

배전선로 불량애자 검출에 관한 연구

정회원 강대수*

On the Study of Defective Insulator Detection on the Power Distribution Line

Dae-Soo Kang* *Regular Member*

요 약

애자의 열화는 절연저항 저하와 관련되어 있고 애자에 60Hz의 교류가 인가되면 절연저항에 따라 절연파괴상태가 120Hz(8.3ms)의 주기로 발생한다. 이때 발생하는 방사 전자파 역시 동일한 주기성을 갖는다. 이러한 주기성을 입증하고 측정함으로써 배전선로에 가설된 애자의 불량 여부를 활선상태에서 판단할 수 있는 파라미터를 도출하였다.

ABSTRACT

When 60Hz AC voltage is supplied to a faulty insulator, EM noises will be generated and radiated with the periodicity of 120Hz(8.3ms) that is two times as many as supplied frequency. The Method to detect the EM noisess from a faulty insulator is to extract the EM noise ingredients which have the periodicity of 120Hz among EM noises at a certain spectrum band(i.e. around 30MHz). Thereby resistance of insulator can be estimated roughly. These consideration was proved to be applicable to make a protype by laboratory work.

I. 서 론

배전선의 애자가 불량하면 전력수송에 있어 많은 손실을 가져오게 될 것이고 막대한 지장을 초래할 것은 당연한 일 일 것이다. 따라서 애자의 열화가 진행되는 동안 절연파괴전의 불량상태를 검출하는 것이 주요 과제로 등장하고 있다.

현재 불량애자를 측정하는 다수의 방식이 연구되고 제곱으로도 나와 있지만, 제한된 범위에서 사용하는 것으로 사용이 곤란하거나 정확도가 낮아 사용할수 없는 경우도 있다. 이러한 검출장치들이 정확도가 떨어지는 가장 큰이유는 불량애자에 따른 자료들이 정량적이지 못하다는데 있다.

일반적으로 애자가 불량할때 나타나는 물리적 특징현상은 절연저항이 저하되고 고유진동 주파수가 변화되며 방전진호의 형태나 스펙트럼 분포에 영향

을 준다. 이러한 현상들이 정성적으로 어떻게 연관되고 있는가 하는 것과 이에 따른 정량적 분석이 필요 선행되어야 한다.

배전선로의 불량애자를 검출하기 위해서는 불량 애자 검출에 대한 이론적, 정량적 근거를 도출하기 위해 애자의 열화과정을 분석해야한다. 일반적으로 열화되는 순간부터 전파가 방출되고 절연이 파괴될 때까지 방전에 의한 방사 전자파는 광대역의 불규칙적인 주파수 스펙트럼 모델을 가지므로 주파수영역에서의 판단은 용이하지 못하다. 그러나 이러한 방사 전자파를 펄스열로 간주하였을 경우 도착시간 분포에서 특정한 패턴을 나타낸다는 것을 검증하였다. 따라서 펄스열화된 방사전파의 도착시간 분포패턴을 분별하는 불량애자 검출장치를 설계하면 애자의 열화정도까지 추정할수 있는 검출기를 개발할 수 있을 것이라는 점이 이 논문의 요지이다.

그러나 이러한 검출기를 설계하기 위해서는 펄스

* 국립전안공업대학 정보통신과(dskang@dragon.cntc.ac.kr)
논문번호 : 00006-0210, 접수일자 : 2000년 2월 10일

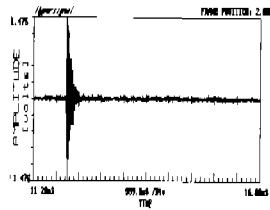
열화된 방사전파의 도착시간 분포패턴과 절연애자의 내부저항과의 관계를 정밀하게 분석하고 그 상관성을 찾아야 하는데 이에대한 많은 자료들이 필요한 것이고 이는 방사전파의 최적 검출 주파수대역을 결정하는 연구와 연계가 되어야 한다. 이에따라 열화된 애자에서 방출되는 방사전파를 검출하여 주파수대역을 분석하였으며, 방사전파의 도착시간 주기성 실험을 수행하여 방사된 전자파와 애자 열화상태의 상관관계를 분석하는 통계적 실험치표 구하는 것이 이 논문의 목표이다.

