합성 윤활유 및 고압 작동유 누출감지 필름형 센서의 구현

박노진⁺ · 유동근 · 유홍근

Implementation of Film Type Sensor for Synthetic Lube Oil and High Pressure Hydraulic Fluid Leak Detection

No-Jin Park⁺, Dong-Kuen Yu, and Hong-Kuen Yu

Abstract

Chemical sensors are used in various industrial facilities such high-risk and prevent the leakage of substances, important in life and environmental protection and the safe use of industry, used for management. In particular, high-temperature environments such as power generation equipment of the rotating part due to leakage generated by the various oil, power plants Shut Down, fire, work environment (exposure to various chemical solution and gas leak) and various water, air and soil pollution causes. Thus, over the long term through various channels such as crops and groundwater contamination caused by the slow, serious adverse effect on the ecosystem. In this paper, synthetic lube oil and high pressure hydraulic fluid leakage and immediately detect a new Printed Electronic implementation of technology-based film-type sensors, and its performance test. Thus, industrial accidents and environmental pollution and for early detection of problems, large accidents can be prevented. Experimental results of the synthetic lube oil and high pressure hydraulic fluid solution after the contact time depending on the experiment and the oil solution of the sensor material of the conductive porous PE resistance value by a chemical reaction could be confirmed that rapid increase. Also implemented in the film-type oil sensor electrical resistance change over time of the reaction rate and the synthetic lube oil is about 2 minutes or less, the high pressure hydraulic fluid is less than about 1 minute was. Therefore, more high-pressure hydraulic fluid such as a low volatility synthetic lube oils are the resistance change and the reaction rate was confirmed to be the slowest.

Keywords: Power plants sensor, Lube oil, Environmental pollution, Resistance

1. 서 론

센서기술은 여타 산업의 자동화, 인공지능화를 위한 핵심 부품 거의 전 산업 분야에서 사용되고 있으며, 센서 산업은 미래형 성장산업으로, 자동차, 조선, 항공기, 첨단 가전, 로봇, 정보기기, 의료기기, 위성, 미사일 등의 고기능화, 고성능화의 핵심 요소로서, 복합 기술적이며 고부가가치 원천 기술로서 그 파급효과가 지대하다. 최근에는 M2M(Machine to Machine) 및

wearable device 등 정보통신 기술의 혁신적인 발전으로 초소형화, 다차원화, 다기능화, 지능화, 시스템화의 경향을 뚜렷이 나타내고 있다[1].

이러한 다양한 분야에서 핵심적인 기능을 수행하는 센서 기술 중에서도 각종 산업시설 등에서 사용되는 액체감지 센서는 고위험 물질의 누출을 예방하여 소중한 인명과 환경보호 및 관련 산업시설의 안전한 사용, 관리를 위해 사용되며, 이 중 오일감지(oil leak detection) 센서는 인류의 소중한 자원인 액체를 제어하여, 자연재해에 대비하고, 건물 및 각종 산업 시설 등의 피해를 방지하기 위한 시스템이다[2,3].

본 논문에서는 이러한 각종 산업시설 및 발전시설 등에서 사용하는 합성 윤활유 및 고압작동유 등을 누출 즉시 검출함으로써 산업재해와 환경오염 문제를 조기에 발견하고, 대형 사고를 미연에 방지하기 위한 새로운 printed electronic 기술 기반의 합성 윤활유 및 고압 작동유용 필름형 센서를 구현하고 이의 성능시험을 하였다.

(주) 유민에쓰티 (Annex Research Institute, Yumin Sensor Technologies)
196-42 Anyang-Dong, Manan-Gu, Anyang-Si, Gyeonggi-Do, 430-010, Korea
⁺Corresponding author: parknjnj@naver.com
(Received : Jul. 10, 2014, Revised : Jul. 28, 2014, Accepted : Jul. 28, 2014)

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/bync/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Fig. 1. Cable sensing principle.

Fig. 3. Metal bend sensor.

Fig. 2. Leak detection principle of the pointer sensor.

Fig. 4. Leak detection of film type sensor.

2. 액체 감지 센서

물을 감지하는 sensor를 fluid leak detection sensor라고 한다. 각종 액체(물, 기름 등)의 누출을 감지하여 액체가 누출되는 지점까지 정확하고 신속하게 알려주는 액체 누설 감지 시스템이다[4].

