

액체누설 감지용 테이프형 필름센서

유동근^a · 김경신^b · 유홍근^b · 한국희^a · 김동준^a · 김정현^a · 한상호^a · 조광섭^{a*}

^a광운대학교 전자물리학과, 서울 139-701

^b(주)유민에스티, 군포 435-862

(2010년 12월 1일 받음, 2011년 2월 22일 수정, 2011년 3월 2일 확정)

접착테이프 형태의 액체누설 감지 필름 센서와 이를 이용하고 경보 장치를 포함한 감지 시스템을 개발하였다. 액체누설 감지 필름형 테이프 센서는 베이스 필름층, 전도성 라인층, 보호 필름층으로 구성되며, 테이프의 두께 300~500 μm, 폭 3.55 cm, 그리고 단위 테이프의 길이는 200 m이다. 전도성 라인층의 필름에는 3개의 전도선과 1개의 저항선이 있다. 이들은 도전성 은 나노 잉크를 전자인쇄방식으로 설치한다. 이들 저항선과 전도선 사이에 액체가 누설되어 전기적으로 상호 통전되면, 두 선사이의 저항변화를 전압의 변화로 측정하여 누설 위치를 감지한다. 물을 포함한 전도성 액체에 대한 누설 위치 감지에서 길이 200 m에서 오차 범위는 ±1 m 이내이다.

주제어 : 액체누설, 액체누설 감지센서, 테이프형 필름센서, 누설 경보시스템

I. 서 론

현대 사회에서는 물을 포함한 각종 다양한 액체들이 파이프나 저장 용기에 의하여 이송되거나 저장된다. 이송 중인 액체나 저장된 액체가 누설되면 여러 가지의 문제가 초래된다. 1차적으로는 건물의 손상, 전산 장애, 상하수도 막힘 등의 문제를 일으킨다. 2차적으로는 화재, 업무 마비, 액체 공급 중단, 환경오염 등 심각한 결과를 초래하기도 한다. 액체 누설 감지 장치는 이러한 2차적인 사고를 예방하여 피해를 최소화하는 안전 예방장치이다.

누수감지의 문제는 1980년대 초반부터 대두되었다 [1]. 과거에는 누수를 경험적으로 찾아내는 방법 외에는 대안이 없었다. 그러나 누수 위치를 확인하기 위하여, 고급 내장재를 제거하고 도로의 여러 곳을 파내는 등으로 인하여 보수 비용보다 더 많은 부대비용이 발생하는 일들이 빈번하게 발생하고 있다. 따라서 적은 비용으로 단기간에 누수로 인한 피해를 보수하려면, 누수 감지 센서를 이용하는 것이 효과적이다.

종래의 누수 감지는 경제적이고 친숙하다는 이유로 한 지점에 대한 누수를 감지하는 기술에 초점을 맞추고 있었다. 그러나 이러한 기술도 누수와 관련된 큰 피해를 방지하는 데는 근본적인 처방이 되지 못하므로 새로운 기술을 개

발하기 위한 노력을 끊임없이 지속하고 있다 [1,2].

기존의 누수 감지 센서의 종류로는 크게 포인트, 밴드, 케이블 센서 등이 소개되고 있다 [2,3]. 포인트 센서는 포토센서의 빔 굴절에 따른 방식과 정전용량 방식이 있다. 이들 방식들은 점 단위로 설치되므로 면적대비 설치비용이 매우 크다. 밴드 센서는 전류가 흐르는 2개의 메탈 밴드로 구성되어 있다. 메탈 밴드에 전도성 액체가 접촉하면 전기적으로 쇼트가 발생하는 원리이다 [3]. 이 원리로 누수를 감지할 경우 바닥 면에 고정하여야 한다. 따라서 작업자의 이동에 방해가 될 수 있다. 또한 압력에 쉽게 손상되는 단점이 있다. 케이블 센서는 케이블의 길이 변위에 따른 저항값 변화를 이용한 선형대의 센서이다 [2]. 전도성 고분자 재질인 2개의 선형 센서로 구성되어 있다. 2개의 선형 센서 사이에 전도성 액체가 접촉하게 되면, 이 액체가 전해질 역할을 하여 음극과 양극의 반응하게 된다. 그로 인하여 전류의 흐름이 바뀌게 되는 것이다. 이러한 원리를 이용하여 누수를 정확하게 감지하게 된다 [2-5].

본 연구에서는 기존의 누수 감지 센서들을 필름의 형태로 개발하였다. 필름 센서는 누수의 위치를 정확하게 감지하고, 동시에 설치비용을 최소화한다. 그리고 이러한 센서는 응용 범위가 매우 광범위하다. 본 연구는 종래의 밴드 센서나 케이블 센서의 부정확성과 사용상의 불편함 등을

* [전자우편] gscho@kw.ac.kr

해소하고, 누수 지점을 정확하게 감지하여 알려주는 정보 장치들을 포함한 누수 감지 필름 센서의 기술 소개이다.

