

액체 질소 액면계의 제작

김상보*, 김근홍, 김종윤, 이정민, 김동락
*경북대학교 물리학과, 기초과학지원연구소

Fabrication of Level Meter for Liquid Nitrogen

Sangbo Kim*, Geunhong Kim, Jong-Yoon Kim**, Jeong-Min Lee**, Dong-Lak Kim
*Department of Physics, Kyungpook National University
Joint Research Division, **Technical Support Department,
Korea Basic Science Institute

dlkim@comp.kbsi.re.kr

Abstract - Very simple continuous level meter with capacitive transducer for cryogenic liquid is fabricated and tested with liquid nitrogen. The principle of the level meter operation is presented.

1. 서 론

저온액체가 저장용기에 들어있을 때 그 안에 얼마나 있는지를 아는 것은 매우 중요하다. 이러한 액면계의 종류에는 간단한 dipstick에서 복잡한 electronics를 요하는 것에 이르기까지 여러 가지가 있다. 가장 간단한 액면계의 한 종류에 hydrostatic gauge가 있는데 이것은 용기의 바닥과 위의 압력차가 액면높이에 거의 비례하는 것을 이용한 것이다. 또한 전기 저항을 이용한 gauge도 있는데 이것은 전선의 전기 저항이 액면을 통과할 때 온도가 달라지는 것을 이용한 것이다. Thermodynamic gauge는 액체가 증발할 때 부피의 변화가 크게 일어나는 점을 이용한 것으로써 압력계와 가는 관 그리고 dead volume으로 이루어져 있다. 그 안에는 일정한 부피의 기체로 먼저 차있으며 관의 일부분이 액체와 닿으면 액화가 일어나 압력이 감소하게 된다. 이외에도 초전도 선재를 이용하는 방법 등이 있는데 여기서는 원통형 콘덴서를 사용한 액면계에 대하여 기술하고자 한다.

2. 원리 및 결과

원통 콘덴서형 액면계를 사용한 여러 가지 저온액체의 액면 측정의 원리는 잘 알려져 있다. 그것은 기본적으로 액체와 기체의 유전상수의 차이에 근거한 것이다. 원통 콘덴서형 액면계는 동심축을 가진 두 개의 튜브로 되어있으며 두 개의 튜브는 전기적으로 절연되어 있다. 그러한 원통형 축전지의 전기용량은 다음과 같이 주어진다.

$$C = \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon_r}{\ln(D/d)} H$$

여기서 ϵ_0 는 진공의 유전상수이며 ϵ_r 은 두 원통 사이의 물질의 유전상수이고 D와 d는 각각 바깥쪽 원통의 안쪽직경과 안쪽 원통의 바깥직경이며 H는 길이이다.

만약 이 축전지에 높이 h만큼 저온 액체가 차있으면 그에 따른 정전용량의 변화는 다음과 같이 주어진다.

$$\Delta C = \frac{2\pi\epsilon_0}{\ln(D/d)} (\epsilon_{rl} - \epsilon_{rg}) h$$

여기서 ϵ_{rl} 과 ϵ_{rg} 는 각각 액체와 기체의 유전상수이다.

액체 질소의 경우는 액체의 유전상수가 1.43이므로 기체의 유전상수를 1로 근사시킬 때 그 차이가 43%에 이르므로 정전용량의 변화가 커서 쉽게 측정할 수 있다. 그러나 액체 헬륨의 경우에는 약 1.3K에서 액체의 유전상수가 1.057밖에 안되어서 정전용량의 변화가 약 6%정도 밖에 되지않아 측정하기가 쉽지 않다.

액체 질소용 액면계의 경우 실제로 두 개의 스테인레스 스틸 파이프를 사용하여 probe를 제작하였다. 안쪽 파이프의 바깥에는 전기적 절연을 위하여 가는 낚시줄을 감았다. 만들어진 probe로서

