

LabVIEW를 이용한 전력케이블 전도체 오염 저항열의 시뮬레이션

Simulation of Power Cable Ohm Heat by using LabVIEW

최용희, 김종석, 정일석
한국전력공사 전력연구원
대전시 유성구 문지동 103-16

요 약

전력케이블의 경우 전도체에서 발생하는 발열이 절연체의 노화에 미치는 영향이 크므로 케이블 노화 평가 시 이에 대한 고려가 필요하나 자켓과 절연체로 둘러싸인 전도체의 온도를 측정하기는 현실적으로 매우 어렵다. 본 연구에서는 전력케이블의 자켓 외부의 온도를 측정함으로써 전도체에 발생하는 오염 저항열을 산출하는 방법을 연구하였다. 온도 제어는 LabVIEW 프로그램에서 PI제어를 함으로써 자켓의 온도가 셋팅치와 10% 오차 범위 내에서 적절히 제어가 될 수 있음을 확인하였다. 본 실험을 거친 케이블은 자켓 표면 온도와 전도체의 오염 저항열의 상관관계를 알 수 있으므로 발전소 케이블의 자켓 외부 온도를 모니터링 함으로써 전도체의 오염 저항열에 의한 케이블 절연체의 노화영향을 보다 정확하게 계산할 수 있다.

Abstract

Even It is necessary to consider the ohm heat of cable conductor for the evaluation of cable aging, temperature measurement of cable conductor is impractical due to untouchable condition of cable conductor which is surrounded by insulation and jacket. We have studied the way how to get the ohm heat of conductor by measuring the surface temperature of cable jacket. We verified that jacket temperature can be controlled under the 10% error limit by applying the PI control in LabVIEW program. The relation between surface temperature of jacket and ohm heat of conductor can be predicted after this type of experiment. This study show that the ohm heat can be delivered from temperature monitoring of jacket surface. Aging effect of insulation can be more accurately calculated by monitoring the jacket temperature of plant cable.

1. 서론

원자력 발전소 케이블의 노화인자는 크게 온도 및 방사선 환경으로 구분되며 온도환경은 외부환경 온도와 내부발열로 나눌 수 있다. I&C 케이블의 경우 케이블 전도체에서 발생하는 저항 열이 크지 않기 때문에 내부 발열을 무시할 수 있으나 전력케이블의 경우 전도체에서 발생하는 발열이 절연체의 노화에 미치는 영향이 크므로 케이블 노화 평가시 이에 대한 고려가 필요하다.

케이블의 노화수명 평가에 아레니우스 방정식을 이용한 가속열화방법이 사용되는 것은 널리 잘 알려진 사실이다.[1] 일반적인 케이블 가속열화에서는 케이블 외부에 항온의 열풍을 일정시간 동안 공급하여 케이블을 가열하는 방식을 사용하고 있다.[2] 그러나 전도체에 접촉되고 자켓에 의해 외부온도의 영향이 일부 차단되는 절연체의 열화는 외부 가열방식으로 시뮬레이션 하기가 매우 어렵다. 미국 등 선진국에서는 오옴 저항열을 계산하기 위해 전력케이블에 가해지는 전류량을 측정하고 이를 오옴 저항열로 환산하는 방법을 사용하고 있으나 이러한 방법의 신뢰성에 대해서는 연구된바가 없다.

본 연구에서는 전력케이블의 자켓 외부의 온도를 측정함으로써 전도체에 발생하는 오옴 저항열을 취득하는 방법을 연구하기 위해 몇 가지 실험을 수행하였다. 전력케이블의 전도체를 제거하고 그 공간에 선형의 전열히터를 삽입한 뒤 전도체와 절연체사이 및 자켓 외부에 열전대 온도계를 설치하고 자켓 외부 온도와 오옴 저항열의 관계를 모니터링하는 실험을 수행하였으며 본고에서는 그 결과를 소개하고자 한다.

2. 본론

2.1 시스템 작동 흐름도

전력케이블 오옴 저항열 시뮬레이터 작동 흐름도는 그림1과 같다. LabVIEW 프로그램에서 설정온도를 입력하면 DAQ보드를 통해 설정온도에 해당하는 전압신호를 출력한다. 출력된 전압신호는 전압-전류 변화 콘트롤 박스를 통해 히터의 전류를 조절하게 된다. 가변전류 조정기를 통해 케이블 내부에 설치된 선형 히터 공급 전류를 미세 조절하여 가열온도를 조절하게 된다. 히터-절연체 사이의 온도 및 케이블 자켓 외부의 온도 데이터는 DAQ 보드를 통해 실시간으로 취득되어 컴퓨터에 저장된다. 자켓 외부의 온도가 설정온도에 도달하면 히터 공급 전압신호를 조절하여 히터의 가열온도를 자동 조절하게 된다. 자켓 외부의 온도를 시간에 따라 변화하도록 프로그래밍하면 히터온도는 이에 따라 변화하게 된다. 본 방법을 이용하면 전력케이블 자켓의 온도를 모니터링하여 실제 운전환경에 맞는 가속열화를 수행할 수 있다.