본 연구의 액체누설 감지 필름 센서는 누수 발생 시에 저항선과 전도선에 액체가 접촉되어 회로 상에 교차하는 내부저항의 전압 변화를 모니터링하여 누수를 감지하는 방식의 센서이다. 센서의 하부는 PET (Polyethylene Terephthalate) 필름에 전도성 은나노 잉크를 그래비아인쇄기를 이용하여 센싱 회로를 제작하는 것이 이 기술의 특징이다. 그 위에 누액 감지를 위한 홀이 형성된 상부의 PET 필름을 덮어서 조립하면 테이프형 필름센서가 완성된다. 인쇄 방식을 이용하므로 대량생산이 용이하여 가격이 저렴하다. 사용법은 접착테이프의 사용과 동일하므로 쉽게 설치할 수 있다. 설치 후 센서가 마모되거나 손상될 시 간단하게 재설치 할 수 있다는 장점도 있다. 또한 실내의 장치로도 활용 가능하다는 점들을 고려하여 관련 기술을 개발하고 있다.

II. 액체누설 감지 시스템

본 연구의 액체누설 감지 시스템은 센서를 통하여 물이나 전도성 액체의 존재 유무를 확인하고 액체가 누설되는 지점을 정확하게 감지하여 신속하게 알려주는 정보 시스템을 포함한다. 이러한 시스템은 액체누설로 발생하는 치명적인 피해를 최소화하는 데 목적이 있다. 이 절에서는 센서 필름의 원리 및 구조와 감지 시스템의 동작을 기술한다. 센서 필름의 원리로서 관련 이론에 대한 수식을 간단하게 정리하여 기술한다. 그리고 액체누설 감지 필름 센서의 구조 및 동작에 대한 자세한 내용과 제어 방법에 대하여 기술한다.

1. 액체누설 감지 필름 센서의 원리

액체누설 감지 필름 센서는 센서선(sensor wire) 간의 전기 반응에 의하여 누출된 물 또는 전해성 액체의 전도성으로 인하여 회로의 저항 변화로 인한 전류나 전압의 변화를 감지하고, 동시에 누수 여부와 누수지점을 정확하게 감지한다.

Fig. 1(a)는 본 연구의 테이프형 액체누설 감지 필름센서의 구조이다. 테이프의 맨 아래층은 접착제층이고, 그 위에 순차적으로 베이스 필름층, 전도성 라인필름층, 그리고 보

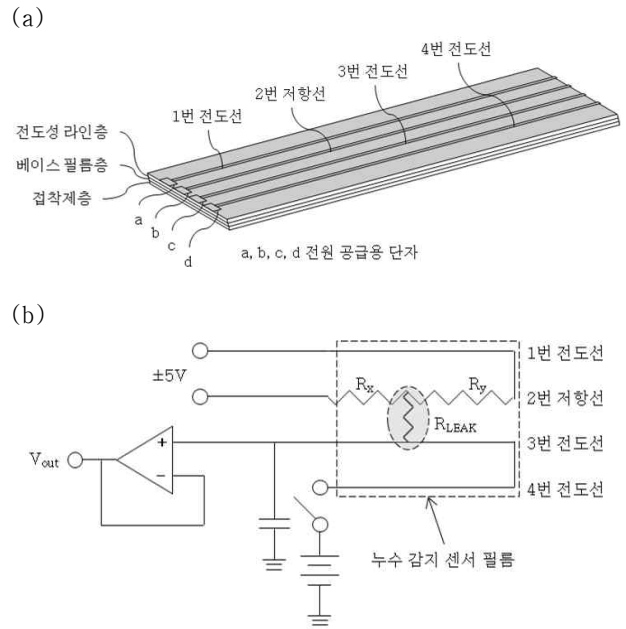


Figure 1. (a) Structure of liquid leak film sensor. (b) Schematics of equivalent circuit of liquid leak film sensor.

호필름층으로 형성된다. 전도성 라인필름에는 4개의 도선이 형성되고, 그 중 3개의 전도선과 하나의 저항선(그림의 2번선)이다. Fig. 1(a)에는 나타내지 않았으나, 전도필름 위에는 최종적으로 보호필름을 덮는다. 보호 필름은 일정한 간격으로 구멍을 설치하여 누수 발생으로 2번 저항선과 3번의 전도선 간에 전기가 통하도록 설계된다. 테이프의 양단 끝은 커넥터로 연결할 수 있도록 각각의 도선에 전원을 공급하는 4개의 단자가 형성되어 있다.

Fig. 1(b)는 전도필름 위에 인쇄방식으로 설치되는 4개의 도선에 대응하는 등가회로의 개념도이다. 그림에서 2번 저항선은 누설 지점으로 인하여 R_x 및 R_y 두 부분으로 나누어진다. 누수 여부와 누수 위치의 감지 원리는 다음과 같다. 전도층의 필름에 설치된 4개의 도선은 그림과 같이 3개의 전도선과 하나의 저항선(2번선)이다. 그림에서 4번 전도선은 단락 감지용이다. 저항선은 단위 길이당 저항의 값을 일정하게 제작하는 것이 본 기술의 핵심 중의 하나이다. 그리고 전도선의 저항 값은 최소화하는 것도 중요한 기술이다. 본 연구에서는 이들의 도선을 모두 전자인쇄방식으로 설치한다.

