

디젤차량용 오버플로어밸브 및 성능평가 시스템 구현

윤달환^{1*}

¹세명대학교 전자공학과

Implementation of Overflow Valve and Performance Evaluation System for Diesel Cars

Dal-Hwan Yoon^{1*}

¹Department of Electronic Engineering, Semyung University

요약 본 연구에서는 EURO5형 엔진의 오버플로어밸브 및 성능평가 시스템을 구현한다. 친환경 조건에 맞도록 정밀 기능을 갖도록 개발하고, 정밀측정이 가능하도록 사용이 용이한 성능평가 시스템이 필요하다. 특히 정밀제어에 따른 성능평가는 연비가 향상되고, 환경규제를 만족한다. 이에 정밀측정 성능검사기(10cc 미만에서 3.0 Bar, 150 cc 이상에서 3.3 Bar, 250 cc 이상에서 4.0 Bar)를 사용한다.

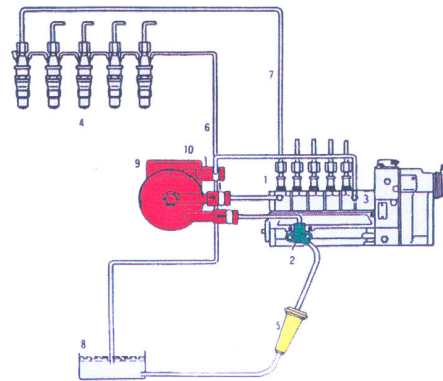
Abstract In this paper, we have implemented an overflow valve for EURO5 Type and the performance evaluation system based on IT. On injecting a diesel oil into an engine, it is necessity for an overflow valve that can sustain an engine oil status in front of the engine. In order to evaluate the performance of overflow valve, we need the leak test system with IT. The leak test system checks the pressure, switching time and operating time.

Key Words : EURO5, Overflow Valve, Performance Evaluation

1. 서론

크린 디젤엔진인 CRDI(common rail direct injection) 엔진의 사용량 증가로 오버플로우 밸브의 중요성 증가하고 있다. 디젤엔진은 일정이상의 유압이 걸릴 경우, 엔진 유압라인의 높은 압력으로 인해 시동 및 연료공급에 문제가 발생한다[1]. 이때 유량의 일부를 유압라인이나 유압회로로부터 노출시켜 실린더헤드 내부에 형성된 연료 압력을 소정 압력 이하로 줄여주는 오버플로어 밸브의 역할이 필요하다. Fig. 1은 오버플로우 밸브와 디젤 엔진 연료분사 장치 구조도를 나타내고, 엔진앞단의 3번이 오버플로우 밸브이다[2].

EURO3형 엔진의 오버플로우 밸브는 WGT 및 VGT형 차량에 적용하고 있으나, 스펙이 낮아 연비 및 환경규제에 품질을 만족시키지 못하고 있다. EURO3 규격의 동작 조건은 누설이 1.3 Bar하에 최대 6L/h, 압력 1.3 ~ 1.8 Bar에서 열리며, 유속률(flow rate)은 2.4 Bar이상에서 최대



[Fig. 1] Block diagram of fuel injection equipment

300 L/h이다. EURO4형 엔진의 오버플로우 밸브는 저압 펌프에서 On /Off 밸브기능 역할을 수행하고 있으나, 미세 제어가 어려우며, 현재 단종된 상태이다. 따라서

*Corresponding Author : Dal-Hwan Yoon(Semyung Univ.)

Tel: +82-10-2369-1308 email: yoondh@semyung.ac.kr

Received March 25, 2013

Revised April 10, 2013

Accepted April 11, 2013

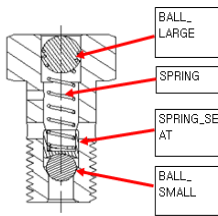
EURO엔진의 오버플로우 밸브는 EURO5로 진화하여 사용 중에 있다[3, 4].

