

## 154kV 활선 애자련의 불량애자를 검출하는 활선애자 점검기 개발

이재경\*, 박준영, 오기용, 조병학  
한국전력공사 전력연구원

### Development of Inspection Tool for 154kV Live-line Insulator string

Jae-Kyung LEE, Joon-Young Park, Ki-Yong Oh  
Korea Electric Power Research Institute

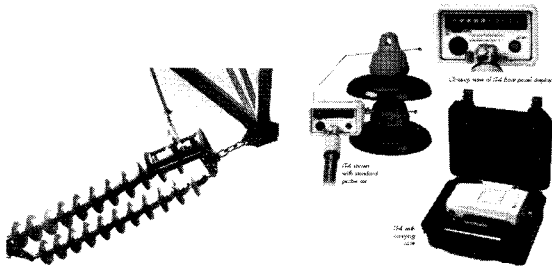
**Abstract** - To prevent an insulator failure, a new inspection system is presented for 154kV insulator strings. The inspection system detects fault insulators by measuring resistance and voltage of each insulators in the 154kV insulator string. The inspection instrument obtains autonomously insulation resistance and assigned voltage along the insulator string. The insulator inspection instrument is manipulated by two operators. In addition, a set of mechanism is applied to prevent the system from being reset under live-line condition. We confirmed its effectiveness through experiments.

#### 1. 서 론

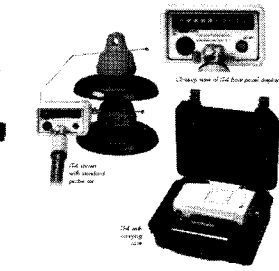
송전선로에 절연물로 사용되는 애자는 제조 과정에서 미세한 결함이 존재할 수 있으므로, 현장에 설치되기 이전에 충분한 검사가 이루어져야 한다. 또한, 설치 이후 애자는 장시간의 사용 기간 동안 고전압 스트레스, 기계적 스트레스, 열 스트레스 및 환경 스트레스 등으로 인하여 열화가 진행되기 때문에 정기적인 점검이 필요하다.

그러나, 현재까지 개발된 대부분의 애자 점검장치는 작업자가 수동으로 검출하는데 사용되는 검출기이다. 현재 국내에서 가장 많이 사용하는 전계식 불량애자 검출기[1][2]는 캐나다의 Positron사에서 최초로 개발하였으며, 애자련 주변의 전계 분포를 측정하여 애자를 점검한다. 검출기에는 스킴드(skid)가 설치되어 있어서 검출기가 애자련을 따라 이동할 때 일정한 자세를 유지할 수 있도록 유도하는 구조를 가지고 있다.

미국 HD Electric 사는 활선 상태에서 절연저항을 측정하는 방식의 활선 애자점검기를 개발하여 판매하고 있다. 하지만, 이 제품은 교류 바이패스 콘덴서를 시험대상 애자에 접속하는 방식을 채용하고 있어서 시험 대상애자의 분담전압을 불필요하게 상실시키는 단점을 가지고 있다. 이 활선 애자 점검기는 절연봉에 접속되어 사용되므로 애자련의 길이가 비교적 작은 154kV급 이하에서 주로 사용되고 있다.[3]



〈그림 1〉 전계식 불량애자 검출기



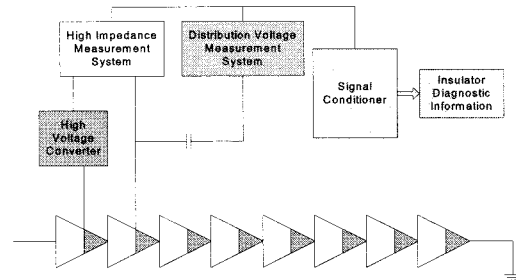
〈그림 2〉 HD Electric사의 애자점검기

본 연구에서는 상기와 같은 종래의 문제점을 해결하기 위하여 절연저항과 분담전압을 동시에 측정하여 애자의 건전성을 평가하는 방법을 제안하고, 이를 이용하여 애자를 정밀 점검할 수 있는 수동식 불량애자 검출기를 개발하였다. 개발한 불량애자 검출기는 활선상태에서 애자의 분담전압을 유지하면서 절연저항을 측정할 수 있다. 수집된 절연저항 및 분담전압 데이터는 원격지의 사용자에게 무선통신을 이용하여 데이터를 전송하고, 원격지의 컴퓨터는 수신된 정보를 사용자에게 바로 보고하고, 수집된 데이터를 보고서 작성을 위하여 기록한다. 또한 제안된 불량애자 검출기를 이용하여 불량애자 검출작업을 수행함으로써 그 성능을 확인하였다.

