

교류 고전압 방전에 의한 방사 전자파의 시간 영역 특징 추출에 관한 연구

강 대 수*, 임 승 각*

A Study on the time domain feature extraction of EM radiation wave due to high AC voltage discharge

Dae-Soo Kang*, Seung-Gag Lim*

요 약

교류 전원이 인가된 절연체가 열화되면 방전에 의한 방사 전자파는 주기성을 갖는 특징적 발생시간 분포를 보인다. 이러한 분포의 특징을 최적으로 분별하기 위해 방사전자파의 수신 주파수 및 수신 대역폭을 결정하기 위한 실험을 하였다. 방사전자파의 스펙트럼은 발생대역은 넓지만 시변 특징을 가지므로 수신 주파수보다는 수신 대역폭이 수신기의 성능에 영향을 미치고 적어도 900kHz 이상의 수신 대역폭이 요구된다.

ABSTRACT

When 60Hz AC voltage supplied to a faulty insulator, Radiated EM wave has characterized time distribution with the arrived periodicity. For classifying distribution feature, receiving frequency and bandwidth of radiated wave be experimented and determined. Since the spectrum of the radiated wave has broad bandwidth and time-variable statistics, the receiving quality is determined receiving bandwidth that has above 900kHz.

키워드 : Radiated EM wave, Defective Insulator

1. 서 론

전력 계통의 절연체가 열화되면 전력 수송 등에 있어 많은 손실을 가져오게 될 것이고 막대한 지장을 초래할 것은 당연한 것이다. 따라서, 절연체의 열화가 진행되는 동안 절연 파괴전의 상태를 검출하는 것이 동 분야에서는 주요 과제로 등장하고 있다. 현재 절연체의 불량 유무를 측정하는 다수의 방식이 연구되고 제품으로도 나와 있지만, 제한된 범위에서 사용하는 것으로 사용이 곤란하거나 정확도가 낮아 사용할 수 없는 경우도 있다. 이러한 검출 장치들이 정확도가 떨어지는 가장 큰 이유는 절연체 열화에 따른 자료들이 정량적이지 못하다는데 있다. 일반적으로, 절연체가 불량할 때 나타나는 물리적 특징 현상은 절

연 저항이 저하되고 고유 진동 주파수가 변화되며 방전 신호의 형태나 스펙트럼 분포에 영향을 준다. 따라서 이러한 현상들이 서로 어떻게 연관되고 있는가 하는 것과 이에 따른 정량적 분석이 필히 선행되어야 한다.

일반적으로 열화되는 순간부터 전파가 방출되고 절연이 파괴될 때까지 방전에 의한 방사 전자파는 광대역의 불규칙적인 주파수 스펙트럼 모델을 가지므로 주파수 영역에서의 판단은 용이하지 못하다. 그러나 이러한 방사 전자파를 펄스열로 간주하였을 경우 도착 시간 분포에서 특정한 패턴을 나타내는 것을 검증하였다.[1,2] 따라서 펄스 열화된 방사 전자파의 도착 시간 분포 패턴을 분별하는 열화 절연체 검출 장치를 설계하면 절연체의 열화 정도까지 추정할 수 있을 것이다. 그러나 이러한 검출기를 설

* 국립공주대학교 정보통신공학부 교수(sglim@kongju.ac.kr)

계하기 위해서는 펄스 열화된 방사 전파의 도착 시간 분포패턴과 절연체의 내부 저항과의 관계를 정밀하게 분석하고 그 상관성을 찾아야 하는데 이에 대한 많은 자료들이 필요할 것이고 이는 방사 전파의 최적 검출 주파수 대역을 결정하는 연구와 연계가 되어야 한다. 최적의 전자파 발생 시간 분포를 얻으려면 첫째, 방사 전자파의 수신 주파수 및 수신 대역을 결정하여야 하고 둘째, 잡음이 혼입된 경우에도 분포의 형태가 유지되도록 하여야 한다. 이 논문은 열화된 절연체에서 방출되는 방사 전파를 검출하여 주파수 스펙트럼을 분석하고 방사 전파의 시간 영역 분포 모델과 비교함으로써 방사 전파의 수신 주파수 및 대역폭의 결정을 위한 것이다.

