

Pulse current method를 이용한 154kV급 송전용 자기 애자의 누설 전류의 펄스 분석

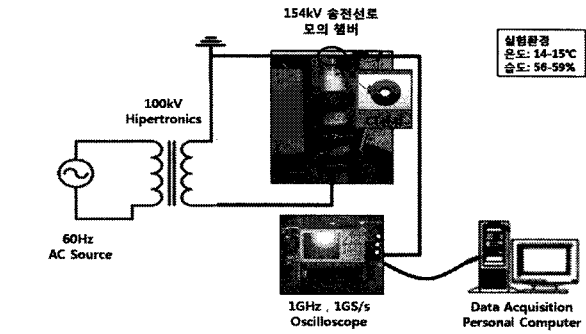
이슬기¹, 류철취¹, 이방욱¹, 최광범², 구자윤¹
 한양대학교 SMDT Lab. 태광 E & C

Leakage Current Pulse analysis of Porcelain Insulator at 154kV Transmission Line by use of Pulse Current Method

Seul-Ki Lee¹, Cheol-Hwi Ryu¹, Bang-Wook Lee¹, Gwang-Beom Choi², Ja-Yoon Koo¹
¹SMDT Lab. Dept. of Electric Eng., Hanyang University ²Taegwang E & C

Abstract - 송전선로에 설치된 애자들은 지속적인 전기적·기계적 스트레스에 노출되어 있기 때문에 여러 환경적 요인으로 인해 애자 표면의 열화가 가속된다. 이와 같은 애자의 표면 열화는 dryband를 형성하게 되고 지속적인 애자 표면상의 dryband와 누설 전류 증가의 상호 작용은 애자의 섬락을 일으키는 원인이 된다.[1][2] 이러한 연구의 결과 고전압용 애자로 유입되는 누설 전류는 애자 열화의 정도를 평가할 수 있는 매우 중요한 parameter임을 알 수 있다. 따라서 고전압용 애자의 누설전류를 분석하고 취득하여 애자의 열화 평가 및 이로 인해 발생할 수 있는 결합 애자의 검출에 대한 연구가 절실히 요구되고 있다.

본 논문에서는 고전압용 애자 중 자기애자의 누설전류 특성을 조사하기 위해 자체 제작한 실험 챔버, AC내전압기, 전류센서, 오실로스코프, PC 등으로 구성된 실험 시스템을 구축하였고, 데이터 분석을 위한 S/W로서 LabView를 사용하였다. 그에 따른 실험 결과로서 정상 애자련과 결합 애자를 포함한 애자련의 누설전류 데이터를 취득하여 본 연구에서 제시한 알고리즘을 통해 분석함으로써 정상 애자 내의 결합 애자 포함 여부를 판별할 수 있었다.



〈그림 1〉 실험구성도

1. 서 론

옥외용 애자는 송전선로의 필수적인 절연물로 전력공급에 중요한 역할을 담당하고 있다. 그 중 자기애자는 전기절연성과 내구성이 우수하고, 경제적이고 화학적 안정도와 기계적 강도가 높으나 표면장력이 커서 표면 절연성이 떨어지고, 소재 특성상 가공이 힘들고 무거우며 인장특성이 약한 단점이 있다. 옥외용 애자가 전기적, 기계적 스트레스를 지속적으로 받게 되고 특히, 오염이 심한 환경일 경우에 염분이나 오염물질에 노출된 상태에서 주변 습도가 증가함에 따라 누설전류가 증가하며 부분방전이 발생하게 된다. 누설전류와 부분방전으로 인해 열의 발생이 지속되면 소재간의 열팽창 계수 차이로 인해 결합이 발생하게 되고, 그 부위에 지속적인 전계 집중이 가해지면 절연과파까지 이르게 되어 송배전 계통에 고장을 일으키는 원인이 된다.[3][4]

