

연속 수위 검출 신호 처리에 대한 연구

^o배상준, 채수형
여주대학

A Study on a process for signal to detect the continuous position of liquid

Sang-June Bae, Su-hyung Chae
Yeoju Institute of Technologe

Abstract-In this paper, the capacitive sensor which can detect the continuous position of liquid is proposed. The proposed sensor make up copper rod's defect which are oxidized in liquid and float switch's defect which are tired of continuous movements.

This sensor make use of what capacitance is varying due to quantity and kind of dielectric in the plane gap. The operating principle of the sensor and the amplifying method of detecting signal and the method of apply in computer control system are presented in this paper.

1. 서 론

아파트나 산업 현장에서 간헐적이나 연속적으로 사용되는 냉각수나 급수, 연료 등의 액체를 저장하는 탱크는 탱크 내의 액체량에 따라 일차 저장 탱크에서 펌프 등을 사용하여 공급하는 형식으로 되어 있는 경우가 많다. 급수 탱크에 액체를 자동으로 공급하는 방법은 지금까지는 주로 전극봉 방식이나 또는 부력(float)을 이용하여 펌프를 ON OFF 제어하는 방식이 많이 이용되고 있다. 이는 탱크 내의 액체의 수위가 미리 정해진 일정한 값 이하로 떨어지면 펌프에 ON 신호를 발생하고 상한 값에 도달하면 OFF 시키는 방식이다. 그런데 이런 ON, OFF 제어 방식에서는 수위 검출에 필요한 전극봉이 도체이어야 하고, 또한 그 도체는 액체 속에 지속적으로 노출되어야 하므로 시간이 흐름에 따라 산화가 진행되어 고장이 빈번하게 발생하는 원인으로 되고 있다.

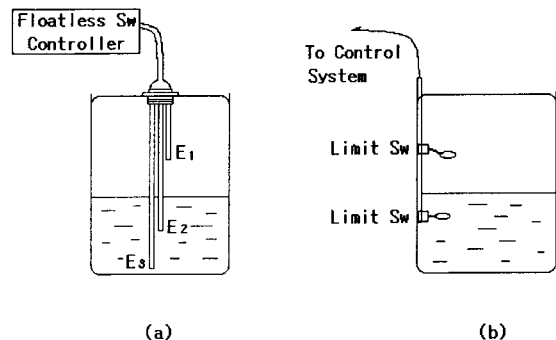
그리고 정밀을 요하는 수위 조절의 경우에는 수량을 측정하여야 하는데, 이런 경우에는 변위에 따른 눈금 표시로 수량을 나타내든지, 아니면 초음파나 적외선을 이용하여 변위를 감지하여 복잡한 수학적 연산 시스템으로 수량을 감지하는 방식이 대부분이다. 그러나 변위에 따른 눈금 표시의 경우

에는 자동화가 거의 불가능하고, 초음파나 적외선을 이용한 수량(水量)검출 장비는 가격이 고가이므로 사용에 제한이 따른다. 따라서 저가로 위와 같은 단점을 보완할 수 있고, 오동작을 최소화 할 수 있으며, 유지·보수성이 우수한 새로운 센서의 개발이 필수적이다.[1]~[5]

본 연구는 임의의 형상을 갖는 액체 저장 탱크 내의 액체의 변위나 수량을 검출하여 전기적 신호로 변환시켜주는 새로운 방법인 정전 용량형 센서를 제안하고, 이의 동작에 대한 이론적인 고찰을 하고자 한다. 제안하는 센서는 정전 용량이 2개의 대전 극판의 면적과 그 사이에 유입되는 재료의 유전율, 그리고 2 극판 사이의 거리에 따라 변화되는 것을 이용하여 변위나 체적을 연속적으로 정확하게 검출할 수 있다. 그리고 액체에 노출되는 부분을 코팅 처리하여 사용할 수 있으므로 산화나 부식의 위험을 배제할 수 있어서 장시간 사용이 가능하게 된다.