II. 절연체의 열화에 따른 현상

II.1 절연체의 열화 메커니즘

일반적으로 절연체는 크게 자기(Ceramic), 금구, 시멘트 등으로 구성되어 있다. 열화의 진행은 이들 구성요소들에게 가해지는 열적, 기계적, 전기적, 환경적 요인들에 의해 절연내력이 저하된다. 절연체의 열화 진행과정을 보면 그림 1과 같다.

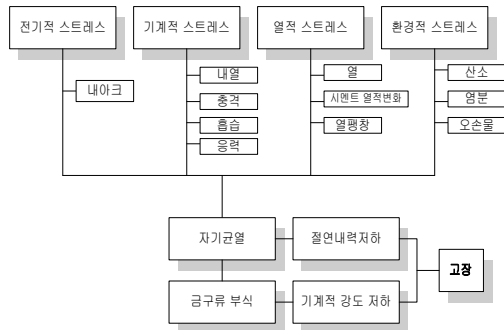


그림 1. 절연체의 열화진행 계통도

Fig.1. Defecting Hierarchy of an Insulator

II.2 절연체 열화에 따른 전자파 발생 모델

절연체에 교류 전압이 가해질때 인가 전압을 충분히 견딜 수 있다면 절연체에서는 어떠한 전자파도 발생하지 않는다. 그러나 절연체가 열화 된 경우에는 인가 전압을 견디지 못하고 절연 파괴가 진행되어

전자파가 발생하게 된다. 그림 2는 인가 전압이 V_{TH} 일 때 열화된 절연체에서의 전자파 발생 구간을 나타낸 것이다. 인가 전압이 60Hz의 주기성을 가지면 전자파 방사 구간도 120Hz의 주기성을 가지며 그림과 같이 교류 전원 주파수 60Hz의 2배가 된다. 방사 전자파의 발생 구간(tw)은 절연체의 열화 정도에 따라 변화하는 특징을 가지며 열화가 심하면 구간은 넓어지고 열화가 적으면 좁아져서, 상승 하강 지점에서 다소의 전압 차이가 있겠지만 적어도 절연 내압 파괴후부터 전자파가 방사되며 그 이전에는 낮은 전압으로 방사가 정지된다. 이와같은 패턴은 60Hz의 반주기 내에서 지속되는 현상이다. 즉, 방사 전자파 발생하게 되면 방사 전파의 펄스 군은 8.3ms의 주기성을 가짐이 입증되는 것이다.[1,2,3] 따라서, 60Hz의 배전 선로에 가설된 애자가 열화되어 전자파를 방사하고 있다면 애자의 열화 정도는 tw로 나타낼 수 있고 절연 저항과의 관계는 식(1)로 사상될 수 있다.

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

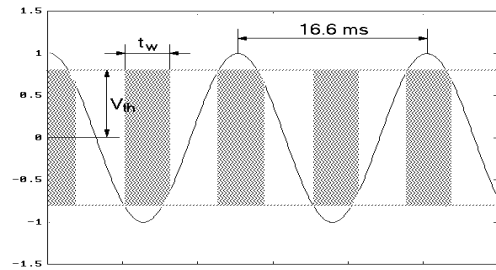


그림 2. 방사 전자파의 발생 구간(tw) 및 발생 전압(Vth)

Fig. 2. EM wave generating period and voltage

방사 전자파의 발생 구간은 인가 교류 전압원에 의해 주기적으로 교번 되는데 이를 제곱 복조하면 펄스의 시간 간격 분포를 얻을 수 있다. 그림 3은 시간 간격 분포를 모델화 한 것이며 그림에서 Sp 부분과 Sd부분의 각 분포에 대해 총 빈도는 펄스 발생 간격 각각의 빈도를 P_i , D_i 라 하면 각각 식(2), 식(3)과 같이 구할 수 있다. 따라서 각 분포의 평균점은 식(4)와 식(5)와 같이 되고 이들 식으로부터 식(6)의 D_{bias} 의 파라미터를 유도할 수 있다.[1]

