

오일소모 측정센서를 이용한 오일소모량의 실시간 측정

김기대* · 이재근*

On-line Measurement of Oil Consumption Using Oil Consumption Meter

G-D Kim* · J-K Lee*

Key words : Oil consumption meter (오일소모 측정센서), Sump (오일팬), Drain method (중량측정법), Regression method (회귀분석법), Difference method (상대 차이법), Reference method (기준모드법)

Abstract

Several methods were developed for on-line measuring oil consumption in gasoline engine using an oil consumption meter. The oil consumption meter indicates the oil quantity by real-time-measuring the oil level in the sump. In order to measure the oil consumption, the oil consumption meter proposed in this paper requires shorter time, less additional procedures, and shows better results than the traditional drain method. Under steady-state engine-operating conditions, the results obtained through the regression or the difference method show a good agreement with those through the drain method. Under transient engine-operating conditions, on the other hand, good results can be obtained through the reference method.

1. 서론

엔진 오일은 엔진 내부에서 섭동하는 각 부품의 마멸 및 마찰저항을 최소로 줄이고 최대의 기계적 효율을 보장하는데 주목적이 있으며, 피스톤 및 마찰력이 작용하는 부분을 냉각시키고 베어링과 다른 엔진 부품 사이의 쇼크(shocks)를 흡수하여 충격력 완화 및 노이즈를 줄이고 엔진의 수명을 연장시킨다.

엔진 오일은 엔진 내부를 순환하는 중에 피스톤/

링 팩 및 흡배기 밸브 시스템을 거치면서 그 양이 서서히 줄어들게 되며 크랭크케이스 베딩시스템에 의해서도 미소하게 소모되기도 한다. 이러한 오일소모는 운전에 소요되는 비용을 증가시킬 뿐만 아니라, 특히 오일이 연소실과 배기계를 시쳐 대기로 배출되면서 배기계의 산소센서와 삼원촉매의 기능을 악화시켜 유해 배기가스를 증가시키는 원인이 되기 때문에 현재 운전 중의 오일소모의 원인을 밝히고 소모량을 줄이기 위해서 많은 연구가 이루어지고 있다.^{1) 2)} 현재 완성차 업체에서는 엔진

* 대구가톨릭대학교 기계자동차공학부

개발시 이러한 엔진 오일의 소모를 최소화시키기 위하여 개발 시험 중 오일소모량을 측정하고 있다. 현재까지 알려져 있는 오일소모량 측정법은 다음과 같이 크게 세가지로 분류될 수 있다.

첫째는 현재 엔진 개발시 가장 일반적으로 사용되고 있는 중량측정법(drain method)이다. 이 방법은 비교적 신뢰할 수 있는 결과를 제공해주고 있지만, 오일소모량의 정확한 측정을 위해서는 엔진의 운전시간이 상대적으로 길어야 하며, 부가적으로 필요한 정교한 측정절차가 요구된다. 또한 오일을 주입하고 드레인할 때마다 엔진 상태를 일정하게 설정해주어야 하는 애로점이 있다. 두 번째 방법으로는 오일에 SO₂, Ca, Zn 등 추적매개체(tracer)를 첨가하고 배기가스에 포함된 이들의 성분을 분석하여 오일의 소모를 역추적하는 배기가스분석법(tracer method)이다.^{[14][5]} 이 방법은 과도기 시간을 포함하여 매우 빠른 시간 내에 결과를 알 수 있는 반면, 가격이 매우 비싸며, 사용 연료 및 사용 오일에 제한이 많이 가해지는 단점을 가지고 있다. 세 번째 방법으로는 엔진 운전 중 오일팬(sump)내 오일의 유면 높이를 측정함으로써 오일량의 변화를 측정하는 유면측정법(level measurement method)이다.^[6] 실시간으로 오일의 소모량을 측정할 수 있으나, 현재까지 이 방법은 엔진이 정속 운전시 또는 운전조건이 변화하지 않을 경우에만 측정할 수 있다고 알려져 있다.

