

적외선 열화상 카메라를 이용한 수전설비 온도분포해석

정승천, 임용배,
한국전기안전공사

The Analysis of Temperature Distribution Electric incoming Apparatus Using a Infrared Thermal Imaging System

Seung-Cheon Jeong, Yeung-Bae Lim, and Jong-Seo Kim
Korea Electric Safety Corporation

Abstract

This paper presents the method for analyzing surface temperature of Electric incoming Apparatus. For the experiment, the surface temperature of electric power apparatus was measured and analyzed by using a infrared thermal imaging system. Surface Discharges(SD) have very complex characteristics of discharge patterns, therefore it requires the development of precise analysis methods.

recently, studies on infrared thermal imaging system are carried out to analyze temperature distribution of power equipments through condition diagnosis and to diagnose the degradation of power equipments. The changes in surface temperature was measured by using the infrared thermal imaging system under hot line condition. The system was set up based on the diagnostic method of the electric incoming apparatus.

Key Words : surface temperature, surface discharge(SD), Infrared thermal imaging system, diagnosis

1. 서 론

적외선 카메라(Infrared Thermal Imaging System)를 이용한 수전설비의 온도분포 해석은 관측대상물에서 발생하는 적외선량을 비접촉으로 측정하여 수전설비에 대한 온도분포상태를 판정함으로써 접촉불량, 과열, 열화진행정도, 전기적인 결함상태 등을 측정 분석할 수 있다는 장점 때문에 전력계통에서는 예방보전 차원에서 많이 활용되고 있는 장비이다. 수전설비는 도전재료, 자성재료 및 절연재료 등으로 구성되어 있다. 이중 수전설비의 절연재료는 다른 분야의 재료에 비하여 열악한 환경에 노출되어 있으며, 한번 설치되면 장기간 사용해야 한다는 특징이 있다. 이와 같은 이유로 수전

설비의 절연재료는 내아크성, 내후성, 내열성등의 기계적 특성이 우수하도록 제작되고 있으나 수전설비의 대형화, 밀집화, 다기능화로 과도한 스트레스를 받아 열화가 촉진되고 있다. 이와 같은 특성등을 유지, 보수 측면에서 예측하여 그 결과를 분석함으로써 사고의 근원을 제거하며, 보수점검 장비를 통해 체계적인 진단, 예방보전이 필요하다고 하겠다.

본 연구에서는 적외선 열화상 카메라로 측정된 온도분포를 3상 온도비교법을 이용하여 평가하였다. 특히, 적외선 열화상 카메라로 수전설비의 표면온도를 측정하여 열화정도의 특성을 판단하고자 한다.

2. 실험

2.1 적외선 카메라를 이용한 현장 실측

본 연구에서는 적외선 이론과 열화상 카메라의 분석장치를 현장에 설치된 수전설비의 온도분포를 비교 분석함으로써 수전설비를 예방진단 하고자 하였다.

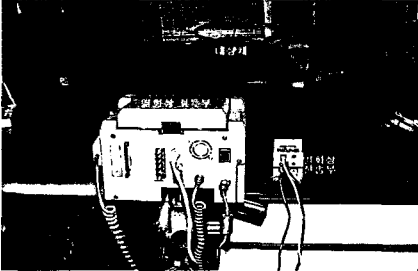


사진 1. 열화상 장비 구성.

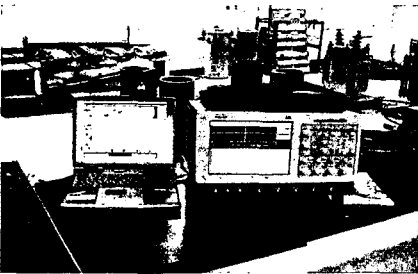


사진 2. 열화상 분석 장치.

본 연구에 사용된 열화상 장비는 AVIO사의 TVS 8502 모델을 사용하였으며, 사진 1에 이 장비를 나타내었다. 또한 사진 2에 현장에서 측정된 열화상 자료를 분석하기 위한 장치를 나타내었다. 이 장비의 적외선 대역은 물체에서 복사되는 적외선의 양이 많고 공기 중의 전파특성이 우수한 적외선 대역을 선택하여야 하므로, 3~5와 8~12[μm] 대역을 이용하는 것이 효과적이다. 일반적으로 3~5[μm] 대역은 물체의 온도 측정에 사용되며, 8~12[μm] 대역은 특수목적에 사용된다.

이 장비의 검출부인 카메라는 피측정 대상물에서 복사되는 복사속 중, 중간적외선 부분 3~5[μm]을 검출하여 이를 본체(연산 처리부 - Image Processor)로 전송하고, 본체에서는 전송된 신호를 화상신호로 재구성하여 출력부인

모니터(RGB/LCD Monitor)에 표시한다.

