

정전 용량 센서를 이용한 오일증기 검출기의 개발

Development of Oil-Mist-Detector with Capacitance sensor

*김철민¹, 노진희¹, 김지성¹, 김태욱², 김화영¹ #안중환³

*C. M. Kim¹, J. H. Noh¹, J. S. Kim¹, T. O. Kim², H. Y. Kim¹, #J. H. Ahn³(jhahn@pusan.ac.kr)

¹부산대학교 기계공학부 제어자동화시스템전공, ²금요기전, ³부산대학교 기계공학부

Key words : Oil-Mist-Detector, Capacitance Sensor, Permittivity

1. 서론

대형 디젤엔진의 경우 고부하 구동으로 인해 기구부의손상을 초래하기 쉽고 그로 인하여 발생하는 마찰열로 윤활오일이 증발하여 크랭크케이스 내에 오일증기가 부유하게 된다. 만일 이러한 오일증기의 밀도가 증가하게 되면 파손된 기구부에서 발생하는 불꽃, 엔진부의 열로 인해 발화하게 되고 결국 엔진의 폭발을 초래하여 엔진의 파손 및 인명피해까지 초래하게 된다.

오일 증기 검출기(OMD)는 디젤엔진 내 오일증기밀도의 측정을 통해 엔진 크랭크 케이스 내 기구부의 이상을 감지하고 폭발을 사전에 방지하는 장치다. 따라서 오일 증기 검출기의 신뢰성을 확보하기 위해서는 공기중의 미세입자의 밀도 측정기술의 확보가 필수적이다.

현재, 오일 검출기의 경우 주로 흡수법(Absorption Method)과 광산란법(Light Scatter Method)을 사용한다. 첫 번째 방법은 암실에 발광부와 수광부를 두고 그 사이에 오일 증기를 넣어 오일증기에 흡수되지 않은 나머지 부분만을 측정함으로써 밀도를 측정한다. 다음 방법의 경우, 보상을 위해 수광부를 발광부와 약 90도로 설치하고, 발광부의 정 반대편에 부착된 수신 LED는 보상의 기능을 하는 방법이다.

그러나 위의 두 방식의 경우, 발광부에서 나온 빛의 강도에 대해 수광부에서의 수신광의 세기 변화로 밀도를 측정하는데 오일증기의 점성 및 정전기적 대전으로 미세입자가 발광부와 수광부의 렌즈에 흡착되어 측정결과에 대한 신뢰성이 낮으며 수시로 렌즈부의 오염상태를 감시하여 오염을 제거해주어야 하므로 장시간 운용에의 장애가 많다.

이러한 광을 이용한 방식 이외에도 필터를 이용한 중량법(필터에 걸러진 미세입자의 양을 무게를 달아 측정), 수정진동자의 진동수 변화를 이용한 기법(먼지의 흡착으로 수정진동자의 질량 변화에 의한 진동수의 변화로 측정)등의 이론 및 기술이 있으나 운용 환경에의 제한, 정량적 수치 결과의 부재, 장시간 연속 운용에의 한계 등 여러 개별 장애요인으로 인하여 원하는 정밀도의 성능을 제공하지 못하여 오일 증기 검출기에 적용하기에는 신뢰성이 낮다.

따라서 본 논문에서는 기존 오일증기 검출기의 단점을 개선하기 위해 정전용량센서를 이용한 오일증기 검출기를 제안하고 실험을 통해 성능을 검증하였다. 정전용량형 센서에 대한 일반적이 모델은 나와 있으므로 실험에 맞는 모델을 설계하고 그에 따른 시뮬레이션을 수행하였다. 또한 가상적인 크랭크실을 제작하여 실험 장치를 부착한 후, 실험테스트를 통해 적용 가능성을 판단하였다.

2. 용량 센서부 개발

2.1 박판 설계

정전용량센서의 기본구조는 Fig. 1 과 같으며 지배방정식은 다음과 같다. 정전용량(C)은 센서 박판의 면적(A)과 박판사이의 유전율(ϵ)에 비례하며 박판간의 거리(d)에 반비례한다.