본 논문에서는 AVL 社의 오일소모 측정센서(oil consumption meter)를 사용하여 실시간으로 오일의 소모량을 측정할 수 있는 새로운 측정법을 소개하고 정속 운전뿐만 아니라, 과도 운전시에도 엔진 오일의 소모량을 최소의 시간으로 정확하게 측정할 수 있는 다양한 측정 방법들을 제시하였다. 또한 중량측정법을 포함하여 제시한 여러 가지 방법들로부터 얻은 결과들을 서로 비교함으로써 오일소모 측정센서를 이용한 오일소모량 측정 방법의 우수성을 입증하였다.

2. 오일소모 경로

엔진 내에서 오일은 Fig.1 과 같은 경로로 엔진 내를 순환하면서 엔진 내 존재하는 저널 및

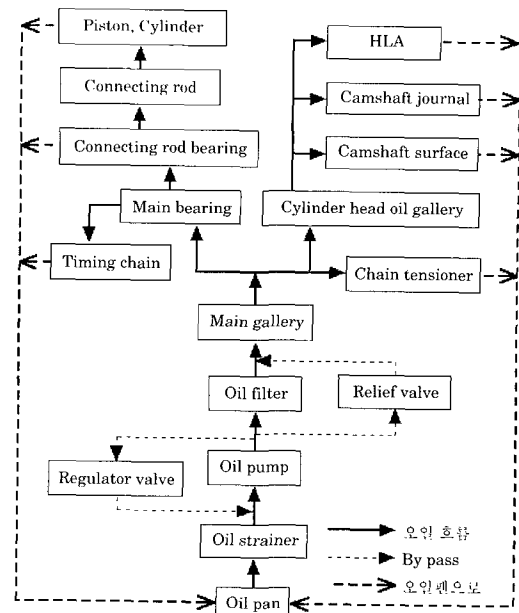


Fig. 1 Oil circulation in gasoline engine

가이드를 통한 마찰, 크랭크축의 스리스트(thrust) 마찰 등으로 인한 마모 및 출력 손실을 줄여준다. 엔진 오일은 오일 통로를 통해서 전달받은 열을 오일팬으로 가져가고 오일팬에서 주위의 공기에 의해 냉각이 이루어지므로 결국 냉각 작용도 하고 있다. 또한 연소실에서 발생하는 큰 폭발력을 베어링 내에 있는 오일을 통해 충격을 흡수하며, 피스톤과 피스톤링, 실린더 벽 등의 가공상의 문제로 약간씩 새고 있는 틈을 막아 피스톤 링과 실린더 벽 사이의 기밀을 유지해주어 가스의 누설 등을 막아준다. 그리고, 엔진 오일은 실린더 벽이나 피스톤 링에 붙어있는 공기-연료 혼합물에 섞인 먼지 입자와 연소실에서 생성된 탄소 입자 등을 오일팬으로 떨어뜨림으로써 엔진 청소작용도 한다.

일부 오일은 실린더 벽의 마모 및 진원도 오차, 그리고 피스톤 링의 마모 등으로 인해 피스톤 링/팩 시스템을 통한 경로로 연소실로 유입되고, 일부는 흡입밸브 가이드와 스템(stem)의 틈새를 통한 경로로 연소실로 유입되어 연료와 함께 연소되어 소모된다. 일부는 오일팬 등에서 누유되고, 일부는 증기의 형태로 크랭크케이스 벤딩시스템을 통해서 배출되어 점점 그 양이 감소하게 된다.

엔진회전수가 높아지면 엔진 및 오일의 온도가 높아지며 따라서 오일의 점성이 낮아져서 오일막의 두께가 얇아진다. 낮은 점성으로 인해 얇아진 오일은 피스톤링을 거쳐 연소실로 유입되기 쉽다. 엔진회전수가 높아지면 더욱 많은 오일이 압송(pumping)되어 메인베어링으로부터 실린더 벽쪽으로 가게 되고, 피스톤링은 오일막 위에서 더욱 빠르고 불규칙하게 움직이게 된다. 따라서 엔진회전수가 높아지면 더욱 많은 양의 오일이 연소실쪽으로 가서 연소되어 오일소모량이 더욱 커진다.

