

## 지지애자의 표면오염 모니터링 기술 및 장치

길경석<sup>1,a</sup>, 박대원<sup>1</sup>, 정광석<sup>1</sup>, 김선재<sup>1</sup>, 서동환<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 한국해양대학교 전기전자공학부

### Monitoring Technique and Device of Surface Contamination for Line-Post Insulator

Gyung-Suk Kil<sup>1,a</sup>, Dae-Won Park<sup>1</sup>, Kwang-Seok Jung<sup>1</sup>,  
Sun-Jae Kim<sup>1</sup>, and Dong-Hoan Seo<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Division of Electrical and Electronics Engineering, Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

(Received January 26, 2010; Revised March 23, 2010; Accepted April 6, 2010)

**Abstract:** Line to ground faults by deterioration of insulators has frequently occurred in power system, and the main cause is surface contamination of the insulators. The contamination of insulator is analyzed by monitoring the surface leakage current flowing them. The suspension insulator is monitored by installation of a zero-phase current sensor(ZCT), but the line-post insulator is impossible to apply the same method because of its large diameter structure. This paper proposed a detection method of surface leakage current for a line-post insulator, and it can easily be applied to new and/or built insulators. The leakage current is indirectly calculated from the potential difference between the metal electrode attached on the surface of insulator and the ground connector. To evaluate the performance of the proposed method, the leakage current is compared as a function of contamination condition controlled by the density of NaCl solution. The leakage current is proportioned to the density of NaCl solution, and the voltage detected by the electrode showed the same trend. From the experimental results, we designed and fabricated a monitoring device which is composed of a detection electrode, signal converter, microprocessor, and ZigBee, and its measurement range is 10  $\mu$ A~5 mA.

**Keywords:** Line-post insulator, Contamination, Surface leakage current, Detection electrode, Potential difference, Monitoring device

#### 1. 서론

송배전, 발전전 및 철도의 급전설비 등의 전력계통에는 선로 및 기기의 충전부를 대지로부터 절연을 위해 각종의 애자(insulator)가 사용되고 있다 [1-6]. 이들 애자는 표면에 부착되는 먼지, 분진 등에 의해 절연성능이 저하되면서 절연이 파괴되어 1선 지락사고에 이르게 된다. 특히, 분진이 많이 발생하는 터널

내부와 공장지역에 설치된 애자는 표면 오염이 타지역에 비해 빠르게 진행되므로 전력공급의 신뢰성 확보를 위해 이들 애자의 표면 오염 관리가 필요하다 [7-10]. 애자의 표면 오염도 관리는 애자 표면을 흐르는 누설전류의 변화로 분석할 수 있다. 현수애자는 단위 애자를 여러 개 직렬로 구성되므로 접속부에 영상변류기(ZCT, zero-phase current transformer)의 설치가 가능하지만, 지지애자는 금속체 및 접지선으로 대지에 직접 접지되므로 구조상 영상변류기에 의한 표면누설전류의 검출은 불가능하다.

a. Corresponding author; kilgs@hhu.ac.kr

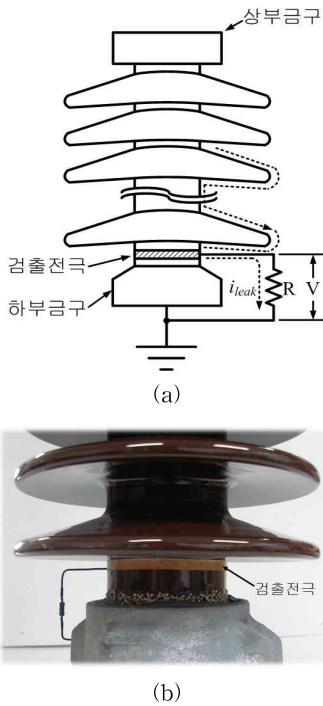


Fig. 1. Detection principle of surface leakage current (a) Conceptual illustration (b) Photograph.