2.1.1 적외선 이론

비 접촉으로 온도를 측정하고자 할 때는 많은 요소들을 고려하여야 한다. 고려 대상 중, 대표적인 것으로서, 방사율(ϵ), 주위온도, 측정거리 및 상대습도 등이 있다. 그 중에서도 방사율은 매우 중요하므로 자세히 설명 하고자 한다. 방사율은 표면으로부터 방출된 복사에너지의 효율을 측정하는 것이다. 이를 수학적으로 표현하면 다음과 같다.

$$\epsilon = E_{object} / E_{blackbody} \quad (1)$$

식(1)에서 방사율은 흑체에서의 복사에너지에 대한 피사체의 복사에너지 비율을 나타내는 것임을 알 수 있다 (단, 같은 온도, 파장 조건). 즉 방사율이 높은 물체일수록 흡수율도 높아진다.

2.1.2 전력기기별 발열온도 판정기준

표 1에 전력기기별 발열온도 판정기준 IEC 726, 115-4등에 명시된 절연물 허용온도를 이용하여 판정하는 기준과, 한국산업규격 및 전기설비기술기준에 명시되어있는 절연재의 온도상승 한도 및 최고 허용온도를 나타내었다.

이러한 표면 온도분포 분석을 이용하더라도 수전설비에 대한 명확한 진단이 쉽지 않고 판정기준이 정립되어 있지 않는 실정이다. 그러므로, 표면 온도 측정으로 수전설비의 상태를 양, 부로 판정하는 것은 바람직하지 않다. 그러나 열화상을 이용한 수전설비의 예방보전 측면에서는 매우 유용하다고 사료된다.

본 논문에서는 현재 열화상 카메라를 이용한 판정기준으로 사용되는 3상온도 비교 판별법을 표 2에 나타내었다.

그러나 이러한 판단기준을 명확히 규정하기는 곤란하다. 열화상 온도분포를 이용하여 판정하기 위해서는 각종 현장의 여건을 고려하여야 하기 때문이다. 현재의 부하율, 기상상태, 일사량, 온·습도, 풍향, 풍속, 자외선 또는 공기 중에 혼합되어있는 분진의 조건까지 고려해야, 정확한 판정기준이 될 수 있기 때문이다. 본 논문에서는 표 1을 기준으로 현장에서의 수전설비 온도분포를 비교 분석하였다.

표 1. 전력기기별 발열온도 판정기준

전력기기	온도상승한도	최고허용온도	비고	
유입변압기 (본체)	50[°C]	90[°C]	KSC 4306 (유온기준)	
건식 변압기 (권선)	에폭시부(B종)	80[°C]	130[°C]	IEC 726
GIS	15[°C]		실측에 의한 통계	
단로기 및 동부스바	접촉부	25[°C]	65[°C]	KSC 4502에 의한
	접속부	40[°C]	80[°C]	
	구분부분 (자기애자 등)	50[°C]	90[°C]	
전선	IV		60[°C]	내선 규정 130-1
	HIV		75[°C]	
	EV		75[°C]	
	CV, CN/CV		90[°C]	
	OF		85[°C]	제작시방
전력형 고정권선저항기		사용온도 범위	최고표면 온도	IEC-115-4 ('82) KSC 6419-95
	V형	-55 ~ +200[°C]	350[°C]	
	G형	-40 ~ +200[°C]	275[°C]	

표 2. 3상 온도비교 판별법.

온도차	판정기준
5[°C] 미만	정상
5[°C]~10[°C]미만	요주의
10[°C] 이상	이상

2.1.3 3상 온도비교 판별법

측정시 3상 평형부하이고, 전선의 굵기가 같은 경우에는 다른 부위와 비교하여 판별할 수 있다. 그러므로 측정점의 정확한 온도보다는 비교하고자 하는 측정점 간의 온도차를 이용하여 판정한다. 온도차의 비교식은 다음과 같다.

$$\Delta T = T_{\max 3\phi} - T_{\min 3\phi} \quad (2)$$

(단, ΔT : 온도차, $T_{\max 3\phi}$: 3상 최고온도, $T_{\min 3\phi}$: 3상 최저온도)

3. 결과 및 고찰

3.1 적외선 카메라에 의한 온도분포측정

수전설비에 가장 큰 영향을 미치며, 가장 큰 고장요인인 풍해, 염해 지역과 각종 공해의 부산물의 침적으로 인한 부식을 일으키는 공해지역을 선택하여 설비의 온도분포를 측정 하였다. 본 논문에서는 열화상 카메라에 의해 이상설비로 판단된 설비에 대해 표면온도를 측정하였으며, 열화상 온도분포를 3상온도 비교법으로 판단하였다. 그림 1은 해안에 위치한 수전설비를 대상으로 한 이상설비의 열화상을 나타낸 것이다.



그림 1. 차단기 이상시의 열화상 온도분포.

Index	X	Y	Temperature
P1	35	136	30.22
P2	63	136	30.91
P3	96	136	39.44
P4	141	144	34.56
P5	178	146	35.61
P6	203	148	42.64

그림 2. 차단기 이상온도분포 데이터.