액체 감지는 2번 저항선과 3번 전도선 사이에 액체의 누설로 인하여 액체를 매개로 두 개의 선이 상호 단락되는 경우, 그 위치와 단락 유무를 감지한다. 전체 길이 L 인 필름

센서 위에 액체가 누설되어 저항 R_x 과 R_y 인 2번 저항선과 3번 전도선이 단락될 경우, 단락 위치 D 는

$$D=L\{R_y/(R_x+R_y)\} \quad (1)$$

가 된다. 즉, Fig. 1(b)와 같이 2번 저항선의 R_x , R_y 가 분리된 지점에서 누설된 액체가 2번 저항선과 3번 전도선 사이를 단락하게 된다. 단락의 위치는 각 저항 값의 비와 같으므로 식 (1)과 같다. 상기 식 (1)에서 각각의 저항 값 R_x 와 R_y 의 결정 방법은 다음의 두 가지 방법이 있다. 첫째, 회로에 흐르는 전류를 계측하는 방법이다. 둘째, 전압을 계측하는 방법이다.

회로에 흐르는 전류의 계측으로 저항 R_x 와 R_y 를 결정하는 방법은 다음과 같다. 1번 전도선에 전압 V_a 를 인가하면, 2번 전도선의 저항 R_y 를 통하여 3번 전도선으로 전류가 흐른다. 이때의 전류 I_1 은 V_a/R_y 이다. 이어서 2번 선의 시작단에 전압 V_a 를 인가하면, 전류는 R_x 를 통하여 전도선 3번으로 전류가 흐르며, 전류는 $I_2=V_a/R_x$ 이다. 이때 계측된 전류의 비가 저항에 반비례한 값이므로 누설 위치는 $D=L\{I_1/(I_1+I_2)\}$ 이다. 그러나 전류 값은 저항에 반비례하므로 매우 작아지며, 작은 전류를 감지하는 것은 어렵다. 또한 계측 중에 저항 값의 변화와 저항체의 소모 전력으로 인하여 계측 값의 정확도가 낮아진다 [6].

전압 계측 방법이란 3번 전도선에서의 전압 계측이다. 1번 전도선에 전압 V_a 를 인가하면 출력 전압은 $V_1=V_aR_y/(R_x+R_y)$ 이다. 2번 저항선의 시작단에 전압 V_a 를 인가하면, 출력 전압은 $V_2=V_aR_x/(R_x+R_y)$ 이다. 전압은 저항 값에 비례하므로, 누설 위치는 $D=L V_2/V_a$, 또는 $D=L(1-V_1/V_a)$ 이며, 이들 계측 값들의 평균이 최종 결과 값이다. 위 계산과정은 프로세서에서 자동으로 진행된다. 전류 값 변화에 영향 없이 정확한 계측 값을 얻는다. 본 연구에서는 좀 더 정확한 계측 값을 얻기 위하여 전압을 계측하는 방법을 사용한다. 또한 영점 체크 및 노이즈 보상 기능을 추가하여 계측 값의 정확도를 높일 수 있다.

테이프 형태의 누설 감지 센서 장치에서, 한 방향으로만 전원을 인가하여 주는 경우, 온도 변화 등으로 인해 감지선의 저항 값이 변하게 된다. 그 결과 정확한 누설 위치 감지가 어려워진다. 또한 누설로 인한 수분의 저항 값이 증가하여 정확한 위치 감지가 어려워진다. 극단적인 경우에는 수분이 양극화되어 전류가 흐르지 않게 된다.

본 연구의 액체누설 감지 필름 센서는 1번 전도선과 2번 저항선에 전원을 번갈아 공급하여준다. 그러므로 누설 발생 시 감지선의 저항 값 변화(누설 저항 R_{LEAK} 을 포함)에 대하여 각 방향에 대한 R_x 와 R_y 의 전압 값을 알 수 있다. 따라서 R_x 와 R_y 의 전압의 비를 통하여 정확한 누설 위치를 알 수 있게 된다. 또한 수분의 저항 값 증가 방지 및 액체의 양극화 방지가 되므로 감지 위치의 정확도 및 안정성을 유지한다 [7].

4번 전도선은 마모 및 손상 등으로 인한 센서의 절단 여부만을 감지하는 선이다. 4번 전도선에 특정한 전압을 인가하고, 3번 전도선에서 인가한 전압에 대응하는 전압이 출력되는지의 여부를 감지하는 방식으로 테이프의 절단 여부를 판단한다.

2. 액체누설 감지 필름 센서의 구조 및 동작

액체누설 감지 필름 센서의 구조를 Fig. 2에 나타내었다. 베이스 필름 위에 3개의 전도선과 1개의 저항선으로 구성되어 있다. 4개의 선들은 전자 인쇄 방식으로 설치하며, 그 위에 보호 필름을 설치한다. 보호 필름에는 4개의 선 중에 2번 저항선과 3번 전도선 위에 구멍을 설치한다. 이 구멍에 액체가 누설되면, 전도선과 저항선이 단락된다. 구멍의 크기는 $0.5 \sim 1 \mu m$, 구멍 사이의 간격은 $0.5 \sim 1.5 cm$ 이다. 테이프 전체의 폭은 $3.55 cm$ 이다.