현재까지 애자의 오염도 관리는 극히 제한적으로 진행되어 오고 있을 뿐, 일반화되지 못하고 있다. 또한 관련 특허기술도 누설전류 검출에 변류기(CT, current transformer)를 이용하거나 오염도 관리용 애자를 별도로 설치하여 변류기에 의한 누설전류를 검출하고 있다 [11-13]. 이 외에 실질적 활용이 가능한 누설전류 검출방법은 제시되지 않고 단순히 시스템 구성에 초점이 맞추어져 있다. 따라서 본 논문에서는 애자의 상시 오염도 관리에 핵심기술로 기설 및 신설 애자에 모두 적용할 수 있는 전위강하법에 의한 표면누설전류 검출기술과 모니터링 장치에 대하여 연구하였다.

본 논문에서 제안한 표면누설전류 검출기법은 간단한 구조의 검출전극과 저항을 사용한 방법이며 모니터링 장치는 시간, 표면누설전류의 크기 및 주위온도에 대한 분석이 가능하도록 설계하였다.

2. 이론

본 논문에서 제안한 표면누설전류 검출방법은 그림 1과 같이 금속성 전극을 애자표면에 설치하여 누설전류

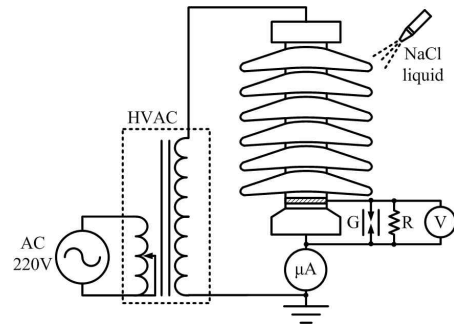


Fig. 2. Configuration of the experimental apparatus.

Table 1. Specification of NaCl solution.

	Density [g/ℓ]	pH
#1	0	7.5
#2	15	7.5
#3	50	7.5
#4	100	7.5

$i_{leak}$ 를 포집하고, 저항 R양단의 전압강하를 측정하면 식 (1)에 의해 간접적으로 표면누설전류를 산출할 수 있으며 애자의 표면누설저항에 비해 검출전극의 접촉저항이 상대적으로 대단히 작기 때문에 접촉상태에 영향을 받지 않는다.

$$i_{leak} = \frac{V}{R} [\mu A] \tag{1}$$

3. 결과 및 고찰

애자 오손에 따른 표면누설전류를 측정하기 위하여 그림 2와 같이 실험계를 구성하였다. 표면오염을 모의하기 위하여 표 1에 나타난 것과 같이 4종의 염화나트륨(NaCl) 수용액을 사용하였다. 건전한 애자에 15 kV까지 전압을 인가하면서 전체 및 표면누설전류를 측정하였으며, NaCl 수용액을 애자 표면에 분무하면서 동일한 실험을 반복하였다.

표면누설전류의 측정범위는 실제 상황의 오염도를 고려하여 10 μA~5 mA로 설정하였으며, 누설전류에 대하여 최대 10 V로 변환하도록 검출저항 R은 2 kΩ으로 하였다. 또한 과도전압으로 인한 측정기기의 파손을 방지하기 위하여 가스튜브를 설치하였다 [14].