#### 2. 수동 활선애자 점검기

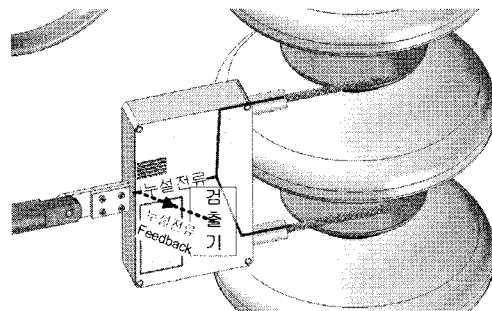
수동 활선애자 점검기는 크게 활선애자 점검 기구부, 활선애자 점검 모듈과 수동애자 점검기로 구성된다. 활선애자 점검모듈은 활선상태에서 애자의 분담전압을 측정하고 절연 저항을 측정하여 애자의 상태를 점검하는데 이용된다. 또한 수동애자 점검기 제어모듈은 절연저항 측정모듈을 제어하고, 원격 조정기로부터 명령을 수신 받아 해당되는 명령을 수행하도록 한다.

#### 2.1 수동 활선애자 점검기 기술개발 개요



〈그림 3〉 154kV 수동활선애자 점검기의 구조

그림 3은 154kV 수동활선애자 점검기의 구조를 보여준다. 154kV 수동 활선애자 점검기는 절연저항 측정식 검출방법과 분배전압 측정식 검출방법을 동시에 사용하여 개발되었다. 절연저항 측정식 검출방법은 검출기 내부에서 2000V 이상의 직류전압을 발생시켜 피 측정 애자의 양단에 인가하고 이 때 발생하는 직류 저항치를 측정하여 불량애자를 검출하는 방법으로서 전원부가 직류전압 가압부가 되도록 하여 사용하여야 한다. 또한 탐침부의 끝단이 애자 하단부의 초고압에 직접 접촉하게 되므로 탐침부 지지봉 및 외부 케이스로 누설 전류가 흐르게 된다. 이 누설전류는 애자 절연 저항 측정 및 분배전압 측정에 오차를 가져오게 된다. 따라서 이 누설전류를 억제하기 위하여 절연봉과 수동 활선애자 점검기가 결합하는 부분에서 누설전류가 다시 검출부로 Additive feedback 하는 Path가 존재한다. 그림 4는 누설전류가 검출기로 흘러들어가는 통로를 보여준다.



〈그림 4〉 누설전류의 Additive Feedback Path

활선상태에서 애자련은 송전선로의 고전압이 애자련에 의하여 절탐의 각 상별 Arm에 분배전압이 분포하게 된다. 따라서 분배전압 측정기가 애자에 접속 시 분배전압의 변화를 최소화하기 위하여 300MΩ의 분배저항을 이용하여 분담전압을 유지시키고 고압의 신호에서 오차를 최소화하기 위하여 직류 Bypass Capacitor를 이용하여 순수 분담전압 부분만을 추출 해 낸 뒤 그 크기를 측정한다.

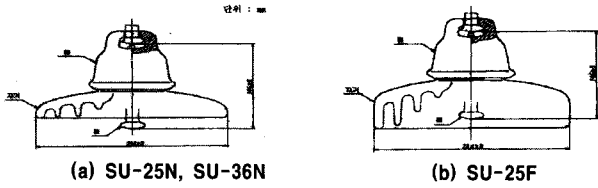
#### 2.2 수동 활선애자 점검기 기구부

표 1은 154kV 송전선로용 애자의 종류와 규격을 나타낸 것이다. 수동 활선애자 점검기의 적용대상인 154kV 송전선로의 경우에는 애자의 형상은 다르지만 기준 치수는 동일한 형태의 애자가 장착된 것을 볼 수 있다. 따라서, 154kV 송전선로에는 동일한 형태와 크기의 수동 활선애자 점검기로도 적용이 가능함을 확인할 수 있다. 그림 5는 154kV 송전선로용 애자의 치수와 형상을 보여준다.