$$Sp = \int Pi \quad (2)$$

$$Sd = \int Di \quad (3)$$

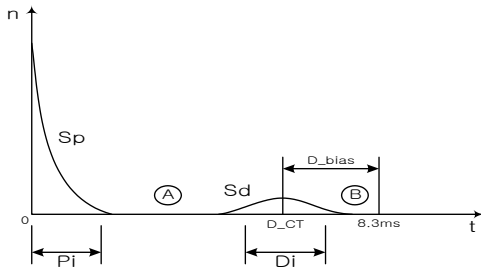


그림 3. 방사 전자파 펄스 발생 시간 분포 모델

Fig. 3. Arrival time distribution model of radiated EM wave pulses

$$P_center = \int xi Pi / Sp \quad (4)$$

$$D_center = \int xi Di / Sd \quad (5)$$

$$D_bias = \cos((8.3 - D_center)/2) \quad (6)$$

D_bias는 분포의 중심이 8.3ms로부터 얼마나 떨어져 있는가를 나타내어 주는 것으로 애자의 열화 정도를 상대적으로 나타낼 수 있는 대표적인 파라미터가 된다. 즉, 방사 전자파 발생 전압의 영역이 넓어지므로 이러한 전자파 발생 구간에서 발생하는 펄스화 된 방사 전자파의 도착 시간 분포의 중심은 이론적으로 8.3ms(120Hz)이다. 또한 이 도착 시간 분포의 중심은 절연체의 열화 정도에 따라서 8.3ms보다 작게 나타나므로 도착 시간 분포의 주기성은 절연체의 불량을 판단할 수 있는 중요한 파라미터가 되고 도착시간 분포의 중심은 절연 저항과 직접적인 관계가 있으므로 절연체의 열화 정도를 추측할 수 있는 파라미터로 사용될 수 있다.

그러나 방사 전자파를 수신함에 있어 수신 대역이 좁아지거나 잡음 등이 혼입되면 Sp부분의 밀도가 커지게 되고, Sd부분의 밀도는 낮아지거나 D_center는 8.3ms 근방으로 치우치게 된다. 따라서 발생 시간 분포 모델을 최적으로 적용하려면 방사 전자파의 수신 주파수 및 그 대역을 설정하는 것이 중요하다.

III. 절연체 열화에 의한 방전 전자파 대역 분석

열화가 진행되는 절연체에서 나타나는 특징적인 현상은 절연 저항의 변화에 따라 방전 주파수 대역이 변화한다는 것이고, 이러한 방전 전자파를 펄스화 하였을 경우 이들의 발생 시간에서 특정한 패턴

을 나타낸다. 특정 패턴을 갖는 펄스파, 즉 방전 전자파의 발생 시간 분포를 나타내는 알고리즘에 의해 열화된 절연체의 불량 정도를 검출할 수 있다. 그러나 절연체의 절연 파괴 과정을 분석해 보면 열화가 진행되는 순간부터 전자파가 방출되어 절연이 파괴될 때까지 방전에 의한 전자파는 광대역의 불규칙적인 시변 주파수 스펙트럼을 갖는다. 따라서 최적의 방사전자파의 발생 시간 분포를 얻기 위해서는 특정 주파수(Dominant Frequency)의 주파수대역 뿐 아니라 최적의 대역폭을 선정하여야 한다. 특정 주파수(Dominant Freq.)는 신호에 대한 광대역 전력 스펙트럼을 배경 잡음과 비교할 때 현저한 전력차를 갖는 대역을 말한다. 일반적으로 신호의 주파수 대역 분석을 위해서는 계측 장비(Spectrum Analyzer, Digital Storage Scope등)에서 획득한 신호에 대한 스펙트럼 강도를 측정하면 되지만 이 경우 신호의 통계적 특성에 주의하여야 한다. 즉 변조파 등과 같은 결정론적 신호(Deterministic Signal)의 경우에는 계측 장치로부터 즉시 거의 정확한 결과를 얻을 수 있으나 임의적 신호(Abrupt Signal)의 경우에 있어서는 신호의 통계적 특성이나 배경잡음과의 연관성, 계측 장비의 성능과 특성에 따라 많은 변화를 보이게 된다[8][9]. 신호가 가진 주파수 대역 분석에는 극단적 오차까지도 생길 경우가 있다. 따라서 이러한 경우의 주파수 스펙트럼 측정에는 충분한 표본화율(Sampling Rate)로 요구되는 대역을 확보하여 신호를 획득하고 획득한 신호에 대하여 최적의 스펙트럼 추정을 시도하여야 하고 본 논문에서는 10차 All Pole (Auto-Regressive) Modeling에 의한 스펙트럼 추정을 하였다.(그림 4) 또한 최적 주파수 대역폭의 결정을 위해서는 수신 동조 회로의 주파수 선택도를 조정하는 방법이 있으나 이는 수신 감도에 영향을 미치므로 그림 5와 같이 다중 동조 회로를 구성할 필요가 있다[2][11].

