

전력품질 향상을 위한 전력품질 진단시스템 개발에 관한 연구

서장철* 정주환 이진호 최종용
LG산전(주) 신사업기획팀

원동준 문승일
서울대학교 전기컴퓨터공학부

A Study on Development of Power Quality Diagnosis System for Power Quality Improvement

Jang-Cheol Seo* Juhwan Jung Jin-Ho Lee Jong-Woong Choe
LG Industrial Systems, New Business Planning Team

Dong-Jun Won Seung-Il Moon
Seoul National University

Abstract - 최근 정보통신산업의 발전 및 생활수준의 향상에 따라 정보통신기기, 정밀제어기기 등의 보급이 확산되면서 안정적이면서도 신뢰성을 갖춘 양질의 전력에 대한 수용가 측의 관심 및 요구가 급격히 증가하고 있고, 이에 따라 전력품질 모니터링, 진단, 향상 시스템에 대한 연구 및 개발이 활발히 이루어지고 있다. 본 논문에서는 LG산전과 서울대학교가 공동 개발한 전력품질 모니터링 시스템에 연계되어 전력품질 오염위치 추정, 오염원 판별, 통계적 추이 분석, 전력품질 인덱싱, 확률론적 분석을 수행하는 전력품질 진단시스템에 대해 소개한다. 전 세계적으로 상용화되어 있는 전력품질 진단시스템을 살펴보고, 현재 LG산전과 서울대학교가 공동 개발하고 있는 전력품질 진단시스템의 구조 및 기능에 대해 소개한다.

1. 서 론

2000년 12월 전력산업 구조 개편안이 국회를 통과하면서, 우리나라에도 본격적인 경쟁적 전력시장이 출현하였다. 이러한 전력시장의 경쟁 도입은 기존의 전력기구나 설비 분야에 국한해서 시행되어오던 단순한 입찰경쟁과는 비교가 되지 않는 것으로, 전력산업 전반에 걸친 대대적인 변화와 구조개편을 의미한다.

이러한 변화들 가운데 가장 주목해야 할 것은 전력 가격 즉 전기 요금 체제의 근본적인 변화와 전력시스템의 신뢰도 및 전력품질의 문제이다.

특히 정보통신산업의 발전 및 생활수준의 향상에 따라 보급이 확산되고 있는 정보통신기기, 정밀제어기기, 사무자동화기기, 전산기기, 자동생산라인, 온라인 서비스기기 등이 안정적이면서도 신뢰성을 갖춘 양질의 전력을 요구하고 있고, 이에 따라 전력품질에 대한 수용가측의 관심 및 요구가 급격히 증가하고 있는 현 상황에서 전력품질의 문제는 더욱 중요하다 할 수 있다.

지금까지 전력회사는 정전을 최소화하려는, 즉 전력의 공급 신뢰성 확보를 위한 노력을 지속적으로 해왔다. 그러나 전력의 질에 민감한 부하가 지속적으로 증가하고 있기 때문에, 앞으로는 순시전압강하(Voltage Sag), 순시전압상승(Voltage Swell), 고조파(Harmonics), 전압불형행(Voltage Imbalance), Flicker, Surge 등과 같은 순시 전력품질 문제를 해결한 깨끗한 전기(Clean Power) 제공에 많은 노력을 기울여야 할 것이다. 그렇지 못할 경우 생산되는 제품의 질 저하라든지 중요한 산업시설의 정지 그리고 정보의 손실 등을 야기시킬 수 있으며 그에 따른 막대한 경제적인 손실도 초래하게 된다.

전력품질 문제에 의한 사회, 경제적인 피해비용을 설문자료 등에 의해 분석하면, 1996년 우리나라 계약전력 1,000kW 이상 대전력수용가의 1%에 해당하는 수용가에 대한 설문조사 결과, 전력품질 문제에 의해 연간 65억원 정도의 손실이 발생한다고 응답했으며, 이에 따른 우리나라 전체의 피해액은 6500억원 정도로 추정되고 있다 [1]. 미국 Power Quality 그룹의 보고서에 의해

면, 전력품질 문제에 의해 많은 수용가에서 피해를 입고 있으며 그 피해 규모를 연간 250억불(약 32조원) 정도로 추정하고 있다 [2]. 정보통신산업의 발전 및 사회의 고도화로 인해, 전력품질 문제에 의한 피해 비용은 더욱 증가했을 것이다.