3. 오일소모 측정센서의 원리 및 측정법

3.1 센서의 기본원리

운전 중 엔진 오일소모를 실시간으로 측정하기 위하여 유면측정법 원리를 이용하는 AVL 403S 센서를 사용하였다. Fig.2 에 나타난 바와 같이 센서는 커넥팅 파이프와 밸브 블록, 구리 파이프, 커넥팅 호스 및 커플링을 거쳐 오일 드레인 밸브를 통하여 오일팬과 연결되어 있으며, 센서 내의 오일의 온도 및 오일팬 내부의 오일의 온도를 측정할 수 있는 센서가 부착되어 있다. 엔진 내부와 센서는 실리콘 튜브로 서로 연결시켜주었기 때문에 오일팬 내 오일의 양이 변화하면 오일팬 내의 압력($p_1 = \rho_1 g_1 h_1$)과 센서 내의 압력($p_2 = \rho_2 g_2 h_2$)이 같게 될 때까지 오일이 유동하다가 결국 $\rho_1 h_1 =$

$\rho_2 h_2$ 로 안정화되게 된다. 양쪽의 오일의 온도가 같아서 밀도가 같다면 오일팬 내의 오일의 높이(h_1)와 센서 내의 오일의 높이(h_2)는 같게 된다. 따라서 센서 내의 오일의 높이와 비례하여 발생하는 전압을 측정함으로써 오일팬 내 오일의 질량을 예측할 수 있다.

이제 엔진 오일팬 내의 오일이 공기와 희석(aeration)되거나 온도가 변화하여 오일의 밀도(ρ_1)가 변화한 경우를 생각해보자. 만일 오일팬 내의 단면적이 일정하다면 오일의 질량($m_1 = \rho_1 V_1$)에 변화가 없으므로 $\rho_1 h_1$ 는 일정하게 되고 결국 정수압(hydrostatic pressure)은 일정하게 된다. 즉, 엔진 오일팬 내의 오일의 밀도(ρ_1)가 변화하더라도 센서 내의 오일의 밀도(ρ_2)가 변화하지 않는다면 센서 게이지가 가리키는 높이(h_2)는 변화가 없다. 실제적으로 측정 센서 내의 오일은 흐르지 않는 구조로 되어 있으므로 센서내 오일의 밀도를 일정하게 하기 위해 센서 내 오일의 표준 온도를 일정하게 유지시켜야 주어야 하며 이는 AVL 제어 유닛이 담당한다.

3.2 센서 보정

오일소모 측정센서로 오일팬 내부의 오일의 양을 측정하기 위해서 가장 먼저 해야할 일은 오일팬 내부의 오일의 양(h_1) 또는 센서 내의 오일의 높이(h_2)와 이에 비례한 측정 전압과의 관계를 설정(calibration)하는 것이다. 오일팬의 단면적이 변화하지 않는다면 센서의 범위(최대, 최소높이) 두 점만을 측정하여 선형보정을 하면 되지만, 실제로는 센서의 범위를 10~20 스텝으로 나누어

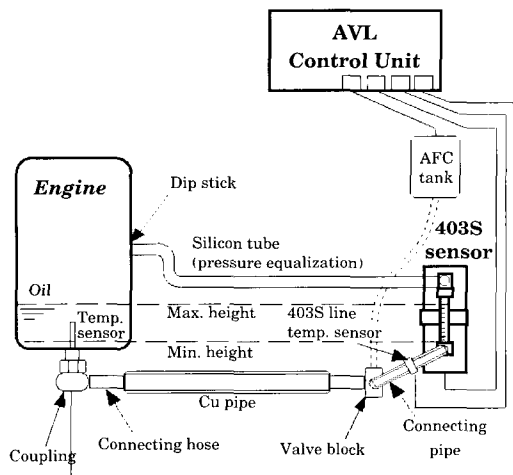


Fig. 2 Schematic of the oil consumption meter

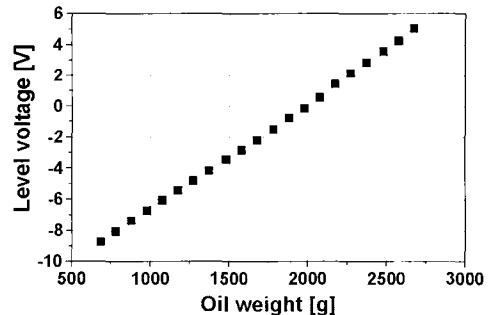


Fig. 3 Result of sensor calibration

AFC(automatic filling control) 오일 탱크로부터 오일을 조금씩 밸브블럭을 통해 엔진으로 주유시키면서 실제 주유한 오일 양과 측정전압과의 관계를 얻는다. Fig.3 은 실제 센서 보정(calibration)을 한 결과를 나타내었다.