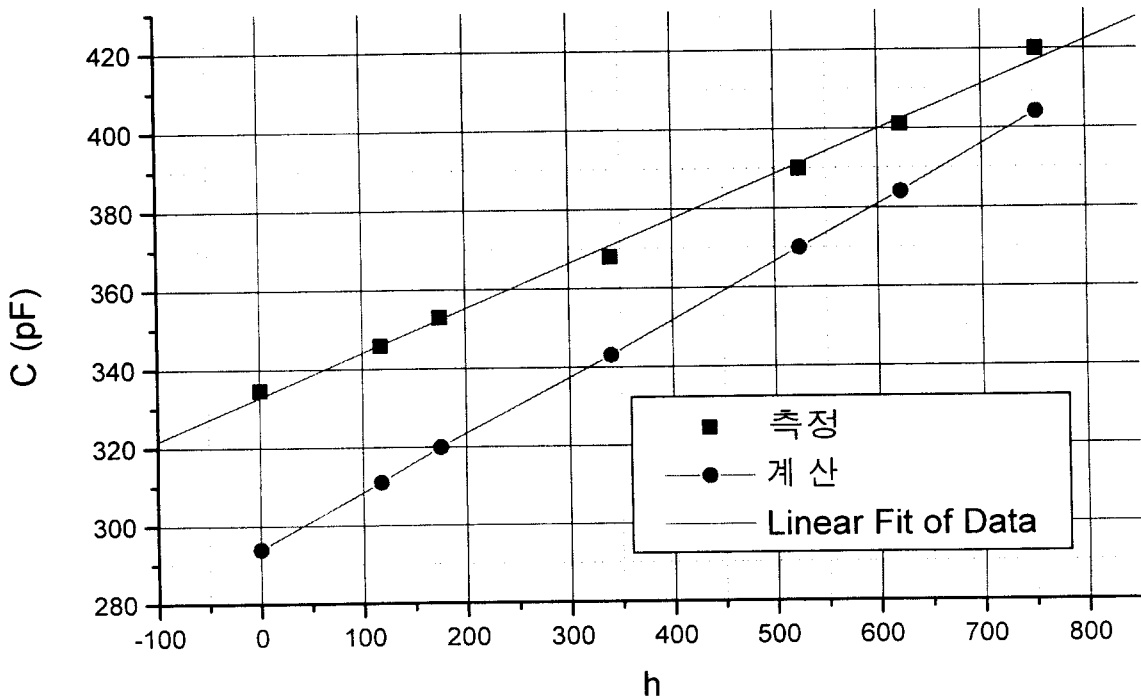


Fig. 1 Capacitance vs. level

dewar에 액체 질소를 채우면서 AC capacitance bridge로 전기용량을 측정하였다. 측정된 결과를 Fig. 1에 보이며 이를 least square fit를 하면 다음과 같다.

$$C = 332.8 + 0.1116h \text{ (pF)} \text{ (h는 mm 단위)}$$

이것을 이론치와 비교하였는데 액면이 0 근처일 때 그 값이 10% 정도의 오차가 나왔다. 이것은 액체가 들어갈 수 있도록 구멍을 바깥쪽 튜브에 뚫은 것과 튜브사이에 낚시줄이 감긴 것, 그리고 온도가 높은 것을 고려하면 당연한 결과라고 생각한다.

또한 실제로의 응용을 위해서 AC capacitance bridge 대신에 electronics unit을 제작하였는데 이것은 probe unit과 indicator unit으로 분리되어 있으며 전선의 전기용량 효과를 줄이기 위해 probe unit은 원통형 축전지의 바로 위에 장착되어 있다. 그 회로도를 Fig. 2에 보여준다.

먼저 probe unit에서는 probe capacitance와 Timer 회로내의 저항값에 의해 그 주파수가 전기 용량에 비례하는 연속적이고 짧은 pulse가

발생된다. 이것이 평활회로를 거치면서 DC 전압으로 바뀌게 된다. 이 전압은 반전 op-amp의 입력단에 공급되며 op-amp의 출력단에서는 liquid level과 비례하는 출력 전압(-5V~0V)이 발생하게 된다. 이것이 indicator unit에서의 liquid level 측정 회로에 입력되어 analog meter를 동작시키고 또한 relay control amp에 입력되어 각각의 relay를 동작시킨다.

3. 결 론

만들어진 액면계를 액체 질소에 담그면서 시험한 결과 액면계의 눈금이 액체 질소에 담긴 액면계의 probe 높이에 거의 비례하여 나오는 것을 확인할 수 있었다. 앞으로 이러한 capacitive transducer를 이용한 액면계를 액체 헬륨에도 적용할 방침이다.

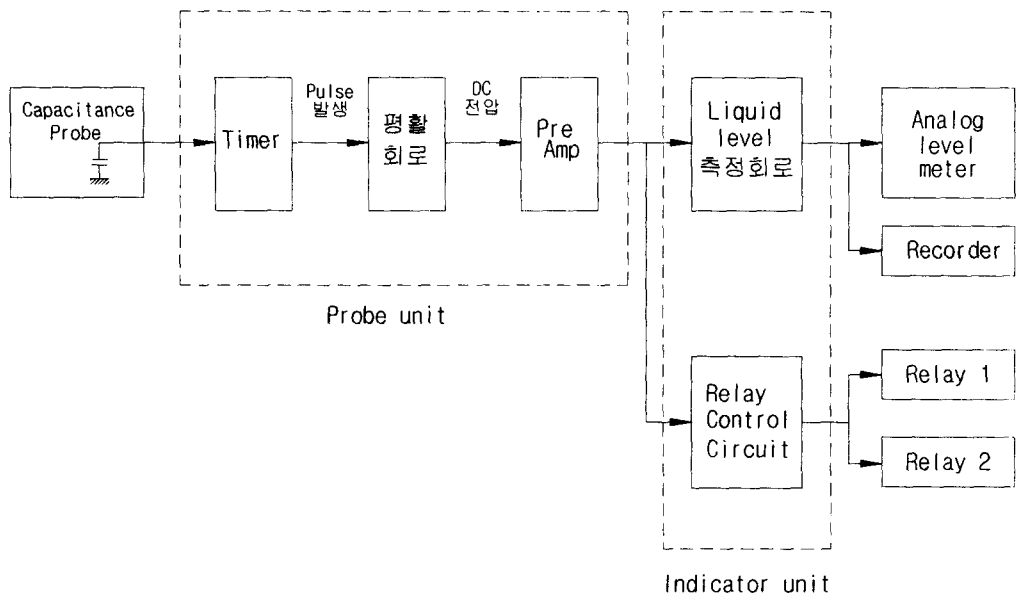


Fig. 2. The block diagram of level meter circuit.