2. 전극봉 방식과 부력을 이용한 급수제어

기존에 주로 사용되어 온 전극봉 방식이나 부력을 이용한 방식에 의한 급수 제어의 경우 액면 검출 동작 원리를 [그림 1]에 나타내고 있다.



[그림 1] 기존의 액면 검출 방식

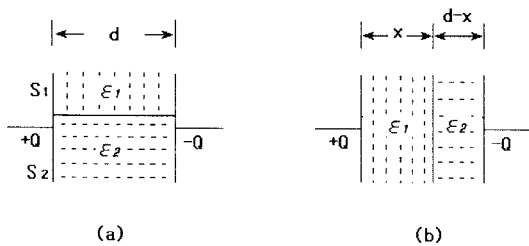
[그림 1] (a)에서 전극봉 방식은 상한 값과 하한 값을 결정하기 위한 전극봉과 공통 단자를 위한 전극봉으로 되어 있는데, 이는 물의 도전율이 공기의 도전율보다 크다는 것을 이용하고 있다. 상한 값을 결정하는 전극봉 E1까지 물이 차게되면 도전율이 커져서 공통 전극봉 E3로부터 전류가 흐르게 되고, 이 전류에 의해 펌프에 OFF 신호를 발생하게 된다. 그리고 계속하여 물을 사용하게되어 수위가 낮아져서 하한 값을 결정하는 전극봉 E2보다 아래로 내려가게 되면 도전율이 떨어져서 이 전극봉을 통해 흐르던 전류가 중지된다. 이 전류 중지를 검출하여 펌프에 ON 신호를 발생하게 된다.

이 방식에서는 전극봉 사이에 흐르는 전류를 검출하여 동작하므로 반드시 전극봉이 도체이어야 하므로 근본적으로 부식이나 산화를 방지하기 위한 코팅 처리를 할 수가 없다. 따라서 시간이 지남에 따라 전극봉이 부식하거나 산화되어 정상적인 동작을 할 수 없게 된다.

[그림 1] (b)의 부력을 이용한 방식의 경우에도 상한 값과 하한 값을 결정하는 위치에 액체보다 가벼운 재료를 사용하여 액체에 의한 부력을 이용하여 스위치를 동작시키고 있기 때문에 반복되는 동작에 의해 기계적인 피로가 누적될 뿐만 아니라 이도 역시 액체속에서 동작되므로 스위치 동작 부분을 방수 처리하여야 하는 등의 문제점 있다.

3. 정전 용량형 센서의 동작 원리

본 연구에서 제안하는 정전 용량형 센서는 2개의 전극판 사이의 정전 용량이 전극판 사이에 충전되는 유전체의 종류에 따라 달라지는 것을 이용한 것으로 [그림 2]에 이의 동작 원리를 설명하기 위한 개념도를 나타내고 있다.



[그림 2] 유전체에 따른 정전 용량

[그림 2] (a)의 경우에 도체 양 극판에 $\pm Q$ [C]의 전하가 대전되면 각 유전체에 동일하게 전위차 V 가 나타나므로 전계 E 도 같게 된다. 그러나 전속 밀도는 각 유전체마다 다르므로 이를 각각 D_1 , D_2 라 하면 다음 식 (1)의 관계가 성립된다.

$$E = \frac{D_1}{\epsilon_1} = \frac{D_2}{\epsilon_2} \quad (1)$$

여기서 ϵ_1 , ϵ_2 는 각 매질의 유전율이다.

유전체가 극판과 접하는 면적을 각각 S_1 , S_2 [m^2]라 하고 Gauss의 법칙을 적용하면 식 (2)로 된다.

$$Q = \int_s D \cdot n ds = D_1 S_1 + D_2 S_2 \quad (2)$$

그리고 $E = V/d$ 이므로 이를 식 (1)에 대입하면 식 (3)으로 된다.

$$D_1 = \frac{\epsilon_1 V}{d}, \quad D_2 = \frac{\epsilon_2 V}{d} \quad (3)$$

식 (3)을 (2)에 대입하여 정리하면 식 (4)로 된다.

$$Q = (\epsilon_1 S_1 + \epsilon_2 S_2) \frac{V}{d} \quad (4)$$

따라서 정전 용량은 다음 식 (5)로 된다.

$$C = \frac{1}{d} (\epsilon_1 S_1 + \epsilon_2 S_2) \quad (5)$$

이는 각 각의 단일 유전체로 된 콘덴서 2개를 병렬로 접속한 용량과 동일하게 된다.

