

대용량 탱크에서 물과 유류의 이중 액면 높이 계측용 센서 개발

김진만*(서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부)
김희식(서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부),

Development of a measurement device of water level at the bottom of fuel tanks using an optical cable sensor.

Jinman Kim(Elec. Eng. Dept., UOS), Hesik Kim(Elec. Eng. Dept., UOS)

ABSTRACT

A fuel tank contains water at the bottom under the fuel. The water comes from humidity by temperature change of inside and outside of tank. So it is necessary to measure both level to check precise amount of oil. But measuring instrument for level of water and fuel is not available yet. Since the fuel is inflammable, the sensor system must not include any electric circuits in the fuel tank. Optical cable sensor can satisfy this non-explosive condition. The displacement of a float changing by water level makes bending curvature of optical cable different. As the float rise up, the optical cable is bent more and the light signal in the cable decreases. The reduction of light signal is detected and it is converted into the change of water level. The output signal from a photo diode shows the proportional relation of water level. The increase of sensor voltage as a unit of mV follows the level position of the float that is located between water and gasoline in the tank.

Key Words : fuel tank(유류 탱크), humid(습기), optical cable(광케이블), measurement(계측), both level(이중레벨), sensor(센서)

1. 서론

기존에 물이나 연료의 양을 계측하는 장비로는 대표적으로 초음파 센서를 이용한 장비를 들 수 있다. 이 초음파 센서를 이용한 레벨 계측 장비는 초음파 센서가 Vessel 이나 Tank 의 상단부에 설치되어 있어 높은 주파수의 음파를 발신하여 측정대상에 부딪혀 반사되어 오는 신호를 활용하는 기술이다. 그러나 이런 장비는 탱크의 상단부에 센서가 부착되어 있으므로 바닥의 깊이를 미리 알 수 있다는 전제 하에 고안된 제품들이다. 즉 저장 용기가 지하에 매설되어 내부 공기의 수분함유나 연료 자체의 수분, 저장 용기 주위의 기온변화로 인한 습도 변화로 인해 생기는 수분들로 인해 용기의 바닥에 물이 생성되었을 때, 물과 연료의 경계를 초음파로 측정하는 것은 곤란하다. 이러한 단점을 극복하고 초음파 계측 방법을 보완 할 수 있는 계측 장치가 필요하지만, 이중액면 계측장치는 아직 보급되지

못하고 있다. 많은 대용량 유류 탱크 관리 업체에서는 이러한 계측 장치를 요구하고 있는 실정므로 사업 전망이 밝은 계측기이다. 기존의 방법으로 저장량의 잔고를 측정 하는 것은 오차가 크기 때문에 자동화되고 정밀하며, 또한 안전한 이중레벨 계측장치가 필요하다.

2. 설치환경 조건

기존 레벨 계측 장치들은 대부분 초음파 센서를 계측에 이용하였다. 그러나 연료 저장 탱크가 지하 깊숙이 매설되어있는 경우 주위의 기온 변화, 연료 자체의 수분 함유, 탱크의 개폐시 출입하는 공기에 의해 탱크 내부에는 수분이 다소 함유된다. 따라서 이러한 물과 연료의 경계면을 측정하는 장비로는 기존의 초음파 센서 방식으로는 대형 탱크에서는 한계에 부딪힌다. 즉 반사파가 깊은 기름 속을 뚫고 물과 오일의 경계 면에 반사되어 다시 돌아올 때 에너지 손실은 상당히 커진다. 또한 대형 탱크

내부의 공명 현상으로 생기는 echo 역시 정확한 데이터 수집에 무시할 수 없는 변수로 작용한다. 따라서 물과 기름의 경계면 측정에 이용하려면 초음파 만으로는 한계에 다다른다. 그래서 유류 탱크 내부에 전기적인 장치가 없어 위험성이 적은 광케이블을 이용한 계측 장비를 탱크 바닥에 설치함으로써 밖에서도 손쉽게 모니터링 할 수 있는 장비를 개발할 필요가 있다.

