

활선염해 측정장치 개발연구

진윤식* 김희재* 정상진** 윤진열**
*한국전기연구소 **한전기술연구원

Study on the Laser Salt Meter

Y.S. Jin*, H.J. Kim*, S.J. Chung**, J.Y. Yoon**
*KERI **KEPOC RC

Abstract

Salt deposited on the surface of insulators used in electric power system causes flash-over accidents. Therefore, the quantity of salt on insulators should be monitored not to exceed a critical value. We propose a new remote sensing technique to measure the quantity of salt on insulators of power systems. A pulsed laser beam is focussed on an insulator to dissociate the salt to sodium atoms. The amount of the salt is measured from the intensity of the spontaneous emission from the sodium atoms.

In this paper, a compact salt meter composed of pulsed Nd:YAG laser and emission signal detection system will be introduced. And measurement condition such as the sensitivity, detection range, required laser fluence will be investigated.

체택할 경우 고려해야할 점으로서 예자손상의 문턱치, 검지하
한을 주는 레이저 Fluence, 측정가능거리 및 조사스폿 직경에
관한 검토 등이 필요하다. 이 방법에 의하면 field에 있어서의
실사용 예자의 오손량을 비접촉, 원격적으로 안전하게 직접적
으로 측정하는 것이 가능하게 된다.

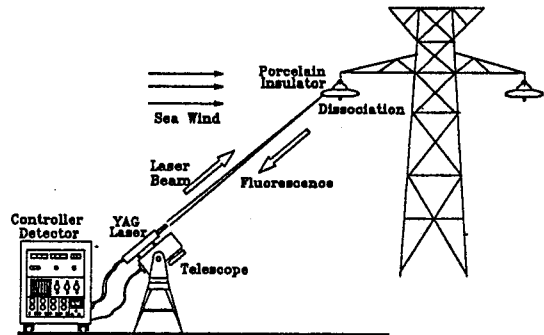


그림 1. 레이저 염해측정장치의 개념도

1. 서론

발전소나 송전선에 사용되고 있는 예자의 표면에 부착되어
있는 염분은 예자의 절연불량의 주원인으로 되고, 그 양이 많
게 되면 섬락사고의 원인으로 된다. 이 때문에 정기적으로 염
분 부착량을 측정해서 그것이 오염관리 목표치를 초과한다고
예상되는 경우에는 예자를 세정하는 것이 필요하게 된다. 염분
부착량의 측정법에는 簾洗法, 자동측정장치가 사용되고 있지만
이들은 실사용예자의 근방에 그것과 동일조건으로 설치된 파일
롯 예자의 염분부착량을 구해서 실사용예자의 염분부착량을 추
정하는 것이다.

본 연구에서 개발하려고하는 레이저 염해측정장치는 레이저
응용계측의 이점인 전자계의 유도를 받는 일이 없고 비접촉으
로 각종의 물리량을 원격검지가 가능하다는 점을 이용해서 고
진압기기의 예자등 절연물상에 부착된 염분유 고진압이 인가된
상태에서 자상으로부터 원격적으로 검지, 측정하는 것이다. 그
림 1에 레이저 염해측정 장치의 개념도를 보인다. 이 방법을

2. 측정원리

2.1 레이저에 의한 발광분광분석법

레이저 염해장치에 사용되는 레이저 발광법에 대해서 간단히
서술한다. 발광분광분석은 우선 분석하려고하는 시료에 어떠
한 방법으로 에너지를 주어서 시료물질의 일부분을 증발, 해리
시켜 여기된 원자에서 발생하는 광을 분광기로 분산시켜 스펙
트럼을 얻는다. 그 스펙트럼 선의 파장을 측정해서 원자의 종
류를 결정하고(정성분석), 또 스펙트럼선의 강도를 측정해서 그
원자의 농도를 구해 정량분석을 행한다.

레이저를 광원으로하고 이 광을 시료상에 집광시키면 레이저
광의 성질상 큰 에너지를 극히 작은 점에 모으는 것이 가능하
므로 시료의 미소부분을 증발 해리시키고, 여기발광을 동시에
얻는 것이 가능하게 된다. 통상의 발광 분광분석에서는 시료
상의 직경 수mm 정도의 범위가 증발되어 분석되는 점에 대해

서 레이저에 의한 발광분광분석에서는 Q 스위치법으로 발생시킨 펄스출력이 큰 펄스 광을 이용하기 때문에 순간적으로 직경 수백 μm 또는 그 이하의 미소부분을 증발기화 시키는 것이 가능하기 때문에 소위 미소부발광분광분석(laser micro probe 법)이 가능하다.

사용되는 레이저는 루비레이저, Nd:glass 레이저, Nd:YAG 레이저, CO₂ 레이저 등이 있고, 대부분의 경우 Q 스위치법을 사용한다. 분석대상은 금속, 분체, 비금속, 생체시료, 반도체 재료 등 그밖의 광범한 범위에 걸쳐있다.