본 연구에서는 EURO3 엔진의 오버플로우가 갖고 있는 불량을 보완하고, 친환경 조건에 맞는 EURO5형 오버플로우 밸브를 개발하며, 정밀측정에 필요한 성능검사 시스템을 구현한다. 따라서 정밀제어에 따른 성능평가는 연비가 향상되고, 환경규제를 만족한다. 이를 위해 스프링 장력 측정기, 정밀측정 성능검사기(10cc 미만에서 3.0 Bar, 150 cc 이상에서 3.3 Bar, 250 cc 이상에서 4.0 Bar)를 사용한다.

2. 오버플로우밸브 및 성능평가시스템

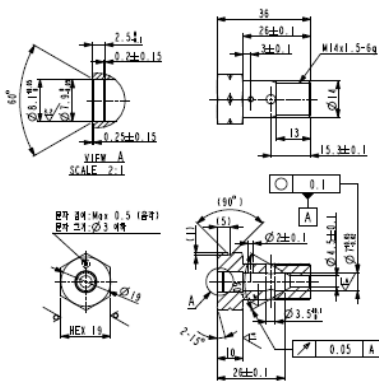
2.1 오버플로우 개발

Fig. 2는 오버플루밸브의 기본 구성품과 구성도를 나타낸다.



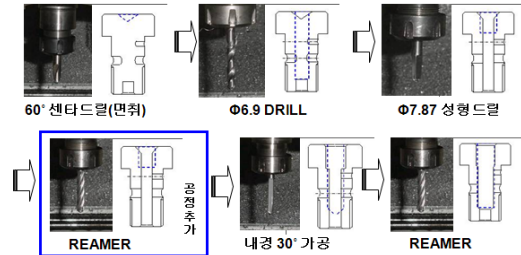
[Fig. 2] Construction of overflow valve

오버플로우 밸브는 양측볼(Ball-large and Small), 스프링(Spring) 및 스프링시트(Spring Seat) 간에 유압이 공급될 때, 스프링의 유연성, 스프링시트와 볼간에 불안정성으로 인해 진동소음이 심하게 발생한다[5]. Fig. 3은 신규 오버플로우 개발 회로도를 나타낸다.



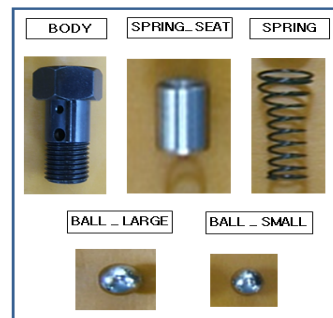
[Fig. 3] Overflow valve design

Fig. 3의 개선점은 Fig. 2에서 제시하는 스프링 시트(seat)를 둥근형으로 설계하여 소음 문제를 해결한다. 또한, 압입장비의 직접적인 개발을 통해 이를 해결하고, 유량의 개변압을 통한 성능 검사 시스템 구축을 통하여 엄격한 품질을 만족하는 시스템을 설계한다. 이때 실시간 검사를 위해 품질 개선에 효율적인 알고리즘 개발한다. Fig. 4는 공정추가를 통한 개선된 오버플로우 밸브몸체(overflow valve body) 내경가공공정을 나타낸다.

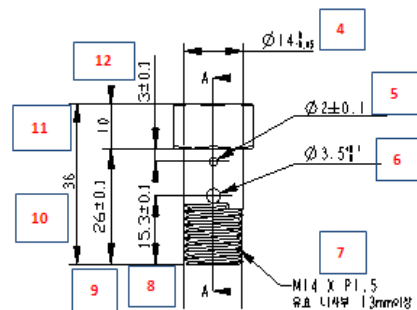


[Fig. 4] Modified inner process of overflow valve

Fig. 4에서 60도 센터드릴로 면취하며 구경 성형드릴 $\phi 7.87$ 을 사용한다. 리머(reamer) 공정추가하고, 내경 30° 로 가공한다. Fig. 5는 Fig. 3을 기반으로 개발된 밸브 구성품이다.