대표적인 유류 9 종은 물보다 밀도가 낮고, 가볍기 때문에 물과 섞일 경우에 분리되어 위층에 존재한다. 이러한 물성을 이용하여 물의 높이와 기름의 높이를 계측하는 실험을 통하여 적합한 장치를 개발하고자 하였다. 실험은 ①물과 휘발유의 밀도 사이의 중간 밀도를 가지는 float 이용법, ②물과 휘발유의 광학적 특성 차이를 이용하는 방법, ③물과 휘발유의 경계면에서 반사되는 초음파를 이용하는 방법 등을 실험하여 적합한 센서를 개발하고자 하였다. 이 계측 센서는 유류 탱크 현장 조건에 적합하고 정밀도가 높은 센서이어야 하며, 인화점이 낮은 유류의 화재에 대해 충분한 안정성을 만족시켜야 한다. 또한 탱크 벽면에 구멍을 뚫지 않고 설치 가능한 구조가 되어야 한다.

기름 종류 9 종은 모두 물보다 밀도가 낮고, 가볍기 때문에 물과 섞인 경우에 항상 위층에 존재한다. 기름면 상부의 level 계측은 기존의 초음파를 이용하여 간단히 계측할 수 있다.

Table 1. Density of Oils (Kg/l)

No	종류	Density
1	프로판	0.5080
2	부탄	0.5780
3	휘발유	0.7345
4	실내등유	0.7972
5	보일러등유	0.8150
6	경유	0.8398
7	중유(Bunker-A)	0.8765
8	중유(Bunker-B)	0.9014
9	중유(Bunker-C)	0.9401
10	물	0.9994

3. 이중레벨 계측장치 구조

다음과 같은 몇 가지 방법에 대하여 실험을 통하여 유류 계측용 센서로의 적합성을 테스트 하였다. 먼저 고려한 방법은 부표를 이용하는 방법이다. 휘발유는 물과 약 27%의 밀도 차이가 있다. 즉 물과 휘발유의 중간이 되는 밀도를 가진 float 를 이용하면 중간 경계층에 뜬 상태로 유지되게 하여 경계면 높이를 계측하는 장치를 실험하였다. 다른 방법으로는 광학적 특성 차이를 이용하는 방법을 사용하였는데, 물과 기름은 빛의 투과 및 산란 성질이 다르므로 발광소자와 수광 소자를 이용하여 경계면

깊이를 계측할 수 있다는 특성을 이용하였다.

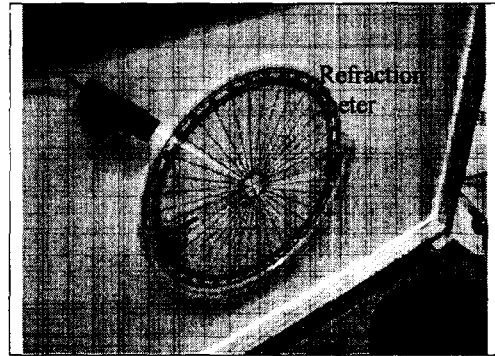


Fig. 1. Test of refraction

초음파를 이용하는 방법은 밀도차이가 있는 매질의 경계면에서는 초음파는 반사되는 특성을 이용하게 된다. 초음파를 이용하여 물과 기름의 두 액체의 경계면에 반사되어 오는 신호를 이용하는 실험을 수행하였다.