이러한 전력품질 문제의 해결을 위해서는 먼저 전력 품질을 모니터링 및 분석하고, 그 데이터를 기반으로 전력 품질 문제의 원인을 찾아내는 진단(Diagnosis) 작업이 선행되어야 한다.

이를 위해 LG산전과 서울대학교는 2001년부터 전력 품질 관련 시스템을 공동 개발하고 있으며, 1단계로 전력 품질 모니터링 시스템(Power Quality Monitoring System) [3,4]을 개발 완료하고 상품화를 진행 중에 있으며, 2단계로 전력품질 진단시스템을 개발 중에 있다. 개발 중인 전력품질 진단시스템은 기 개발된 전력품질 모니터링 시스템의 모듈 형태로 작동하며, 통계적 추이 분석, 전력품질 인덱싱(Indexing), 확률론적 분석, 오염원 위치 추정 및 원인 판별 등과 같은 전문적인 전력품질 진단 기능을 수행한다.

본 논문에서는 전 세계적으로 상용화되어 있는 전력 품질 진단시스템을 간단하게 살펴보고, 현재 LG산전과 서울대학교가 공동 개발하고 있는 전력품질 진단시스템의 구조 및 기능에 대해 소개한다.

2. 전력품질 진단시스템의 개요

전력품질 진단시스템은 일반적으로 전력품질 모니터링 시스템의 모듈 형태로 제공되는데, 전력품질 모니터링 시스템과 연계하여 전력품질 문제의 원인 및 사고 파급 영향 분석 등을 수행하는 시스템이다. 이 시스템의 주요 기능으로는, 전력품질 오염원 탐지, 전력품질 Event 추이 분석, 전력품질 Event 추이 분석을 통한 문제점 진단, 전력품질의 확률론적 분석, 전력품질 문제에 의한 피해 규모 산정 등이 있다.

이러한 전력품질 진단시스템을 통해 기존의 전력품질 문제 발생 후에 문제 지점에 찾아가서 그 원인을 찾는 reactive action에서, 측정된 데이터를 분석하여 전력 품질을 진단함으로써 사고가 발생하기 전에 발생 가능한 전력품질 문제를 예측하고 이에 대비하는 proactive action으로의 변환이 가능하다. 즉, 측정 및 분석된 저장 데이터를 가지고 미래의 전력 품질을 예측하여 문제가 발생하기 전에 미연에 방지함으로써 경제적 손실을 막는 것이 가능해진 것이다.

전력품질의 진단을 통해서 문제를 일으키는 순시 전압 강하 등의 사고 데이터를 분석하여 사고 별 발생 빈도를 구해낼 수 있으며 수용가의 부하 특성(Voltage Tolerance Curve) 등을 이용하여 사고 별 발생 빈도와 비교하여 발생 가능한 전력품질의 문제 및 발생 빈도를 예측할 수 있다. 또한 전력품질 문제의 예측을 통하여 해결책 혹은 보상 방법 등을 제안할 수 있다.

현재 주로 사용하고 있는 전왜곡률 (Total Harmonic Distortion, THD) 혹은 각종 신뢰도 지수

(시스템 평균 정전 빈도 지수(SAIFI), 수용가 평균 정전 빈도 지수(CAIFI) 등)는 전력품질을 나타내기에 많은 한계를 보이고 있다. 따라서 전력품질의 정도를 나타내는 지수(Power Quality Index)를 제시하고 데이터를 사용자나 정책 결정자가 쉽게 체감할 수 있는 정보(Information)로 변환시켜 예상 손실액 추산, 보상장치 설치 여부 등과 같은 정책 결정 과정에 이용할 수 있다. 또한 전력회사 사이 혹은 전력회사와 수용가 사이의 계약 기준으로 삼을 수 있다.

전력 품질을 진단하는 중요한 이유 중의 하나는 전력 품질을 기반으로 전력공급 계약을 맺었을 때 전력품질 저하의 원인이 어느 쪽에 있는가를 판정하는 기준으로 삼기 위한 것이다. 즉 공급자가 저하된 품질의 전력을 공급했는가 아니면 수용가에서 전력 품질에 영향을 미치는 파형을 발생시켰는가 하는 것이다. 전력품질 진단시스템은 전력품질 문제의 방향성 검증, 전력품질 오염원 탐지 등을 통한 전력품질 문제의 책임 소재를 따져 전력품질 관련 계약에 있어 계약 이행 여부를 판단할 수 있는 자료를 제공할 수 있다.

