹들의 각 특징에 따라 시험챔버내 동작과 연결된다.

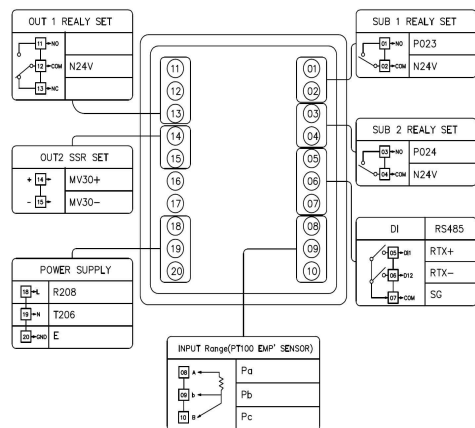


그림 9. 히터챔버 내부온도제어 PLC 흐름도
Fig 9. Inner thermal control PLC flow of heater chamber

마지막으로 연료필터의 바디형상을 변경하여 열전도도 향상과 유동 성능을 향상시키는 방법 개발을 통해 P.T.C 히터의 발열량을 신속히 히터내로 전달시키고, 유체의 유동성 향상을 위해 센터파이프를 적용하는 알고리즘으로 내구성 판단기준을 설정한다. 표 1은 내구성 판단기준을 나타낸다.

Table 1. Standard judgement of sustain
표 1. 내구성 판단 기준

항목	규격
온도 사이클 주기(20Cycle)	<ul style="list-style-type: none"> -40°C (0.5HR) -40°C → 100°C (0.5HR) 100°C (0.5HR) 100°C → -40°C (0.5HR)
진동시험	50Hz / 56HR
SALT 분사시험	MS 611-15
단자 On/Off	350N
온도변역성 시험	40°C, 90~95%, 24HR
Thermostat	13 Vdc/25A/50,000 Cycle
임펄스 시험	0~ 4Bar/3*10 ⁶ , 90CPM

III. 실험결과

그림 10은 그림2에서 구현한 시험챔버를 나타낸다. 좌측 상단에 모니터링화면과 우측 그림에 그 결과를 디스플레이하는 화면을 나타낸다.



그림 10. 시험챔버와 모니터링화면
Fig 10. Test chamber and monitoring display

그림 11에서 모니터 화면으로 설정온도를 변화하며, 전압인가 후 바이메탈 검사, 저항검사 및 전류검사를 실시할 수 있다.

그림 12는 모니터 화면 하단으로 시스템메뉴, 계측 규격설정, 히터에 대한 정보 출력 및 온도 세팅 등을

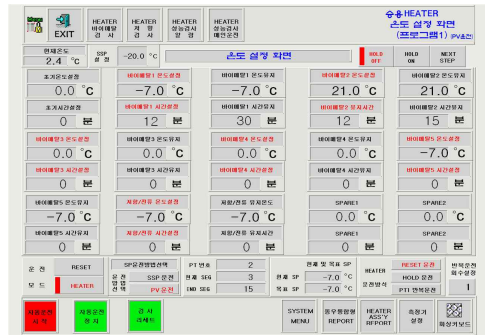


그림 11. 제어보드의 모니터 화면
Fig 11. Monitor for control board

할 수 있으며. 상단에는 히터제형 검사, 바이메탈 검사, 성능검사 및 메인운전 등의 메뉴를 실시할 수 있다.

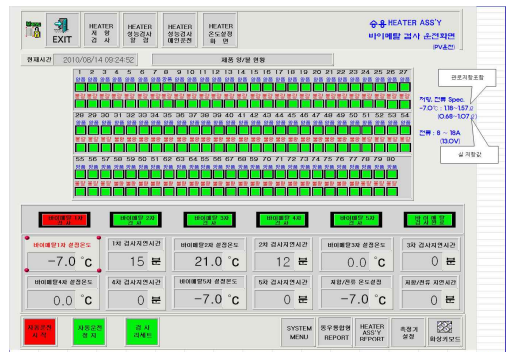


그림 12. 운전 모니터
Fig 12. Operating monitor

그림 13은 통합히터를 제작하는 과정이다. ① 바디에 ② 하측플레이트 안착, ③ P.T.C. 4개를 삽입, ④ 상측플레이트 안착, ⑤ 정지기 삽입 및 ⑥ 스크류 고정과정을 거친다. 스크류 체결시 6~ 7.5 kgf*cm로 토크(torque)를 사용한다.



그림 13. 통합히터의 바디내 체결과정
Fig 13. Body assembly process of heater

그림 14는 바이메탈부의 오형링(O-ring), 고정기, 바이메탈 순으로 조립하고 마지막으로 스크류로 고정하여 완료된 히터를 나타낸다.

마지막으로 완성된 블록히터의 성능과 내구성에 대한 무결점 시험을 위해 전력은 260W(오차 5%), 시험전압 DC 13V, 스위치전환은 On(-3°C ±4°C)과 Off(17°C ±4°C)를 수행한다. 특히 누수시험은 분당



그림 14. 통합히터
Fig 14. The composited heater

3, 5 및 7 bar로 반복한다. 표 2는 블록히터의 무결점시험 규격을 나타낸다.