이와 같은 전력 사고의 예방을 위해 애자련 상의 결합 애자의 발생 여부를 판별할 수 있는 연구들이 수행되고 있으며, ultrasonic microphone, infrared image camera, laser Doppler velocimeter, pulse current method 등이 이에 해당된다.[5] Ultrasonic method는 ultrasonic sensor를 사용하여 측정 감도가 낮고, 송전선로에서 발생하는 코로나 방전에 의해 쉽게 영향을 받는 단점이 있다. 또한 Infrared image method는 infrared sensor를 사용하기 때문에 주변 온도의 영향을 받는다는 불확실성이 존재한다. Laser Doppler velocimeter는 결합 애자의 진동 주파수의 변화를 통해 작은 crack을 가진 애자를 검출하는 방식이나, laser를 송수신하기 위한 복잡한 장치들이 필요하다. 마지막으로 pulse current method는 애자의 누설 전류 펄스를 측정하여 결합 애자의 유무를 판별할 수 있는 기법으로서 주변 noise의 영향을 받는다는 단점이 있으나 상대적으로 여타 결합 애자 판별 기술들에 비해 신뢰성이 우수하고, 저가의 장비 구축이 가능한 장점이 있다.

본 연구는 결합 발생 여부를 판별하는 방법 중 애자에서 발생하는 결합 신호의 정량적인 분석이 가능하고 장비 구축이 용이한 pulse current method를 기반으로 하였다. 실험시료는 154[kV]급 36,000LBS 자기 애자를 사용하였으며, 애자련에 유입되는 누설전류를 저주파용 전류센서를 통해 결합 애자를 포함한 애자련과 정상 애자련의 신호 특성을 time-domain에서 분석하였다.

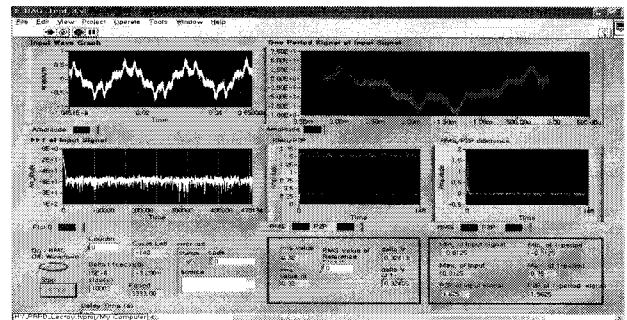
2. 본 론

2.1 실험 구성

애자의 누설전류를 측정·분석하기 위한 실험 구성은 그림 1과 같다. 실험 대상 애자에 전압을 인가하기 위한 챔버를 자체 제작하여 애자련 하단에 AC 내전압기(Hipertronics, AC 100kV)를 통해 전압을 인가하였으며, 애자로 유입되는 누설전류를 측정하기 위해 표 1과 같은 특성의 저주파 전류센서(current ratio: 5000:1, 10Hz~10kHz)를 애자련 상단 접지 측에 설치하였다. 전류 센서로부터 검출된 전류 신호는 Oscilloscope(LeCroy, 1GHz, 1GS/s)에 의해 전압 신호로 변환되어 취득되며, 취득된 전압 신호는 LabView ver. 8.5를 통해 V_{p-p} , V_{rms} , 펄스개수, adjacent-pulse magnitude difference 등의 형태로 분석된다.

subject	2mA to 8mA Signal Reaction Test					
Input	60Hz 2mA		60Hz 5mA		60Hz 8mA	
Burden & Output	1Ω	3Ω	1Ω	3Ω	1Ω	3Ω
	mV	mV	mV	mV	mV	mV
1	0.43	1.30	0.98	2.98	1.55	4.70
2	0.44	1.34	1.00	3.02	1.55	4.71
Remarks	Output Voltage = I _{input} / 5000 X Burden Current ratio = 5000 : 1					

〈표 1〉 CT experiment data



〈그림 2〉 데이터 분석 프로그램

실험 대상 중 정상 애자는 상용 송배전용 154[kV]급 36,000LBS (Alumina 함유량 17%)를 사용하였고, 결합애자는 정상애자와 동일 종류의 시료로서 실험선에 설치되어 운전 중 섬락 후 crack 결합이 확인되어 회수된 애자이며, 측정 결과 30[μ]의 저항치를 나타내었다.