II. 방사전파의 신호파형과 주파수대역 분석

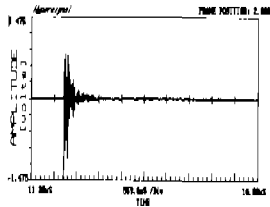
2-1. 열화된 애자의 종류별 방사전파 분석

불량에 의해 발생한 애자의 방사전파는 신호파형의 측면에서 볼때는 애자의 종류에 무관하게 유사한 양상을 보인다. 그림 1은 각각 LP애자, COS애자, SP애자에 대한 방사전파의 파형을 나타낸 것이다.

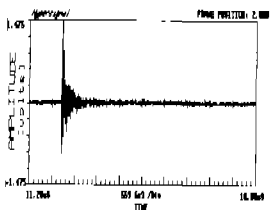
이들 방사전파는 고주파잡음의 진폭이 대수함수의 형태로 작아지는 형태를 가지고 있다. 이는 곧 대수형 펄스가 고주파에 의해 변조된 형태를 취하고 있다. 따라서 이러한 방사전파를 복조시키면 대수형 펄스를 재현시킬 수 있으며 이를 근거로 도착시간 분포를 측정할 수 있을 것이다.



(a)LP애자



(b)COS애자

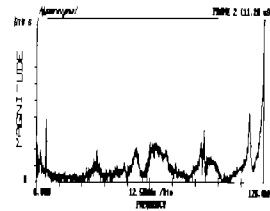


(c)SP애자

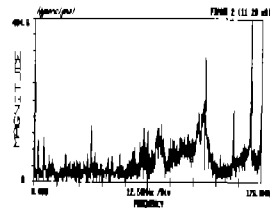
그림 1. 애자종류별 방사전파형

2-2. 불량애자 방사 전자파의 스펙트럼 분석

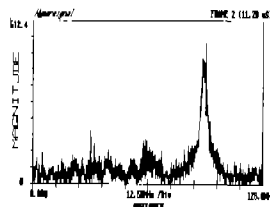
그림 2는 각각 그림 1의 방사 전자파에 대한 주파수 스펙트럼을 도식한 것이다. 스펙트럼분석 결과로부터 방사전파의 주파수대역은 애자의 종류와 절연저항의 크기에 따라 다소 변화됨 보이고 있다. 불량애자를 검출할 수 있는 검출기를 설계하려면 애자의 종류에 따라 발생하는 방사전파의 공동된 대역을 결정하여야 하는데 이를 위해서 주파수의 빈도측정을 시도하였다. 이들의 파형들은 대표적인 것을 나열한 것이지만 채취,수합된 87개 중에서 골라낸 것이다.



(a)LP애자



(b)COS애자



(c)SP애자

그림 2. 애자종류별 방사 전자파의 주파수스펙트럼

애자의 종류에 따른 주된 주파수대역을 비교하면 LP애자의 경우 절연저항이 500MΩ 이하일 경우는 20MHz~30MHz의 대역에서 가장높은 빈도를 나타내며^[1], 절연저항이 1GΩ 이상일지라도 외관상 오손이 되었을 경우에는 역시 불량한 특성을 보여서 역시 20MHz~30MHz의 대역에서 가장높은 빈도를 나타낸다^[1]. COS애자의 경우는 30MHz~40MHz의 대역에서 LP애자의 경우에서 처럼 절연저항이 500MΩ 이하일 경우나 절연저항이 1GΩ 이상일지라도 외관상 오손이 되었을 경우에는 역시 불량한 특성을 보인다. 현수애자는 두 개 이상의 애자를 한조로 사용하는데 어느 하나의 절연저항이 500MΩ 이

하일 경우에는 불량한 특성을 보였으며 도미넌트주파수 빈도는 30MHz~40MHz의 대역에서 높은 빈도를 나타낸다^[1].

따라서 불량한 애자들이 방사하는 전자파의 주대역은 20MHz~40MHz대역으로 판단할 수가 있을 것이다.

