

누수거리/누액량 측정 알고리즘이 적용된 필름형 누수감지센서 시스템 개발에 관한 연구

The Study of Film-type Water Leakage Sensing System Development based leakage distance and quantity Measurement Algorithm

우 상 철 (방송영상제작전공)

Sang-Choel Woo (Dept. of Broadcasting & Video and Film)

Key words : Water Leakage, Sensing System, Measurement Algorithm, Printed Film

Abstract : In this study, we realized the film-type water leakage sensing system based leakage distance and quantity measurement algorithm. First, we explained the sensor problems and the kind of leakage sensor by sorting the point-type, band-type, cable type and film type. We suggested and simulated the leakage distance measurement algorithm according to the resistance-voltage variables. Also, we realized the film-type water leakage sensing system that were made of the MCU Module, RS-485 Communication Module, LCD Display Module, I/O Interface and Alarm Module.

1. 서론

현재 지구상에 상존하고 있는 물질상태로는 고체, 액체, 기체 그리고 플라즈마 상태가 있는데 상호간에 응고, 용해, 승화, 기화, 이온화 등의 작용을 거쳐 자연계를 순환하고 있다. 이 중에서 전자통신, 화학공학, 기계, 조선, 항공, 반도체, 자동차 산업체 관련 분야에서는 액체에 의한 누수현상으로 인하여 시스템의 오작동, 화재, 폭발, 장비의 노후화 등 다양한 문제점으로 어려움을 겪고 있다. 따라서 누수를 감지하는 센서의 개발과 이를 간단하고도 상시적으로 모니터링 하는 관리 시스템의 연구가 절실히 필요하다[1].

누수감지센서 개발의 발달은 먼저 포인터형(point-type), 밴드형(band-type), 케이블형(cable type) 그리고 필름형(film type)로 변천하고 있다. 먼저 포인터형은 포토(photo) 센서의 빛 발광, 수광의 액체굴절을 이용하여 누수 사실을 센싱하여 에러가 적으나 한정된 국소부분만을 단순 감지할 수 있거나 제품 설치시 시간이 많이 소요되는 문제점이 있다. 그리고 밴드형(band-type)은 저가의 비용으로 넓은 면적의 누수를 감지할 수 있고 설치가 간편하다는 장점이 있다. 그러나 높은 습도 및 외부 충격에 의해 에러 발생률이 높고 정확한 누수 발생 위치를 손쉽게 확인할 수 없는 문제점이 있다. 마지막으로 케이블형(cable type)은 설치비용이 고가이고 센서 케이블 길이가 일정한 크기로 정해져 있어서 사용자의 선택폭이 제한되며 센서 설치시 별도의 브라켓(bracket)을 사용해야 함으로 설치가 어렵고

추가비용이 발생하는 문제점이 있다. 향후 누수 센서의 대안으로 개발되고 있는 필름형 (film type)은 각종 산업체 장비에 간단하게 탈부착이 가능하며 누수의 접촉 면적이 넓어서 누수 센싱이 정확하고 브라켓을 이용하여 장거리로 연결하여 원거리 누수 센싱이 가능하다. 본 연구에서는 필름형(film type)의 4-Layer로서 접착제층(Adhesive Layer), 베이스 필름층(Base Film Layer), 전도성 라인층(Electrical Line Layer) 그리고 보호 커버 필름층(Cover Film Layer)의 적층구조로 형성된 누수감지센서를 개발하고 이를 모니터링하는 Master/Slave Controller를 제작한다. 특히, 누수가 발생시 누수 지점을 정확히 파악하고 누수면적을 예측하는 알고리즘을 제안하고 프로그램화하여 컨트롤러 메모리에 저장하고 누수발생시 동작할 수 있도록 설계하였다. 그리고 Master/Slave Controller는 MCU로 ATmega128을 사용하고 LCD 모듈,RS485 통신 모듈,I/F 모듈,Alarm 모듈 및 A/D 컨버팅 모듈,Power 모듈 등으로 구성하였다.

