

PQ데이터를 이용한 예상 유지보수방안의 소개

조수환, 장길수, 권세혁, 전영수\*  
고려대 전자전기공학부, 한국전력 전력연구원\*

Concept of the Advanced Predictive Maintenance Using PQ Data

Soo-Hwan Cho, Gilsoo Jang, Sae-Hyuk Kwon, Young-Soo Jeon\*  
Korea University, KEPRI\*

**Abstract** - Predictive maintenance is not an unfamiliar concept because it has been used to predict the failures of electrical equipment such as transformers, motors and so on. By thoroughly monitoring the status of individual equipment and tracing how the various characteristics change over time, we can be aware of its exact condition and prevent the impending failure by taking appropriate actions. In this paper, I will extend the concept of predictive maintenance for individual electrical equipment to the power distribution system and show how to use the data obtained from power quality monitors to improve the power system.

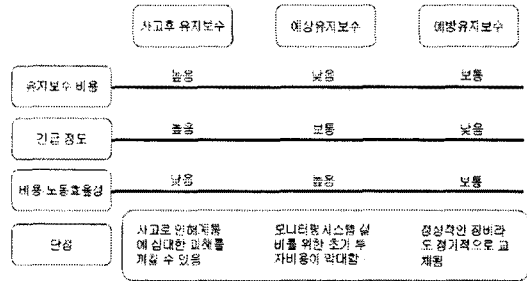


그림 1. 전력계통에 적용가능한 유지보수 기법

1. 서 론

전력산업에 시장경제의 원리가 적용되어 전력회사 간의 경쟁이 심화함에 따라 원가절감을 통한 이윤 극대화의 필요성을 절감하게 되었으며 유지보수에 소요되는 비용은 원가절감의 가장 매력적인 요소로 간주되었다. 기존의 유지보수기법의 단점을 보완하기 위해 전력품질 요소를 이용한 예상유지보수 기법을 본 논문에서 소개하고자 한다. 이 기법은 고성능의 실시간 모니터링 시스템을 통해서 실현가능하다. 모니터링을 통해 고장의 전조로 간주할 수 있는 이상현상을 취득하게 되면 이를 이용하여 그에 대한 원인을 파악하고 제거하여 계통의 정상적인 운용에 이바지 할 수 있다. 계통내의 설비들이 고장을 일으킬 경우 혹은 고장이 진행될 경우 이는 전압, 전류 파형에 왜곡을 초래할 것이고 전력품질에 영향을 끼치게 된다. 결국 여러 가지의 품질 지수들에 대한 모니터링을 통해서 계통의 상태를 평가할 수 있다. 이러한 유지보수 기법을 전력품질 데이터를 이용한 예상유지보수(PQ Index-based Predictive Maintenance)라고 한다.

2. 유지보수 기법의 종류

전력산업에 적용할 수 있는 유지보수 방안에는 사고 후 유지보수, 예방유지보수(정기보수), 예상유지보수 등이 있다. [1] 계통의 규모와 고장의 피해에 따라 그에 적합한 유지보수 기법을 사용할 수 있다. 각 기법들의 특징을 그림 1에서 보여주고 있다. 사고후 유지보수는 설비의 고장이 발생한 후 해당 설비를 수리/교체하는 것으로 설비 고장으로 인한 피해가 적을 경우 사용될 수 있다. 예방유지보수는 현재에 가장 많이 사용되는 기법으로 사고로 인한 피해가 설비의 교체 비용에 비해 막대할 경우 사용된다. 하지만 일정 주기에 의해 설비의 상태에 무관하게 교체하므로 비용, 노동적으로 비효율적이다. 예상유지보수는 예방유지보수에서 설비의 교체, 수리 시기를 결정하는 데에 설비의 상

태를 이용하는 것으로 유지보수 비용을 최소화하는 데 유리한 기법이다. 이는 상태 기반의 유지보수기법(Condition Based Maintenance)이라고 불리기도 하지만 설비의 수명을 예측할 수 없다는 측면에서 예상보수와 구별되어야 한다. [2]

여러 연구를 통해서 개별적인 계통 설비에 대한 예상보수는 이뤄지고 있다. [3, 4] 하지만 전력계통의 전반적인 관점에서 상태를 파악하기에는 전력품질 요소를 관찰하는 것이 효율적이다. 하지만 현재에 전력품질 측정을 목적으로 설치되어 있는 전력품질 모니터링 장비는 이상현상 취득에 적합하지 않다. 단순히 품질지수를 통해 이상현상이 발견되었다 하더라도 정확한 파형을 포착하여 그 중에 포함되어 있는 이상신호를 추출할 수 있는 알고리즘이 필수적이기 때문이다.