[Fig. 5] Parts list of overflow valve



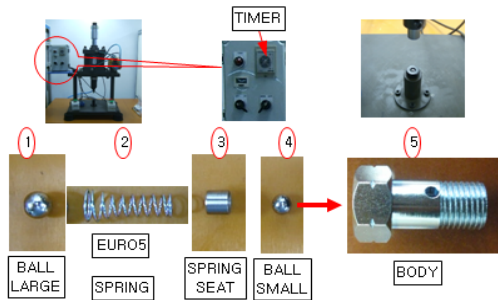
[Fig. 6] Test algorithm of overflow valve

Fig. 6은 오버플로밸브 검사 알고리즘으로 16가지 중 일부를 나타낸다. Table 1은 Fig. 6의 오버플로우 밸브의 16가지 검사기준 규격이다.

[Table 1] Specification of standard test

Position	Gauge	Specification
1	V/C	2.5H x 2.5 W
2	V/C	21.9
3	V/C	19(0, -0.4)
4	M/M	$\phi 14(0, -0.05)$
5	V/C	$\phi 2 \pm 0.1$
6	V/C	$\phi 3.5 (+0.1, 0)$
7	Gague	M14 x P1.5
8	Reflect	15.3 ± 0.1
9	V/C	26 ± 0.1
10	V/C	36 ± 0.2
11	V/C	10 ± 0.2
12	투영기	3 ± 0.1
13	V/C	10.15 ± 0.1
14	V/C	$\phi 5 \pm 0.1$
15	M/M	$\phi 7.05 \pm 0.05$
16	조도기	6.3S

Fig. 7은 오버플로우 밸브 제조 공정을 나타낸다. 이때 오조립 및 부품누락, 스프링 시트 조립방향, 압입압력 관리, 불량품의 수정 및 개선에 따라 오버플로우의 성능을 좌우한다.



[Fig. 7] Assembly process of overflow valve

2.2 성능평가 시스템 구현

오버플로우 밸브는 바디(Body), 스프링시트(Spring Seat), 스프링 및 양측볼로 설계됨에 따라 4개 차종 모델(VGT, WGT, EURO5, JK/JM)을 동시에 해결할 수 있도록

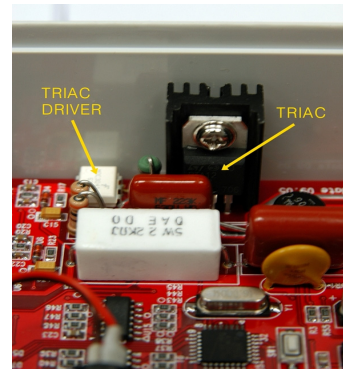
개발한다[6]. Fig. 8은 차종 규격에 따라 개변압 시험을 수행하는 시스템을 나타낸다.

개변압시험기 구동 시스템은 순간순간 압력을 가하는 동작을 수행해야 하므로 릴레이회로를 사용하여 소신호를 이용해 대전력(공급 전원)을 제어할 수 있어야 한다.