센서 보정은 측정환경이 바뀔 때마다 매번 수행해야하지만, 일반적으로 완성차 업체에서 엔진 개발시 특정 엔진을 특정 엔진룸에 고정하여 시험하는 경우가 많으므로 큰 문제가 되지 않는다. 또한 실제 센서 보정시 센서가 측정할 수 있는 최소높이까지 오일을 채운 뒤 스텝 수만 지정해주기만 하면, 제어유닛이 자동적으로 스텝별로 반복하여 AFC 오일탱크에서 엔진내부로 일정량을 주유하고 오일팬 내의 오일의높이가 안정되기를 기다린 후, 주유한 오일의 양과 센서 전압을 기록하여 자동적으로 수행하도록 되어 있다.

3.3 운전 중 오일소모 측정방법

3.3.1 정속운전 조건일 경우

엔진오일의 온도가 높아지면 엔진의 각 부품에 붙어있는 오일의 두께가 감소하여 오일팬 내의 오일은 증가한다. 따라서 오일팬 내의 오일량의 변화로 오일소모량을 예측하기 위해서는 오일 온도의 영향을 보상해줘야 한다. 그러나 정속운전 중에는 오일 펌프의 유량(flow rate)은 항상 일정하기 때문에 오일의 온도가 일정하다면 엔진 내 여러 부품에 붙어있는 오일의 양은 일정하다고 할 수 있다. 따라서 엔진이 정속운전할 때 오일팬 내의 오일이 감소한 양은 곧 운전 중 엔진 오일이 소모된

양이라고 할 수 있다.

이러한 원리를 바탕으로 하여 오일팬 내의 오일량의 변화 그래프를 보고 오일 소모량을 측정할 수 있는 두가지 방법을 Fig.4 에 나타내었다. 첫 번째 방법은 정속 운전 중 일정하게 감소하고 있는 오일팬 내 오일량 변화의 기울기를 회귀분석법(regression method)으로 계산하여 오일소모율[g/h]을 예측하는 방법이다. 다른 방법은 측정(시험모드) 시작 구간에서의 평균 오일량과 측정 마지막 구간에서의 평균 오일량의 차이값으로 오일소모량[g]을 구하고 시험시간(측정구간)을 나눔으로써 오일소모율[g/h]을 구하는 상대차이법(difference method)이다. 정속운전 조건일 경우 시험구간의 오일소모율은 거의 일정하므로 시험결과 위 두가지 방법으로 얻은 측정 결과는 거의 일치하였다.

3.3.2 과도운전 조건일 경우

엔진의 운전 조건(엔진회전수, 수온온도 등)이 변화하는 경우에는 운전 중 오일의 점성이 변화하여 엔진 내부 부품에 붙어있는 오일량이 변한다. 따라서 이 경우에 오일팬 내의 오일량은 오일의 소모에 의한 변화보다도 오일 온도 변화에 의한 변화가 더 크다고 할 수 있다. 그러므로 엔진의 운전 조건이 변화하는 경우에는 앞에서 제시한 회귀분석법이나 상대차이법으로는 오일소모량을 계산할 수 없다. 그 대신 Fig.5 에 보여지는 바와 같이 시험모드 직전과 직후에 각각 조건이 같은 기준모드를 삽입함으로써 시험모드 전후의 기준모드 변화를 관찰함으로써 오일소모량을 계산하는 기준모

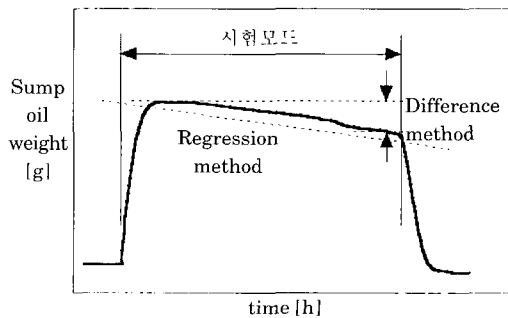


Fig. 4 Regression and difference method (Under steady-state engine-operating conditions)