3. 상용 전력품질 진단시스템

제2장에서 설명한 것처럼 전력품질 진단시스템은 수용가에 많은 이점을 제공하지만, 수많은 업체에서 제품을 출시하고 있는 전력품질 모니터링시스템과는 달리 현재 상용화되어 있는 전력품질 진단시스템은 많지 않다. 아직까지 전력품질 진단 관련 기술이 확립되지 않았고, 그 신뢰도가 높지 않은 것이 그 이유이다.

현재 제품 형태로 출시되어 있는 전력품질 진단시스템은 다음과 같다.

3.1 Signature System

현재 전력품질 분석 및 진단과 관련한 선두업체는 미국의 Electrotek과 Dranetz-BMI라고 할 수 있다. Electrotek은 전력품질 분석 및 진단 소프트웨어를 개발하는 업체이고, Dranetz-BMI는 하드웨어 생산업체로써 다양한 전력품질 측정 및 분석기기를 생산하고 있다. 두 업체는 업무 제휴 및 철저한 업무 분담을 통해 *Signature System*이라는 전력품질 분석 및 진단 시스템을 개발하였다 [5].

그림 1은 *Signature System*의 전체 구성도를 나타낸다.

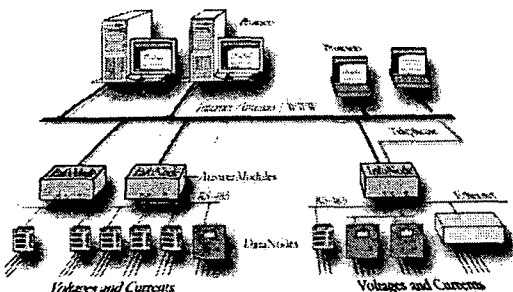


그림 1 Signature System의 전체 구성도

그림에서 볼 수 있듯이 *Signature System*은 먼저 *DataNodes*로 명명된 전력품질 분석기에서 전압 및 전류 등을 측정하여 이를 전력품질 관점에서 분석하고 측정 데이터 및 분석 결과를 *InfoNodes*라고 명명된 일종의 시스템 게이트웨이에 보낸다. *InfoNodes*에서는 *DataNodes*에서 보내온 데이터를 정보로 가공하고 *InfoNodes*에 내장된 *AnswerModules*에서는 전력품질

문제의 원인을 찾고 진단하게 된다. 그리고 수용가에서는 측정된 데이터 및 가공된 정보들을 일종의 웹 서버 역할을 하는 *InfoNodes*를 통해 인터넷 및 인트라넷 등에서 확인할 수 있는 구조로 되어 있다.

*InfoNodes*에 내장된 *AnswerModules*이 전력품질 진단시스템인데, 다음과 같이 크게 네가지 모듈로 구성되어 있다.

- ① RMS Voltage Sag Directive AnswerModule
- ② Radial Fault Locator AnswerModule
- ③ CapSwitch AnswerModule
- ④ Reliability Benchmarking Methodology AnswerModule

이 *AnswerModules*의 주된 기능은 사고가 Upstream 인가 Downstream인가를 판별하는 기능과 사고가 Voltage Sag일 경우 사고거리를 추정하는 것이다.

3.2 AiREPORTS

*AiREPORTS*는 전력품질 관련 전문기업인 미국의 Electro Industries/GaugeTech의 제품으로 전력품질 측정기기인 Nexus와 전력품질 모니터링 S/W인 Nexus Communicator와 연계하여 사용하는 전력품질 보고 및 진단 Tool이다 [6].

이 제품은 크게 Event Severity Factor, Possible Cause, Equipment affected, Typical solution으로 구성되어 있다.

이중 Event Severity Factor는 전력품질 인덱스를 보여주며, Possible Cause는 간단한 사고 원인 분석 및 사고 위치의 방향성을 판단·제시한다. Equipment affected 항목에서는 전력품질 사고에 의해 영향받을 수 있는 부하를 간단하게 제시하며, Typical solution 항목에서는 UPS 설치 등의 일반적인 전력품질 해결책을 제시한다.

3.3 RPM

미국의 RPM(Reliable Power Meters)에서는 나름의 전력품질 지수를 개발하여 이 지수를 이용한 예방적 진단 프로그램을 출시하였다 [8].