[그림 2] (b)와 같이 도체판에 평행으로 두 개의 유전체가 있는 경우에 도체 표면 전하 밀도를 σ , 도체간의 간격을 d , 유전체의 두께를 x , $d-x$ 라 한다.

Gauss 법칙을 적용하면 $D = \sigma$ 가 된다. 따라서 각 유전체 내의 전계는 식 (6)으로 되며,

$$E_1 = \frac{D}{\epsilon_1} = \frac{\sigma}{\epsilon_1}$$

$$E_2 = \frac{D}{\epsilon_2} = \frac{\sigma}{\epsilon_2} \quad (6)$$

도체간의 전위차는 식 (7)로 표현된다.

$$V = E_1 x + E_2 (d - x)$$

$$= \sigma \left(\frac{x}{\epsilon_1} + \frac{d-x}{\epsilon_2} \right) \quad (7)$$

따라서 단위 면적당의 용량은 식 (8)로 되며,

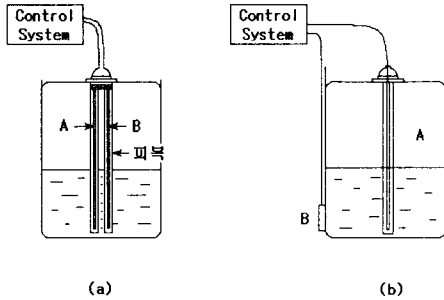
$$C = \frac{Q}{V} = \frac{1}{\frac{x}{\epsilon_1} + \frac{d-x}{\epsilon_2}} \quad (8)$$

이는 각 각의 유전체로 된 콘덴서 2개를 직렬로 접속한 것과 동일하게 된다.

본 연구에서는 [그림 2]의 동작 원리를 이용하여 액체의 유무를 연속적으로 검출하는 센서를 개발하고자 하는데 이의 모형을 [그림 3]에 나타내고 있다.

[그림 3]에서 콘덴서의 극판으로 작용하는 부분은 A와 B이며, A 부분은 동작을 위해서 항상 액체 내에 노출되어 있어야 하므로 부식이나 산화를 방지하기 위해 플라스틱이나 세라믹, PVC 등으로 코팅 처리하여 사용된다. 그리고 B 부분은 [그림

3) (a)와 같이 액체 내부에 설치할 수도 있고 (b)와 같이 탱크의 외부에 판 모양의 극판을 부착하여도 된다.



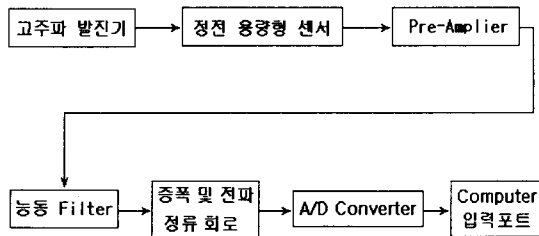
[그림 3] 정전 용량형 센서의 모형

[그림 3]에서 보는 바와 같이 이 형태의 정전 용량은 공기와 액체로 구성된 병렬 부분이 피복 부분과 직렬로 접속된 것과 같은데, 액체의 량에 따라 전극판 사이에 액체 유전체가 접촉되는 면적이 변화되므로 전체 정전 용량도 그에 비례해서 변화하게 된다.

따라서 이 정전 용량의 변화를 검출하여 분석함으로써 액체량의 변화를 연속적으로 측정할 수 있게 된다.

4. 정전 용량 변화 검출 회로

액체의 량에 따라 변화하는 정전 용량의 변화를 연속적으로 검출하기 위한 전체적인 계통도는 [그림 4]와 같이 구성된다.