2.1 케이블 센서(cable sensor)

Cable 센서는 일정한 저항 값을 갖는 2개의 도선을 스크류 방식으로 꼬아 제작된 센서로서 해당 위치에서 leak 발생 시 액체의 저항 값을 수신하여 거리 감지 및 액체 유무를 감지한다. 흡착형으로 액체를 감지한 후 재사용까지 별도의 건조시간을 필요로 하며, 손상 시 전 센서 라인을 들어내야 하기 때문에 경제성이 떨어지며, 바닥면 고정을 위한 브라켓 등이 필요하고/ 고정 이후라도 작업자의 이동에 방해가 될 수 있다[5,6].

2.2 포인트 센서(point sensor)

포인트(spot) 센서에는 photoelectric 센서의 빔(beam)과 액체의 굴절을 차이에 따른 액체의 유무를 감지한다. 따라서 누액의 상태 즉, 누액 유. 무 판단으로 alarm signal을 외부로 보내준다. 센싱과 알람 기능이 일체화 되어있고 점 단위의 설치 방식으로 ‘커버 면적대비’ 높은 가격 등의 단점을 지닌다[7].

2.3 금속 밴드센서(metal band sensor)

밴드(band) 센서는 2개의 metal(stainless, copper 등) 밴드(band)에 흐르는 전류가 도전성액체(water 또는 물성)에 의해 전기적 short 현상으로 누액을 검출한다. 원리는 1개의 도선에는 일정한

전류가 흐르고, 나머지 도선은 액체(도전체)를 통해 넘어오는 전류를 수신하여 액체 유/무를 감지한다. 하지만 바닥 면에 따로 고정하여야 하고, 작업자의 이동에 방해가 될 수 있으며, 압력을 가할 시 쉽게 파손되는 단점이 있다[8].

2.4 필름 센서(film sensor)

필름형 센서는 한국에서 최초로 개발한 누수 검출 센서로서, 센서 필름의 정확한 액체/누설 발생지점 계산을 위해 단위 면적당 정확한 전기 저항 값을 갖는 인쇄회로의 설계로, 액체누설 발생 시 액체의 전류 값을 수신하여 액체의 유/무를 감지하는 원리를 이용하여 대량/소량 액체량, 센서의 단선 확인, PET 필름, PI(polyimide) 등의 소재 사용, 박막 필름형 센서로 접착제 사용으로 바닥 밀착성이 우수하여 설치 편리성 및 유지관리의 편리성 등이 장점이다[2,3].

3. 필름형 윤활유 및 작동유 센서 구조

3.1 필름형 센서의 물리적인 구성

Fig. 5는 필름 센서의 단면을 나타낸 것으로, 접착 계층은 누액이 발생하는 곳에 부착하기 위한 것으로 테이프 형태로 구성되고, 베이스필름 계층은 전도라인 계층이 상부에 형성되기 위한 층으로서, 절연과 전도라인 계층의 패턴을 인쇄 방식에 형성하기 위해 PET, PE, PTFE, PVC 또는 기타 테프론 계열의 재질로 형

Fig. 5. The film sensor leak detection principle.

Fig. 6. Electrical characteristic in accordance with reaction of the conductive carbon & hydrocarbon fluid.

성된다. 전도라인 계층은 복수개의 도체 라인과 저항 라인이 패턴 형태로 형성되는 계층으로서, 물성감지 테이프의 길이방향으로 서로 이격되어 평행하게 스트립 형태로 베이스필름 계층의 상부 표면에 배치된다. 보호필름 계층은 전도라인계층의 상부에 적층되어 전도라인 계층의 패턴을 외부의 자극으로부터 보호하기 위한 층으로서 PET, PE, PVC 또는 테프론 계열의 재질로 형성된다.

3.2 윤활유 및 작동유 감지 원리

필름형 윤활유 및 작동유 검출은 고체가 내부 또는 표면에 작은 빈틈을 많이 가진 상태에서 빈틈이 외부로 통하게 생산된 도전성 다공질(porous) 고분자 폴리머를 사용하여, Fig. 6처럼 미세한 다공성이 있고, 고분자 폴리머가 유기성 액체와 접촉하면 부피가 팽창하는 원리이다. 따라서 필름형 센서에 윤활유 및 작동유 오일을 접촉시 카본의 흡수성과 오일에 의한 LDPE 필름 소재의 팽창에 따라 전기적 저항값(Ω) 변화 현상을 검출한다.

3.3 고분자 화합물과 센서 소재 기술

본 논문에서 윤활유 및 작동유 감지 센서의 소재로 사용되는 hydrocarbon은 화학적인 구조의 안전성 및 높은 전도성을 갖는 전도 네트워크를 구성하기 위해 탄소기반 nano 입자를 혼합하여 오일에 반응하도록 실험 및 구현하였다. 또한 인쇄전자 기술에 의한 센서 소재를 구현하기 위해 conductive carbon black이라는 흑색

Fig. 7. The requirements of lube oil and hydraulic fluid sensor materials.