Ⅲ. 방사 전자파의 도착주기 검출

불량애자에서 방출되는 전자파의 주기는 120Hz로서 이는 상용 전원의 주파수인 60Hz의 2배가 됨이 확인되었다. 방사전자파의 발생구간(t_w)은 애자의 열화정도에 따라 변화하지만 열화가 심하면 구간은 넓어지고 열화가 적으면 좁아진다. 그러나 상승하강지점에서 다소의 전압차이가 있겠지만 적어도 절연내압 파괴후부터 방사되며 그 이전에는 낮은 전압으로 방사가 정지된다. 이와같은 패턴은 60Hz의 지속시간의 반주기 내에서 지속되는 현상이다.

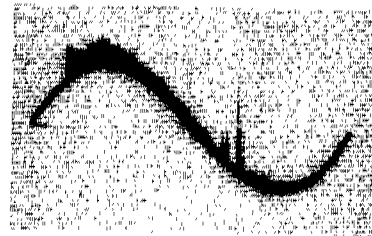
즉 방사전자파가 발생하게 되면 방사전자파의 펄스폭은 8.3ms의 주기성을 가짐이 입증되는 것이다.

따라서 60Hz의 배전선로에 가설된 애자가 열화되어 전자파를 방사하고 있다면 애자의 열화정도는 t_w 로 나타낼 수 있고 절연저항과의 관계는 다음 식으로 사상될 수 있다.

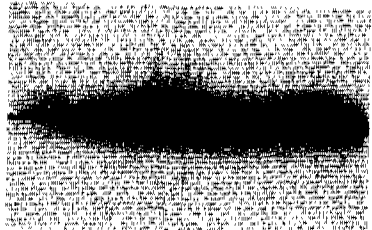
$$t = (8.33 - t_w) / 2 \quad (1)$$

다음 그림 4는 방전파형과 방사전자파의 수신파형을 나타낸 것이다. 사진에서 나타난 것과 같이 방사전자파의 발생구간은 밀(密)한 부분과 소(疏)한 부분이 인가 교류 전압원에 의해 주기적으로 교번되는에 이를 복조하면 대수형 펄스의 밀한 부분과 소한 부

분의 시간간격분포를 각각 얻을 수 있다. 즉 밀한 부분의 시간간격분포는 시간 영점에서 대수함수형태를 보이고 소한 부분의 시간간격분포는 방사전자파의 발생량에 따라서 일정시간(8.3ms이내)을 중심으로 정규분포의 모양을 가지게 된다. 그림 5는 10초간(교류인가전압 600주기) 수행한 결과에 대한 시간간격 분포와 이를 반복하였을 때 정규분포의 중심시간에 대한 경향을 나타낸 것이며, 그림 6은 열화되어 절연저항이 낮아진 LP애자 시료에 대하여 방사전자파 펄스의 도착시간 분포를 나타낸 것이다. 그림에서 보면 애자의 절연저항이 낮아짐에 따라 소한 부분의 시간간격분포인 정규분포의 모양이 8.3ms에서 시간영점쪽으로 이동하고 있음을 관찰 할 수 있다. 이러한 절연저항과 방사 전자파 펄스의 도착시간 중심과의 관계는 그림 7에 나타내었는데 정현파함수의 1/4주기 모양으로 비례하고 있음이 입증된다.



(a) 방전파형



(b) 방사전자파 수신파형

그림 4. 방전파형 및 방사전자파 수신파형

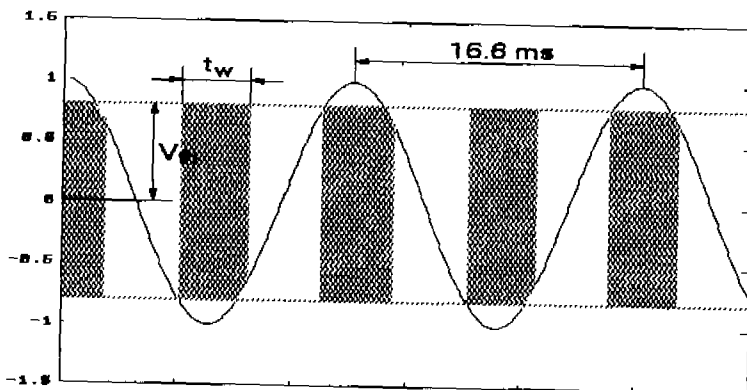


그림 3. 방사전자파의 발생구간(t_w) 및 발생전압(V_{th})