[그림 4] 정전 용량 변화 검출 계통도

[그림 4]의 동작을 간단히 나타내면, 발진부에서 교류 신호를 발생하여 [그림 3]의 A 전극판에 공급하면 이 전극판 A와 전극판 B 사이의 공기와 액체, 그리고 피복에 의해 형성되는 정전 용량의 크기에 비례하여 다음 식(9)와 같은 전류가 흐르게 된다.

$$i = C v = 2\pi f C v \quad (9)$$

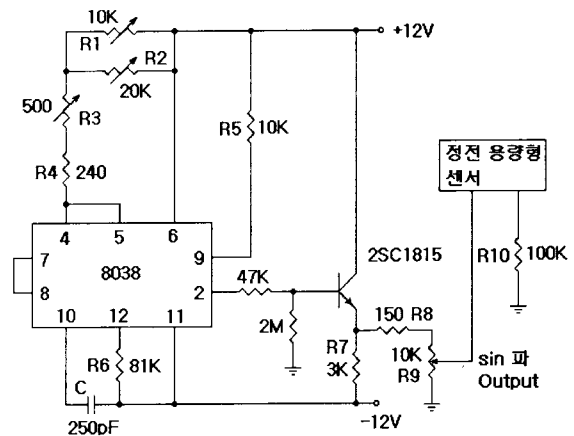
이 전류는 검출부에서 그의 크기에 비례하는 전압 신호로 변환된다.(전압 신호의 크기는 $v_s = i \times R_{10}$ 으로 된다.) 그런데 전극판 A와 B에 의해 형성되는 정전 용량 C의 크기가 실제로는 매우 적으므로 전류의 크기도 매우 적고 따라서 전압 신호 v_s 도 아주 적게 된다. 따라서 전류 검출을 용이하게 하기 위해서는 식(9)에 나타낸 것과 같이 발진 주파수 f 와 v 를 크게 함으로써 검출되는 신호 전압을 좀 더 크게 하는 것이 유리하다.

그리고 검출된 신호의 크기가 매우 적으므로 Pre-Amplifier에서 증폭한다. 증폭된 신호에는 여러 가지의 잡음 성분도 함께 증폭되어 포함되어 있으므로 필터를 사용하여 발진 주파수 대역만 선택해서 증폭하고, 증폭된 신호는 A/D 컨버터에서 필요한 시간마다 A/D 변환되어 액체의 량을 나타내는 디지털 신호를 컴퓨터의 입력 포트를 통해 컴퓨터로 전송하거나 표시기를 사용해서 시각적으로 나타낼 수 있다.

[그림 4]의 계통도에 나타낸 각 부분의 상세한 회로도 와 동작 특성을 다음에 나타내고 있다.

1) 고주파 발진기와 검출부

[그림 5]에 센서에 공급될 고주파수의 정현파 교류 신호를 발생하는 회로와 검출부와의 접속 회로도를 나타내고 있다.



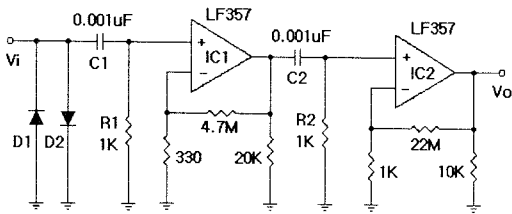
[그림 5] 고주파 발생회로

이 발진기에서 발생된 고주파 신호는 정전 용량형 센서에 공급되고, 센서와 직렬로 접속된 저항 R10의 전압 강하를 측정함으로써 센서의 전류를 검출할 수 있다. 회로에서 C와 R1-R4를 조정하면 출력 파형의 주파수를 조정할 수 있고, R9를 조절하여 출력 파형의 크기를 조절할 수 있으므로 현장 사정에 맞는 적절한 신호 주파수와 그의 크기를 선택할 수 있다. 이 회로에 사용된 8038 IC는 삼각파, 구형파, 정현파를 발생하는 1칩 펄스 생성

너레이터 IC이며, 저주파수로부터 수 MHz의 고주파수에서 사용할 수 있어서 본 회로 구성에 아주 적합하다.