2. 누수감지센서 종류 및 필름형 누수감지센서 구조

2.1 누수감지센서 종류




인간이 감지할 수 있는 기능과 센서를 비교하여 구분한다면 빛, 소리, 습도, 압력, 자기, 가스 등의 감지 기능으로 분류할 수 있다. 이들 센서 중 물리량을 감지하는 센서들과 화학량을 감지하는 센서들로 크게 분류할 수 있다. 현재는 물리량 센서에 비해 화학량 센서는 종류도 적고 그 성능도 미약하다.

Div.	Detecting Subject	Sensors.
Dynamic sensor	displacement, length	차동 트랜스, 스트레인 게이지, 이미지 센서 등
	speed, acceleration	회전형 속도계, 동전형 속도계등
	rpm, vibration	모터리 엔코더, 스코프, 압전형 검출기등
	pressure	다이어프램, 로드셀, 수평 압력계등
	power, torque	지울, 천칭, 토션바등
Physical sensor	temp.	열전대, 서미스터, 온도계
	light, color	광전도, 광결합형, 이미지 센서, 포토다이오드 등
	magnetic	홀센서, 자기저항소자등
	electrical current	분류기, 변류기등
Chemical sensor	ultraviolet lays	조도계, 광광계등
	humidity	세라믹센서, 결로센서, 고분자막 센서
	gas	매연센서, 반도체가스센서, 동성가스센서등
	ion	pH 전극센서, 이온선택 전극센서등

[그림.1] 센서의 종류

다양한 환경 시설 및 장비에 누수가 발생시 누수를 감지하기 위해 다양한 방식의 누수센서가 사용되고 있다. 대표적으로 케이בל형 누수센서, 밴드타입 누수센서 그리고 모듈형 누수센서를 들 수 있다. 케이블형 누수센서는 각종 액체(물,기름 등)의 누출을 감지하여 액체가 누출되는 지점까지 정확하고 신속하게 알려주는 누수감지센서이다. 누수는 도선을 따라 흐르는 전류는 누출된 액체의 저항값에 의해 전압이 변경(전위차 발생)되는 것을 감지선으로 감지한다. 그러나 이와 같은 케이블형 누수센서는 설치비용이 고가이고 센서 케이بل 길