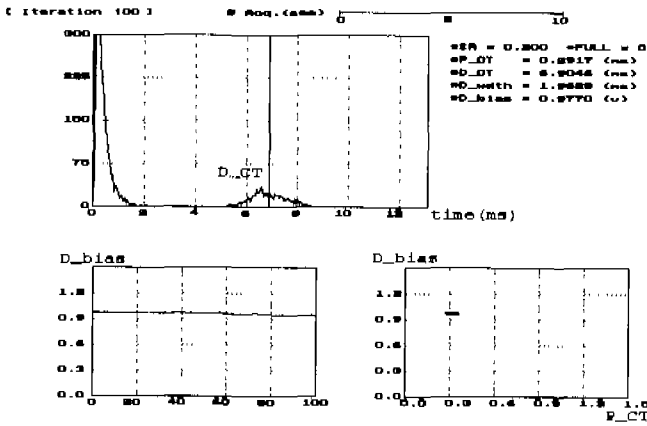


그림 5. 방사전자와 펄스 도착시간 분포

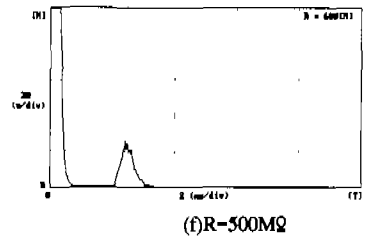
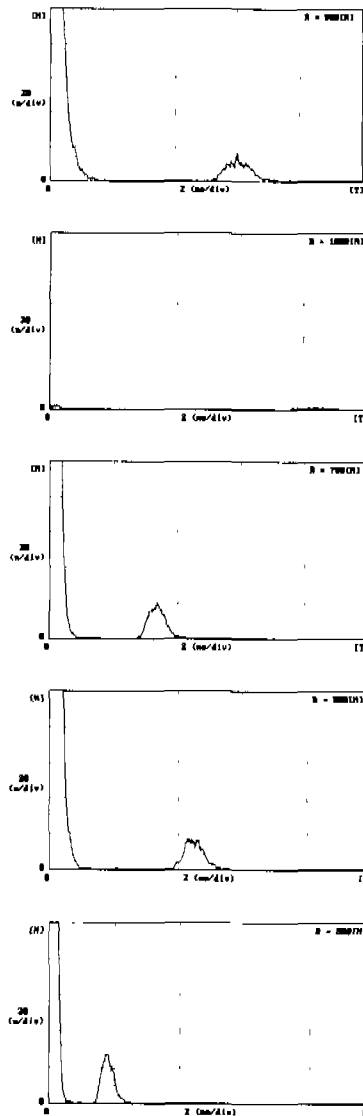


그림 6. 절연저항에 따른 방사전자와 펄스 도착시간 분포

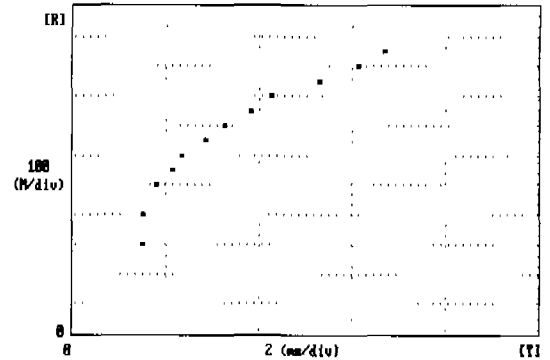


그림 7. 절연저항과 방사전자와 펄스 도착시간 분포중심과의 관계

IV. 실험 및 결과고찰

실험은 실제상황¹³⁾을 고려하여 그림 8과 같은 시험 장치를 구성하였다. 애자에 인가되는 전압은 누설형 고압 변압기를 사용하였는데, 이 고압 변압기의 2차측 출력전압이 최대 30kV인 것을 사용하여 1차측의 전압을 가변시킴으로서 여러 상황에 대한 실험을 시도하였다. 즉 애자의 절연저항을 측정하여 정상애자에 인가되는 전압과 상대적으로 낮은 전압을 인가함으로써 애자의 절연이 불량해지는 단계별 실험을 수행하였다. 그림 9는 방사전자와 펄스 도착 시간 측정을 위해 개발된 장치의 구성도이며 전자파의 수신을 위해 30MHz대역의 표준 Loop안테나를 사용하였다.