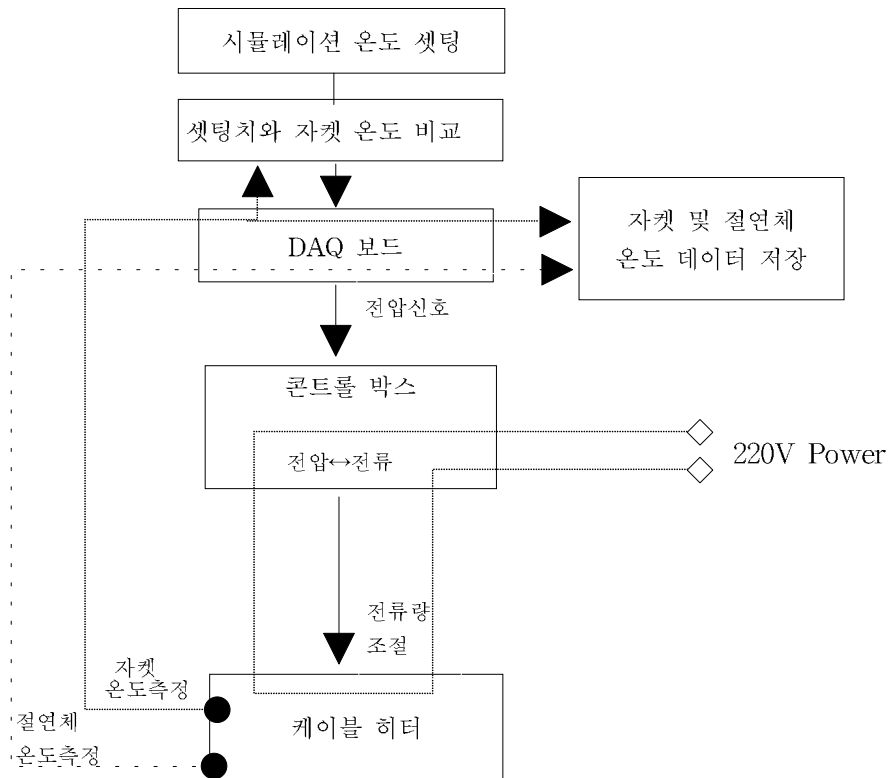


그림 1. 케이블 오음 저항 열 시뮬레이션 장치의 작동 흐름도

2.2 전력케이블 오음 저항열 실험장치

2.2.1 시뮬레이션 소프트웨어

오음 저항열 시뮬레이션 장치의 가장 중요한 부분은 케이블 자켓 온도를 측정하여 셋팅값과 비교하고 온도편차에 해당하는 양만큼 히터 공급 전류량을 가감하는 것이다. 본 실험에서는 자켓 및 히터온도 측정과 히터 공급전류의 자동 제어를 위해 NI사의 LabVIEW 프로그램을 이용하였다. 프로그램의 구성은 크게 SET-UP, MONITOR, GAIN, TUNING으로 나누어 구성하였다. 시뮬레이션 프로그램의 SEP-UP화면을 그림 2에 나타내었고 MONITOR화면을 그림 3에 나타내었다. SET UP 창에서는 실험 방법을 선택하고 시뮬레이션 할 온도 데이터를 입력한다. 시뮬레이션 데이터 입력은 Simulation과 Manual로 구분하여 사용자의 목적에 맞게 선택할 수 있다. Simulation은 파일로 작성된 시뮬레이션 온도 값을 불러오고, Manual은 사용자가 직접 임의의 온도 데이터를 step별로 “TEMPERATURE HISTORY” 창에 입력하도록 하였다. “CONTROL FREQUENCY”에서는 초당 몇 번을 제어할 것인지를 설정한다. “MONITOR” 창에서는 실험이 진행되는 과정과 케이블 자켓의 초당 변화 온도와 시간을 실시간으로 확인 할 수

가 있다. GAIN 창은 재료의 특성함수를 입력하여 PID 제어가 가능하게 한다. 오음 저항 열 시뮬레이션에서는 일정온도 상승 후 급격한 온도감소가 없기 때문에 PI제어만으로 온도 조절이 가능하다. 추가적으로 TUNING 창을 만들어 인가된 전압에 따른 케이블의 표면온도를 함께 볼 수 있도록 하였다.