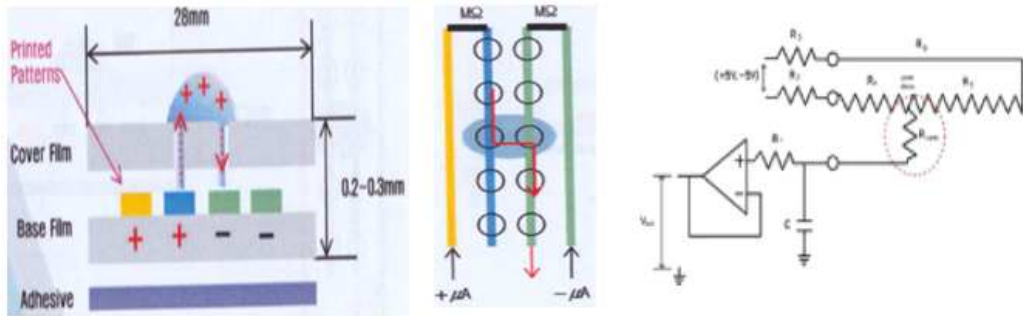
이가 7M, 15M, 30M로 정해져 있어서 사용자의 선택폭이 제한된다. 또한, 센서 설치시 별도의 브라켓(bracket)을 사용해야 함으로 설치가 어렵고 추가비용이 발생하는 문제점이 있다. 그리고 누수 감지 후 누수 리크(leak)를 제거하는 데 시간이 많이 소요되며 외부기기와의 연결이 어려운 문제점이 있다. 밴드타입 누수센서는 전선을 통해 전류가 흐르는 동안 물이 전선에 닿게 되면 저항값이 변하게 된다. 따라서 그 저항값의 변화에 따라 누수여부를 감지할 수 있다. 그리고 밴드타입 누수센서를 통해 조작성이 가능한 저항치는 $0\Omega \sim 50M\Omega$ 이고 출력은 30V DC(최대)에서 100mA, 배선길이는 최대 50m이다. 이와 같은 밴드타입 누수센서는 저가의 비용으로 넓은 면적의 누수를 감지할 수 있고 설치가 간편하다는 장점이 있다. 그러나 높은 습도 및 외부 충격에 의해 에러 발생률이 높고 정확한 누수 발생 위치를 손쉽게 확인할 수 없는 문제점이 있고 설치의 연계성이 적어 제품설치 조작성이 상존한다. 또한, 밴드타입 누수센서 케이블의 길이가 정해져 있어서 사용자의 선택폭이 협소하며 성능에 비해 가격이 고가이다. 그리고 설치시 바닥에 고정할 브라켓을 별도로 설치해야 함으로 설치가 어렵고 추가 비용이 발생하는 문제점이 있으며 외부기기 연결시 단순한 릴레이 점접방식 이외에 연결 디바이스가 없는 문제점도 있다. 모듈형 누수센서는 플라스틱 케이스내에 포토센서(수광부,발광부)를 위치시켜 액체를 감지하지 않은 상태에서는 발광부의 빔(beam)을 수광부에서 받아들이지만 발광부 빔이 액체를 감지하게 되면 굴절률의 변화로 빔이 수광부로 입력되지 못한다. 이때 모듈센서는 누수를 감지하게 된다. 모듈형 누수센서는 저가의 비용으로 누수위험부분을 감지할 수 있고 설치가 간편하며 주변장치와 상관없이 자체적 알람 및 경보불빛 발생이 가능하고 습도에 따른 에러가 적다. 그러나 케이블 타입과는 달리 특정 위치의 누수여부만 확인 가능하다는 문제점이 있고 주변장치와 연결하기에는 어려운 문제점이 있다. 또한, 별도의 센서 고정방안을 계획해야 함으로 제품설치시 시간이 많이 소요되며 누수 위험 지역의 특정 부위만 검출 가능함으로 누수위치가 바뀌게 되면 감지가 어려워지는 문제점이 있다.

<p>Point Sensor</p> <ul style="list-style-type: none"> ❖ Photo센서 빛+액체굴절 / Capacitance / Level에 따른 액체유.무 감지 ❖ 한정된 국소부분 단순감지 및 제어성능 내장형센서(일체형) 	
<p>Band Sensor</p> <ul style="list-style-type: none"> ❖ 2개의 금속선에 전류를 흘려 도선간의 액체 단락현상 감지 ❖ 센서 확장성 문제로 사용범위의 한계. 습도에 민감하여 불량 많음 	
<p>Cable Sensor</p> <ul style="list-style-type: none"> ❖ 저항값을 갖는 2개의 Polymer 도선을 꼬아서 조립 및 액체감지 ❖ 높은 가격, 이상 Error, 설치 Bracket으로 인한 감지력 및 관리성 저하 	

[그림.2] 누수감지센서 종류

2.2 필름형 누수감지 센서 구조

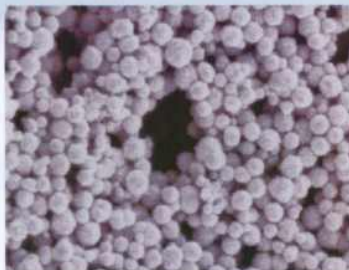
필름형 누수감지센서는 크게 접착제층(Adhesive Layer), 베이스 필름층(Base Film Layer), 전도성 라인층(Electrical Line Layer) 그리고 보호 커버 필름층(Cover Film Layer)로 나누어 설계된 적층구조로 되어 있다. 먼저 접착제층(Adhesive Layer)은 누수 리크가 발생하는 다양한 곳에 부착하기 쉽게 제작한 것으로 접착 테이프 형태로 구성되고 베이스 필름층(Base Film Layer)은 전도성 라인층이 상부에 형성되기 위한 기본 격리층으로 전기적인 절연과 전도성 라인층의 패턴을 인쇄방식으로 형성하기 위하여 PET, PE, PTFE, PVC 또는 기타 테프론 재질로 제작된다.