3. 예상유지보수를 위한 필수조건

기존의 품질모니터링 장비는 파형 분석을 위해 FFT와 실효치 등의 계산이 가능하다. 하지만 이것을 통해서 우리가 원하는 이상신호의 포착은 불가능하다. 설비의 고장으로 인한 이상신호는 주로 작은 크기의 높은 주파수를 가지며 발생이 비주기적인 신호이기 때문이다. 하지만 이러한 이상 전류가 포함된 전류 신호에 대해 DFT 분석을 할 경우 비주기적이며 크기가 작은 이상전류는 리플의 형태로 전체 주파수에 끌려서 퍼져있음을 확인할 수 있으며 실효치 계산의 경우에도 그 차이를 구별하는 것이 쉽지 않음을 알 수 있다.

결국 정확한 이상신호의 추출을 위해서는 기본 주파수 성분과 저차수 고조파성분을 제거가 선행되어야 한다. 이는 ADC 과정에서의 디지털 성능(비트 해상도, 동작범위)을 향상시키는 것을 의미한다. 또한 디지털 필터링을 포함한 여러 가지 디지털 시그널 프로세싱 기법을 사용하여 그 기능을 최대한으로 이용할 수 있어야 한다.

### 3.1 예상유지보수를 위한 하드웨어적 원형

전력품질 예상유지보수를 위한 시스템(이하 PQPM)을 위한 핵심 부분은 신호컨디셔닝부(이하 SC)와 신호취득부(이하 DAQ)로 나뉜다. SC는 실제 계통에서 전압 전류 신호를 얻기 위한 설비를 의미한다. 보통 PT와 CT를 포함하며 과거에는 아날로그 필터들을 사용하여 신호를 여러 가지로 분기하여 사용하였으나 현재에는 디지털 장비의 활용으로 인해 아날로그 필터는 사용하지 않아도 된다. 그리고 DAQ는 SC에서 얻어진 아날로그 전압, 전류 신호를 컴퓨터로 분석가능한 디지털신호로 변환하는 과정을 의미한다.

### 3.2 예상유지보수를 위한 소프트웨어적 원형

기본적으로 기존의 전력품질 모니터링 장비들로부터 얻을 수 있는 여러 가지 품질관련 지수들을 계산할 수 있어야 하며 디지털 프로세싱 기법들을 이용할 수 있어야 한다. 그리고 매 2사이클마다 모든 지수들이 정상화되어야 하며 매 초마다(이 경우 30개의 데이터에 대한) 혹은 필요한 주기마다 각 지수들에 대한 최대, 최소, 평균 및 표준편차들이 계산되어야 한다. 이러한 결과들은 최소한 10분 이상 저장되어야 하며 이상이 발견되지 않은 경우 다음 10분의 데이터 분석을 위해 기존 데이터를 삭제할 필요가 있다. 또한 관리도와 같은 통계적 알고리즘들을 구비해야 한다.

대략적인 시스템의 원형은 아래의 그림 2와 같다.

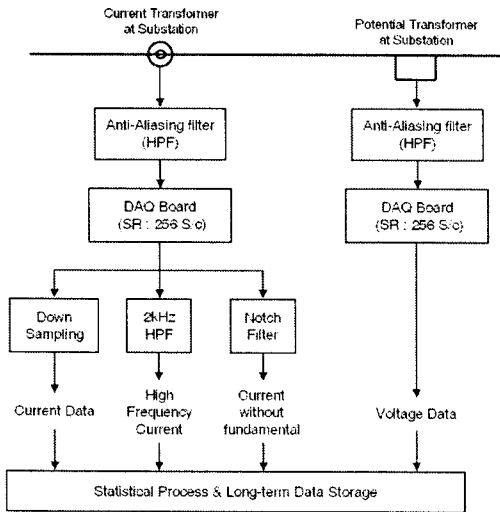


그림 2. PQPM을 위한 모니터링 시스템의 대략적인 원형

### 3.3 예방유지보수를 위한 필수조건

PQPM 시스템이 갖춰야 할 조건을 정리하면 아래와 같다.

- 연속적인 모니터링
- 높은 비트해상도와 샘플링비: 최소 128샘플링/사이클 이상의 샘플링비와 12비트 이상의 비트해상도
- 통계적 계산: 최대, 최소, 평균 및 표준편차 그리고 관리도 등
- 장기간 저장능력: 외부 저장장치를 이용하여 수 년에 걸친 데이터 저장
- 디지털 프로세싱 기법: 디지털 필터링, FFT 등을 이용 기본 주파수 성분과 저차수 고조파 제거 기능
- 파형 캡처를 위한 트리거링 기능: 절대치 설정 뿐만 아니라 통계적 분석 혹은 파형 분석을 통한 자동 트리거링 기능