그림 2는 그림 1의 이상 온도 분포를 나타내고 있다. 그림 2에 보인바와 같이 단자접속점 P3의 온도는 39.44[°C]를 나타내고 있으며, P6은 42.64[°C]로 최고 온도를 나타내어 3상온도 비교 시 P1의 온도 30.22[°C]의 최소값과의 온도 차이가 10[°C] 이상 차이가 나고 있음을 알 수가 있었다. 이와같은 불균일한 온도분포를 나타내는 것은 단자 조임이 불완전하여 접촉저항에 의해 온도가 점차 상승하는 것이라고 사료된다. 이와같은 설비는 대형사고 예방 차원에서 교체를 하여야 할 것으로 판단된다.

그림 3에 변압기의 온도분포를 나타내었으며, 그림 4에 변압기의 열화상 온도분포를 나타내었다. 그림 3에서 P1 온도는 52.50[°C], P2의 온도는 100.27[°C] 이며, P3는 50.18[°C], P4는 48.49[°C]를 나타내었다.



그림 3. 변압기 이상시의 열화상 온도분포.

Index	X	Y	Temperature
P1	93	109	52.50
P2	124	99	100.27
P3	153	114	50.18
P4	174	127	48.49

Save As... Delete Delete All Exit

그림 4. 변압기 이상온도분포 데이터.

이를 3상 온도비교에서 최고온도인 P2와 가장 낮은 온도를 나타내는 P4와의 온도차는 51.78[°C]였다. 이것은 동일 부하량과 동일 환경을 고려할 때 매우 큰 온도차를 나타내고 있으므로, 이상설비라는 것을 알 수 있었다. P2점은 열화를 촉진하는 이 물질의 침적으로 인해 단자접속점에 누설전류가 흘러 열이 발생 경년열화가 진행되어 결국 절연과 파괴 이어질 것으로 사료되었다.

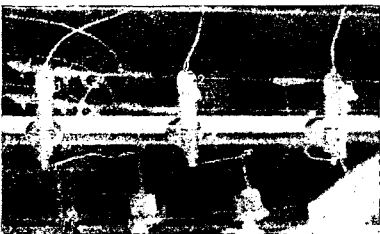


그림 5 COS 이상시의 열화상 온도분포.

Index	X	Y	Temperature
P1	39	77	32.41
P2	158	71	52.19
P3	283	78	32.82

Save As... Delete Delete All Exit

그림 6 COS 이상온도 분포 데이터.

그림 5는 컷아웃스위치(Cut Out Switch)의 접점이 점차 열화되고 있음을 나타내고 있다. 3상 온도비교 판별에서 P2와 P3의 온도차로 열화진행 상태를 알 수 있으며, 이와같은 온도 분포의 상태를 파악

함으로써 설비의 예측 보전이 가능하다고 사료된다.

4. 결론

본 논문의 결과에서 확인할 수 있듯이, 이는 표면구조가 제품의 신뢰성에 영향을 미치고, 표면의 방전온도를 통해 시료의 방전과정을 예측할 수 있음을 알 수 있었다. 그러므로, 실온에서 표면온도를 측정할 경우, 제조년도와 사용장소에 따른 수명 예측이 가능하고, 광범위한 자료 수집에 의해 수전설비의 교체시기를 결정할 수 있음을 시사하고 있다.

본 연구를 통해 얻은 적외선열화상카메라의 현장운용 가능성을 종합하면 다음과 같다.

1. 수전설비의 표면열화는 표면온도분포를 분석함으로써 단계별 진전특성을 감지할 수 있었으며, 온도분포특성을 분석하여 절연과 파괴 과정을 추정할 수 있었다.
2. 온도분포를 분석함으로써 열화와 급격한 진행을 예측 감지 할 수 있었다.
3. 제품의 표면이 불균일하여 불순물이 침적되면 열화가 집중되고, 그 결과로써 제품의 절연성능이 현저히 저하되는 것을 예측할 수 있었다.
4. 적외선열화상카메라 분석과 표면침적물에 흐르는 누설전류를 복합적으로 분석함으로써, 시료의 급격한 절연과파괴에 관한 예측이 가능하였다.

참고 문헌

- [1] J. S. Lim, "Aging Recognition of Partial Discharge Patterns Using Neural Network and Semi-Fractal Dimension", Proceedings of the 5th ICPADM, Vol.1, pp290 - 293,1997.
- [2] N. Yoshimura, " Electrical and Environmental Aging of silicone Rubber Used in outdoor Insulator", IEEE Trans. DEI Vol. 6 No. 5, pp. 632~650(1999)
- [3] Mukden Uger, " Analyzing and Modeling the 2D Surface Tracking Patterns of Polymeric Insulation Materials", IEEE Trans. DEI Vol. 5 No, 6, pp. 824~829(1998)