[그림.3] 전도성 라인층(Electrical Line Layer) 및 액체 위치 감지 회로

※ Ag 전자잉크의 TEST DATA		
구 분	시험 결과값	측정방법
성분조성	1) Ag Particles_약 50% 2) Resin_약 10-20% 3) Solvent_약 30-50%	성분조성
고형분 함량 (%)	50±2%	Dry at 150°C/2Hr
점 도	12,000±5,000cps	Brookfield HBT-DV III SP#51 @25°C, 10rpm
접착력TEST	100/100	Cross cut Test (3M Scotch Tape #600) (ASTM D3002, D3359)
연필경도(H)	>2H	Pencil Hardness (ASTM D3363-74)
체 적 저항	< 1.0 x 10 ⁻⁴ Ωcm	0.73mm X 400mm (Zig-Zag Pattern)
굽 힘 성	>5	5Kg, 2Min
Ag입자크기	0.5μm ~ 6.0μm	

※ S.E.M (Ag Particles)



※ 실험용 시편(PET필름+인쇄)



※ 참고자료 : 연필강도란 ?
9H-8H-7H-6H-5H-4H-3H-2H-H-F
-HB-B-2B-3B-4B-5B-6B, 총 17종류

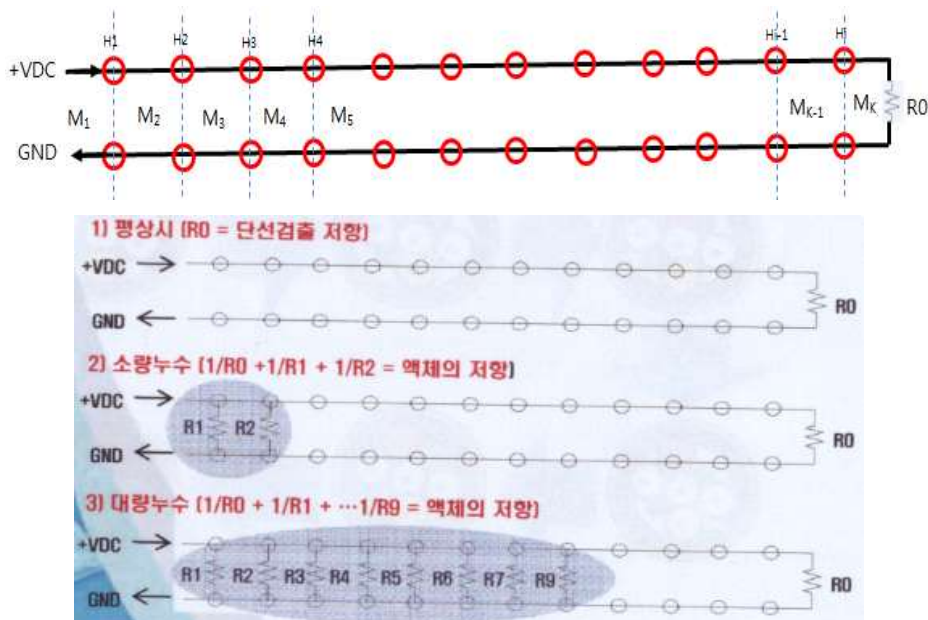
H=강도 표시