베이스 필름 하부에는 접착층이 있어 접착테이프처럼 사용할 수 있다. 베이스 필름 위에 전도 필름을 코팅한다. 전

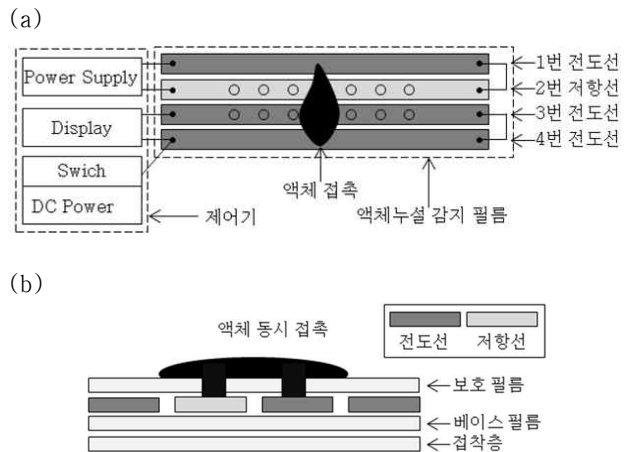


Figure 2. (a) Conceptual diagram of upper surface of liquid leak film sensor. (b) Cross section of liquid leak film sensor.

도 필름에는 전도선과 저항선이 액체누설 감지 필름의 길이 방향으로 일정한 간격을 유지하여 평행한 형태로 배치되어 있다. 베이스 필름과 전도 필름 및 도선의 패턴은 전자 인쇄 방식으로 제작한다. 각 필름의 재질은 PET, PE, PTFE, PVC 또는 기타 테프론 계열로 한다. 보호 필름은 전도선의 상부에 적층되어 전도선의 패턴을 외부로부터 보호하기 위한 층이다. 보호 필름의 재질은 PET, PE, PVC 또는 테프론 계열을 사용한다.

전자 인쇄 방식을 사용하면, 전도선의 인쇄 두께를 조정하여 저항을 최소화 할 수 있다. 특히, 저항 값이 길이에 대하여 일정해야 한다. 전자 인쇄(electronic printing)란 전자를 띤 가루 잉크와 판을 사용하여 정전기의 힘으로 인쇄하는 무압 인쇄 방식이다. 본 기술의 액체누설 감지 필름 센서는 전자 인쇄 방식 중 그라비어 인쇄(gravure printing) 방식을 이용한다. 그라비어 인쇄란 오목판 인쇄 중 사진 기술을 응용하여 화학적 부식 방법과 헤리오 전자 조각 및 레이저로 제판한 오목판을 이용 Rotary 방식으로 인쇄하는 것이다. 사진 오목판을 그라비어라고 한다. 이것은 포토 그라비어(photo-gravure)의 준말이다. 인쇄할 때는 화선부의 오목한 부분에 액체 잉크를 채워 그 밖의 부분의 잉크를 제거하고 오목한 부분의 잉크에 압력(인압)을 걸어 피인쇄물에 전이시키는 인쇄 방식이다. 그라비어는 판의 깊이에 따라 계조를 나타내기 때문에 농담이 풍부하고 강한 느낌을 줌으로써 각종 서적, 상업 인쇄물, 미술 인쇄물, 우표 인쇄 외, 흡수성이 없는 셀로판, 플라스틱 필름, 알루미늄박 등의 포장 인쇄, 건축재료 인쇄와 대량 생산에 적합한 식품 포장재, 그 밖에도 각종 인쇄에 응용되고 있다.

Fig. 3은 복수 개의 액체누설 감지 필름 센서 테이프들과 제어기의 연결 상태를 보여주는 그림이다. 단위 필름 센서의 테이프의 길이를 대개 200 m로 제작한다. 누설 감지를 위한 영역의 길이가 긴 경우, 액체누설 감지 필름과 커넥터를 이용하여 길이를 최대 40 km까지 자유롭게 연장할 수 있다.

액체누설 감지 필름 센서의 누설 감지 과정은 Fig. 4와 같다. 누설 감지를 원하는 위치에 액체누설 감지 필름 센서를 부착시킨다. 도선에는 수 볼트 정도의 전압이 인가된다. Fig. 3에 도시된 제어기 내부의 프로세서는 전원부를 제어한다. 1번 전도선과 2번 저항선에 일정한 주기마다 번갈아 전압이 인가된다. 누설이 발생하여 액체누설 감지 필름 상부의 일정 위치에 물, 화학용액, 기타액체(전도체)가 접촉

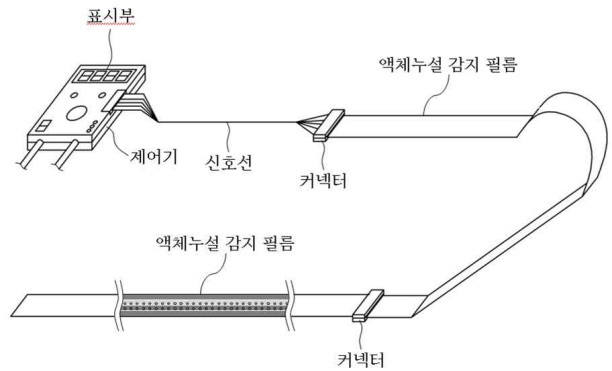


Figure 3. Conceptual diagram of measurement of liquid leak sensor system.