그 전력품질 지수는 CBEMA(Computer and Business Equipment Manufacturers Association) 곡선과 ITIC(Information Technology Industry Council) 곡선을 이용하여 구할 수 있다.

그림 2에서 볼 수 있듯이 CBEMA 곡선 위에 표시된 전력품질 지수를 통하여 전력품질이 향상되는지, 저하되는지를 알 수 있다. 예를 들어 220V, 60Hz 등과 같은 공칭전압(Nominal Voltage)을 전력품질 지수 영(Zero)으로 적색곡선 위는 100으로 하고, 두 기준 사이 거리의 반일 경우 50, 두배일 경우 200으로 한다. 이러한 전력품질 지수를 이용하면 전력 설비내의 여러 장소에서의 시간 변화에 따른 전력품질의 경향을 파악할 수 있다.

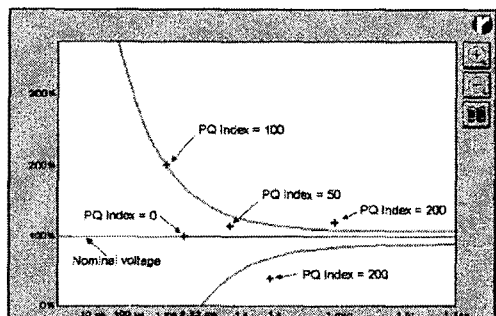


그림 2 CBEMA 곡선에서의 전력품질 지수 계산

그러나 이 프로그램은 전력품질 진단시스템의 중요 기능인 전력품질 사고의 방향성에 대한 정보는 제공하지 않는다.

4. LG산전의 전력품질 진단시스템

LG산전과 서울대학교가 공동 개발 중인 전력품질 관련 시스템은 크게 3가지 시스템으로 구분하여 개발이 진행되고 있다. 즉 전력 품질을 분석할 수 있는 전력품질 측정 기기(Power Quality Meter) 및 알고리즘을 개발하는 전력품질 모니터링 시스템, 분석된 결과에 기반하여 전력품질 문제의 원인 및 사고 파급 영향 분석 등을 수행하는 전력품질 진단 시스템, 전력품질 진단 결과를 바탕으로 전력 품질을 향상시킬 수 있는 최적의 방법을 제시하고 보상장치 등을 설치·운영하는 전력품질 향상 시스템이 그것이다 [3].

2001년도에는 전력품질 모니터링 시스템이 개발되었으며, 현재 상품화 과정이 진행되고 있다 [4].

전력품질 진단 시스템은 개발된 전력품질 모니터링 시스템의 GUI에 진단 관련 메뉴를 추가하고 진단 알고리즘을 탑재하는 방식의 모듈 형태로 개발이 진행 중인데, 그 화면 구성은 그림 3과 같다.

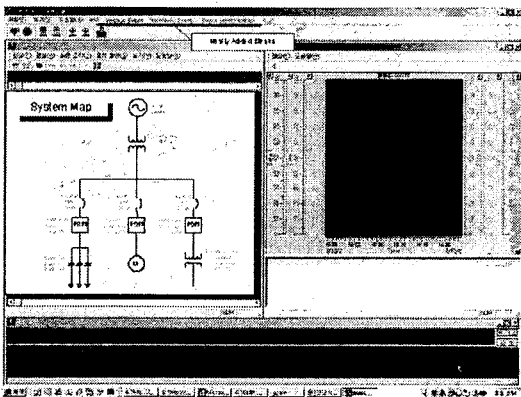


그림 3 LG산전의 전력품질 진단시스템

LG산전 전력품질 진단시스템의 기능은 크게 다음과 같이 나누어 진다.

- ① 통계적 추이 분석
- ② 전력품질 인덱싱
- ③ 확률론적 분석
- ④ 오염원 위치 추정 및 원인 판별

통계적 추이 분석에서는 이미 구축된 전력품질 데이터베이스를 분석하여 일정 기간동안의 전력품질 이벤트의 통계 분석을 수행함으로써 사용자에게 자신의 시스템의 이벤트 발생 현황을 쉽게 이해하도록 한다. 전력품질 인덱싱은 진단시스템이 설치된 계통의 전력품질 수준을 명확히 나타낼 수 있는 지수를 제공하는 것이며, 확률론적 분석은 이미 발생된 이벤트 정보를 확률론적 측면에서 분석하여 기기에 미치는 영향을 예측하도록 한다. 마지막으로 오염원 위치 추정 및 원인 판별에서는 전력품질 이벤트의 방향성을 체크하고, 이를 토대로 오염원의 위치를 추정할 뿐 아니라 오염의 원인 판별 그리고 최종적으로 적절한 해결책을 제시하는 기능을 한다.