B=검정색 표시
F=연고함

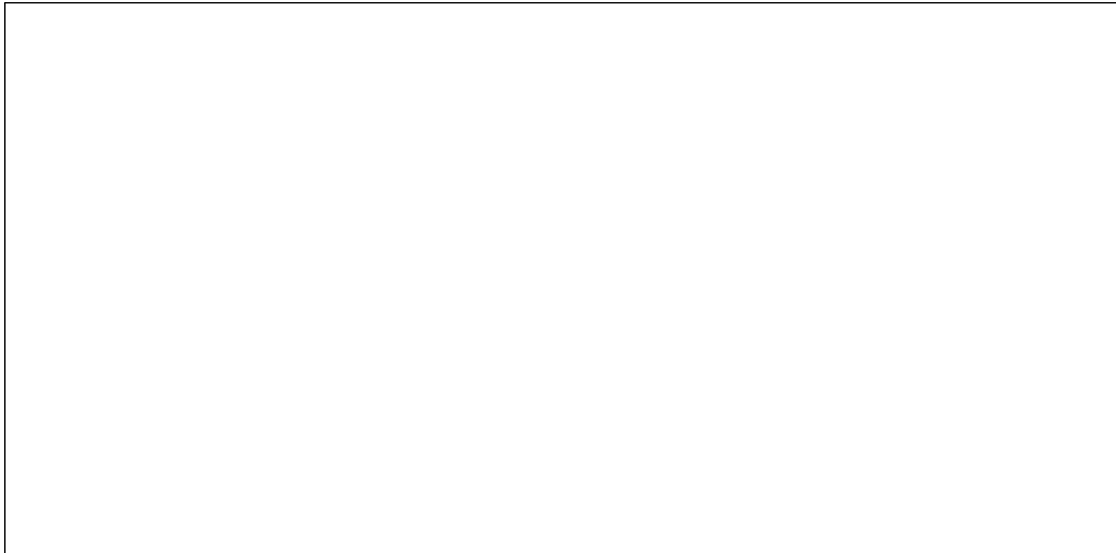
[그림.4] 누수감지센서 전도성 잉크(Ag 화합물) 실험 데이터

그리고 전도성 라인층(Electrical Line Layer)은 베이스 필름층의 상부 표면에 스트림 형태로 복수개의 전도성 라인층(Electrical Line Layer)이 형성되는 층으로 누수 리크 센싱 필름의 길이방향으로 서로 이격되어 평행하게 한 쌍의 저항 라인이 형성되고, 이 저항라인의 외측으로 신호라인이 누수 리크 센싱 필름의 길이 방향으로 서로 이격되어 평행하게 형성되어진다. 전도성 라인층(Electrical Line Layer)은 크게 도선성 잉크로 인쇄된 저항라인과 은(silver) 화합물로 인쇄된 신호라인으로 구성된다. 또한, 누수 리크 센싱 필름의 종단에서는 별도의 연결 커넥터를 사용하여 저항라인과 신호라인이 서로 연결된다. 보호 커버 필름층(Cover Film Layer)은 전도성 라인층의 상부에 적층되어 전도성 라인층의 패턴을 외부의 충격 및 자극으로부터 보호하기 위해서 적층된다. 또한, 보호 커버 필름층(Cover Film Layer)에는 일정구간마다 센싱 홀(hall)을 뚫어 전도성 라인층의 저항라인만을 상기 센싱 홀을 통해 외부로 노출되게 한다.