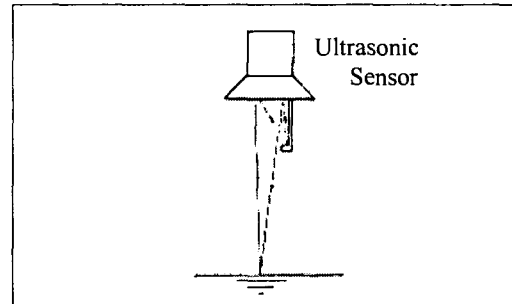


Fig. 2 Ultrasonic sensor with a standard telemeter

위에서 나열한 방법 중 float 를 이용하는 방법은 float 의 위치를 정확하게 계측해주는 다른 장치가 추가적으로 필요하게 되며, 이에 대한 추가 연구가 필요하다. 그 외 광학적 특성을 이용한 방법 또는 초음파를 이용하는 방법은 정밀도가 상당히 낮게 나타났기 때문에 다른 방법을 찾아보았다. 위에서 적용한 여러 가지 계측 방법을 검토한 결과 float 를 이용한 기본적인 구조에 광케이블을 이용하여 float 의 변위를 계측 할 수 있도록 하는 것이 유류 탱크 내부의 기름과 물의 경계면을 계측하는 방법으로서 가장 적합한 것으로 결론을 내렸다. 그리고, 유류의 높이를 계측하는 방법으로는 기존에 일반적으로 사용하는 방법인 초음파 센서를 이용하는 방법을 채택하였다.

계측 원리를 설명하면 다음과 같다. 물과 연료의 비중의 중간 값을 가지는 부표를 사용하여 물의 수위가 올라가면 부표가 이동하게 한다. 부표의 이

동으로 프레임을 움직이게 하며, 이것이 광케이블이 휘어지게 한다. 광케이블의 휘어질 때 빛의 통과량이 감소하는 것을 이용하여 이를 계측에 활용한다. 여기서 광케이블을 이용한 이유는 유류 탱크라는 특수한 조건 때문에 전기적인 장치를 전혀 사용할 수 없기 때문이다. 또한 광케이블은 빛을 전송하기 때문에 전송 거리를 대단히 길게 하더라도 신호의 감쇄가 거의 발생하지 않는다

그러나 광케이블의 특성상 휘어짐에 따라 빛의 통과량이 감소하지만 휘어지는 변위에 따라 선형적으로 빛의 통과량이 감소하지는 않는다. 따라서 빛의 통과량이 휨(Bending) 변위에 거의 선형적으로 변하는 부분만을 계측에 이용하기 위해 광케이블을 선형적인 상태의 휨에서 영점으로 두고 계측을 하였다. 선형적인 신호의 변화가 파괴되거나 광케이블이 지나치게 휘어져 파손 되는 것을 막기 위해 지지대를 설치한다. 또한 계측의 정밀도를 기하기 위해 광케이블이 휘어질 때 휨의 Dimension 이 2 차원 상태가 되도록 하기 위해 Guide 를 설치하고 광케이블의 약한 탄성률을 보완하여 다시 원래의 모양으로 돌아올 수 있도록 선형 변형용 스프링을 적용하였다. (Fig. 3)