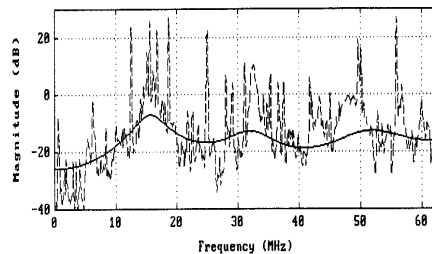


그림 4. 방사 전자파의 AR Modeling에 의한

Spectrum 추정
 Fig. 4. AR Estimation Modelling of Radiation Wave Spectrum

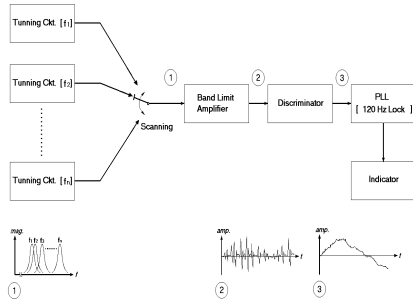


그림 5. 주파수 대역폭 확장을 위한 다중 수신 블럭도
 Fig. 5. Multi-Frequency Receiver Blockdiagram for Bandwidth Expansion

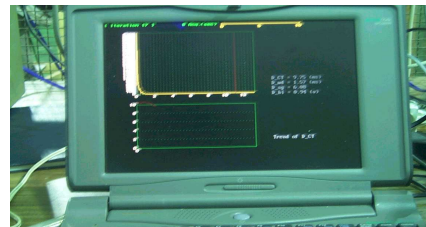
IV. 실험 결과 및 고찰

방전 전파의 수신 주파수 및 대역폭을 결정하기 위해 절연체 시료로서 고전압 전력 계통에서 사용하는 애자를 사용하였다. 시료는 LP, COS, SP의 세종류에 대하여 각각 20개의 애자를 사용하였고, 표 1의 주파수 대역을 분석한 결과 30MHz대역에서 발생 빈도가 가장 많았다. 주파수 스펙트럼에서는 0~200MHz까지 광대역으로 나타나지만 이들 주파수 스펙트럼의 1주기 주파수 대역은 20~30MHz, 50~60MHz 대역에서 주기성을 갖는 분포 빈도가 가장 많았다. 표 1에서 보면 애자의 종류에 따라 도미넌트 주파수에 다소간의 차이가 있으나 30MHz에서 공통된 도미넌트 주파수 대역을 가짐을 관찰 할 수 있다. 따라서 이 대역에서 방사 전파를 수신하여 실험하는 것이 타당한 결론을 얻을 수 있으며, 특히 이 대역은 단파 대역이므로 본 연구에서는 우선 펄스화된 방사 전파의 도착 시간 분포에서 주기성을 관찰하기 위해 단파 수신기를 사용하였다. 또한 주파수 다중 수신 실험을 위해 3 band의 동조회로를 구성하였고 각 band의 -3dB 대역폭은 약 300kHz로 조정하였다. 그림 6-(a)는 단일 밴드(Bandwidth ≃300kHz)의 방사 전파 도착 시간 분포의 결과이고 그림 6-(b)는 동일 시료에 대한 3 밴드(Bandwidth ≃900kHz)의 방사 전파 도착 시간 분포의 결과이다. 그림 6-(b)에서 분포의 특징이 뚜렷함을 알 수

있고, 이 결과로부터 검출기의 성능 향상을 위해서는 수신 대역폭의 확보가 중요함을 알 수 있다.