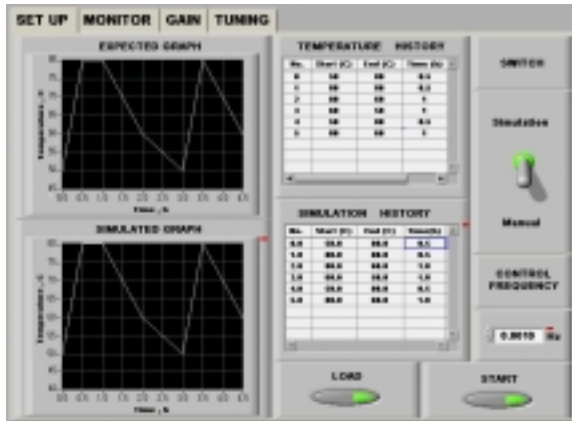


그림 2. 시뮬레이션 프로그램 셋팅 화면

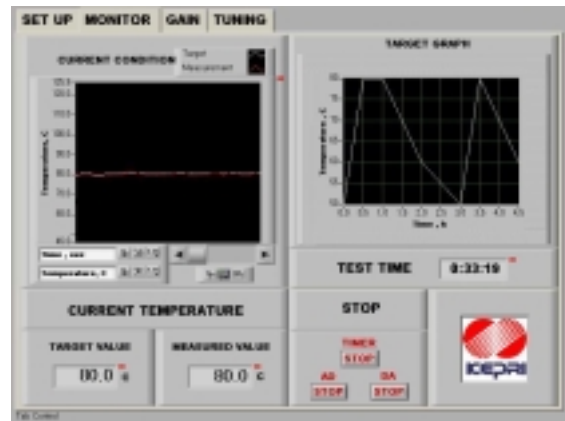


그림 3. 시뮬레이션 상태 모니터링 화면

2.2.2 하드웨어 구성

자켓 및 히터의 온도 측정을 위해 Thermocouple "K" type을 사용하였으며 히터는 반경 0.5cm 500W 봉상 히터를 사용하였다. 자켓 외부에 설치된 열전대 온도계는 세라믹 단열재를 설치하여 외부 온도와외 단열을 유지하였다. 온도신호의 A/D converter 및 히터 전류제어용 D/A converter는 ADlink사의 DAQ보드를 사용하였다. 콘트롤 박스는 TPR과 T/C controller, Main Switch, Lamp로 구성하였다. 주변 온도의 영향을 배제하기 위해 아크릴 격리 판을 제작하여 설치하였다. 그림 4는 전력케이블 오음 저항열 시뮬레이션 장치의 실물사진이다.

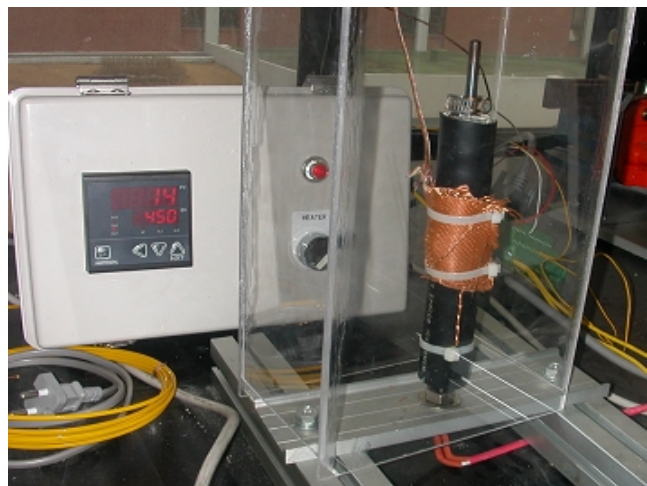


그림 4. 전력케이블 오음 저항열 시뮬레이션 장치

2.3 온도 제어 실험

2.3.1 개요

실험용 케이블은 EPR 절연체 및 네오프렌 고무 자켓을 사용하였다. 히터의 온도 제어는 PI제어 방식을 사용하였다. 실험재료인 자켓의 온도변화 특성을 알기위해 전압과 온도 특성을 분석하여 자켓의 특성함수를 구한 뒤 온도 제어를 하였다.