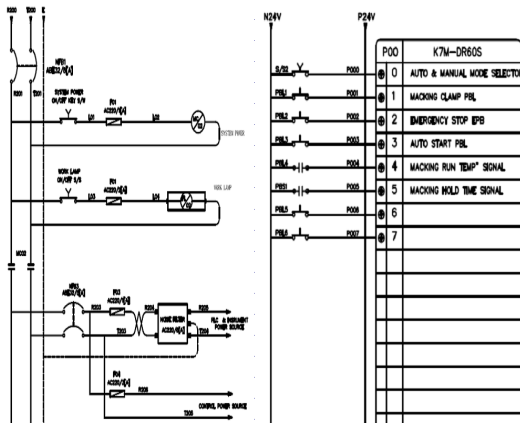
[Fig. 8] Performance test front panel

기존의 기계식 릴레이는 부피가 크고, 장기간 사용시 접점이 완전히 닿지 않거나 떨리는 고장이 발생하여 정상적인 제어가 어렵다. 또한 접점이 닿거나 떨어질 때 순간적인 스파크가 발생하여 기기 고장의 원인이 되기도 한다. 하지만 복합 센서 무선제어기에 사용된 전자식 릴레이(SSR)은 부피가 작고 반 영구적이며 전력이 가장 작은 시점(Zero Cross)을 스스로 검출하여 On/Off 동작을 함으로써 스파크가 발생하지 않는다. Fig. 9는 PLC(MASTER -K200S)를 이용하여 Fig. 8을 제어하기 위한 전력릴레이 스위치 회로도이다.



[Fig. 9] Power relay switch circuit

Fig. 9의 트라이액(Triac) 드라이버에서 포트1과 2는 각각 애노드(anode)와 캐소드포트로 내부 LED를 구동하고, 포트 4과 6는 각각 제어하고자하는 트라이액의 게이트 신호출력 및 교류전류 입력포트이다. 트라이액 포트 A1과 A2는 각각 교류전류 입출력이고, 포트 G는 트라이액 드라이버로부터 on/off 신호를 입력한다. Fig. 10은 개변압시험 시스템의 전원제어에 필요한 PLC 제어 흐름도를 나타낸다.



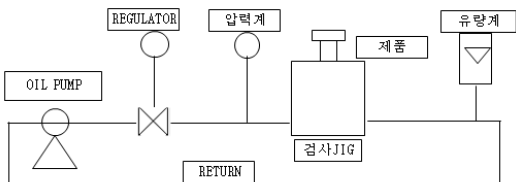
[Fig. 10] PLC program for power control

Fig. 10에서 왼쪽 프로세스에 따라 외부 입력에서 주어지는 24 V의 전원이 K7M-DR60S P00 편에 따라 릴레이 스위치를 구동한다. 개변압 시험 프로그램에서 VGT 사양의 1차 개변압 검사는 정압 2.6 bar에서 유량이 230cc/min 이상, EURO5형은 정압 3.5 bar에서 유량이 230cc/min 이상이어야 한다. 기밀검사에 EURO5형은 정압 2.85 bar에서 유량이 150cc/min 미만이어야 한다. 2차 개변압 검사에서 EURO5형은 정압 3.50 bar에서 유량이 230cc/min 이상이어야 한다. Table 2는 차종에 따른 시험기의 평가규격을 나타낸다.

[Table 2] Evaluating specification of performance test device

Test	VGT	WGT/JM-KM	EURO5
Leak	0.10~2.15	0.10~1.75	0.10~2.85
Open	2.16~2.60	1.76~2.10	2.85~3.50
Leak setting	2.10 Bar	1.70 Bar	2.85 Bar
Open setting	2.60 Bar	2.10 Bar	3.50 Bar

Fig. 11은 지그(Jig)가 구비된 개변압 시험기 구동 알고리즘을 나타낸다.

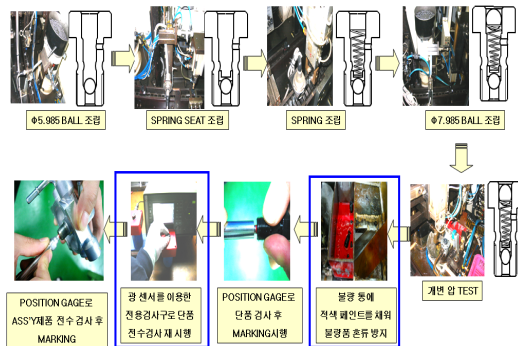


[Fig. 11] Performance evaluation system with Jig and pressure equipment

Fig. 11에서 스위치를 동작시키고 차종을 선택하면, 그에 맞는 개변압 규격을 세팅할 수 있다. 이때 지그에 오버플로우밸브를 안착하고, 외부압력계에 의해 지그헤드가 움직이면 안착된 오버플로우 밸브에 유량이 유입된다. 유입된 유량은 압력 규격내에 만족하는지 시험이 이루어지며, 제품의 성능이 정상인지 판단되도록 한다.