표 1. 애자의 주파수 대역별 방전 전파 강도
 Table 1. Radiated EM wave Intensity for each bandwidth of Insulator

주파수 (MHz)		20	30	40	50	60	70	80	90	100
LP	500 MΩ	48	172	61	98	38	13		74	62
	1GΩ	19	171	69	71	79			87	67
COS	500 MΩ	43	107	26	59	25	25	23	25	31
	1GΩ	13	71							13
SP	500 MΩ	48	56	71	19	28		48	7	
	평균	34	115	45	49	33	7	14	38	34



(a) Bandwidth ≃ 300kHz



(b) Bandwidth ≃ 900kHz

그림 6. 주파수 대역에 따른 방사 전자파 도착 시간 분포

Fig. 6. Arrival time distribution of EM wave pulses due to bandwidth

V. 결론

절연체 열화에 의한 방사 전자파는 시간에 따라 발생 대역과 강도가 달라지는 시변 특성을 가지지만 전체적으로 광대역이라는 점을 감안

하여 주파수 다중 수신에 의한 방법으로 대역폭을 확장하고 방사 전파 도착 시간 측정에 의한 분포를 실험하였다. 그 결과 충분한 주파수 대역폭(900kHz 이상)을 확보하여야 안정적인 방사 전파 도착 시간 분포를 얻을 수 있었다. 따라서 이러한 결과를 절연체의 열화 검출기에 이용하면 안정적인 검출 결과를 얻을 수 있을 것이다. 차후 주파수 다중 수신 방식과 광대역 증폭기를 비교하고 잡음에 대한 안정성에 대한 연구가 추가되면 실용화에 적합한 측정 장치를 개발하는데 기여 할 수 있을 것으로 생각된다.

참고문헌

[1] 강대수, “절연체 열화에 의한 방전 전자파의 특징 추출에 관한 연구”, 천안공업대학논문집, 2000.12.
 [2] 강대수, “배전 선로 불량 예자 검출에 관한 연구”, 강대수, 한국통신학회 논문지 제25권 제6T호, 2000.6.
 [3] 강대수, “배전 선로 불량 예자 검출 장치 개발에 관한 연구”, 경희대학교 연구보고서 U01404, 1995.2.
 [4] 강대수의 3, “Noise Detecting Equipment from Power Facilities”, Proceedings of The International Conference on Electrical Engineering, 1995.7.
 [5] “배전용 국산 기자재 경년변화 특성에 관한 연구”, 한국전력공사 기술연구원, 1990.10.
 [6] 조연옥, “송전선로의 코로나에 의한 전파잡음 통계적 예측 모델”, 전기학회지, Vol 35, No 5, 1986, p290~294.
 [7] 조연옥, “송전계통의 코로나에 의한 라디오잡음 분석”, 전기학회지, Vol 35, No 1, 1986, p5~10.
 [8] “통신시스템의 이론과 원리”, 2nd ED., Taub & Schilling 저, 진 용옥 역, 회중당, 1989.
 [9] “Probability, Random Variables, and stochastic Process”, 3rd ED., Papoulis, McHill, 1991.
 [10] “The ARRL Handbook for Radio Amateurs”, American Radio Relay

League, 1992.
 [11] “Secrets of RF Circuit Design”, Joseph J. Carr, McGraw-Hill, 1991.

저자약력

강 대 수(Dae-Soo Kang)



1983년 경희대학교
전자공학과 졸업
1985년 경희대학교
전자공학과 석사
1992년 경희대학교
전자공학과 박사
1999년-2005년 국립천안 공업대학
2005년-현재 국립공주대학교
공과대학 정보통신공학부

<관심분야> 디지털통신, 신호처리, 이동 통신 공학

임 승 각(Seung Gag Lim)



1983년 숭실대학교
전자공학과 졸업
1985년 경희대학교
전자공학과 석사
1997년 경희대학교
전자공학과 박사
1997년-2005년
천안공업대학 정보통신과
1995년-현재 국립공주대학교
공과대학 정보통신공학부

<관심분야> 통신시스템, 신호처리, 이동 통신 공학