2.2 실험 과정

154[kV]급 송전선로에 설치된 애자련의 1련 당 포함된 애자 개수는 9~11기이므로 9기의 애자련을 기준으로 하여 식(1)과 같은 phase voltage를 실험 전압으로 인가하였다.

$$\frac{154 [kV]}{\sqrt{3} \times 9} \times 3 \cong 30 [kV] \quad (1)$$

본 실험의 경우 시료 당 다음과 같이 3기씩의 애자를 사용했으므로, 매 실험마다 30[kV]의 전압을 인가하였으며, 실험 시료는 표 2와 같이 분류하였다.

결함유무 표면상태	정상 애자런 (정상애자 3기)	결함애자가 포함된 애자런 (정상애자 2기와 결함애자 1기)
건조상태	(1)번 시료	(2)번 시료
습윤상태	(3)번 시료	(4)번 시료

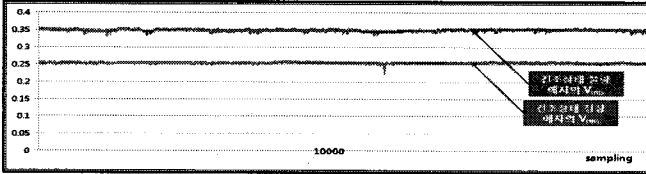
〈표 2〉 실험에 사용된 시료

선행 연구결과 결함애자가 고전압측에 위치했을 경우의 누설전류량이 다른 위치에서의 누설전류량보다 높게 나타났기 때문에 시료(2)와 (4)에서 결함애자를 고전압측에 위치시켰다.

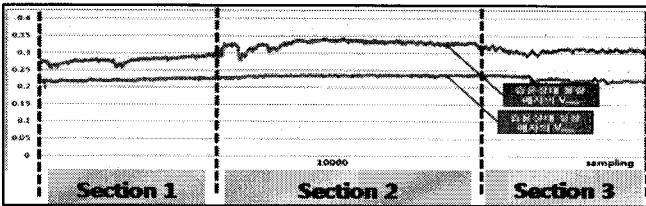
2.3. 누설전류의 신호 분석

2.3.1 시료별 V_{rms} 분석

30[kV]의 전압을 인가 한 뒤 전류센서에 의해 검출된 누설 전류 신호를 오실로스코프를 통해 취득한 후, LabView를 통해 5samples/sec의 sampling rate로 V_{rms} , V_{p-p} 값을 각각 분석하였다. 취득된 전압은 [V] 단위로 소숫점 6자리까지 측정하여 1시간동안 총 20,000개의 데이터를 취득하였으며, 취득된 V_{rms} 값을 그림 3에 나타내었다.