의 미세한 탄소분말을 센서 소재로 사용하였는데 이는 탄소입자의 크기는 1~500 ml이며 흑연과 비슷하다. 공업적으로는 천연가스·타르 등을 불완전 연소시켜 생긴 그을음을 모으거나, 그것들을 열 분해하여 제조하고 있다. 현재 소비량의 85%가 고무용이고, 11% 정도가 인쇄잉크를 비롯하여 흑색안료(黑色顔料)로 사용된다. 또한 주로 자동차 타이어 및 다른 고무제품의 강화제와 건조 피막의 은폐력이 큰 검은 색으로 인쇄용 잉크, 페인트, 먹지 등에 사용한다. 또한 보호막, 플라스틱, 전자회로의 저항기에도 쓰이며 강화 충전제로 사용하여 내마멸성과 내연마성을 크게 한다[9,10]. 따라서 Fig. 7처럼 본 논문에서 사용된 소재는 phosphate ester 계 oil에 취약한 고분자를 사용하였으며, oil absorption number electrical conductivity의 carbon black과 processing oil을 이용하여 oil 흡수성 향상시키기 위해 첨가제로 구성되고, 필름의 구조는 oil 흡수에 유리한 표면형상 구성할 수 있도록 구현되었다.

4. 구현된 필름형 윤활유 및 작동유 센서

4.1 윤활유 및 작동유 검출 센서의 외형

본 논문에서 구현된 윤활유 및 작동유 감지 센서 필름의 물리적인 외형은 Fig. 8과 같고, sensor film을 실험하기 위해 start 및 end connector를 연결하여 구현하였다. start connector는 기판을 감지하면, 이를 센서제어장치로 전송하기 위한 전기적인 연결로 사용하였으며, end connector는 sensor의 저항이 거의 0 Ω 에 가까운 회로를 만들기 위해 전위차가 있는 2점 사이를 저항이 극히 작은 도체로 접속시켜 평상시에는 일정한 전류가 흐르도록 전기적 단락(short circuit) 회로를 구현하기 위해 사용하였다.

4.2 센서의 물리적인 사양

구현된 윤활유 및 작동유 감지 센서의 회로도도 Fig. 9와 같

Fig. 8. Implementation of leak detection sensor film.

Fig. 9. Circuit diagram of developed sensor.

Table 1. Physical/electrical specification of developed sensor

category		sensor specifications	
Material	base & guard	PET	
	color	orange / yellow / black	
	circuit	nano silver ink & conductive porous polymer	
	conductive PE	thickness 70 μm (60±20 μm)	
Size		width 5 mm (4±2 mm)	
	silver	thickness 40 μm (60±20 μm)	
		width 3 mm (4±2 mm)	
	film width	28 mm±10%	
electrical characteristics	film thickness	guard film	100 μm 200 μm~
		conductive PE	70 μm 350 μm
		base film	125 μm
	rated voltage	DC +5 V	
	current	1.06 μA	
	insulation resistance	1 GΩ up	
operating environments	temperature	-20~+70°C(T6), -20~+90°C(T5)	
	weight	sensor : 60 g/M down	
	film adhesive	acrylic, silicone, non-woven fabric	

고, 제작된 센서 필름의 최소 길이는 50 cm, rated voltage DC 5.0 V, current 1.06 μA, input entity parameter는 $E \leq 28$ V, $I \leq 93$ mA의 전기적 특성을 갖도록 제작하였다.

Fig. 10. Electrical resistance graph according to reaction time of each fluids.

Fig. 11. Testing environment of the hydrocarbon liquid leak detection sensor system.

실험 및 성능 분석을 위해 사용된 센서 필름의 물리적인 구조 및 전기적인 특성은 Table 1과 같다.

구현된 film의 두께는 약 200~300 μm 이며, 폭은 28 mm에 오차 10% 정도로 제작되었다. sensing 기능을 수행하는 도전성 PE는 다공질 polymer film 개발에 따라 기름에 반응하게 되고, 전기적 회로를 구성하는 silver는 nano 입자인 silver ink를 사용하여 구현되었다.

또한, 필름형 센서와 센서 제어 장치를 연결한 후 실험 및 성능분석을 수행한 결과 휘발유, 경유, 등유, 톨루엔 등 오일의 화학적 반응시간을 알아본 결과 Fig. 10과 같이 오일의 종류에 따라 약 3 m~10 min 까지 다양하게 나타나는 것을 확인하였다.

5. 결과 및 고찰

5.1 실험 환경

Fig. 12. Synthetic lube oil and hydraulic fluid operation test.