그림 4는 통계적 추이 분석 중에서 시간별 이벤트 발생 빈도를 나타내는 Hourly plot의 예를 보여준다. 이 그래프에서는 일정 기간동안의 데이터베이스를 검색하여 시간별 발생 빈도를 계산하고 가장 많은 이벤트가 발생하는 시간대를 찾아낸다. 이 시간대를 Peak time 이라고 하며 사용자는 이 시간대에 동작하는 기기를 찾

아내어 적절한 조치를 취함으로써 자연스럽게 전력 품질을 개선할 수 있다.

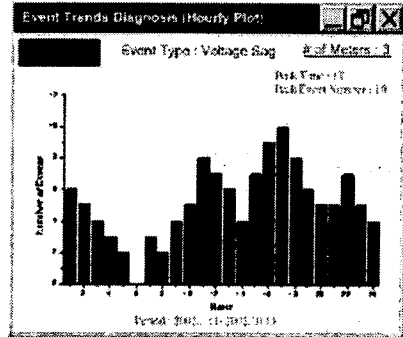


그림 4. 통계적 추이 분석(Hourly Plot)

이러한 전력품질 진단시스템은 전력품질 모니터링 시스템에서 제공되는 이벤트 데이터에 전력시스템 기술을 접목하여, 개별적인 데이터를 가치있는 정보로 가공함으로써 사용자가 손쉽게 자신의 시스템의 전력품질 수준을 이해하고 현재 시급한 문제를 해결할 수 있는 능력을 제공할 수 있다는 점에서 매우 높은 가치를 지니고 있다고 할 수 있다.

또한 이와 같은 전력품질 진단 기능을 통해 전력품질 진단시스템을 설치한 수용가에서는 자사의 전력품질에 대한 총체적인 정보를 확보하게 되며, 전력품질 사고를 미연에 방지할 수 있기 때문에 설비 이용률 증대, 생산성 향상, 설비 수명 증대 등을 꾀할 수 있을 것이다.

4. 결 론

본 논문에서는 전력품질 모니터링 시스템과 연계하여 전력품질 오염원 위치 추정, 오염원 판별, 통계적 추이 분석, 전력품질 인덱싱, 확률론적 분석 등을 수행하는 전력품질 진단시스템에 대하여 소개하였다. 먼저 전력품질 진단시스템에 대한 전반적인 내용을 소개하고; 현재 전 세계적으로 상용화되어 있는 전력품질 진단시스템을 살펴 보았다. 마지막으로 LG산전과 서울대학교가 공동 개발하고 있는 전력품질 진단시스템의 화면 구성 및 핵심 기능에 대해 소개하였다.

우리나라가 기술 선진국, IT 산업 선진국으로 발돋움 하기 위해서는 전력품질에 대한 보다 많은 관심과 투자가 필요하며, 이를 뒷받침할 수 있는 전력품질 모니터링, 진단, 향상 등 관련 시스템이 업계 및 학계에서 활발하게 연구·개발 및 제품화되어야 할 것이다.

(참 고 문 헌)

- [1] 노대석, "배전계통기술의 현황과 장래 동향·(하)", 월간 전기저널, pp. 28-39, 2000년 8월
- [2] E Source, Eletrotek, *The Power Quality Group*
- [3] 서장철, 김욱, 최종용, 문승일, 박종근, 박종배, "전력산업 구조개편에 대응하기 위한 산학 협동 개발 사례-전력품질 및 전력수요관리 시스템", 대한전기학회 하계학술대회, 논문집, 2001년 7월
- [4] 원봉준, 정일엽, 김중문, 문승일, 서장철, 최종용, "전력품질 모니터링 및 알고리즘에 관한 연구", 대한전기학회 추계학술대회 논문집, pp. 269-271, 2001년 11월
- [5] Electrotek, Dranetz-BMI, *Signature System*
- [6] Electro Industries/GaugeTech, *AiREPORTS for Nexus Communicator 2.0*
- [7] Michael Daish, "Power Quality: Prediction Versus Post-Mortems: Why Wait Until It's Too Late!", *Reliable Power Meters*