(a) 30kV를 인가하였을 때 실험시료 (1), (2)의 V_{rms} 파형



(b) 30kV를 인가하였을 때 실험시료 (3), (4)의 V_{rms} 파형

〈그림 3〉 30kV를 인가하였을 때 실험시료의 V_{rms} 파형

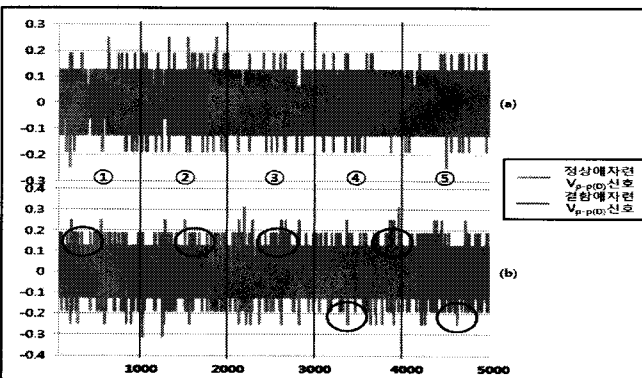
2.3.2. 시료별 V_{rms} 분석결과

그림 3.(a)와 같이 건조 상태일 때 전압 변동폭(voltage variation range)이 정상애자런일 경우 약 0.028[V], 결함애자가 포함된 애자런일 경우 약 0.026[V]로 비슷한 변화를 나타내므로 결함 애자의 포함 여부에 대한 판별이 불가능하다. 그러나 그림 3.(b)와 같이 습윤 상태일 때의 전압 변동폭은 정상애자런일 경우 약 0.029[V], 결함애자가 포함된 애자런일 경우 약 0.092[V]로 V_{rms} 변동 폭이 3배 이상 증가하였다. 따라서 건조 상태인 경우 결함 애자의 포함 여부에 대한 판별이 어려운 반면 습윤 상태의 애자의 경우에는 전압 변동폭 증가량을 기준으로 결함 애자 포함 여부 대한 판별이 가능하였다.

2.4. 누설전류의 신호 분석

2.4.1. 시료별 pulse current 분석

전류센서에서 취득된 V_{rms} , V_{p-p} 신호 중 pulse current method에 적합한 인접펄스간의 전압 차이 값(adjacent-pulse magnitude difference)을 취득하여 V_{rms} 와 같은 방법으로 역시 20,000개의 데이터를 취득하였으며 시료 당 검출된 각 5,000개의 데이터에서 전체적으로 동일한 결과를 보여 이 중 초기 5,000개의 데이터를 그림 4에 나타내었다.



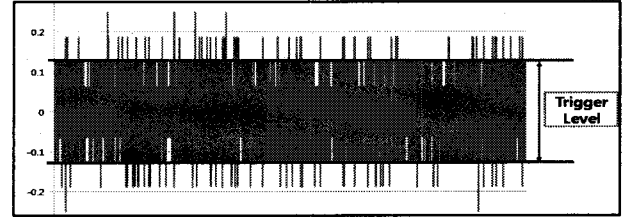
〈그림 4〉 (a) 30kV를 인가하였을 때 실험시료 (1), (2)의 pulse current difference

(b) 30kV를 인가하였을 때 실험시료 (3), (4)의 pulse current difference

건조 상태인 그림 4.(a)의 경우에는 정상애자런과 결함애자가 포함된 애자런의 펄스의 분산도(degree of pulse dispersion)가 모두 분산되어 있으며 습윤 상태인 그림 4.(b)의 경우 정상애자런의 펄스는 전체적으로 증가하였으나 분산도는 거의 유지 되었으며 결함애자가 포함된 애자런의 경우 원으로 표시된 부분처럼 펄스의 형태가 밀집되어 나타남을 볼 수 있다.

2.4.2. 시료별 pulse current 분석결과

습윤 상태에서 결함 애자를 포함한 애자런의 V_{rms} 를 분석한 경우, 정상 애자런에 비해 전압 변동폭이 section 1에서 2, 2에서 3으로 변하는 시점에서의 V_{rms} 값이 3배 이상의 차이를 보여 결함 애자유무에 대한 판별이 가능하나, 각 section에서의 V_{rms} 변화량은 일정하게 지속되는 경향이 있어 전체적인 데이터 분석이 필요하다. 그러나 인접펄스간의 차이 값으로 분석하는 경우는 그림 4.(b)와 같이 임의의 section의 신호의 분산도만으로도 결함 애자의 포함 유무를 판단할 수 있다. 이와 같은 인접 펄스의 크기 차이 분석은 펄스의 전압 크기별로 5개의 trigger level로 분리하면 뒤 그 중 정상 애자런과 결함애자가 포함된 애자런의 공통된 펄스의 83.5% 이상을 차지하는 펄스 level을 trigger level의 기준으로 설정한 것으로 그림 6과 같다.