Table 2. Testing list & methods of hydrocarbon liquid leak detection sensor of developed film type sensor

	Division		Result
Tensile Strength	-sensor+connector, connector+signal cable, separating sensor film -checking tensile strength by test speed 100 mm/min		>Avg.300N
Detecting accuracy	-Sensor length (0.5 M), Resistance (0,5 or 0.2 MΩ) -Buzzer & LED turn on (Except power LED)		
Fluids reaction	Liquid Gasoline Lube Oil Hydraulic Fluid Insulting Oil Bunker Oil Isoprophyl Alcohol	Detection Time within 29 second within 2 minute within 1 minute within 1 minute within 30 minute Not Detected	Action (Drop 1ml of fluid on the sensor film ; 0.5 M)
Temp.& Hum.	Sensor length (0.5 M), Temp & Hum. (55°C/85%R.H.), Run time (24 h)		Action
waterproof	Sensor length (1 M), Temp. & Hum. (40±5°C/90~95%R.H.), Time (48 h)		Action
Splitting resistance	Sensor length (1 M), Temp. (-25°C±3°C/85±3°C), Time cycle (Each 30 min., 10 cycle) 180° strength peeling test by KS T 1028 after & before temp. cycling test		Avg. 20N
Thermal shock	Sensor length (1 M), Temp.(-25°C±3°C/Non 85±3°C), Time (Each 30 min., 10 cycle)deformation		

본 논문에서 구현한 윤활유 및 작동유 검출 센서는 특화된 인쇄전자 기법을 이용하여 필름 형태로 제작되었으며, 제작된 필름형 센서와 센서 제어 장치 및 센싱 데이터를 수집, 처리, 분석할 수 있는 모니터링 S/W를 이용하여 Fig. 11처럼 윤활유 및 작동유 검출 센서 시스템 실험 환경을 구현하였다.

또한 구현된 윤활유 및 작동유 감지 필름형 센서의 반응시간을 측정하기 위해 사용된 장비는 필름형 센서제어장치 2대, start 와 end connector 10개, multi tester 1대, DC converter 1대 및 윤활유 및 작동유 등 실험 용액을 사용하여 Fig. 12와 같이 동작 시험을 하였다.

Table 3. Electrical resistance values according to reaction time of each fluids

sec	Test Solution		
	Lube Oil	Hydraulic Fluid	Insulating Oil
N 0(base)	480	185	190
S 10	531	197	210
15	542	405	250
20	565	420	260
30	585	504	310
35	587	623	320
40	602	839	410
50	850	1,042	500
60	1,300		650
120			
operation	500 kΩ changes		100 kΩ changes

* temperature : 25.4°C / humidity : 26%, unit : KΩ

5.2 결과 및 고찰

본 논문에서 구현된 윤활유 및 작동유 검출 센서의 정상 동작 및 센서 안정도 실험을 확인하기 위하여 Table 2와 같이 한 국기계전기전자시험연구원(KCT)과 Yumin Sensor Technology 에서 각 시험항목을 토대로 센서 동작시험, 온습도 시험, 액체별 작동시험, 박리강도 시험, 열충격 시험, 내습성 시험, 인장강도 시험 등을 수행하여 안정된 동작을 확인하였다.

Table 3은 용액별 테스트를 위한 센서제어장치의 기본 저항 값에 대한 반응시간 결과를 나타낸 것이다. 센서제어장치의 반응유무를 확인하기 위해 필름형 윤활유 및 작동유 센서와 multi tester를 이용하여 센서 내부 저항의 변화를 확인하고, 초기 저항값 체크 후, 시료(0.5 M)의 중앙에 스포이드를 이용하여 용액(휘발유, 윤활유, 절연유 등) 0.5 ml 투하하여, 반응 시간별 센서의 저항값 변화 확인 및 용액별 센서 반응속도를 실험하였다. 0.5 ml 투하한 것은 최소의 용액으로 센서가 반응하는 정도를 실험한 것으로 정상 동작을 확인하였다. 또한 S는 용액이 있을 때의 저항 값을 나타내고, N은 용액이 없을 때 저항 값을 나타낸 것이다.

Table 3, Fig. 13에서처럼 온도 : 25.4°C / 습도 : 26%의 상온에서의 실험 결과 시간에 따른 저항의 변화는 시간이 변함에 따라 용액의 휘발성에 의해 저항 값이 점차 증가하는 것을 확인하였으며, 윤활유 및 작동유는 500 kΩ 절연유는 200 kΩ까지 도달하는 시간에 따라 동작하도록 하였으며 절연유 28 sec, 작동유 36.5 sec 및 윤활유 60.5 sec로 윤활유가 가장 늦게 반응하는 것을 확인하였다.