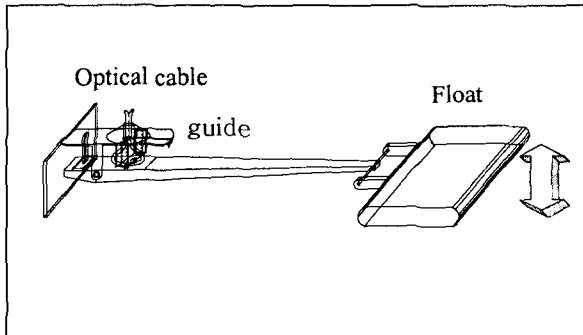


Fig. 3. Structure of level meter using optical cable

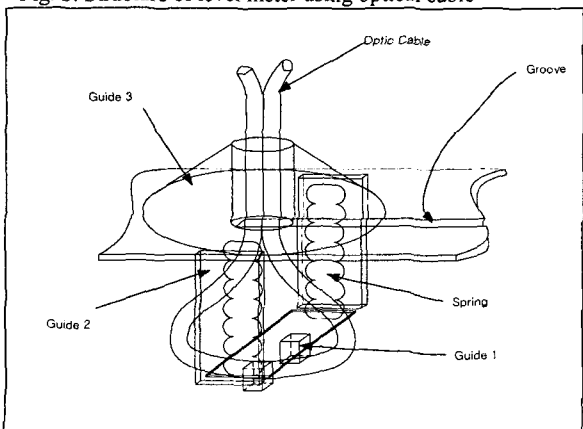


Fig. 4. Detail of Optical cable bending unit

(그림 4)에서 적용된 3 가지 가이드 장치 작동 설명은 다음과 같다. Guide 1 은 광케이블이 레버 끝에 연결된 부표가 움직일 때 레버도 따라 움직이면서 광케이블을 휘게 할 때 광케이블이 비틀리는 것을 막기 위한 장치이다. Guide2 는 광케이블의 휨(Bending)이 위아래로만 되도록 Guide1 이 있는 편이 옆으로 비틀리지 않게 안내하는 장치이다. Guide 3 는 홈을 통해 광케이블을 집어넣은 다음 광케이블의 윗부분의 몇 cm 정도를 직선으로 펴 주면서 홈을 통해 광케이블이 휘어질 때 밖으로 빠져나가지 않도록 고정시키는 장치이다.

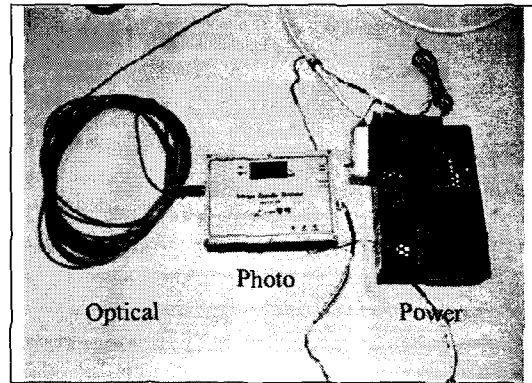


Fig. 5. Laser diode to measure the change of laser light

본 계측 장치의 핵심기술은 광케이블에 힘을 가하여 휘어지게 하고, 이때 휨으로 인하여 발생하는 광 손실량을 감지하여 정확한 변위로 변환하는 과정이다. 이를 효과적으로 이용하기 위해 여러 형태의 프레임을 만들면서 테스트하였다. 아래 사진들은 테스트 과정 중에 제작한 여러 형태의 프레임이다. (그림 9)은 최종 테스트를 거쳐 개선된 이중 레벨 계측용 센서 장치 모델이다.