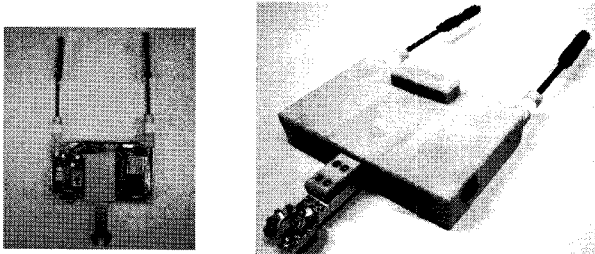
그림 6은 제작된 수동 활선애자 점검기의 기구부를 보여준다. 수동 활선애자 점검기의 내부는 그림 6에서 볼 수 있듯이 제어기 및 측정 회로 장착 시 그 내부에 빈 공간이 거의 없도록 설계하였고, 테프론 계열의 스프링 지

〈표 1〉 154kV 송전선로용 애자 종류와 규격

시 방 번호	기 호	치수(mm) (직경×높이)	과전파괴하중 kgf/(Pound)	자기부 색
ES 131-540	SU-25N	254×146	12,000/(25,000)	회 색
ES 131-543	SU-36N		16,500/(36,000)	갈 색
ES 131-560	SU-25N		12,000/(25,000)	회 색



〈그림 5〉 154kV 송전선로용 애자 형상과 치수

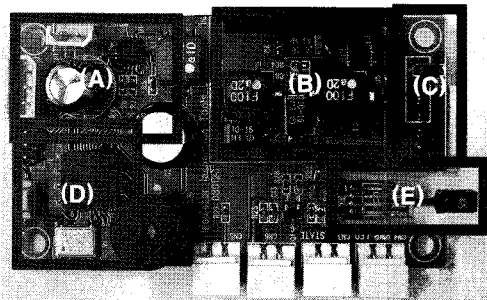


〈그림 6〉 수동 활선애자 점검기 외형구조

지대도 케이스 바깥쪽으로 덜 나오도록 케이스 내부로 더 삽입되는 형태로 설계하였다. 또한, 애자 캡과 Probes의 보다 원활한 접촉을 위하여 금속 재질의 솔을 Probe 끝단에 장착하였다. 그 결과, 제작된 수동 활선애자 점검기는 크기가 168mm × 110mm × 37mm, 무게가 0.6Kg으로 작고 가벼워 절연봉에 장착하여 사용 시 측정 작업을 원활하게 수행할 수 있다.

2.3 수동 활선애자 점검기 제어기

수동 활선애자 점검기 제어기는 154kV 가압선 환경 하에서 동작해야 하므로 매우 고전압 하에서도 동작 될 수 있도록 설계되어야 한다. 그림 7은 수동 활선애자 점검기의 제어기를 보여준다.

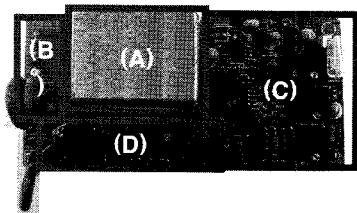


〈그림 7〉 수동 활선애자 점검기 제어기

수동 활선애자 점검기는 12V 전원 전압을 5V Logic Voltage로 변환하여 주는 DC-DC 컨버터(A), BlueTooth Module를 사용하기 위하여 5V에서 3.3V의 전원을 생성하는 3.3V 전원 생성부(B), Megger의 입력전압을 제어하는 메거 전원 제어부(C), 제어기 Microprocessor(D), 온도도 측정센서(E)로 구성되어진다.

2.4 절연저항 측정모듈

그림 8은 절연저항 측정모듈을 보여준다. 절연저항 측정모듈은 고전압 발생기(A), 고전압 출력부(B), 신호 수집부(C), Signal Conditioner(D) 로 구성되어 있다.



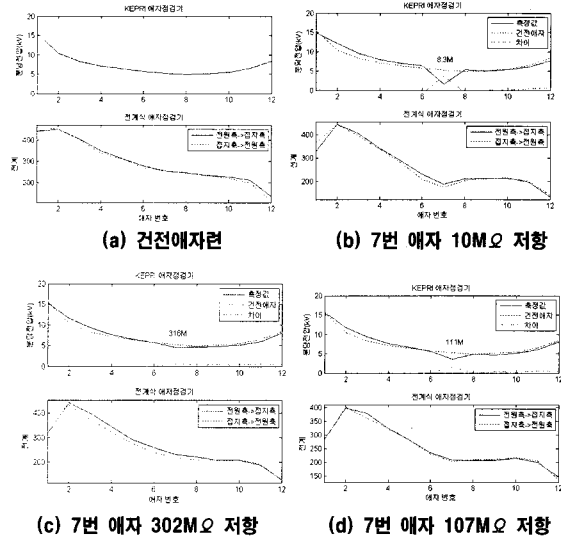
〈그림 8〉 절연저항 측정모듈

고전압 발생기는 약 2000V의 고전압을 출력하는 소자로서 Control 신호를 인가하고 약 350mS 이후 고전압이 출력되게 되어있다. 고전압 출력부