3. 실험결과

Fig. 11의 공정과정에서 개변압성능 시험에 따라 오버플로우 밸브 몸체가공 → 조립 → 성능검사 → 세척 및 건조 과정을 거치며, 성능검사이 유량의 개변압 검사를 실시한다. 여기서 불량발생을 최소화하고 품질관리를 위해 불량방지 공정을 추가한다.



[Fig. 12] Performance test process

Fig. 11의 개변압 시험에서 오버플로우에 문제가 발생하면, 오버플로우 설계에서 바다 및 내경, 외경의 규격이 정확하게 이루어져야 한다. 따라서 오버플로우 밸브의 반복성 장비 변동식은 (1)을 사용한다. 여기서 시행횟수 2회시 $K_1=4.56$ 을 사용하고, 시행횟수 3회시 $K_1=3.05$ 을 사용한다.

$$EV = R \times K_1 \tag{1}$$

재현성 측정자 변동(AV)은 식(2)를 사용한다. 이때 시행횟수가 2회이면 $K_2 = 3.65$, 시행횟수가 3회면 $K_2 = 2.70$ 를 사용한다.

$$AV = \sqrt{(X_{diff} \times K_2)^2 - \frac{EV^2}{nr}} \tag{2}$$

반복성 및 재현성(RnR)은 식(3)을 사용한다.

$$RnR = \sqrt{EV^2 - AV^2} \quad (3)$$

시료변동(PV)은 식(4)를 사용한다. 이때 $K_3 = 3.65$ 이다.

$$PV = R_p \times K_3 \quad (4)$$

총변동(TV)은 식(5)를 사용한다.

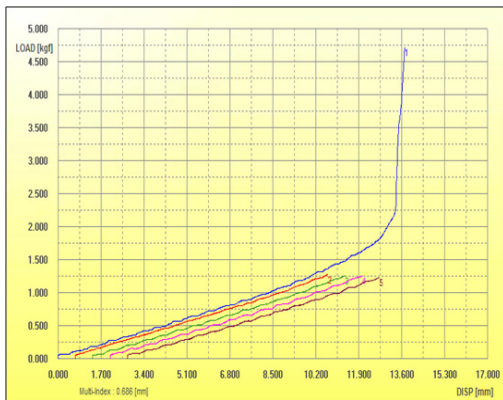
$$TV = \sqrt{RnR^2 + PV^2} \quad (5)$$

식(1) ~ (4)를 식(5)로 나누어 백분율을 취하면 공정 변동율(%)을 계산하게 된다. Table 3은 단면적 $1mm^2$ 이고 높이 $25mm$ 인 5개의 샘플에 대해 하중 및 압축강도에 대한 최대변위와 변형율을 시험한 결과이다.

[Table 3] Sample test

No	Max. load	Pressure strength	Max variation	Transform rate
	kgf	kgf/mm ²	mm	%
1	4.73	4.73	13.72	54.88
2	1.278	1.278	9.99	39.96
3	1.257	1.257	9.99	39.96
4	1.259	1.259	9.99	39.96
5	1.237	1.237	9.99	39.96

Fig. 13은 Table 3의 각 샘플에 대해 평균 최변위 10.736과 평균변형률 42.944에 대한 하중을 나타내는 그래프이다.



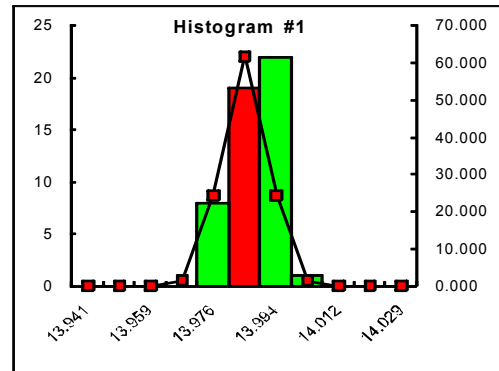
[Fig. 13] Load graph of each sample

Table 4는 불량발생확률 0%이고, 공정능력지수(Cpk) 모두 합격판정을 받은 4개 샘플에 대한 데이터를 나타낸다.