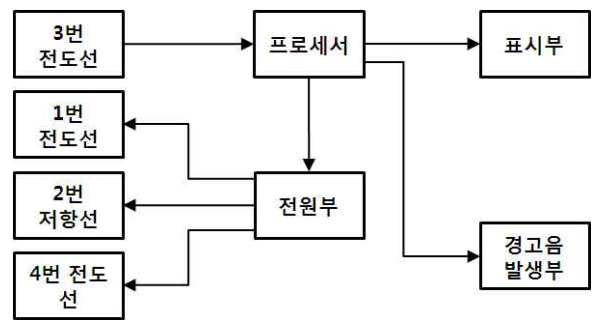


Figure 4. Logic diagram of Controller.

된다. 그러면 Fig. 1(b)과 같이 2번 저항선과 3번 전도선 사이에 누설에 의한 폐회로가 구성된다. 누설의 위치에 따라서 저항 값과 전압 값은 달라진다. 그에 따라 전압 값이 전도선 단자를 통해 프로세서로 공급된다. 1번 전도선과 2번 저항선에 전압이 번갈아 공급된다. 이와 같이 프로세서는 폐회로를 통해 각기 다른 경로로 2번의 저항 값 및 전압 값을 얻게 된다. 따라서 누설 발생 위치가 정확하게 검증할 수 있게 된다. 즉, 입력되는 저항 값과 전압 값을 비교하여 정확한 위치를 판단할 수 있다. 프로세서는 이와 같이 계산된 값과 미리 설정된 값을 비교한다. 비교된 값은 표시부를 통해 감지 위치를 표시하게 된다. 또한 이와 동시에 경고음 발생부에 경고음이 발생하게 된다 [8].

III. 액체 누설 감지 실험

앞 절에 소개한 센서를 사용하여 누설 위치 감지 실험과 액체별 누설 위치 감지 실험을 수행하였다. 누설 위치 감지 실험은 누설 액체 대신에 별도의 저항 소자를 이용하였다.

저항소자를 각각 다른 위치에서 접촉시켰다. Fig. 5와 같이 저항소자를 이용하여 2번 저항선과 3번 전도선을 단락시키는 방식의 단락 위치 감지 실험이다. 액체별 누설 위치 감지 실험은 다양한 종류의 전해성 액체를 이용하였다. 전해성 액체를 센서 테이프 위의 각각 다른 위치에 투하하여 누설을 감지하는 실험이다. 그 밖에 열 충격, 내습성, 저온, 고온 등 추가 실험에 대한 결과도 함께 기술한다.

1. 누설 위치 감지 실험

액체누설 감지 필름 센서를 사용하여 누설 위치 감지의 정확도를 조사한다. Fig. 5는 누설 위치 감지 실험의 개념도이다. 필름 센서 200 m를 실내 바닥에 설치하고, 필름 센서의 30.0 m, 60.0 m, 90.0 m, 120.0 m, 150.0 m, 180.0 m 지점에 2번 저항선과 3번 전도선 간에 별도의 저항으로 강제로 접촉시켜 누설 발생 상황을 모의 실험하였다. 종류가 다른 액체 또는 전도성을 고려해서 강제 접촉용 저항체의 저항은 0 Ω, 100 kΩ, 510 kΩ, 1,000 kΩ 4가지

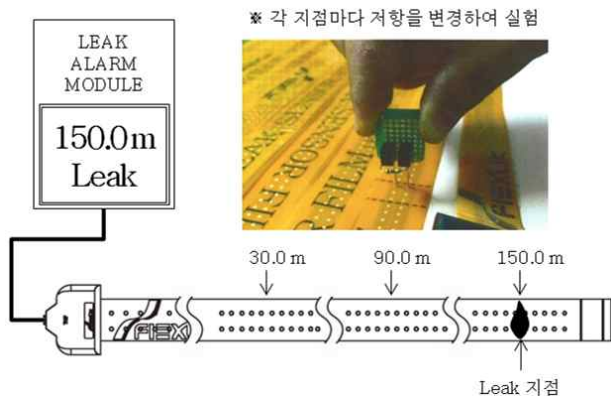


Figure 5. Conceptual diagram of sensing experiment of location of leak.

Table 1. Experimental values of sensing of location of leak.