2.2 환신염해 측정장치의 구성

본 연구에서 구현하고자 하는 환신염해 측정 장치의 구성도를 그림 2에 보인다. 측정장치에 부착할 Nd:YAG 레이저는 필드에서 사용가능하기 위해서 소형이며, 애자에 부착된 염분을 증발, 해리시킬 수 있는 파워밀도와 신뢰성을 가져야 한다. 본 연구에서 설계, 제작하고자 하는 Nd:YAG 레이저 시스템의 구성도를 그림 3에 보인다. 이 시스템은 플래쉬램프로 여기되는 이중타원의 단면을 가지며, 펄스 출력을 높이기 위해서 포켈스 셀(POCKELS' CELL)을 이용한 Q 스위치 방식을 채택하였다. Q 스위치된 펄스 레이저 빔의 파장 1064nm에서의 출력은 100-200mJ, 펄스폭은 약 10ns(FWHM), 반복율은 2Hz이하, 빔확산각은 약 2mrad이하를 목표로 한다. 이 YAG 레이저의 출력광을 collimator로 집광해서 애자표면에 조사하게 된다.

예비실험을 위하여 애자표면에는 인공적으로 염분을 부착시킨다. 레이저 광의 fluence(조사파워밀도)가 어느정도 이상 커지면 레이저 조사의 열적역기에 의해 NaCl 이 기화하고, 나아가 Na와 Cl로 해리하고, 여기된 Na 원자로부터 자연방출광이 생긴다. 이것을 구경 200mm의 망원경으로 수광해서 간섭필터로 파장을 선택해서 Iris로 외란광을 cut한 후 광전자증배관(PMT)로 전기신호로 변환한다. 간섭필터의 대역폭은 파장 500nm 부근에서 2nm이고 Na 원자의 D₁ 및 D₂ 선을 동시에 통과시킨다. 레이저 shot 마다 얻어지는 방생신호를 digital oscilloscope으로 측정하고, 그 파형의 피크치(발광 level)를 컴퓨터에 넣고, 연산처리를 행한다.

3. 측정조건인 검토

본 장치를 측정기로서 사용하는 경우의 조건으로서 사전에 고려해야 할 요소로서 1) 애자표면에 손상을 주는 일이 없을 것, 2) 그림에도 충분한 Na 원자의 발광을 얻는 것이 가능한 레이저 fluence의 설정범위, 3) 측정거리를 어느 곳까지 연장시킬 것인가 및 4) 조사 spot의 최적한 크기 이다. 이하, 각각에 관하여 검토한다.

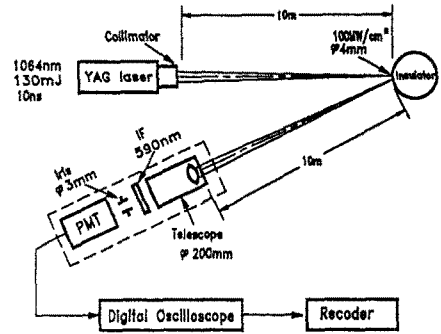


그림 2. 레이저 염해측정장치의 구성도

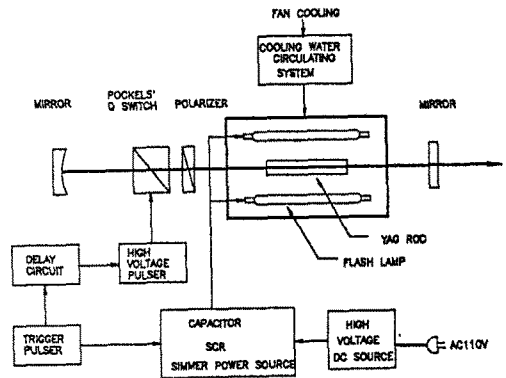


그림 3. Q-스위치 Nd:YAG 레이저 시스템 구성도

3.1 애자손상의 문턱값

레이저광의 fluence가 지나치게 크면 애자를 손상시키게 된다. 따라서 애자표면에 손상을 주는 일이 없이 측정을 행하기 위해 애자손상의 문턱치 즉 레이저 조사에 있어서 최대 레이저 출력을 구해야 한다. 세경애자의 표면에 조사 spot 직경 및 shot 회수를 변화시키면서 레이저 출력 에너지를 조절하여 레이저 fluence를 변화시켜 레이저 조사에 의해 생긴 상처의 크기를 현미경으로 관찰한다. 다 연구 결과에 의하면 레이저 fluence가 약 130 MW/cm^2 이상에서 손상이 생기는 것으로 보고되고 있다.

3.2 Na 원자 발광의 검지하한

레이저광의 fluence가 지나치게 작으면 염분의 해리가 일어나지 않고 Na 원자의 발광을 검지할 수 없게 된다. Na 원자 발광의 검지하한을 주는 레이저 fluence를 예측하기 위하여 다음의 과정을 실시한다.