$$\Delta C = \Delta \epsilon \frac{A}{d}$$

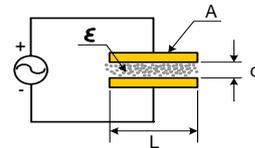


Fig. 1 Principle of Capacitance Sensor

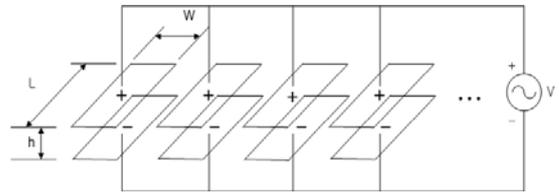


Fig. 2 Multi-layer Capacitance Sensor

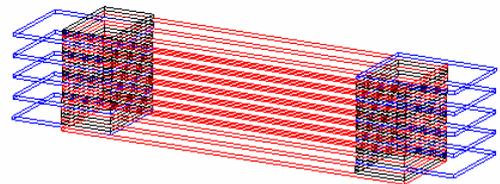


Fig. 3 Designed multi-layer Capacitance Sensor

Fig. 2는 OMD 용 용량형 센서를 나타낸다. 박판의 구조는 유전율 변화에 정전용량의 민감도를 향상시키기 위해 Fig. 1의 기본 형태를 개선하여 멀티 레이어 타입 구조로 설계하였다. 각 박판에 전압(V)을 인가하면 박판의 좌우 및 상하로 전계가 형성되고, 박판사이로 오일미스트가 통과하면 유전율의 변화가 발생되어 극판간의 용량변화를 발생하게 되며, 이때의 정전용량의 총합은 다음과 같다.

$$C_T = \sum_{i=1}^n \left(\epsilon_i \frac{A}{h} \right) : A = L \times W$$

설계된 용량형 센서는 높이(h)는 0.3 mm, 알루미늄 박판의 크기(L X W)는 10 mm X 10 mm 로 10층으로 설계하였다.

2.2 박판 시뮬레이션

용량형 센서의 성능평가를 위해서 설계된 용량형 센서에 대한 시뮬레이션을 수행하였다. 실험에 사용된 변수는 Table 1 과 같다. 실제 OMD의 경고영역이 Fig. 4 와 같이 오일 증기 밀도 1.99 mg/l 이하이기 때문에 시뮬레이션에서는 오일증기의 밀도를 0 ~ 2.0 mg/l로 제한하였다.

Table 1 Simulation parameters

	Oil mist Diameter	Oil mist permittivity
data	3 μm	2.1

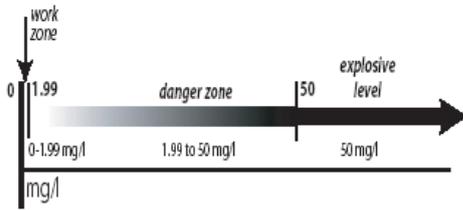


Fig. 4 Alarm zone of Oil-Mist-Detector

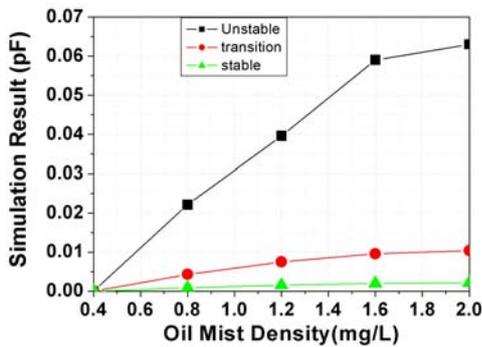
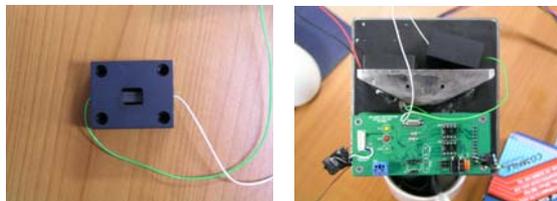


Fig. 5 Simulation Results for density distribution

Fig. 5는 오일 입자의 분포에 따른 정전용량 변화 값이다. 오일증기의 밀도가 커질수록 선형적으로 증가되는 것을 알 수 있으나 일정영역이상에서는 포화가 되는 것을 알 수 있다. 또 오일증기의 분포가 중앙에 집중되어 불평형 상태(Unstable)일 수록 그 변화량의 증가폭이 증가함을 알 수 있다. 오일 분포에 따른 변화량의 크기 차이는 있으나 밀도에 대해 유사한 패턴을 나타내는 것을 알 수 있다.

3. 실험장치 구성 및 실험 결과

실험을 위해 임의로 크랭크 실을 제작하고 증기 발생장치를 설치하였다. 제작된 오일 증기 검출기를 크랭크 실에 부착하고 실제값과 비교하기 위해 상용 OMD를 설치하였다. Fig.6 은 제작된 정전용량형 오일증기검출기다.