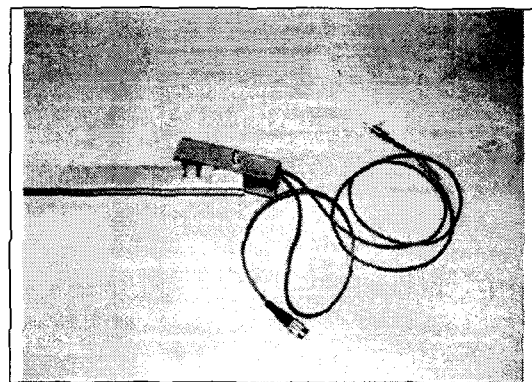


Fig. 6. Frame to fix the optical cable

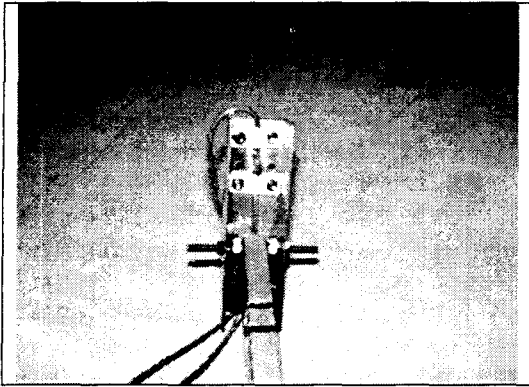


Fig. 7 Frame model for optical cable sensor system

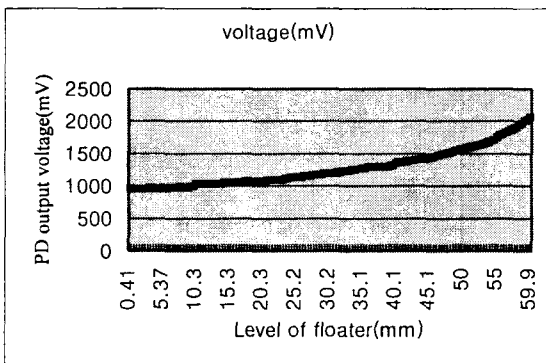


Fig. 8 PD output voltage by the level of floater

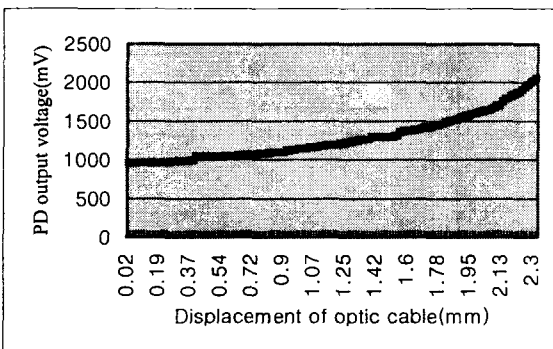


Fig. 9 PD output voltage by the displacement of optical cable

위 두 그래프는 각각 플로터의 레벨과 광 케이블의 변위에 따른 포토 다이오드 출력 전압의 관계를 보여주고 있다. 플로터의 레벨은 기 산출된 플로터의 레벨과 포토 다이오드 전압의 관계에서 계산되어진다.

4. 결론

유류 탱크 내의 물과 유류의 이중 레벨을 계측하기 위한 방법으로써 초음파 센서와 광케이블을 이용한 플로터 이용방법을 동시에 사용하였다.

이 계측 장치는 물의 비중과 연료의 비중의 중간 값을 갖도록 만든 부표와 광케이블을 계측에 필요한 모형으로 유지하게 하는 선형 변형용 스프링 장치와 프레임(Guide1,2,3, Lever)으로 작동되며 전기 장치가 전혀 없이 감지를 한다. 화재나 폭발의 위험성을 제거하기 위하여 전기적 회로부는 전혀 없이 작동하는 장치를 개발하였다. 그러므로 유류 계측이라는 특수한 조건에 적합한 계측 시스템을 구성할 수 있었다. 즉, 화재 위험성, 원격 점검 기능, 높은 정밀도 등을 만족시킬 수 있는 센서 시스템을 개발하였다.

참고문헌

- Hale, T.; Asaki, T., "Optical resonant ultrasound spectroscopy for fluid properties measurement [fuel capsules]" *IEEE Transactions on*, Volume: 48, pp.879-885, 2001.
- Fujita, S.; Fujiwara, K.; Sumita, J.; Konya, Y.; Muroyama, S. "Automatic oil leak detection system for an underground tank", *Telecommunication Energy Conference, INTELEC '99. The 21st International*, pp.5, 1999.
- Betta G.; Pietrosanto, A.; Scaglione, N., "Microcontroller-based performance enhancement of an optical fiber level transducer" *Instrumentation and Measurement Technology Conference, IMTC-96. Conference Proceedings. Quality Measurements: The Indispensable Bridge between Theory and Reality*, IEEE, Volume: 2, pp. 912-916, 1996
- Chakravarthy, S.; Sharma, R.; Kasturi, R. "Noncontact level sensing technique using computer vision", *Instrumentation and Measurement*, IEEE Transactions on, Volume: 51 Issue: 2, pp 353-361, April 2002.
- Hale, T.; Asaki, T. "Optical resonant ultrasound spectroscopy for fluid properties measurement [fuel capsules]", *Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control*, IEEE Transactions on, Volume: 48 Issue: 4, pp 879-885, July 2001.
- Ireland, H.W.; Farrar, R.L.; Smith, E.F., III; Cooper, R. "Reliability improvements for an automotive fuel level sensor", *Electrical Contacts*, 2000. Proceedings of the Forty-Sixth IEEE Holm Conference on, pp 216-224, 2000