샘플 애자에 변전소에서의 오염관리 목표치의 밀도로 염분을 부착시킨 다음 레이저를 조사한다. 이때의 발광을 망원경

과 PMT로 이루어진 수광계로 측정한다. PMT의 출력전압과 레이저 fluence(MW/cm^2)의 관계를 조사한다. 레이저 fluence p 에 대한 PMT 출력전압 V 는 레이저 fluence와 더불어 급격히 증가하고, 다음의 관계를 따른다.

$$V = K_1 p^4 \quad (1)$$

한편 발광부품 점으로 간주하는 경우에는 발광량 V 는 집광렌즈를 보는 입체각 Ω 에 비례한다. 수광렌즈의 반경을 R , 수광거리를 z 로하면

$$\Omega = \frac{\pi R^2}{z^2} \quad (2)$$

이다. 만약 발광량이 염분부착 밀도 c 에도 비례한다면 (1)(2)식에 의해 K_2 를 정수로 해서

$$V = K_2 \frac{\pi R^2}{z^2} c p^4 \quad (3)$$

로 된다.

발광신호가 PMT의 출력으로 어느값이하(약 5mV 이하)로 되면 SN 비가 현격하게 악화되므로 그 이상의 PMT 출력이 가능한 레이저 fluence가 필요하게 된다. 염분 부착 밀도 $0.03 mg/cm^2$ 의 샘플을 측정하는 경우 5mV의 발광량을 얻기 위해서는 $60 MW/cm^2$ 이상의 레이저 fluence가 필요한 것으로 보고되고 있다.

3.3 측정거리

(3)식의 관계를 이용하여, 최대측정거리 z 를 추정하기 위해서는 R, z, p, c 를 일정하게 하고 PMT의 출력전압 V 를 측정함으로써 K_2 를 구할수 있다. 이 값을 사용하여 c 와 R 을 고정하고 측정거리 z 와 발광량 V 의 관계를 구한다. $c=0.03 mg/cm^2$, $R = 100mm$ 의 경우, $V = 5mV$ 를 검지하한으로 하면 $p = 100 MW/cm^2$ 에서의 측정거리는 25m 정도로 보고되었다. 측정거리를 늘이기 위해서는 망원경의 구경 $2R$ 와 레이저 fluence p 를 크게하면 좋다. 그러나 p 는 앞에서 서술한 예자의 손상 문턱값을 주는 레이저 fluence($130 MW/cm^2$)보다 크게할 수는 없다. 또 R 을 크게하는 경우 노이즈도 증대할 수도 있으므로 필터의 狹帶域化를 꾀할 필요가 있을 것으로 생각된다.

3.4 조사 스폿 직경

예자표면에서의 레이저 빔의 조사직경은 가능한 큰 발광량을 주도록 최적화 되어야 한다. 조사 스폿 내에 있어서 레이저 fluence가 일정하다고 가정하면 스폿 반경을 $r(cm)$, 레이저 출력 에너지를 $E(mJ)$, 레이저 펄스폭을 $t(ns)$ 로해서 레이저 fluence $p (MW/cm^2)$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$p = \frac{E}{t\pi r^2} \quad (4)$$

이 식으로부터 t 가 일정하다면 레이저 에너지 E 가 크고, 조사 스폿 직경 r 은 작을수록 fluence가 증가하므로, (1)식에 의해서 큰 발광량이 얻어지는 것을 알 수 있다. 그러나 이것은 예자 손상문턱값을 주는 레이저 fluence 이하에서 행하지 않으면 안되므로 조사 스폿 반경 r 을 (4)식의 p 가 일정치를 넘지 않는 범위에서 선택해야 한다.

한편 측정거리 z 를 크게한 경우 소정의 조사 스폿 직경을 얻기 위해서는 레이저 빔의 확산각을 최소화해야 하며, 빔 팽 리메터를 사용해서 빔 직경을 확대한 다음 집광시킬 필요가 있다.

5. 결론

새로운 원리에 기초한 레이저 염해관측장치를 제안하고 그 기본적인 구성요소와 측정조건으로서 예자손상의 문턱치가 되는 레이저 플루언스, Na 발광의 검지하한이 되는 레이저 플루언스, 측정거리, 조사스폿경 등에 관한 검토를 하였다.

급후의 과제로서 염해 측정을 위한 레이저 염해측정장치 시작품을 제작하여 위에서 검토한 조건에 관한 실증실험이 필요하다. 이 실증실험에서는 우선 인공오손예자를 이용하여 실험실 내에서 측정을 행함으로써 각종 파라메타를 구하고, 측정의 재현성을 실현하고, 타방법에 의한 측정치와의 상관관계를 구하여야 할 것이다. 최종적으로는 자연오손 예자의 측정에 레이저 염해측정 장치를 적용함으로써 활상상태에서 염분을 측정하는 연구를 계속해야 할 것이다.

참고문헌

1. R. H. Dishington, W. R. Hook, and R. P. Hilberg, Appl. Opt. 13, 2300(1974).
2. Walter Koechner, Solid-State Laser Engineering(Springer-Verlag New York Heidelberg Berlin 1976)
3. 中村, 山部, 堀井: 電氣學會論文集D 110卷 5號(1990)561
4. 藤吉晋一郎, 本田親久, 村岡克紀, 前田三男, レーザ-研究 第20卷 第12號(1992)29