

전력품질의 진단과 분석기술 동향과 전망

김성덕*

(*한밭대 전기·전자공학부)

1. 서론

전력품질(power quality : 이하 PQ라 함)은 80년대 후반부터 각광을 받기 시작한 매우 흥미롭고 중요한 분야이다. 특히, 이 시기에 국외에서는 전력산업의 규제가 해제되고, 고성능의 장비와 정밀도가 높은 시스템이 개발되면서, 전력에너지를 사용하는 수요자는 그들의 설비나 기기가 지속적으로 안정하게 동작되도록 고품질의 전력공급을 요구하기 시작하였다. 또한, 90년대에 이르러 고효율의 전력 전자 소자, 고정밀 특수모터, 응용 반도체 장치 등의 개발되고 마이크로프로세서를 기반으로 하는 자동화 설비, 사무용기기, 정보통신기기 등이 급속하게 발전되었다. 따라서, 전력에너지를 사용하는 모든 분야에서 PQ 문제가 새롭게 관심을 끌기 시작하였다[1,2].

PQ는 그림 1과 같이 전력회사(power utility company), 전력수요자(electric power customer)와 전력설비제조회사(electric equipment manufacturer)에서 관심을 갖고 있다. 현재, 전력시장에서는 여러 가지 PQ 문제를 해결하려는 노력이 어느 정도 결실로 나타나고 있지만, 초기에 PQ 문제를 대두시킨 것은 전력에너지의 사용자이었다. 따라서, PQ는 "수용가 장비에 고장이나 비정상적인 동작을 초래하는 전압, 전류와 주파수로부터 발생하는 전력문제"로 정의되었다.

실제로 최근 10여년 동안에 PQ가 관심의 대상이 된 원인 중 하나는, 마이크로 프로세서를 기반으로 하는 고성능 제어시스템이나 진단(diagnosis) 또는 분석장치(analysis device)를 사용하는 전력수요자가 그들의 장비를 정상적으로 운용하기 위하여 양호한 PQ를 요구하였다는 사실이다. 또한, 컴퓨터 시스템이 널리 보급되고 업무나 상용장비에도 마이크로 프로세서나 컴퓨터의 사용이 폭발적으로 증가하면서 EMC (electromagnetic compatibility)나 EMI (electromagnetic interference) 문제가 발생되어 고품질의 전력을 공급받기를 원하고 있기 때문이다.

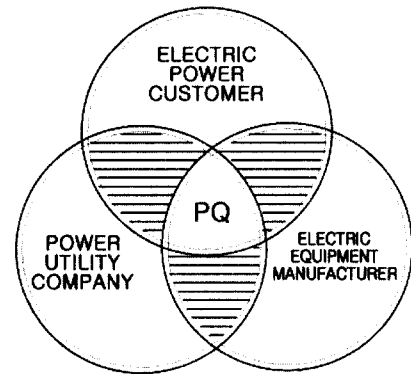


그림 1. PQ가 발생하는 분야

이러한 PQ 문제가 그 동안 방치되어 왔던 이유는 PQ가 현재까지 전력에너지를 공급하거나 이용하는 분야에서 다루어져 오던 보편 타당한 문제란 점이며 또한, 이러한 문제의 책임소재가 불분명하여 설비제조자나 사용자가 스스로 처리하는 것을 당연하게 생각하였기 때문이다. 그렇지만, 고성능, 고정밀의 장비의 운용 상 나타나는 PQ 문제를 해결하거나 개선하기 위하여 관련자들이 이들 현상을 수리적으로 표현할 수 있도록 PQ에 대한 정의나 정량화 지표가 필요하게 되었다[3,4]. 따라서, 매우 광범위하고 다양한 성질을 가진 PQ를 적당한 범위로 구분하고 통일된 척도로 규정함으로써 측정, 진단과 분석이 비로소 활성화되기 시작하였다.

2. PQ의 정의와 척도

2.1 PQ의 표현

PQ 문제란 실제로 전력시스템에서 발생하는 전기·자기적 외란현상(electromagnetic disturbance phenomenon)으로 규정되며, 주로 전압, 전류 및 주파수 성질을 나타낸다. 따라서, PQ는 전력시스템에 대한 광범위한 전력외란(power disturbance)나 신호간섭(signal perturbation)에

표 1. PQ 모니터링에 대한 IEEE 1159 규정

Categories		Typical Duration	Typical Spectral Content	Typical Voltage Magnitude	
Transient	Impulsive	Nanosecond	5 ns rise	< 50 ns	
		Microsecond	1 μ s rise	50 ns - 1 ms	
		Millisecond	0.1 ms rise	> 1ms	
	Oscillatory	Low Frequency	< 5 kHz	0.3 - 50 ms	0 - 4 pu
		Medium Frequency	5 - 500 kHz	20 μ s	0 - 8 pu
High Frequency		0.5 - 5 MHz	5 μ s	0 - 4 pu	
Short-duration Variations	Instantaneous	Sag		0.5 - 30 cycle	0.1 - 0.9 pu
		Swell		0.5 - 30 cycle	1.1 - 1.8 pu
	Momentary	Interruption		0.5 cycle - 3 s	< 0.1 pu
		Sag		30 cycles - 3 s	0.1 - 0.9 pu
		Swell		30 cycles - 3 s	1.1 - 1.4 pu
	Temporary	Interruption		3 s - 1 min	< 0.1 pu
		Sag		3 s - 1 min	0.1 - 0.9 pu
Swell			3 s - 1 min	1.1 - 1.2 pu	
Short-duration Variations	Interruption, Sustained			> 1 minute	0.0 pu
	Undervoltages			> 1 minute	0.8 - 0.9 pu
	Overvoltages			> 1 minute	1.1 - 1.2 pu
Voltage Imbalance			steady state	0.5 - 2 %	
Waveform Distortion	DC Offset			steady state	0 - 0.1 %
	Harmonics		0 - 100 kHz H	steady state	0 - 20 %
	Inter-harmonics		0 - 6 kHz	steady state	0 - 2 %
	Notching			steady state	
	Noise		broad-band	steady state	0 - 1 %
Voltage Fluctuations		< 25 Hz	intermittent	0.1 - 7 %	
Power Frequency Variations			< 10 s		