2) Pre-Amplifier 와 필터

[그림 5]의 검출 저항 R10에서 검출한 전류 신호는 매우 적을 뿐만 아니라 저주파로부터 고주파에 이르는 잡음도 많이 포함되어 있다. 따라서 이러한 잡음 신호를 제거하기 위해 검출한 신호를 그대로 필터하게 되면 검출 신호 자체가 감쇄될 수도 있으므로 잡음 신호와 함께 증폭시킨 후 발진 주파수 대역의 신호만 선택하는 회로를 [그림 6]에 나타내고 있다.

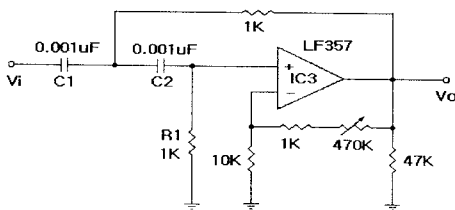


[그림 6] 프리앰프 회로도

[그림 6]의 회로의 입력 단에서 검출 신호에 포함된 D1과 D2 다이오드의 순방향 전압 강하보다 레벨이 큰 잡음은 이들 다이오드에 의해 제거된다. 그리고 C1과 R1으로 구성된 수동 고역 통과 필터에 의해 신호 주파수보다 낮은 주파수 성분들이 제거된다. IC1으로 구성되는 증폭기 회로는 신호 주파수가 고 주파수이므로 고속으로 동작할 수 있는 IC(LF357)를 사용한 비반전 증폭기 회로이다.

첫번째 증폭기에 의해 증폭된 신호의 레벨은 아직도 적으므로 이 증폭기의 출력은 C2와 R2로 구성된 수동 고역 통과 필터로 다시 한번 필터하고, IC2에 의해 다시 증폭하여 어느 정도의 크기를 갖는 출력으로 된다. 두 번째 증폭기의 출력을 [그림 7]에 나타낸 능동 필터를 사용하면 잡음 신호 성분은 거의 대부분 제거된다.

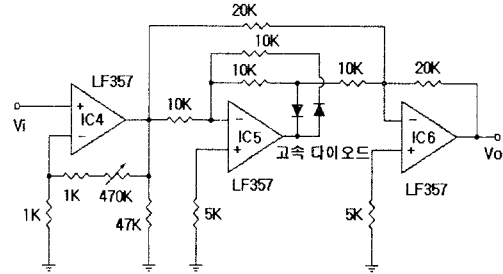
[그림 7]은 고역 통과 필터 및 증폭 회로로서 470K로 표시된 가변 저항을 사용하여 증폭도를 조절할 수 있다.



[그림 7] 능동 필터 회로

3) 증폭 및 전파 정류 회로

[그림 7]의 출력 신호도 아직은 미약한 신호이므로 다시 한번 증폭한 후 기준되는 전압과 비교하기 위하여 전파 정류하여 직류로 변환하는 회로를 [그림 8]에 나타내고 있다.