(B)는 고전압 출력모듈에서 발생된 고전압 신호를 출력부 까지 연결하는 부분으로서 안전성을 향상시키기 위하여 100KΩ을 이용하여 단락을 방지하고 있다. 신호 수집부(C)는 출력된 고전압이 외부 환경의 정보를 담고 다시 회로도 들어오는 부분으로서 Guard Ring과 Air Wiring 기법을 이용하여 누설 전류를 최소화한다. Signal Conditioner(D)는 신호수집부에서 출력된 신호를 받아들여 Low Pass Filtering 및 신호의 증폭을 담당한다. 또한 분담전압을 받아들여 그 값을 RMS 수치로 변환하여주는 Signal Conditioner가 내장되어 있다.

3. 수동 활선애자 점검기 성능시험

절연저항 측정시험을 수행하기 위해서는 다양한 범위의 절연저항 값을 가지는 불량애자 시료가 필요하였다. 그러나, 실제 선로로부터 절거된 불량 애자들은 대부분이 10MΩ이하의 값을 가졌다. 이처럼 다양한 절연저항 값의 불량애자 시료를 구하기가 사실상 어려웠기 때문에, 실제 시험은 불량 애자 대신에 건전애자에 다양한 값의 저항을 병렬로 연결하여 수행하였다.



〈그림 9〉 절연 저항값에 따른 분담전압과 전계분포

그림 9(a)~(d)는 건전애자, 10MΩ, 302MΩ, 107MΩ의 값을 가지는 저항을 각각 7번 애자에 병렬로 연결하여 설치한 후 KEPRI 수동 활선애자 점검기와 전계식 측정기를 이용하여 각각 분담전압/절연저항과 전계를 측정 한 결과이다. 그림 9(c)에서 확인할 수 있듯이 애자의 절연저항값이 300MΩ이 되면 분담전압 분포에서 미약하기는 하나 분담전압의 저하 발생함을 알 수 있고, 이 전압 저하의 폭은 저항값이 100MΩ 정도로 낮아지면 비교적 분명하게 나타난다. 특히, 애자의 절연저항값이 50MΩ 이하가 되면 건전애자와 대비하여 50% 미만으로 전압 강하가 나타나 그 영향이 매우 분명하게 나타난다. 반면, 현행의 전계식은 300MΩ~100MΩ의 범위에서는 전계의 변화가 명확하게 나타나지 않아 불량애자 유무의 판정이 쉽지 않았고, 10MΩ 이하에서는 비로소 명확하게 불량애자의 존재 유무를 확인할 수 있었다. 이상의 절연저항값에 따른 분담전압 및 전계 분포 측정 실험을 통하여 불량애자 검출의 정밀도는 <절연저항><분담전압><전계식>순임을 확인할 수 있었다.

4. 결론

송전선로는 국가기간산업의 중추를 이루고 있어 고장이 발생할 경우 국가 경제 및 산업에 큰 파급효과를 가져오게 된다. 따라서 송전선로의 효율적인 정비를 통해 불시 정전을 사전에 예방하는 것이 절실히 요구된다. 하지만, 송전선로가 주로 산악지대에 방대하게 분포되어 있고 또한 그 작업 환경이 고소·고압으로 위험하기 때문에 사회적인 3D 기피 현상과 맞물려 활선 애자 정비 인력의 확보가 점차 어려워지고 있는 실정이다. 따라서 첨단기술의 산물인 로봇을 적극적으로 활용하여 송전애자를 안전하게 점검하여 불시정전을 미연에 방지하는 적극적인 예방정비 기법의 개발이 필요하다. 이를 위하여 본 과제에서는 154kV 송전선로 애자 점검을 위한 수동 활선애자 점검기를 개발하고 활선 성능 시험을 통해 그 효율성을 확인하였다.

〔참고 문헌〕

[1] K. Naito, T. Irie, H. Fujita, and S. Kato, "Faulty Insulator Detector for Transmission Line," NGK Review, No. 44, pp.11~25, 1982.  
 [2] K. Takashi, O. Shigeru(NGK Insulators, Ltd.), "Method for Detecting Defective Insulator," Japanese Patent No. 2192625, July 30, 1990  
 [3] 박준영, 조병학, 변승현, 이재경, "활선 현수애자리 자동 청소 및 점검용 로봇시스템의 개발과 적용", 한국정밀공학회지, 제 23권호, 2007년