누수 위치	접촉저항			
	0 kΩ	100 kΩ	510 kΩ	1,000 kΩ
30 m	30.3 m	30.0 m	29.8 m	30.2 m
60 m	60.8 m	60.6 m	60.9 m	60.7 m
90 m	90.2 m	90.7 m	90.3 m	90.5 m
120 m	119.8 m	120.3 m	120.1 m	119.7 m
150 m	150.2 m	150.4 m	150.7 m	150.5 m
180 m	180.8 m	181.0 m	181.0 m	180.9 m

를 사용하였다. 제어기의 표시부에는 누설이 발생한 지점의 위치가 미터(m) 단위로 표시되며, 위치의 최소 표시 단위는 0.1 m이다. 계측 위치의 실험 결과는 Table 1과 같다.

위치별로 접촉용 저항 값을 달리하여 감지된 누설 위치 값을 측정하였다. 총 6개의 지점에서 누수 위치를 측정하였다. 그 결과 각각의 저항별 누설 위치 감지 평균오차가 0 kΩ은 0.41 m, 100 kΩ은 0.50 m, 510 kΩ은 0.53 m, 1,000 kΩ은 0.51 m으로 측정되었다. 모든 저항에서 누설 위치 감지 오차 범위가 ±1 m 이내이다.

2. 액체별 누설 위치 감지 실험

액체누설 감지 필름 센서를 사용하여 액체별 누수 위치 감지의 정확도를 측정하였다. Fig. 6은 실험 개념도이다. 실온 조건에서 센서 200 m를 실내 바닥에 설치하고, Acetic Acid, FeCl₃, HCl, HF, HNO₃, H₂SO₄, NaOH, NaOCl, NH₃(NH₃OH), H₂O₂, Acetone 등 총 13종의 화학액을 각각 1 ml를 이용하여 필름 센서의 0.0 m, 50.0 m, 100.0 m, 150.0 m, 200.0 m 지점에 투하하여 액체별 누설 발생 상황을 모의 실험하였다. 제어기의 표시부에 나타난 계측 값을 기록하여 액체별 누설 발생 지점 감지 정확도를 살펴보았다. 실험 결과는 Table 2에 나타내었다.

누수 위치별로 시약을 달리하여 감지된 위치 값을 측정하였다. 실험에 이용한 화학액은 총 13 종류이다. 아세트산 (Acetic Acid)은 살균 능력이 있어 대장균이나 포도상구균과 같이 식중독을 일으키는 세균을 죽임으로써 음식의 부패가 진행되는 것을 막아 준다. 중요한 카르복시산의 하나이다. 염화제이철(FeCl₃)은 철과 염소의 화합물이다. 화산의 분출물 또는 운석 속에서 발견된다. 염화수소(HCl)는

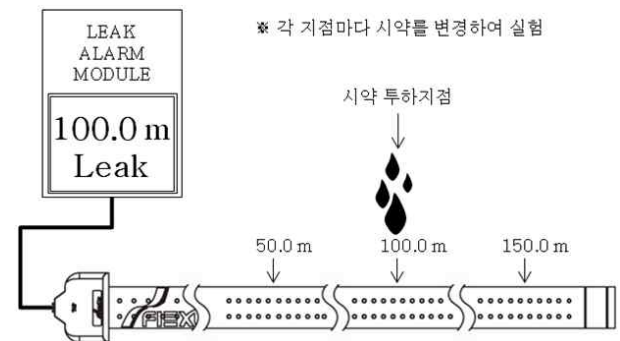


Figure 6. Conceptual diagram of sensing experiment of location of liquid leak.

Table 2. Experimental values of sensing of location of liquid leak.

사용 시약		누설 위치				
		0 m	50 m	100 m	150 m	200 m
Acetic acid	25.0%	0.0 m	49.6 m	99.7 m	149.9 m	200.1 m
	50.0%	0.0 m	49.4 m	100.2 m	149.6 m	200.0 m
FeCl ₃	50.0%	0.0 m	49.8 m	100.6 m	150.0 m	200.1 m
HCl	9.5%	0.1 m	50.3 m	100.0 m	149.6 m	200.0 m
HF	48.0%	0.0 m	49.6 m	99.4 m	149.8 m	200.0 m
HNO ₃	15.0%	0.0 m	49.9 m	99.7 m	150.2 m	200.0 m
H ₂ SO ₄	25.0%	0.2 m	49.5 m	99.4 m	149.6 m	200.0 m
NaOH	50.0%	0.0 m	50.0 m	100.1 m	150.0 m	200.0 m
NaOCl	10.0%	0.0 m	49.8 m	100.0 m	150.1 m	200.0 m
NH ₃ (NH ₃ OH)	25.0%	0.0 m	49.7 m	100.3 m	149.9 m	200.0 m
H ₂ O ₂	35.0%	0.0 m	50.0 m	100.2 m	150.1 m	200.0 m
Acetone	30.0%	0.0 m	49.9 m	99.9 m	150.3 m	200.0 m
	50.0%	0.0 m	49.9 m	100.3 m	150.1 m	200.0 m