2.3 필름형 누수감지 센서 누수/누액량 측정 알고리즘

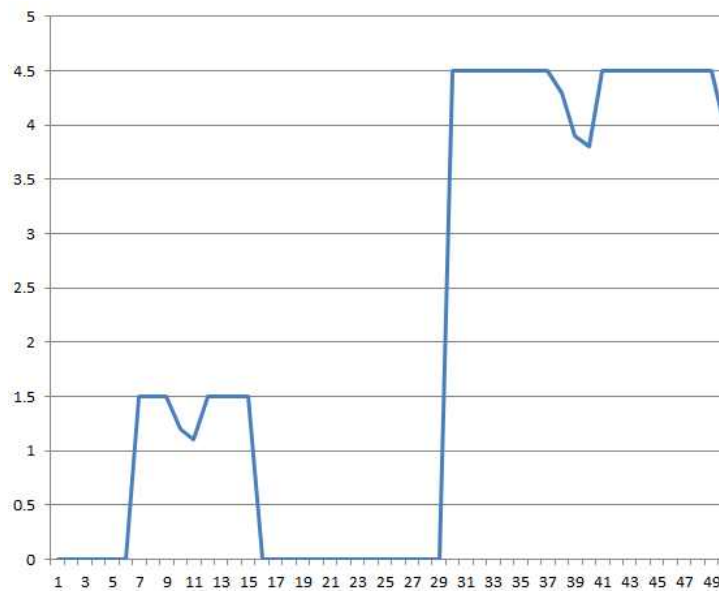
필름형 누수감지 센서에 누수가 발생하면 보호 필름층의 센싱 홀을 통해 누수 리크가 유입되고 유입된 누수 리크에 의해서 저항 라인이 서로 통전된다. 따라서 저항 라인의 저항값이 변동되게 되고 그 변동된 저항값은 신호라인을 통해 필름형 누수감지 센서 감지 시스템 Slave 컨트롤러로 전송되며 Slave 컨트롤러는 이러한 저항값의 변동 상태에 따라 누수 리크 여부를 판단함과 동시에 저항값의 크기에 따라 누수 발생 위치를 알 수 있게 설계한다. 즉, 저항값이 크면 그 저항값의 크기만큼 Slave 컨트롤러로부터 누수리크의 발생위치가 멀리 떨어져 있는 것이며, 저항값이 작으면 그만큼 Slave 컨트롤러로부터 가까이 있게 된다. 미리 Slave 컨트롤러에 저장된 거리에 대한 거리-저항값 맵 테이블(Distance-Resistance Value Map Table)을 비교하여 정확한 누수 위치를 판단하게 된다.



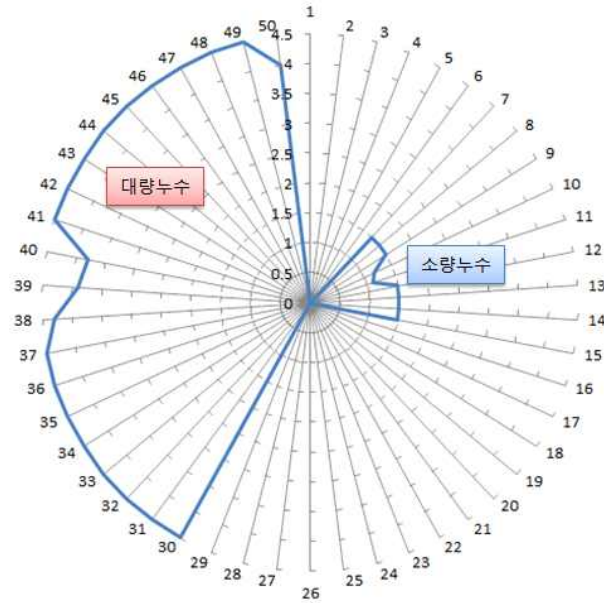


[그림.5] 누수감지센서 구조도 및 알고리즘

다음은 누수감지센서의 보호커버필름층(Cover Film Layer)에 3cm간격으로 센싱홀을 형성하고 $R_0=0.1M\Omega$ /단락 저항 100Ω , Hall Number=50으로 한 경우 저항변동에 따른 전위차측정 데이터를 기본으로 홀 7~15(소량)/홀(30~50)대량일 경우 시뮬레이션을 수행한 결과이다. 소량 누수가 발생한 지점 홀 7~15소량(Slight Volume)에서 저항값이 변동되고 전위차가 변동되어 전압이 연속적으로 상승한다. 또한, 복수개의 단락으로 인하여 저항성분이 중첩되어 일정 구간에서 전위차가 다소 저하된다. 대량 누수(Enormous Volume)가 발생한 홀(30~50) 지점에서 는 상당히 긴 시간 동안 전위차가 넓게 분포된다.