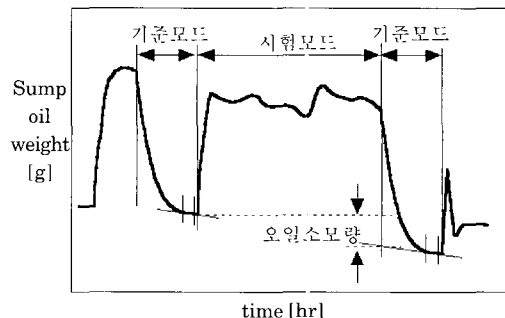


Fig. 5 Reference method (Under transient engine-operating conditions)

드법(reference method)을 이용할 수 있다. 즉, 전후 기준모드의 선형구간을 연결하는 직선들과 시험모드의 시작점 및 끝점이 만나는 두 지점간의 높이 차이로서 오일소모량을 계산한다.

이러한 방법으로 시험모드에서의 오일소모량을 계산할 때 오차가 작게 발생하기 위한 기준모드의 조건은 아래와 같다. 첫째, 기준모드에서의 오일소모량이 작아야 하며 둘째, 시험모드로부터 기준모드로 조건이 변경될 때, 오일팬 내의 오일이 정상상태로 안정되어 오일이 일정하게 소모되는 선형구간이 빨리 나타나야 한다. 위 두가지 조건에 의해서 기준모드의 조건을 상대적으로 낮은 엔진회전수 및 작은 토크 조건으로 하였다. 또한 시험모드 전후의 기준모드 조건을 일정하게 유지시키기 위하여 시작 기준모드의 직전에는 시험모드의 마지막 조건으로 엔진을 구동하였다.

4. 시험 결과 및 토의

오일소모량 측정시험에 사용된 엔진은 국내 A사의 2000CC급 직렬 4기통 가솔린 엔진이며, 엔진회전수, 토크, 냉각수온, 오일온도 등 모든 운전조건은 AVL 제어유닛에 의해 조정할 수 있고, 오일소모 측정센서인 AVL 403S 센서를 장착한 상태에서 실험하였다.

4.1 중량측정법과 회귀분석법 비교

Table 1 은 엔진회전수 6,000rpm, 그리고 스로틀 밸브를 완전개방(W.O.T.)한 상태에서 엔진 구동시 오일소모율을 측정하고자 할 때, 일반적 측정법인 중량측정법과 오일소모 측정센서를 이용한 회귀분석법이 일반적으로 필요로 하는 시험절차를 서로 비교한 것이다.

최적의 오일 드레인 시간을 구하기 위하여 시험이 끝난 후 오일을 드레인하는 동안 시간에 지남에 따라 드레인된 오일의 양의 변화를 측정하였으며 그 결과를 Fig.6 에 나타내었다.

최초 5분 동안에 대부분의 오일이 드레인되었으며 이후 지수적으로 오일량이 증가하다가 포화되고 있음을 알 수 있다. 따라서 본 논문에서는 오일 드레인 시간을 45분으로 고정시켰다. 중량측정법

Table 1 Comparison of test procedures of drain method and regression method

No.	Procedures	Drain method	Regression method
1	Oil filling	≈ 3min.	×
2	Idling	3min.	×
3	Test mode	30min.	×
4	Idling	3min.	×
5	엔진상태 일치 조정	≈ 5min.	×
6	Oil drain	45min.	×
7	중량측정(A)	≈ 3min.	×
8	Oil filling	≈ 3min.	≈ 3min.
9	Idling	3min.	3min.
10	Test mode	300min. (5hr)	180min. (3hr)
11	Idling	3min.	3min.
12	Data 분석	×	≈ 1min.
13	엔진상태 일치 조정	≈ 5min.	×
14	Oil drain	45min.	×
15	중량측정(B)	≈ 3min.	×
16	중량 비교 (A-B)	≈ 3min.	×
Total (Test mode 제외)		≈ 157min. (14가지 부가 절차)	≈ 10min. (4가지 부가 절차)