[그림 8] 증폭 및 전파 정류 회로

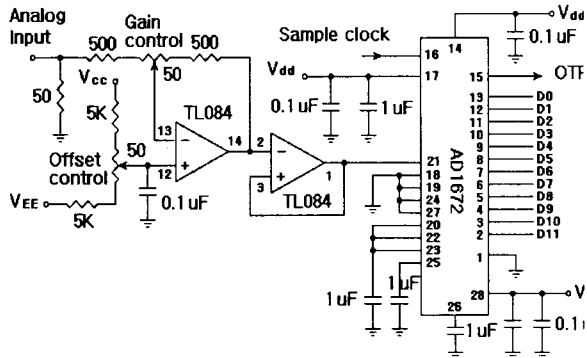
이 회로에서 IC5의 귀환 회로에 고속 다이오드가 직렬로 접속되어 있어서 - 입력 신호에 대해서는 반응하지 않고, IC5의 출력은 항상 -이다. 그리고 IC6은 가산기 회로로 되어 있는데, IC5의 출력에 대해서는 이득이 2이고 20K의 저항을 통해 들어오는 입력 신호에 대한 이득이 1이 되도록 되어 있는 가산기이다. 예를 들어 입력이 1V인 경우 IC5의 출력 전압은 약 -1.7V가 되며 p점의 전압은 -1V가 된다. 한편 IC6은 p점의 전압 -1V에 대한 이득은 2이고 입력 전압 1V에 대한 이득이 1인 가산기이므로 IC6의 출력 전압은 1V가 된다. 입력 전압이 -1V인 경우에는 p점은 0V이고 IC6는 입력 신호를 이득 1로 반전 증폭하므로 IC6의 출력 전압은 역시 1V가 되므로 + 입력 신호나 - 입력 신호에 대해 동일한 극성으로 된 전파 정류된 파형을 얻을 수 있다.

4) A/D 컨버터

[그림 8]에서 증폭 정류된 신호를 A/D 변환하여 컴퓨터의 입력 포트를 통해 컴퓨터로 전송하게 되면 프로그램에 의해 연산하여 액체의 수위를 계산할 수 있다.

[그림 9]에 A/D 컨버터 회로를 나타내고 있는데, Analog 입력단의 2단 증폭기 회로에서 입력 offset 전압과 이득을 동시에 조절하도록 하고 있다.

그리고 회로에서 AD1672는 내부에 sample-and-hold 증폭기와 기준 전압 발생기를 가지고 있는 12 Bit의 고성능 A/D 컨버터 IC로서 그의 핀 기능을 [표 1]에 나타내고 있다.



[그림 9] A/D 컨버터 회로도

[표 1] 핀 기능

PinNo.	Symbol	Type	Name and Function
1	DRCOM	P	Digital output driver ground
2	BIT 12	DO	Data bit(LSB)
3-12	BIT 2-11	DO	Data bits
13	BIT 1	DO	Data bit(MSB)
14	DRVDD	P	+5V Digital output driver supply
15	OTR	DO	Out of range is active high on the leading edge of code 0 or the trailing edge of code 4096.

Pin No.	Symbol	Type	Name and Function
16	CLOCK	DI	Sample clock
17	V _{DD}	P	+5V Digital supply
18	DCOM	P	Digital ground
19, 24	REFCOM	P	Analog ground
20	REFOUT	AO	2.5V Reference output (Decouple with 1 μF ceramic capacitor to REFCOM)
21	AIN1	AI	Analog input
22	AIN2	AI	Analog input
23	REFIN	AI	Reference input
25	NCOMP2	AO	Noise compensation (Decouple with 1 μF ceramic capacitor to ACOM)
26	NCOMP1	AO	Noise compensation (Decouple with 1 μF ceramic capacitor to ACOM)
27	ACOM	P	Analog ground
28	V _{CC}	P	+5V Analog supply