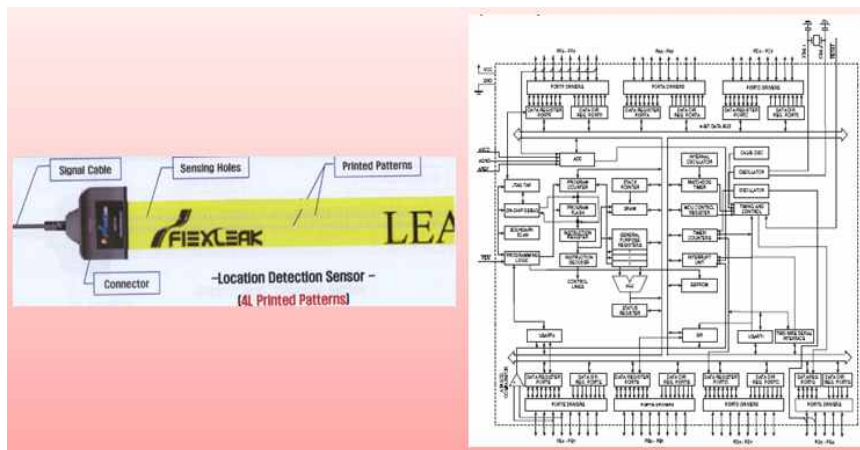
[그림.6] Slight Volume/Enormous Volume 그래프



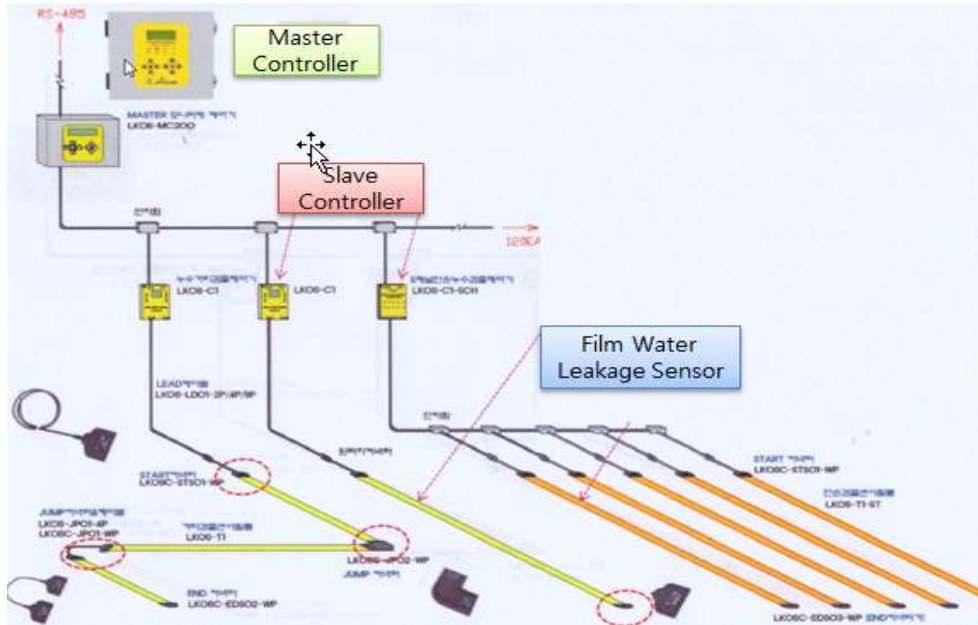
[그림.7] Slight Volume/Enormous Volume 분포

3. 필름형 누수감지 센서 감지 시스템 개발

필름형 누수감지 센서는 크게 접착제층(Adhesive Layer), 베이스 필름층(Base Film Layer), 전도성 라인층(Electrical Line Layer) 그리고 보호 커버 필름층(Cover Film Layer)로 된 적층구조로 그림.8과 같다. 필름형 누수감지 센서의 Master/Slave 감지 시스템의 MCU는 ATmega128을 사용하였으며 메모리에 누수의 A/D 컨버팅을 통한 감지 및 거리에 대한 저항값 매핑 테이블을 포팅하였다. 필름형 누수감지 센서 감지 시스템의 전반적인 구성은 CPU, 외부 Flash 메모리, RS-485통신, LCD IF 그리고 전원(Power) 회로 등으로 구현하였다.