이상의 장치를 사용하여 실험한 3장의 결과물 토대로 애자의 열화과정은 다음의 단계를 거치는 것으로 결론지을 수 있고 이 가운데 어느단계에서 애자를 교체하여야 하는가 하는 판단의 근거 자료로 활용될 수 있을 것이다.

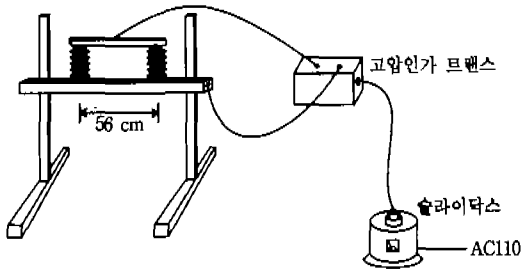
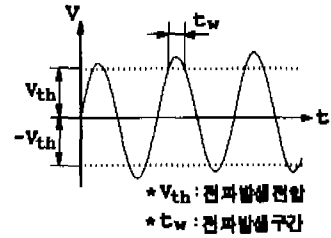


그림 8. 불꽃에자 시험장치



▷제3단계: 전파발생구간 검출단계, 정현파형의 대부분 주기에서 전파발생 임계전압 초과

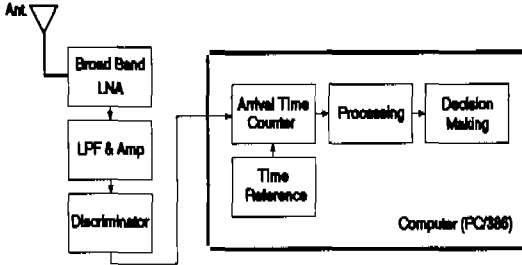
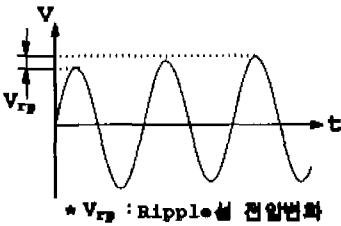
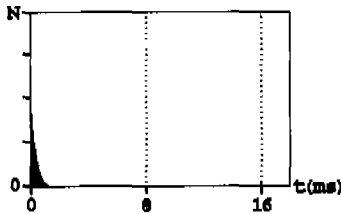
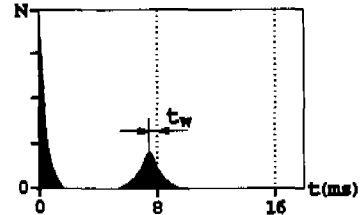
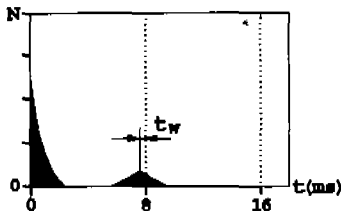


그림 9. 방사 전자파 펄스 도착시간 측정장치의 구성도

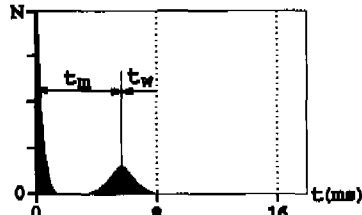
▷제1단계: 애자 내부저항의 초기 열화 단계, Ripple 성 전압변화에 의해 전파발생 임계전압을 초과하면서 펄스 발생



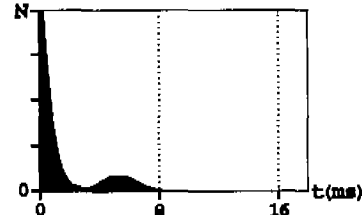
▷제2단계: 전파발생구간 검출시작 단계, 정현파형의 첨두치가 전파발생 임계전압 초과



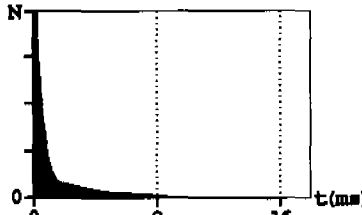
▷제4단계: 전파발생임계전압이 정현파형의 실효치로 접근



▷제5단계: 절연파괴 단계



▷제6단계: 절연파괴



이상의 단계를 살펴보면 애자의 절연저항이 낮아짐으로서 전파발생 전압의 영역이 넓어지고 이러한