2.3.2 PID 제어방법

일반적으로 사용되는 PID제어는 제어대상물의 상태를 측정하여 설정치와의 편차가 없도록 출력을 계산하는 피드백 제어 방법으로서 비례연산(P), 적분연산(I) 및 미분연산(D)의 결과를 가산하여 출력하는 제어방식이다. 비례연산(P) 피드백은 응답속도를 증가시키면 큰 과도 오버슈트를 발생시킨다. 적분연산(I)을 하게 되면 비례연산에 의한 오버슈트를 제거하게 되지만 이로 인해 언더슈트가 발생하게 된다. 미분연산(D)를 하게 되면 언더슈트를 제거하게 되어 정상응답으로 복귀될 수 있다. 이 세 가지 종류의 제어가 결합된 고전적인 PID 제어방식이 널리 쓰이고 있으며 PID 계인은 시행착오 방법에 의해 가장 최적의 수치를 찾아서 사용하게 된다. 오음 저항열 시뮬레이션 장치는 온도의 변화가 급작스럽게 변화하기 않기 때문에 PI제어만으로 구성하였다. 실험 초기에는 자켓의 온도 특성을 파악하기 위해 전압대비 자켓 온도 변화상태를 모니터링하여 케이블의 전압대비 온도 특성을 구하고 자켓의 전달함수를 구하였다. 자켓의 전달함수를 이용하여 PI제어를 수행하였다.[3]

2.3.3 자켓의 전달함수 결정

피드백 구조로서 제어를 하려면 자켓의 전달함수를 알아야 한다. 자켓의 온도 특성은 잘 모르지만 본 장치에서 제어하려는 것이 온도이기 때문에 이 특성을 이용하여 자켓의 전달함수를 찾아 낼 수 있다. 실험하려는 케이블에 온도를 가하게 되면 시간에 따른 온도가 1차 방정식으로 나오게 되며 이를 이용하여 그림 5와 같은 전압에 따른 온도특성을 구할 수 있다. 본 1차 방정식이 케이블 자켓의 전달함수가 된다. 자켓의 전달함수를 알게 되면 피드백 제어가 가능하다. 피드백 제어시스템의 블록선도는 그림 6과 같다. 그림 6에서 플랜트는 자켓의 전달함수가 되고, 제어기는 경험으로서 구한 PI gain 값이 된다.

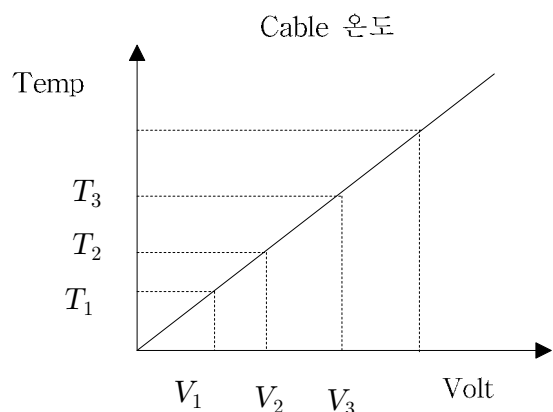


그림 5. 자켓의 온도 특성

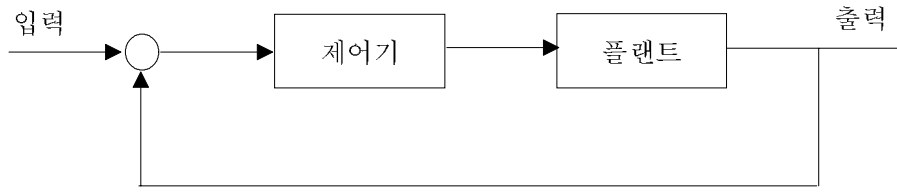


그림 6. Feedback 시스템의 블록선도

2.3.4 실험변수 결정

실험 전에 GAIN창에서 변수를 결정해 주어야 한다. GAIN창에는 자켓의 전달함수에 해당하는 $F(G)$ 함수를 입력하고 P gain과 I gain을 반복적으로 입력하여 최적 값을 결정한다. $F(G)$ 함수는 전압과 온도의 1차 함수에서 구할 수 있다. 실험온도는 50-80°C 사이에서 임의로 변화하도록 하였으며 자켓의 측정온도는 셋팅 온도의 10%범위 내에서 제어가 가능하도록 하였다. 설정온도 및 설정시간은 표 1과 같다.