## 4. 전력품질 을 이용한 예방유지보수

지금까지 설명한 모니터링 시스템만으로는 예방유지보수를 실현할 수 없다. 엄청난 량의 데이터를 획득했다고 하더라도 그로부터 아무런 정보를 얻어내지 못한다면 무용지물이 될 것이다. [5]

과도현상과 단기변동에 해당하는 순간전압강하, 순간전압상승, 정전과 장기변동에 해당하는 과전압, 부족전압, 전압불평형, 플리커, 주파수 변동 그리고 DC오프셋, 고조파, 강호고조파 그리고 노이즈와 같은 파형왜곡 등 전압, 전류 데이터로부터 가능한 한 많은 품질요소들을 계산해내야 한다. 하지만 이 중에서도 아주 소량의 데이터만이 중요 정보를 지니고 있다. 또한 짧은 시간동안의 변화 양상으로 설비의 상태악화를 단정하기 어려우므로 장기간에 걸친 변동(악화) 양상을 파악할 필요가 있다.

결국 실제 취득한 전압, 전류 파형으로부터 이상현상으로 간주할 수 있는 부분들을 선택적으로 취한 후 이를 분석하여 장기간동안의 변화양상을 파악하는 알고리즘을 갖춰야 한다.

### 4.1 전력품질 데이터로부터 주요정보의 추출

방대한 량의 데이터로부터 사고 초기전류를 추출하기 위해서는 비정상적 패턴인식 기법이 사용되어야 한다.

이러한 과정을 데이터 마이닝이라 하며 적응 경향인식 기법과 이벤트 파형 특성인식기법이 사용될 수 있다. 적응 경향인식 기법은 시간에 따른 패턴 변화를 인지하고 이를 바탕으로 특이성의 발생 여부를 알려주는 과정이다. 경향 추적을 위한 도구로 컨트롤차트가 사용될 수 있다. [6] 슈왈츠 컨트롤차트, 가중지수 이동평균 컨트롤차트(EWMA) 그리고 누적합계컨트롤차트(CUSUM) 등의 계수형 컨트롤차트가 관찰하고자 하는 데이터의 특성에 따라 선택적으로 사용될 수 있다. 이벤트 파형인식 기법은 이벤트별로 발생하는 상이한 특이성들을 전압과 전류 파형으로부터 직접 얻는 방법이다. 하지만 이를 위해서는 기본주파수와 저차수의 고조파를 제거하는 것이 필수적이다. 또한 설비별 그리고 고장의 종류별로 발생 가능한 여러 이벤트들의 개별적인 연구가 선행되어야 한다. 그림 3은 전류신호에 묻힌 이상신호의 존재를 파악하는 컨트롤차트의 성능을 보여준다.

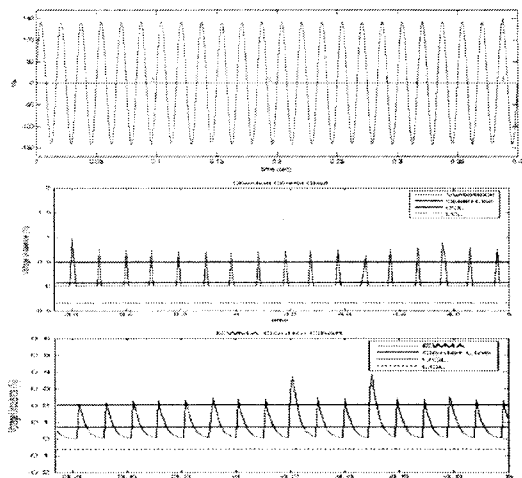


그림 3. 이상신호를 포함한 전류신호(위), 슈왈츠차트(중간), EWMA차트(아래)

## 5. 결 론

지금까지 전력품질지수를 이용한 전력계통 예상유지보수의 일반적인 개념에 대해 소개하였으며 컨트롤차트의 유용성과 장기간의 데이터 저장의 필요성에 대해 알아보았다.

계통 내에서 발생할 수 있는 사고 초기 신호 혹은 이벤트 신호를 감지하기 위해서 전력품질 모니터링 장비의 계통 전반에 걸친 설치 및 사용의 보편화가 선행되어야 하며 연속적인 상태 모니터링이 이뤄져야 한다. 또한 계통의 상태가 변화하는 것을 알아내기 위해서 계속적인 데이터 비교가 이뤄져야 한다.

유지보수기법의 향상을 통해 원가절감을 통한 경쟁력 제고는 물론 향후 다양한 기술 개발에 있어서 유리한 고지를 선점하는 것이 앞으로 다가올 경쟁적 전력산업 구조 개편에 적극적으로 대응할 수 있는 방안이라 할 수 있다.