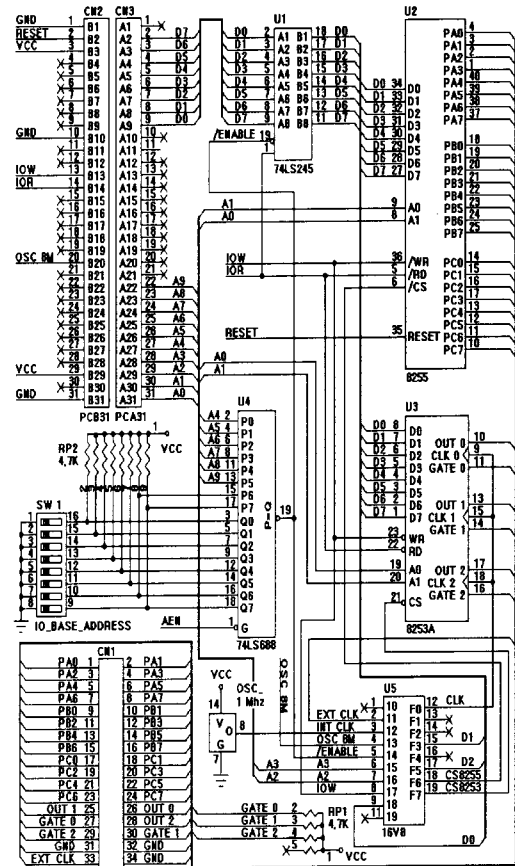
5) 컴퓨터 입력

컴퓨터가 입출력 장치와 데이터를 통신하기 위해서는 입출력 포트의 선택 신호를 발생하여야 하는데 이를 위해서는 입출력 포트 할당 영역을 알아야 한다. 8086 마이크로프로세서는 64K 개의 입출력 공간을 사용할 수 있으나 컴퓨터에서는 그 전

체를 사용하지 않고 하위 10 bit의 어드레스를 사용하여 1K 개의 입출력 공간만 사용한다. 따라서 A0부터 A9까지만 어드레스 할당에 사용되는데 크게 두 부분으로 나눌 수 있다.

첫 번째 부분은 0000H부터 01FFH까지로서 기본 시스템 보드에서 사용되고 있으며, 다음 부분은 0200H부터 03FFH까지로서 입출력 시스템 카드 슬롯에서 사용할 수 있는 어드레스이며 다른 사용자들이 IBM PC 호환용 카드를 만들 때 이 어드레스를 사용한다.

입출력 어드레스 중에서 가장 많이 사용되는 어드레스는 0300H~031FH인데 인터페이스 카드를 설계하는 경우에 다른 종류의 카드와 충돌하지 않는 어드레스를 선택해서 사용해야 한다. [그림 10]에 어드레스를 설정할 수 있는 입출력 인터페이스 회로도를 나타내고 있다.



[그림 10] 컴퓨터 입출력 인터페이스 회로

컴퓨터로 입력되는 디지털 신호를 받아서 C언어를 사용하여 연산하고 그래픽 처리하여 시간에 따라 변화되는 수위를 연속적으로 표시할 수 있다.

5. 결 론

기존에 수위 제어 회로에 주로 사용되어 온 전극봉에 의한 ON/OFF 제어 방식이나 플루오트를 사용한 제어 방식의 경우에 장시간 사용에 의한 열화나 산화 작용에 의한 고장이 빈번하게 발생하는 원인이었다. 그런데 본 연구에서 제안하고 있는 정전 용량형 센서의 경우에는 기계적인 동작 부분이 없을 뿐만 아니라 직접적으로 전류를 흘려야 하는 도체를 사용하지 않는 방식이므로 산화 작용도 피할 수 있는 구조로 되어 있으므로 고장 발생 요인을 근본적으로 피할 수 있다. 따라서 향후 충분한 실험을 거쳐서 실제 계통에 적용하면 매우 효과적인 액면 제어 센서로 활용될 수 있을 것으로 생각된다.

참고 문헌

- [1] Kook-Chan Ahn, Sang-Mae Lee, "The Development of Optical Temperature Sensor Based on the Effectuated Bragg Gratings", SAS Int. Jou. Vol.2 No.2, pp. 56-64, 2001.
- [2] Sung Pil Lee, Shaestagir Chowdhury, "Performance of Differential Field Effect Transistors with Porous Gate Metal for Humidity Sensor", 센서학회지 제8권 제6호, pp. 434-439, 1999.
- [3] Kim Hyungpyo, "A STUDY OF FLOW SENSOR USING FINITE-DIFFERENCE METHOD", 경북대 센서기술 학술대회 논문집 4.1 pp. 62-67, 1993.
- [4] 길주형, "자동화 계측에서의 센서 기술과 응용5", 자동제어계측162, pp109-113, 2001.
- [5] 손병기, "센서기술과 그 발전동향", 전자공학회지 제28권 10호, pp.15-21, 1999.

본 연구는 경기도 중소기업청에서 주관하는 9차 산·학·연 컨소시엄의 지원에 의해 수행됨