수소와 염소의 화합물이다. 플루오린화수소(HF)의 수용액은, 유독한 무색 투명한 액체이다. 공업적으로는 형석분말과 진한 황산을 가열하여 발생하는 기체를 물에 흡수시켜서 만든다. 유리에 대한 부식작용을 이용하여 눈금 매기기, 무늬 붙이기, 광택 지우기 등에 사용된다. 질산(HNO₃)은 무색의 발연성 액체로, 대표적인 강산이다. 황산(H₂SO₄)은 무색의 비휘발성 액체로, 공업적으로 백금이나 오산화바나듐 촉매를 이용해 만든다. 물을 제외하고 가장 많이 제조되는 강산성의 화합물이다. 수산화나트륨(NaOH)은 대표적인 강염기이다. 공기 중에서 수증기를 흡수해 스스로 녹는 조해성이 있으므로 공기와의 접촉을 차단하여 보관해야 한다. 차아염소산나트륨(NaOCl)은 식품의 부패균이나 병원균을 사멸하기 위하여 살균제로 사용된다. 암모니아(NH₃OH)는 약염기성을 띠는 질소와 수소의 화합물인 암모니아이다. 고약한 냄새가 나고 물에 잘 녹는다. 비료 또는 요소 수지를 만드는데 쓰인다. 과산화수소(H₂O₂)는 수소와 산소의 화합물로 물보다 점성이 큰 액체이다. 분석 시약의 산화제, 견사나 양모 등의 표백제, 플라스틱 공업에서 비닐 중합의 촉매로도 사용된다. 아세톤(Acetone)은 일상생활에 많이 사용되거나 폭발의 위험이 있다. 가장 간단한 케톤이며 유기 용매로 다른 유기물과 잘 섞인다 [9].

위치별로 화학액을 달리하여 감지된 누설 위치 값을 측정하였다. 총 13종의 화학액의 화학을 이용하였다. 누설 위치 측정 위치는 총 5개이다. 실험 결과 각각의 화학액별로

누설 위치 감지 평균 오차가 아세트산(Acetic Acid)은 0.21 m, 염화제이철(FeCl₃)은 0.18 m, 염화수소(HCl)는 0.16 m, 플루오린화수소(HF)의 수용액은 0.24 m, 질산(HNO₃)은 0.12 m, 황산(H₂SO₄)은 0.34 m, 수산화나트륨(NaOH)은 0.02 m, 차아염소산나트륨(NaOCl)은 0.06 m, 암모니아(NH₃OH)는 0.14 m, 과산화수소(H₂O₂)는 0.05 m, 아세톤(Acetone)은 0.10 m으로 측정되었다. 모든 화학액에서 누설 위치 감지 오차 범위는 ±1 m 이내이다.

추가 실험을 통해 액체누설 감지 필름 센서의 안정성을 검증하였다. 환경 변화에 따른 실험이다. 실험 항목으로는 열 충격, 내습성, 저온, 고온 실험을 진행하였다. 실험 결과, 모든 환경 변화 실험에서 누설 위치 감지 기능이 유지되었다. 누설 위치 감지 오차 범위는 ±2 m 이하이다 [10].

IV. 결과 및 논의

접착테이프 형태의 액체누설 감지 필름 센서를 제작하여 경보 장치를 포함한 감지 시스템을 개발하였다. 액체누설이 발생하여 전도성 라인층의 저항선과 전도선 사이에 액체가 접촉된다. 이때 누설된 액체가 전도성 저항체 역할을 하게 된다. 그로 인해 회로 상에 교차하는 내부저항에서의 전압의 변화를 감지한다. 액체누설 감지 필름 센서를 포함한 감지 시스템은 액체가 누출되는 지점을 정확하게 감지

하여 신속하게 알려주는 경보 시스템으로 액체누설로 인한 2차적으로 발생하는 치명적인 피해를 최소화하는 시스템이다.

이 시스템의 누설 위치 감지의 정확도는 액체의 종류나 저항의 크기에 무관하게 감지 테이프의 길이 200 m에 대하여 오차 범위가 ± 1 m 이내로 감지되었다. 추가 환경 변화 실험에서도 감지 기능에 문제가 발생하지 않았다.

액체누설 감지 필름 센서의 두께는 약 300~500 μm 이며, 바닥면이나 벽면에 부착되었을 때 작업장 내 사람이나 운반차 등의 이동에 방해가 되지 않는다. 또한 1톤 이상의 무게에 눌러도 손상되지 않는다 [11]. 액체누설 감지 필름 센서는 커넥터를 이용할 경우 1개의 보조 모듈로 200 m까지 연결이 가능하다. 메인 모듈은 최대 200개의 보조 모듈을 연결할 수 있다. 따라서 액체누설 감지 필름 센서의 최대 설치 길이는 최대 40 km이다.