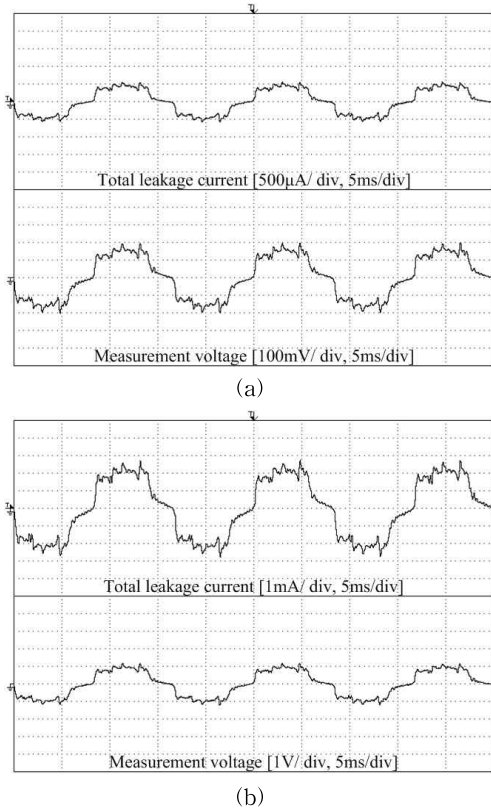


Fig. 3. Waveforms of leakage current in dry condition (a) 3 kV, (b) 15 kV.

건전한 애자에서 측정된 전체 및 표면누설전류 파형의 예를 그림 3에 나타내었다. 그림 3(a)는 3 kV인 가시 파형을 나타낸 것으로 전체누설전류는 384.6  $\mu\text{A}$ , 검출전극 양단의 전압은 140.8 mV로 이를 표면누설전류로 환산하면 70.4  $\mu\text{A}$ 가 된다. 그림 3(b)는 15 kV 인 가시 파형으로 전체누설전류는 1.96 mA, 검출전극 양단의 전압은 738.3 mV로 마찬가지로 이를 누설전류로 환산하면 369.2  $\mu\text{A}$ 이다.

그림 4는 농도 100 g/l 인 NaCl 수용액을 분무했을 때 전체 및 표면누설전류의 파형으로 3 kV 인가 시 전체 누설전류는 435.9  $\mu\text{A}$ , 검출전극의 양단 전압은 154.9 mV로 이는 77.5  $\mu\text{A}$ 의 누설전류에 해당한다.

또한 15 kV 인가 시 전체누설전류는 2.3 mA, 검출전극의 양단전압은 841.18 mV가 측정되어 표면누설전류는 421.1  $\mu\text{A}$ 로 산출되었다.

본 논문에서 제안한 검출방법은 검출전극의 양단 전위차와 표면누설전류의 상관관계가 대단히 중요하며, 그림 5와 같이 최대 2.5 mA까지 전 구간에서 동일한 선형성을 보였다.

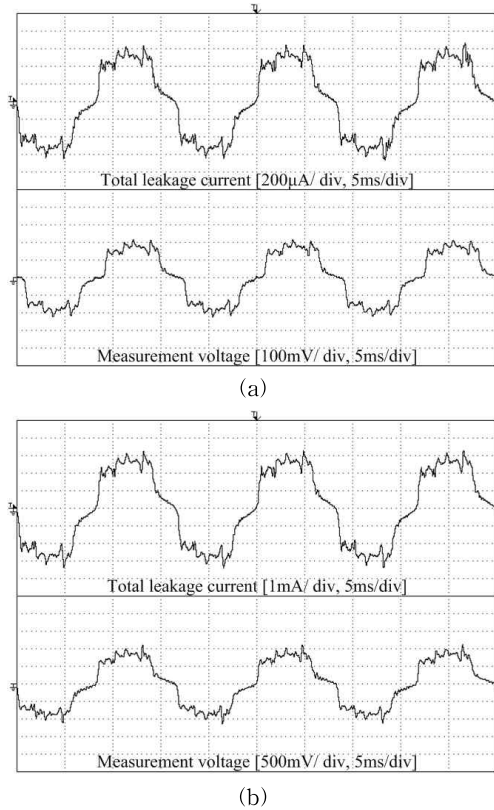


Fig. 4. Waveforms of leakage current in spaying NaCl solution (a) 3 kV, (b) 15 kV.