Table 4, Fig. 14는 본 논문에서 구현된 필름형 윤활유 및 작동유 감지 센서의 용액별 시험을 수행한 결과이다. 용액의 화학

Fig. 13. Electrical resistance graph according to reaction time of each fluids.

Table 4. sensor reaction time test result by each hydrocarbon fluids

controller setup	Lube Oil	Hydraulic Fluid	Insulating Oil
base resistance	500 KΩ	180 KΩ	200 KΩ
250 KΩ	35 sec	28 sec	46 sec

Fig. 13. Sensor reaction time test by hydrocarbon fluids.

적 성분 특성에 따라 저항 값의 변화와 반응 시간의 변화를 나타낸 것이다. 실험 결과 액체의 화학적 특성, 물리적 접촉량, 주변 온도의 영향 등에 따라 저항 값의 변화를 초래하게 되고 따라서 윤활유 및 작동유의 검출시간이 다르게 나타나는 것을 확인하였다.

6. 결 론

본 논문에서는 기존 필름형 누수 감지 센서가 윤활유 및 작동유(lube oil and hydraulic fluid) 검출을 못하는 단점을 보완하여 새로운 윤활유 및 작동유 감지 필름형 센서를 구현하였다. 본 논문을 통해 구현된 윤활유 및 작동유 검출 필름형 센서의

정상동작을 확인하기 위해 센서에 용액별(윤활유, 작동유, 절연유)로 0.5 ml 씩 접촉하여 제어장치의 저항 값의 변화와 센서 기능의 반응 테스트 진행하였다. 실험 결과 용액의 접촉 후 시간에 따라 실험 용액과 윤활유 및 작동유 센서 소재인 도전성 PE의 화학적 반응에 의해 저항 값이 점차 증가하는 것을 확인 할 수 있었다. 또한 필름형 윤활유 및 작동유 센서의 시간에 따른 저항 변화 및 반응 속도는 절연유가 가장 좋은 것으로 확인하였으며, 합성 윤활유의 경우 저항 변화 및 반응 속도가 가장 늦은 것을 확인할 수 있었다.

본 논문에서 구현된 필름형 윤활유 및 작동유 검출 센서는 발전소, 반도체, 정유, 화학, 조선 산업 등 기존의 산업시설 등에 설치가 용이하고, 산업 설비 등의 윤활유 등 기름 유출시 관제시스템에 보고함으로써 정밀한 윤활유 및 작동유 액체검출 위치정보를 파악하여, 산업재해와 환경오염 문제를 조기에 발견하고, 대형 사고를 미연에 방지할 수 있는 각 분야에 응용이 가능할 것으로 기대한다.

REFERENCES

- [1] B. K. Sohn, "Sensor technology trends and FET type micro sensor", *The Korean Physical Society*, Vol. 8, No. 1, pp. 3-6, 1999.
- [2] N. J. park, H. K. Yu, and H. W. Lee, "Implementation of sensor controller and monitoring system using film type", *The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, pp. 17-22, Ajou Univ., Korea, 2013.
- [3] N. J. Park and H. K. Yu, "Sensor controller development using tape type film sensor", *Korea Institute of Information and Telecommunication Facilities Engineering*, pp. 23-25, Korea, 2012.
- [4] S. Jung and H. Y. Hee, "Development of roll engraving technology using laser, machine and material", *KIMM*, Vol. 39, pp. 99-110, 1999.
- [5] X. Yin and S. Kumar, "Flowvisualization of the liquid-emptying process in scaled-up gravure grooves and cells", *Chemical Engineering Science*, Vol. 61, pp. 1146-1156, 2006.
- [6] D. S. Kim and T. M. Lee, "Printed electro-mechanical system", *Journal of the Korean Society for Mechanical Engineering*, Vol. 46, pp. 38-44, 2006.
- [7] C. S. ACE, *Special Security USN System*, Chang Sung ACE Co., Ltd., pp. 5-6, 2014.
- [8] B. O. Choi and D. S. Kim, "Study on the roll printing process for fine line width printing", *Journal of the Korean Society for Mechanical Engineering*, Vol. 46, pp. 67-73, 2006.
- [9] Y. B. Park, "A study on carbon-fiber-reinforced composites surface-modified with carbon nanomaterials", *Korea Foundation for the Advancement of Science & Creativity*, Seoul, Korea, pp. 1-5, 2013.
- [10] NAVER, Carbon Black, <http://www.naver.com/>(retrieved on May. 7, 2014).