본 연구의 액체누설 감지 센서는 감지선의 사용량을 최소화하여 4개를 사용한다. 또한, 감지선에 전원을 양방향으로 번갈아 인가함으로써 수분의 저항 값 증가 및 양극화를 방지하였다. 그로 인해 기존의 센서에 비해 좀 더 안정적이고 정확한 감지를 할 수 있다. 타 센서는 고정용을 위한 별도의 받침을 사용하나 안정적이지 못하다. 액체누설 감지 필름 센서는 접착층이 있으므로 편리하고 안정적으로 접착하는 것이 가능하다. 누수가 우려되는 특정부분에도 안정적으로 쉽게 설치할 수 있다. 별도의 공구 없이 가위를 이용하여 사용자가 원하는 길이로 절단하여 사용할 수 있다. 여러 개의 센서를 연결하고자 할 경우 전용 커넥터를 사용하여 간단하게 설치할 수 있다. 기존의 센서는 누설이 발생하면 센서의 재사용을 위한 건조시간이 필요하다. 액체누설 감지 필름 센서는 별도의 건조시간이 필요하지 않다. 표면에 남아있는 액체를 제거하여 즉시 재사용하는 것이 가능하다.

V. 결 론

접착층, 베이스 필름층, 전도성 라인층, 그리고 보호 필름층으로 구성된 액체누설 감지를 위한 필름형 센서를 개발하였다. 전도성 라인층에는 3개의 전도선과 1개의 저항선이 설치된다. 이들 전도선과 저항선 사이의 액체 누설에 의한 단락을 감지하는 방식이다. 저항선과 전도선 사이에

접촉된 액체로 인한 전압의 변화를 감지하여 누설 위치를 감지한다.

액체누설 감지 시스템은 액체누설 감지 필름 센서를 포함하며, 표시부와 경고음 발생부 등 전체를 제어한다. 표시부의 누설 위치 표시 단위는 미터(m)이며 최소 0.1 m 단위까지 표시한다. 이 액체누설 감지 시스템을 이용하여 누설 위치 감지 실험 및 액체별 누설 위치 감지 실험을 진행하였다. 실험 결과, 감지 테이프의 길이 200 m에 대하여 누설 위치 감지의 오차 범위는 ± 1 m 이하이다. 또한 열 충격, 내습성, 저온, 고온 실험에서 감지 기능이 정상적으로 유지되었다.

감사의 글

본 연구의 실험은 '(주)유민에스티'와 공동으로 수행하였으며, 교육과학기술부의 BK21사업의 연구비에 의하여 수행되었음.

참고문헌

- [1] J. Y. Koo, *Application of protection and reduction system of the water leakage* (The university of Seoul, 2007), pp.39-40.
- [2] S. D. Han, *Trend of energy saving technology* **32**, 27-68 (2005).
- [3] B. O. Choi, D. S. Kim, T. M. Lee, C. H. Kim, M. H. Lee, and K. J. Lim, *J. Korea Soc. Mech. Eng.* **46**, 67-73 (2006).
- [4] X. Yin and S. Kumar, *Phys. Fluids* **17**, 063101 (2005).
- [5] X. Yin and S. Kumar, *Chem. Eng. Sci.* **61**, 1146-1156 (2006).
- [6] J. Seo and Y. H. Han, *Korea institute of machinery and materials* **39**, 99-110 (1999).
- [7] D. J. Jin, J. M. Jeong, H. S. Jeong, J. S. Kim, M. K. Lee, J. H. Kim, J. H. Koo, G. C. Gwon, J. K. Kang, E. H. Choi, and G. S. Cho, *J. Korean Vacuum Soc.* **17**, 331-340 (2008).

- [8] J. Y. Chun and P. D. Cho, *Technology trends of silicon-based pressure sensor*, (ITFIND, 2005), pp. 1-10.
- [9] J. H. Boo, C. H. Heo, Y. K. Cho, J. S. Yoon, and J. G. Han, *J. Korean Vacuum Soc.* **15**, 563-575 (2006).
- [10] C. H. Kim, T. M. Lee, D. S. Kim, and B. O. Choi, *J. Korea Soc. Prec. Eng.* **24**, 74-79 (2007).
- [11] D. S. Kim and T. M. Lee, *J. Korea Soc. Mech. Eng.* **46**, 38-44 (2006).

Tape-Type Liquid Leakage Film Sensor

D. K. Yu^a, K. S. Kim^b, H. K. Yu^b, G. H. Han^a, D. J. Jin^a, J. H. Kim^a, S. H. Han^a, and G. S. Cho^{a*}

^a*Department of Electrophysics, Kwangwoon University, Seoul 139-701*

^b*YUMIN System Technology Co.,Ltd, Gunpo 435-862*

(Received December 1, 2010, Revised February 22, 2011, Accepted March 2, 2011)

The adhesive-tape of a liquid leak film sensor including the alarm system is developed. The sensing film is composed of three layers such as base film layer, conductive line layer, and protection film layer. The thickness of film is 300~500 μm , the width is 3.55 cm, and the unit length is 200 m. On the conductive line layer, three conducting lines and one resistive line are formulated by the electronic printing method with a conducting ink of silver-nano size. When a liquid leaks for the electricity to be conducted between the conductive line and the resistive line, the position of leakage is monitored by measuring the voltage varied according to the change of resistance between two lines. The error range of sensing position of 200 m film sensor is ± 1 m.

Keywords : Liquid leakage, Sensing, Sensor, Film sensor, Liquid leakage alarm system

* [E-mail] gscho@kw.ac.kr