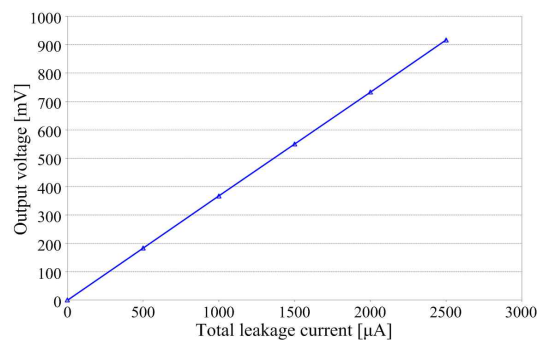


Fig. 5. Output voltage as a function of total leakage current.

애자오손에 따른 표면누설전류는 그림 6과 같으며 NaCl 수용액의 농도가 높을수록 누설전류가 증가하는 경향을 나타내었다. 15 kV 전압 인가 시 건전한 애자의 표면누설전류는 369.2  $\mu\text{A}$ 였으며, 표 1에 나타낸 4종의 NaCl 수용액을 분무했을 때는 각각 381.5  $\mu\text{A}$ ,

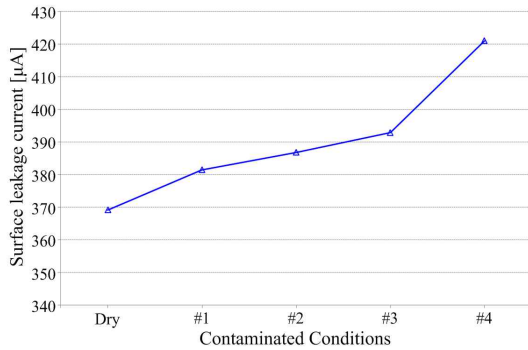


Fig. 6. Changes of surface leakage current to contamination.

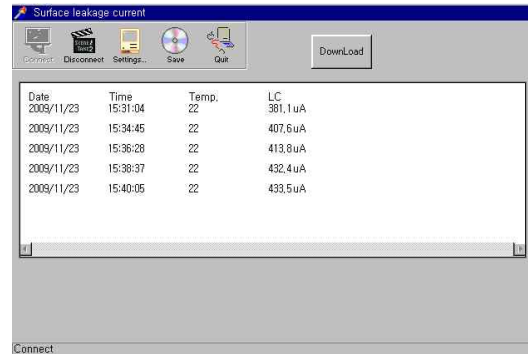


Fig. 8. Example of transferred data.

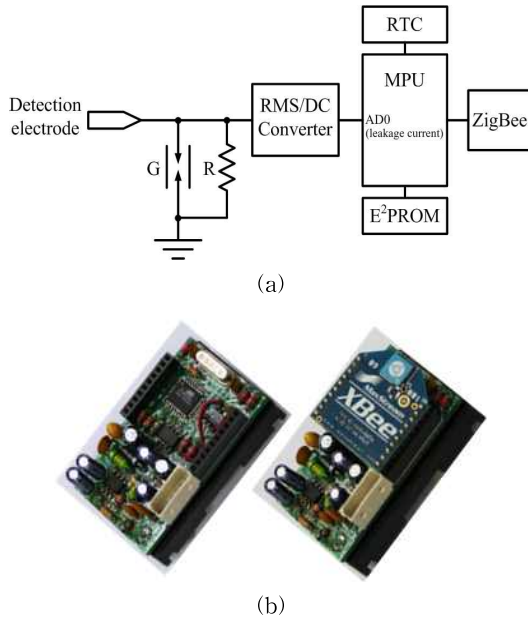


Fig. 7. The prototype surface leakage current monitoring device (a) Block diagram, (b) Photograph.

386.8  $\mu\text{A}$ , 392.9  $\mu\text{A}$ , 421  $\mu\text{A}$ 이었다. 100 g/l의 NaCl 수용액을 분무하는 다른 상태보다 누설전류가 크게 증가하였다.

본 논문에서 제안한 표면누설전류의 검출기술을 적용하여 그림 7과 같이 모니터링 장치를 설계·제작하였다. 검출전극 양단의 전압은 실효값을 직류(RMS to DC)로 변환하여 MPU에 내장된 10 bit A/D 컨버터에 전달되고, 비휘발성 메모리 E<sup>2</sup>PROM에 저장된다. 이 때의 시각 정보는 RTC (real time clock)에서 제공한다.