[Table 4] Process capability

구분	#1	#2	#3	#4
Cpk	1.82	1.82	1.80	1.81
Cpu	1.82	1.83	1.80	1.81
Cpl	1.82	1.82	1.80	1.81
Cp	1.82	1.82	1.80	1.81
Maximum value	13.999	26.030	3.560	8.140
Minimum value	13.971	25.970	3.510	8.110
Average	13.985	26.000	3.529	8.115
Deviation	0.0064	0.0183	0.0131	0.0065

Fig. 15는 Table 4의 샘플 #1에 대한 데이터를 기초로 공정변동 도수 및 확률분포를 나타낸다.

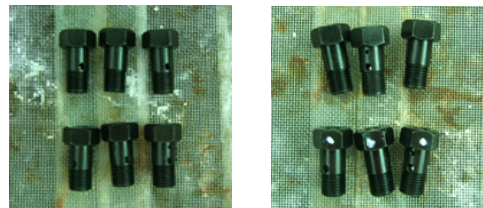


[Fig. 14] Cumulative frequency and probability of process variation

Fig. 16(a)는 염수시험 전 열충격, (b)는 열충격 전후의 염수시험을 나타낸다[7].



(a) 염수시험 전 열충격



(b) 열충격 전후의 염수시험

[Fig. 13] Thermal impulse and salt test

4. 결론

본 연구는 친환경 요소와 정밀도가 강화된 EURO5형 디젤엔진의 오버플로우 밸브를 개발하고, IT기반의 성능평가 시스템을 구현하였다. 시스템을 통해 개변압 시스템의 평가기준 데이터를 획득함으로써 신뢰성을 확보한다. 특히 세계 자동차의 친환경 규격을 강화하고, 연비기능향상을 요구하는 추세에 따라 오버플로우 밸브를 개발한다. 따라서 엔진의 연료 주입시 안전성을 확보함은 물론, 성능평가 알고리즘을 개선함으로써 시스템의 신뢰성을 확보한다.

References

- [1] 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
- [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.
DOI: <http://dx.doi.org/10.4271/2003-01-1045>
- [3] Ju Sub Jang, Yeong Hwan Yoon, "Analysis Model for Components Design of Common Rail Fuel Injection System," KSAE, Vol.17, No.3, pp. 117 - 126, May 2009.
- [4] Jongsuk Lim, Seungsuk Oh, Jaesung Chung, Kangyoon Lee, Myoungho 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.
- [5] Dal Hwan Yoon, Si Yeun Cho, Woo Hyun Han, "Development of Performance Evaluation System and EURO5 Type Overflow Valve for Diesel Engine," KICOX Technical Reports, 2011.
- [6] Dal Hwan Yoon, Woo Hyun Han, "Test System of Overflow Valve," Patents : 10-2011xxxxx, 2011.
- [7] 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
DOI: <http://dx.doi.org/10.4271/2000-01-1183>

윤 달 환(Dal-Hwan Yoon)

[정회원]



- 1984년 2월 : 한양대학교 전자공학과 졸업
- 1986년 2월 : 한양대학교 대학원 석사
- 1994년 2월 : 한양대학교 대학원 박사
- 1987년 7월 ~ 1994년 6월 : 육군사관학교 전자공학과 교수
- 2005년 7월 ~ 2009년 2월 : (주)하이원대표
- 1995년 3월 ~ 현재 : 세명대학교 전자공학과 교수

<관심분야>

통신신호처리, 의용신호처리, LED융합회로인터넷방송통신 등