(a) Capacitance sensor (b) Oil-Mist-Detector
Fig. 6 Fabricated OMD Sensor

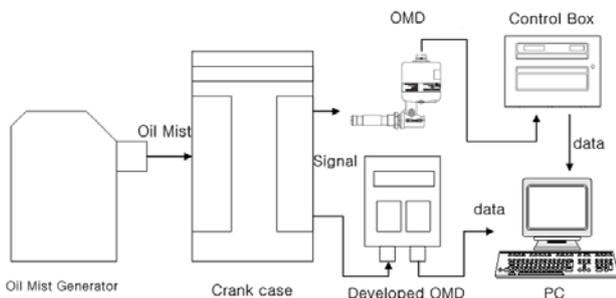


Fig. 7 Schematic diagram for equipmental Setup

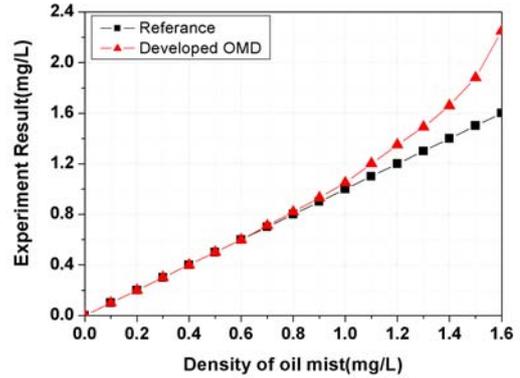


Fig. 8 Experiment Results

Table 2 Relative error for various oil mist density (%)

Density (mg/L)	0.1~0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
error (%)	0	1.42	2.5	3.33	5	9.01	12.5	14.6	18.5	25.3

Fig. 8 은 오일 증기 발생기를 통해 발생된 오일 증기를 크랭크 실에 채우고, 그 밀도를 제작된 정전 용량형 센서로 측정 한 결과이다. 상용 OMD를 기준값으로 가정하고, 출력에 대한 결과 값을 나타낸 것이다. 밀도 1.0 mg/l 이상에서, 상용 OMD보다는 약간 높은 결과 값이 출력되나, 알람영역에서는 비교적 선형적인 출력이 나오는 것을 알 수 있다. Table 2는 오일밀도에 대한 상용 OMD와 시제품의 상대오차를 나타낸 것이다.

4. 결론

본 논문에서는 정전 용량형 센서를 이용한 오일증기 검출기를 제안하였다. 제안된 오일증기 검출기에 대한 특성을 시뮬레이션 하고 실험을 통해 성능을 검증하였다. 상용 OMD와의 비교결과 알람 영역에서 비교적 선형적인 출력이 나타남을 알 수 있었으나, 그 이상의 영역에서 출력이 급격히 증가하는 경향을 나타내었다.

이는 오일 입자 크기, 분포에 따른 영향 등으로 판단이 되며, 향후, 입자크기, 밀도 분포에 따른 검출 특성 등의 추가 연구가 필요할 것으로 사료된다.

후기

본 연구는 산업자원부 지역산업기술개발사업의 지원에 의해 부산대학교와 금오기전(주)의 산학협력으로 이루어진 것임.

참고문헌

1. J.H.Burgoyne and D.M.Newitt, "Crankcase Explosions in Marine Engines", Trans.I.Mar.E, Vol.18, pp.255-270, 1955
2. J.H.Burgoyne and L.Cohen "The effect of Drop Size on Flame propagation in Liquid Aerosols", Proc.roy.Soc.Lond, Vol.225, pp. 375-392, 1954
3. Brian J.Smith, "OIL MIST DETECTION AS AN AID TO MONITORING AN ENGINE'S CONDITION", Publication 524, Akroyd Stuart Award 2001
4. MH Holness, "Oil Mist and Machinery Space Fires", Ref. PO 065721 7 June 1995
5. Spyker.R.L, Nelms. R.M., "Classical equivalent circuit parameters for a double-layer capacitor", Aerospace and Electronic Systems, IEEE Transaction on Vol 36, Issue 3, Part 1, 2000
6. 유연석, "고분자 박막을 이용한 용량형 습도센서," 산업과학 연구, Vol 15, No 3, pp185-193, 1998.
7. 김세윤, "Engineering Electromagnetics", 사이텍 미디어