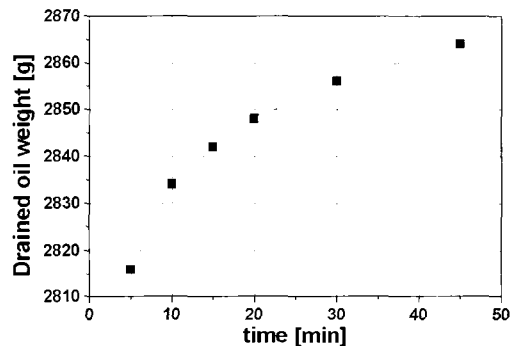


Fig. 6 Variations of drained oil weight

으로 오일소모량을 정확히 측정하기 위해서는 오일을 주입하기 전의 엔진 상태와 오일을 모두 드레인한 후의 엔진상태를 정확하게 일치시켜주어야 한다. 따라서 일반적으로 본격적인 시험운전에 앞서 시험모드와 같은 조건으로 운전한 후 오일을 드레인 하고, 오일을 엔진 내 주입한다. 또한 시험모드를 마친 후, 공회전 상태로 바꾸어 냉각수가 일

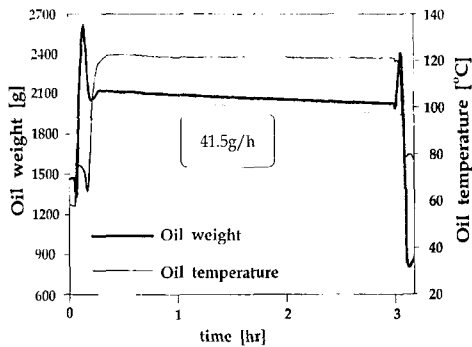


Fig. 7 Oil consumption measurement by regression method (6,000rpm, W.O.T., Water temp.=90°C)

정한 온도에 이르렀을 때, 엔진을 완전히 멈추고 크랭크축 1번 실린더가 상사점에 오게 하고, 오일 필터를 푸는 등 엔진 상태를 항상 일치되는 조건으로 조정 한 후에 오일을 드레인시켜야 한다. 즉, Table 1 에서 3 ~ 6절차는 10 ~ 11, 13 ~ 14 절차와 시험모드 운전 시간을 제외하고는 정확히 일치시켜주어야 한다. Table 1 에서 알 수 있는 바와 같이 시험모드에서의 오일소모율을 정확히 측정하기 위해서 중량측정법은 상대적으로 긴 시간의 시험모드와 약 157분이 소요되는 14가지 부가절차가 필요한 반면 회귀분석법은 상대적으로 짧은 시간의 시험모드와 약 10분이 소요되는 4가지 부가절차만이 필요하였다.

Fig. 7 은 Table 1의 절차로 시험한 결과, 오일팬 속의 오일량의 변화 및 오일 온도 변화를 보여주고 있다. 회귀분석법으로 시험모드 기간 중 오일소모율을 추정 한 결과 41.5g/h로 측정되었다. 중량측정법으로는 3시간 시험전후 오일중량의 차이가 127g으로 측정되어 시험전후의 워밍업 모드에서의 오일소모량을 무시한다면 회귀분석법과 거의 일치하는 결과를 얻었다.

4.2 기준모드법

Fig.8 은 6,000rpm, W.O.T. 조건의 시험모드 전후에 3,000rpm, 엔진토크 150Nm 조건의 기준모드를 30분씩 두어 기준모드법으로 오일의 소모량을 측정 한 결과이다. 오일소모량 측정결과를 회귀 분석법 및 상대차이법과 비교한 결과 Table 2 와 같은 결과를 얻었다.

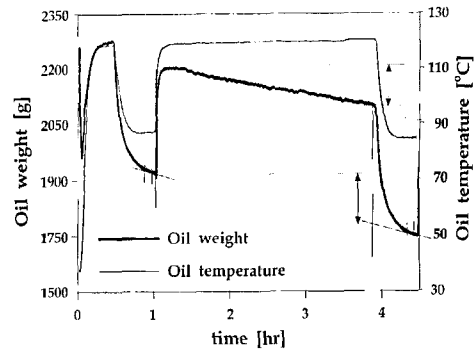


Fig. 8 Oil consumption measurement by reference, regression, and difference method (Test mode : 6,000rpm, W.O.T., water temp.=90°C, Ref. mode : 3000rpm, 150Nm)