제작한 모니터링 장치를 검출전극 양단에 설치하고 100 g/l의 NaCl 수용액을 분무한 후 적용성을 평가하였다. 시제작한 장치는 5초마다 표면누설전류, 온도를 측정하여 내장메모리에 저장하고, 1분 간격으로 IEEE 802.15.4 표준에 의한 단거리 ZigBee 무선통신으로 개인용 컴퓨터에 전송한다. 그림 8은 모니터링 장치에서 검출한 표면누설전류와 온도 데이터를 ZigBee 무선통신을 통해 PC로 전달된 데이터의 예를 나타낸 것이다.

본 논문에서는 장치와 PC간 일대일 통신의 데이터 교환을 하지만, 동일 프로토콜로 유비쿼터스 센서네트워크(USN)의 구성이 가능하다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 지지에자의 상시 오염상태 관리를 위한 애자 모니터링 기술 및 장치에 대하여 기술하였다. 표면누설전류의 검출방법은 금속성 전극을 애자 표면에 설치하고 본 전극과 애자의 하부금구 사이에 저항을 설치하여 저항 양단의 전압강하를 누설전류로 환산하는 것이다.

건전한 애자와 오염을 모의한 애자를 대상으로 오염에 따른 전체 및 표면누설전류를 측정된 결과, 애자의 오염에 따라 표면누설전류가 증가하는 경향을 보였으며 농도 100 g/l의 NaCl 수용액 분무 시 다른 조건과 비교하여 더 크게 증가하였다. 실험결과를 바탕으로 전력계통에 설치되어 있는 지지에자에 적용이 가능한 모니터링 장치를 제작하였다.

본 연구에서 제안한 표면누설전류 검출기술 및 장치는 기설 및 신설애자에 쉽게 적용이 가능하며, 애

자오염에 대한 제반정보를 알 수 있으므로 전력설비 절연감시장치로도 광범위하게 적용할 수 있을 것으로 생각한다.

### 감사의 글

본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술진흥원의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임.

### REFERENCES

- [1] J. W. Chang and R. S. Gorur, *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.*, **1**, 1039 (1994).
- [2] H.-H. Lee, J.-S. Lim, S.-Y. So, and J. Lee, *J. KIEEME* **20**, 188 (2007).
- [3] S. Kumagai and N. Yoshimura, *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.* **11**, 681 (2004).
- [4] R. S. Gorur, J. Montesinos, L. Varadadesikan, S. Simmons, and M. Shah, *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.* **4**, 767 (1997).
- [5] M. Otsubo, T. Hashiguchi, C. Honda, O. Takenouchi, T. Sakoda, and Y. Hashimoto, *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.* **10**, 1053 (2003).
- [6] A. Cavallini, S. Chandrasekar, and G. C. Montanari, *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.* **14**, 23 (2007).
- [7] H.-G. Cho, D.-H. You, U.-Y. Lee, and H.-N. Kim, *J. KIEEME* **20**, 273 (2007).
- [8] G. Montoya, I. Ramirez, and J. I. Montoya, *Proc. IEE Generation, Transmission and Distribution* **151**, 334 (2004).
- [9] S. Chandrasekar, C. Kalaivanan, A. Cavallini, and G. Montanari, *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.* **16**, 574 (2009).
- [10] R. Sarathi and S. Chandrasekar, *Electr. Power Syst.* **68**, 137 (2004).
- [11] B.-W. Min and H.-C. Myoung, Korea Patent, 1009310210000 (2009).
- [12] A. E. Vlastos and T. Orbeck, *IEEE Trans. PD*, **11**, 1066 (1996).
- [13] T. Suda, *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.* **8**, 705 (2001).
- [14] IEEE Std. C62.42, *IEEE Guide for the application of gas tube arrester low-voltage surge-protective devices* p. 23, 1992.