Table 2. Impurity test specification
표 2. 무결점 시험 규격

항목	규격
전력	260W + 5~10%
시험조건	온도: -23°C/전압 : 13 Vdc
스위치 On/OFF	On: -3°C ±4°C/Off: 17°C ±4°C
최대전류	25 A
누수시험	No bubble : 3/5/7 bar(1 min.)
필터 연료 유속	Heater 권후 200초내 연료 전달
스우치 절연저항	Min 100MΩ at DC 500V

그림 15는 그림 14에서 완료된 통합히터를 그림 10에 넣어 시험하는 그림이다. 만일 불량 발생하면 그림 12 하단부 설정조건에 모니터에 적색으로 나타난다. 그림 16은 히터 제조공정을 나타낸 것으로 불량발생 원인을 찾을 수 있다. 블록히터의 조립과 성능평가까지의 흐름도를 통해 문제가 발생할 수 있는 공정을 도출한다.



그림 15. 시험챔버내 통합히터
Fig. 15 The composited heater test

불량이 발생하는 원인 중 바디사출에서 생길 수 있다. 바디치수의 불균일로 인해 발생할 수 있다. 또한 바디내 히팅소재의 안착과정에서 소재를 유실하는 경우로 PTC 소자를 빼놓고 체결하는 경우, 플레이트를 잘못 체결하는 경우, 누설시험에 O-링을 유지하는 등 원인들이 발생할 수 있다.



그림 16. 히터 제작 흐름도
Fig 16. Heater assembly flow



그림 17. 바이메탈 통과저항 측정
Fig 17. Bimetal's resistor measurement

그림 17은 저온챔버 내부와 목표온도에서 바이메탈의 통과저항을 측정하는 장면을 나타낸다. 표 3은 그림 17에서 상온과 2.5 °C에서 통합히터의

바이메탈 통과저항과 비통과 저항 데이터이다.

Table 3. Voltage condition

표 3. 전압조건

시료 수	전압(V)			
	인가 전압	바이메탈 비 경유시 전압	바이메탈 경유시 전압	전압 강하
1	28.6	27.823	27.724	0.099
2	28.6	27.874	27.774	0.1
3	28.6	27.876	27.741	0.135
4	28.6	27.873	27.777	0.096
5	28.6	27.891	27.778	0.113
6	28.6	27.887	27.772	0.115
7	28.6	27.871	27.771	0.1

표 4는 2.5℃에서 시료에 따라 시험 후 저항을 나타낸다.

Table 4. Resistance after test

표 4. 시험 후 저항

시료 번호	시험 후 저항(Ω)	
	+ 커넥터 부위	저항 측정선 부위
1	5.02Ω	4.99Ω
2	5.05Ω	5.02Ω
3	5.07Ω	5.04Ω
4	4.84Ω	4.80Ω
5	4.74Ω	4.72Ω
6	4.88Ω	4.86Ω
7	4.93Ω	4.89Ω

누설시험과정에서 히터의 불량원인으로 접촉단자의 커넥터 이탈력으로 수밀불량이 발생한다. 누설검사 오일내로 히터를 입수한 후 압력을 가하면, 커넥터부의 접속에 이탈력으로 기포가 형성되며 수밀불량으로 판정한다. 그림 18은 수밀불량을 체크하는 공정이고, 이탈력에 문제가 발생시 이탈력을 보정한다.



그림 18. 히터 커넥터 부 보정과정

Fig 18. Cavity reform of heater connector

마지막으로 그림 19처럼 통합 블록히터 바이메탈 부에 에폭시를 주입하여 성형시킨 후 누수시험을 시행하며, 그 과정에서 블록히터의 문제점을 도출한다.



그림 19. 에폭시 주입과정

Fig 19. Insertion process of epoxy

IV. 결론

본 연구는 디젤차량용 통합형 연료히터의 성능을 평가하기 위해 시험챔버를 개발하였다. 시험챔버에서 히터 열체크 모듈 전환, 시험온도와 시험저항, 히터의 저항검사 및 전류검사를 통하여 불량률 모니터링 및 점검을 수행함으로써 IT융합기술을 통한 차량의 성능향상을 기할 수 있었다. 시험챔버에 사용하는 통합히터는 센서와 바디의 일체형으로 개발하여 성능평가 시스템에 적용하였다. 시험챔버를 통하여 생산성향상은 물론 가격대비 경쟁력을 얻을 수 있다.

References

- [1] Hyungu Roh, Haksik Jeon, Changsik Lee, "Effect of multiple injection and injection pressure on the combustion and emission characteristics in a passenger car CRDI diesel engine," Spring conference proceeding, KSAE, pp.352 ~ 357, 2007
- [2] 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.
- [3] J. S. Jang, Y. H. Yoon, "Analysis Model of CRDI Fuel Injection System," The Korean Society of Automotive Engineers(KSAE), Vol 17, No. 3, pp. 117 - 126, 2009. 05.
- [4] S. D. Oh, J. K. Park, H. G. Lee, G. S. Lee, Y. D. Pyo, S. J. Jeng, "Characteristics Comparison of 3 l CRDI DME Engine, Proceedings of KSAE, pp 649 - 652, 2010. 11.

- [5] Y. C. Kim, N. S. Seung, G. S. Jin, H. T. Cho
"Investigation of High Voltage PTC Heter for Cars," Proceedings of KSAE, pp.560 - 564, 2011.
05
- [6] Jongsuk Lim, Seungsuk Oh, Jaesung Chung,
Kangyoon Lee, Myoungcho 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
- [7] KIA Co. Ltd., "Fuel Heating System of Diesel
Engine" Patents 10-09747180000, 2010
- [8] 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
- [9] D. H. Yoon, W. H. Han, "Unified Fuel Heater
and Chamber for Performance Evaluation of
Friendly Circumstance Diesel Engine", Technical
Report, 2012

BIOGRAPHY

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

Millitary 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 Convergence
Circuit