Table 2 Comparison of the results by regression, difference, and reference method

	오일소모량	오일소모율
	[g]	[g/h]
Regression method	-	39.2
Difference method	119	39.6
Reference method	133	44.3

회귀분석법과 상대차이법으로 오일소모량을 측정한 결과와 기준모드법으로 측정 한 결과가 차이는 것은 기준모드에서 나타난 선형구간을 주관적 판단에 따라 설정한 데서 기인한 오차 때문인 것으로 추정된다. 그러나 기준모드의 운전시간이 일정한 상태에서 시험모드의 운전시간을 증가시킨다면 전체 오일소모량이 늘어나므로 전체 측정값에서 이러한 오차가 차지하는 비중은 상대적으로 감소할 것으로 예상된다.

결론적으로 운전조건이 일정하여 오일이 일정한 비율로 소모될 경우에는 분석 방법이 간단한 회귀분석법 또는 상대차이법을 이용하여 오일소모량을 측정하는 것이 바람직하며, 시험모드의 운전조건이 변화할 경우에는 비록 측정 절차가 상대적으로 복잡하여 오차요인을 내포하고 있지만 본 논문에서 제시한 기준모드법을 이용하면 오일소모량을 측정할 수 있게 된다.

실제로 완성차 업체에서 엔진 개발시 오일소모량을 측정할 때 대부분 정속운전(4,800rpm, 6,000rpm 등) 및 유수온을 일정하게 제어하는 상

태에서 시험하는 것이 일반적인 방법이므로 오일 소모 측정센서를 사용한다면 기존의 중량측정법보다도 훨씬 빠르고 정확한 결과를 예측할 수 있다.

5. 결 론

엔진오일의 소모량을 측정하는 전통적인 방법인 중량측정법(drain method)은 그 방법이 복잡하고 주의를 요하며 많은 시간을 요구한다. 이 방법을 대체할 수 있는 오일소모 측정센서는 엔진 가동 중 오일팬에 있는 오일량의 변화를 측정함으로써 오일의 소모량을 실시간으로 측정할 수 있다. 엔진이 정속으로 운전하는 경우에 오일소모 측정센서는 중량측정법과 비교하여 매우 정확한 결과를 보여주었으며, 엔진의 운전 조건이 변화한다고 할지라도 신뢰할 만한 결과를 보장해 줄 수 있는 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

[1] Masatoshi B., Kimitaka S., Tatsushi N., Takao S. "Analysis of Oil Consumption at High Engine Speed by Visualization of the Piston Ring Behaviors", SAE paper 002877, 2000.
 [2] 윤정의 "엔진개발에서의 오일소모 현상 고찰", 한국자동차공학회지 제20권 제4호, pp.40 ~ 50, 1998.
 [3] 민병순, 김중수, 최재권 "피스톤 링갭이 링거동 및 오일소모에 미치는 영향", 한국자동차공학회논문집 제5권 제2호, pp.197 ~ 204, 1997.

[4] Peter K. Puffel, Wolfgang Thiel, Ulrich Boesl "Application of a New Method for On-Line Oil Consumption Measurement", SAE Paper 993460, 1999.
 [5] Kent Froelund "Real-Time Oil Consumption Measurement on Commercial SI-Engine", SAE paper 993461, 1999.
 [6] Koech K. "Experience with Oil Consumption Measurements on the Engine Test Bed", SAE paper 931667, 1993.

저 자 소 개



김기대(金琪大)

1969년 1월생. 1991년 서울대학교 기계설계학과 졸업. 1993년 서울대학교 기계설계학과 대학원 졸업(석사). 1997년 서울대학교 기계항공공학부 대학원 졸업(박사). 1997년~1999년 (주)삼성자동차 기술연구소 파워트레인개발팀. 2000년~현재 대구가톨릭대학교 기계자동차공학부 교수.



이재곤(李載坤)

1963년 11월생. 1985년 서울대학교 기계공학과 졸업. 1987년 한국과학기술원 기계공학과 졸업(석사). 1996년 미국 Washington 대 기계공학과 대학원 졸업(박사). 1987년~1997년 (주)현대자동차 제품개발연구소. 1997년~현재 대구가톨릭대학교 기계자동차공학부 교수.