앞으로 장기적인 안목을 가지고 개별 설비들의 상태 변화 추이에 대한 더욱 자세한 연구가 진행되어야 하면 이를 통해 더 나은 유지보수기법을 완성할 수 있을 것이다.

### [참고 문헌]

- [1] S. Khan, K.L. Butler, B.D. Russell, "A Predictive Maintenance Approach for Power Distribution System", Proceedings of the 1995 North American Power Symposium, pp. 700-707, 1995. 10
- [2] M. Maquire, "Predictive Maintenance : What does it do?" Electrical World, pp. 11-12, 1992. 6
- [3] John A. Palmer, Xianghui Wang, A. Mander, D. Torgerson, C. Rich, "Effect of Aging on the Spectral Response of Transformer Oil", *Conference Record of the 2000 IEEE International Symposium on Electrical Insulation*, pp. 460-464, 2000. 4
- [4] H.L. Willis, G.V. Welch, R.R. Schrieber, "Aging Power Delivery Infrastructures", Marcel Dekker, Inc
- [5] Bradley, D, "Applying Predictive Maintenance to Power Quality", *International Telecommunication & Energy Conference 2001*, pp.229-237, 2001. 10
- [6] 조수환, 장길수, 권세혁, 전영수, "통계적 방법을 이용한 전력품질 방안", 2006 대한전기학회 하계학술대회, 2006. 7
- [7] <http://www.powermonitoring.com/pqwebdemo/>

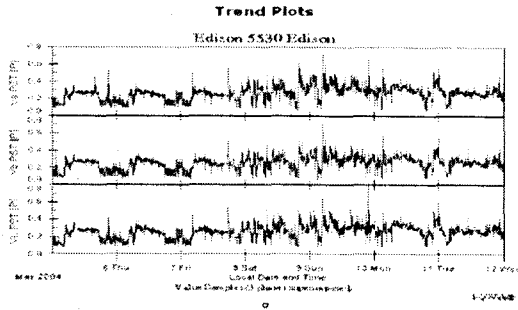


그림 4. 1주일에 걸친 플리커 변화 패턴

### 4.2 저장된 데이터로부터 변화패턴의 파악

단기적으로 수집된 데이터들을 장기간 저장한 후 매 주, 매월 혹은 매년마다 변화패턴을 연구하여 고장의 악화 과정을 파악해야 한다. 시간에 따른 이벤트 발생 회수의 증가는 향후에 발생할 수 있는 가능성이 늘어나고 있음을 의미한다. 일정한 주기에 따라 각 정량화 지수에 대한 평균을 구하여 이를 바탕으로 변화양상을 파악할 수 있다. 그림 4는 플리커 지수(Pst)를 1주일간 관찰한 결과를 그래프로 보여주고 있다. [7]

전류 데이터로부터 추출한 고주파수 성분분에 대한 시간 플롯을 작성하면 수목제거작업 전후의 차이를 확연히 구별할 수 있다.

### 4.3 PQPM을 위한 시스템의 개념도

각각의 전력품질 모니터링 장비로부터 매 설정 주기마다(예를 들어, 10분) 기본적인 데이터(전압, 전류 순시치, 실효치 등)는 물론 각 물리량에 대한 통계치(최대, 최소, 평균값, 표준편차 등) 등을 각 상별로 측정하여 (각 상당 전류채널 3개, 전압채널 1개) 시간 정보를 추가하여 서버로 전달한다. 서버에 연결된 중앙처리부에서는 각 신호들에 대한 이상신호 추출 알고리즘을 사용하여 이상신호의 존재여부를 판단하고 이상 신호로 판정될 경우 해당 신호를 외부 저장장치로 저장할 것을 명한다. 또한 이메일, 호출기, SMS 등의 통신 수단을 이용하여 전력회사의 엔지니어에게 이 정보를 전달한다. 담당 기술자는 원인을 파악하고 적절한 방안을 수립한 후 그 결과를 서버에 입력하여 이력을 관리하도록 한다. 이는 향후에 프로그램의 학습능력을 부파하는데 도움을 줄 것이다. 그림 5는 PQPM을 위한 시스템 전체의 개념을 설명해준다.

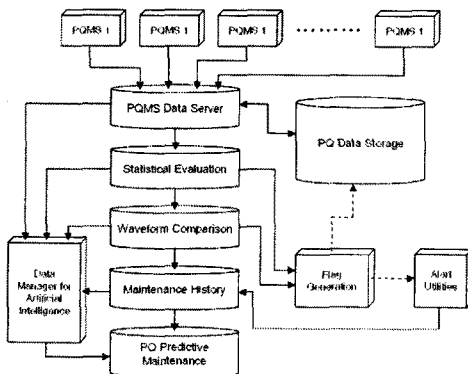


그림 5. PQPM 시스템의 다이어그램