[그림.8] 필름형 누수감지 센서 외형 및 MCU 블럭도



[그림.9] 필름형 누수감지 센서 Master/Slave Controller

6. 결론

전자통신, 화학공학, 기계, 조선, 항공, 반도체, 자동차 산업체 관련 분야에서는 액체에 의한 누수 현상으로 인하여 시스템의 오작동, 화재, 폭발, 장비의 노후화 등 다양한 문제점으로 어려움을 겪고 있다. 특히, 누수를 감지하는 센서의 개발과 이를 간단하고도 상시적으로 모니터링 하는 관리 시스템의 연구가 절실히 필요하다. 누수감지센서 개발의 발달은 먼저 포인터형(point-type), 밴드형(band-type), 케이블형(cable type) 그리고 필름형(film type)로 변천하고 있으며 다양한 장, 단점을 내포하고 있다. 포인터형은 포토(photo) 센서의 빛 발광, 수광의 액체굴절을 이용하여 누수 사실을 센싱하여 에러가 적으나 한정된 국소부분만을 단순감지할 수 있다. 밴드형(band-type)은 비교적 저가로 넓은 면적의 누수를 감지할 수 있고 설치가 간편하다는 장점이 있으나 높은 습도 및 외부 충격에 의해 에러 발생률이 높다. 케이블형(cable type)은 설치비용이 고가이고 센서 케이블 길이가 일정한 크기로 정해져 있어서 사용자의 선택폭이 제한되며 센서 설치시 별도의 브라켓(bracket)을 사용해야 한다. 따라서 본 연구에서는 필름형(film type)의 4-Layer로서 접착제층(Adhesive Layer), 베이스 필름층(Base Film Layer), 전도성 라인층(Electrical Line Layer) 그리고 보호 커버 필름층(Cover Film Layer)의 적층구조로 형성된 누수감지센서를 개발하고 이를 모니터링하는 Master/Slave Controller를 제작한다. 특히, 누수가 발생시 누수 지점을 정확히 파악하고 누수면적을 예측하는 알고리즘을 제안하고 50개의 홀 수를 상정하여 시뮬레이션을 수행하였다. 또한, 실측 데이터를 바탕으로 저항-거리-전위차를 프로그램화하여 컨트롤러 메모리에 저장하고 누수발생시 동작할 수 있도록 설계하였다. 그리고 Master/Slave Controller는 MCU로 ATmega128을 사용하고 LCD 모듈, RS485 통신 모듈, I/F 모듈, Alarm 모듈 및 A/D 컨버팅 모듈, Power 모듈 등으로 구성하였다.

7. 참고문헌

1. 김기수, "광섬유를 이용한 제방누수감지센서 개발", 한국수자원학회지, 2012.
2. 최수환, "센서네트워크를 이용한 무선 누수 탐지 시스템", 한국전자공학회지, 2011.
3. Changpeng Fan, Thomas Luckenbach, Xiangwen Xu, "Performance Comparison and Analysis of XTP and TCP/IP over the BERKOM Broadband ISDN Network" in Proc. IEEE INFOCOM vol.3, pp.1154-1161,1993.
4. Clark, Jacoben, Romkey and Salwen, " An analysis of TCP processing overhead",IEEE Comm. Mag. pp.23-29, June,1989.
5. R.Braden, D.Borman, C.Patridge, "Computing the internet Checksum" Network WG"
6. High Speed Network, TCP/IP AND ATM DESIGN PRINCIPLES, Stallings.
7. Window Device Driver Programming papered by Industrial Network.