〈그림 6〉 30kV를 인가하였을 때 trigger level 분포

이와 같이 설정된 trigger level을 기준으로 trigger level 이상의 크기를 갖는 펄스의 개수 및 분산도를 분석하여 애자결함의 판별기준으로 정하였다. 표 3은 trigger level 이상의 크기를 가진 펄스의 개수를 구간 별로 나타낸 것이다.

시료	sample	①	②	③	④	⑤	계
건조 상태	정상	30	29	26	26	27	138
	결함	24	25	24	28	26	127
습윤 상태	정상	79	83	80	86	82	410
	결함	17	13	19	21	15	85

〈표 3〉 trigger level을 기준으로한 펄스개수

표 3에 따르면 정상애자런은 습윤 시 trigger level 이상의 펄스 개수가 약 197% 증가하였으며 결함애자런은 습윤 시 오히려 약 33% 감소함을 알 수 있다. 이는 건조 시 정상 애자런과 결함 애자 포함 애자런의 구분 불가능하나, 습윤 시 펄스의 개수 차이로 두 경우의 구분이 가능함을 의미한다. 또한, 건조 시와 습윤 시의 펄스의 분산도의 경우도 건조 시에는 정상 애자런과 결함애자 포함 애자런의 특성 구분이 확실치 않다. 그러나 습윤 상태에서 정상 애자런의 펄스는 전 데이터의 영역에 걸쳐 고르게 분포되어 있는 반면 결함 애자를 포함한 애자런의 펄스분포는 그림 4.(b)와 같이 좁은 영역에 밀집되어 있는 형태로 나타나므로 두 경우의 펄스 분산도를 비교함으로써 결함 애자를 포함한 애자런의 구별이 가능함을 알 수 있다.

3. 결 론

본 연구에서는 송전선로의 운전 시 정상 애자런과 결함 애자를 포함한 애자런에서 발생하는 누설 전류의 신호를 측정·분석하여 결함 애자의 포함 여부를 판별할 수 있는 다음과 같은 결론을 제시하였다.

- 건조 상태에서는 정상 애자런 및 결함 애자 포함 애자런의 구분이 용이하지 않으나, 습윤 상태와의 비교 분석을 통하여 결함 애자를 포함한 애자런을 구분 가능하다.
- 습윤 상태에서 V_{rms} 의 전압 변동폭(voltage variation range)을 분석함으로써, 결함 애자를 포함한 애자런을 구분 가능하다.
- 습윤 상태에서 인접 펄스간의 전압 차이 값(adjacent-pulse magnitude difference)의 전압 level을 단계적으로 분류하여 trigger level을 설정하고, trigger level 이상의 펄스 분산도를 분석함으로써, 결함 애자를 포함한 애자런을 구분 가능하다.

본 연구를 기반으로 차후 애자의 오손도와 주변 습도 및 온도에 따른 애자의 누설 전류 특성을 분석하여 실 송전선로 환경에 적용 가능한 결함 애자 검출을 위한 연구를 진행할 것이다.

〈참 고 문 헌〉

- [1] Cigrè TF 33.01.01, Polluted insulators: A Review of Current Knowledge, 2000
- [2] J.S.T. Looms, "Insulators for High Voltages", pp. 195-215, 1998
- [3] W.A.Chisholm, P.G.Buchan and T.Jary, "Accurate measurement of low insulator contamination levels", IEEE Trans. Power Delivery, Vol. 9, pp.1552-1557, 1994.
- [4] D. F. Kawa, M. J. Chavez, T. Orbeck and C.Lumb, "Practical PCA-DA system for measurements of leakage current pulses on polymer insulators under wet contaminated conditions", IEEE Electr. Insul. Mag., Vol. 8, No. 2, pp. 5-13, 1992
- [5] Yangchun Cheng, Chengrong Li, "study of Corona Discharge Pattern on High Voltage Transmission Lines for Inspecting Faulty Porcelain Insulators", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol., 23, No. 2, 2008