표 1. 설정온도 및 시간

	설정온도(°C)		설정시간(Hour)
1	50	80°C	0.5
2	80	80°C	0.5
3	80	60°C	1
4	60	50°C	1
5	50	80°C	0.5
6	80	60°C	1

2.3.5 실험결과

케이블 전도체의 오염 저항열에 대한 시뮬레이션 결과 그림 7과 같이 가열 시작점에서 초기 측정온도와 목표온도 사이에 50°C의 편차가 발생함을 알 수 있다. 이러한 편차로 인해 측정온도와 목표온도는 그래프 상에서 가로축의 시차가 발생하였다. 시차문제를 해결하기 위해 프로그램을 수정하여 측정 시작점을 목표온도 50°C에 도달하는 시간으로 변경한 결과 그림 8과 같이 측정온도와 목표온도가 매우 유사하게 시뮬레이션 됨을 알 수 있었다. 그림 7 및 그림 8에서 히터의 온도는 자켓의 온도보다 약 20°C 높은 온도로 유지되고 있음을 알 수 있다. 본 실험을 통해 케이블 자켓의 온도를 모니터링하면 전도체의 오염 저항열을 산출할 수 있음이 증명되었다. 케이블 자켓 온도 모니터링 데이터를 이용하면 케이블 절연체의 가속열화 온도 조건을 만들 수 있어 오염 저항열에 의한 케이블 절연체의 노화를 시뮬레이션하는 것이 가능하다.

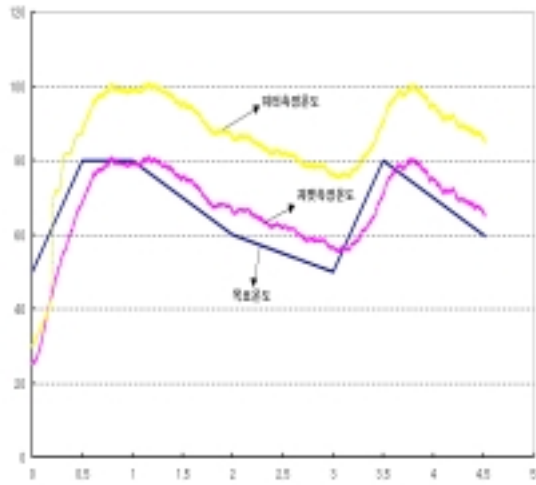


그림 7. 오음 저항열 시뮬레이션 결과(1)

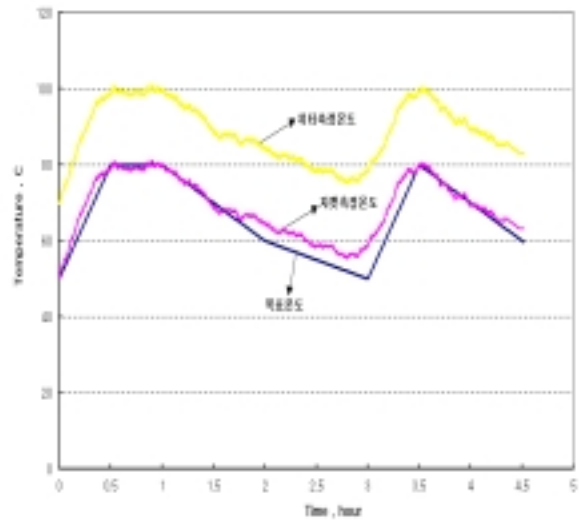


그림 8. 오음 저항열 시뮬레이션 결과(2)

4. 결 론

원자력발전소의 전력케이블의 오음 저항열을 자켓의 외부온도를 측정하여 시뮬레이션 하는 실험을 수행하였다. 온도 제어는 케이블 재료의 특성함수인 $F(G)$ 의 함수를 찾아내어 PI제어를 함으로써 자켓의 온도가 셋팅치와 10% 오차 범위내에서 적절히 제어가 될 수 있음을 확인하였다. 본 실험을 거친 케이블은 자켓 표면 온도와 전도체의 오음 저항열의 상관관계를 알 수 있으므로 자켓 외부 온도를 모니터링 함으로써 케이블 전도체의 오음 저항열이 케이블 절연체의 노화에 미치는 영향을 보다 정확하게 계산할 수 있다. 본 실험방법을 활용하면 전력케이블의 오음 저항열에 의한 절연체의 노화를 가속열화 방법을 통해 시뮬레이션 하는 것이 가능하다.

참고문헌

- [1] Assessment and management of ageing of major nuclear power Plant components important to safety, IAEA-TECDOC-1188, 2000
- [2] Management of Ageing of I&C Equipment in Nuclear Power Plants, IAEA-TECDOC-1147, 2000
- [3] Gene F. Franklin, Feedback Control of Dynamic Systems, Addison Wesley, 1995