대해 적용된다. 최근 전자장비 응용의 증가로 PQ에 대한 흥미가 확대되므로써, 전력시스템의 전자기 현상을 표현할 적당한 용어가 필요하였다. 이것이 PQ였다. 그렇지만, 이 용어는 산업체의 기술자나 전력에너지 수요자들이 그들이 사용하는 장비가 기대대로 동작하지 않는가 하는 원인을 이해하는 것처럼 사용자를 혼돈하게 하였다. PQ가 규정되기 전까지는 전력외란에 대하여 수 많은 단어들(impulse, surge)이 명확한 정의없이 사용되어 왔다. 예컨대, 서지(surge)란 용어는 장비의 고장이나 오동작을 일으키는 여러 종류의 외란들을 표현하는데 사용되었다. 따라서, 서지의 진폭이나 주파수 또는 지속시간은 구체적으로 규정되지 않았고, 단지 외란의 현상만을 정성적 방법으로 기술하여 왔다. 이러한 모호성을 피하기 위하여, PQ를 적당하게 표현하는 것이 필요하게 되었다. 표 1은 IEEE 1159로 PQ 모니터링에 대한 규정으로 여기서 정리된 용어들은 여러 해 동안 미국을 중심으로 국제적인 노력에 의하여 완성된 것이다[5,6].

표 1에서 알 수 있는 바와 같이, PQ는 과도특성(transient characteristics), 단주기변동(short-duration variations), 장주기변동(long duration variations) 및 파형왜곡(waveform distortion)의 4가지 주요 특성과 전압변동(voltage fluctuation), 전력주파수 변동(power frequency variations) 등이 표준화되어 있다. 여기서, 임펄스와 진동현상이 과도특성으로 주어지며, 임펄스는

주로, 침두치, 상승시간, 지속시간으로, 진동은 파형, 침두치와 주파수 성분으로 설명된다. 전압 및 전류의 새그(sag), swell은 시간대 실효치, 진폭과 지속시간으로 표현되고 인터럽션(interruption)은 지속시간으로만 규정되었다. 장주기변동은 부족전압 및 과전압 등으로 구분되고 시간에 대한 실효치로 나타낸다. 특히, 전력시스템에서 여러 가지 문제를 발생하는 파형왜곡에는 DC 오프셋, 고조파, 노치(notch)나 노이즈 등으로 분류하고 이 신호들은 고조파 스펙트럼이나 주파수 성분으로 규정한다. 그림 2는 PQ 문제가 되는 전력외란의 전형적인 예를 보여 준다.

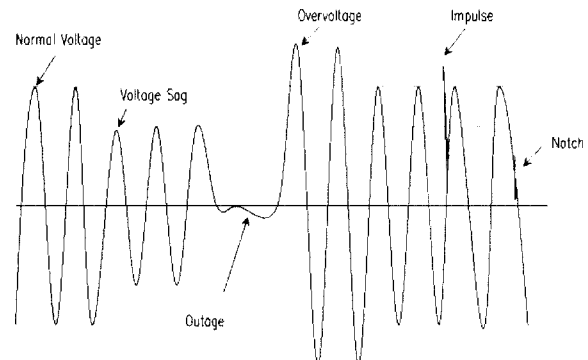


그림 2. 전형적인 전력신호 외란

2.2 PQ의 척도

앞에서 기술한 바와 같이, PQ에서의 대상은 전압, 전류와 주파수의 변동이지만 그 특성은 매우 다양한 진폭 및 시간 특성을 나타낸다. 따라서, PQ의 정도를 정량화하는 척도(measure) 또는 지표(index)도 여러 가지로 정의될 수 있다. PQ의 기준인 표 1의 대부분의 척도들은 시간특성으로 주어진다. 과도신호, 세그, swell 등과 같은 순시성 변화를 나타내는 것들을 제외하고 파형왜곡과 일부 장주기 변동은 대부분 정상상태에서의 성질로 규정되므로 신호의 진폭과 주파수 성분으로 신호의 품질을 정량화하기도 한다. 특히, 비주기성 신호(non-periodic signal)의 PQ 지표로는 참실효치(true rms), THD(total harmonic distortion), TIF(telephone influence factor) 또는 DIN(distortion index) 등이 사용된다[1,2,6,7].

3. PQ의 측정과 데이터 분석

3.1 PQ의 측정

외란이나 PQ 변동을 측정하기 위한 모니터링 장비가 개발됨에 따라 PQ에 대한 진단방법도 발전되었다. 표 1에서 권장한 PQ의 정량화범위 내에서 현장에서 기술자는 PQ 문제를 해결하기 위하여 적당한 측정장비를 선택하고 PQ 척도를 정확하게 정량화할 수 있어야 한다. 이 때, PQ 기술자는 먼저 PQ 문제가 어떤 종류인가를 예측해야 하고 어느 방법으로 측정해야 하는지를 판단해야 한다. 표 2는 PQ 범주에 대한 특성화 항목, 원인 그리고 해결방법 등을 요약한 것이다[8].

현장에서 장비의 고장이나 오동작의 원인이 표 2에서 어느 범주에 속하는지를 정확하게 판단하는 것은 전문가의 숙련된 경험이 아니면 쉬운 일이 아니다. 그렇지만, PQ 문

제가 발생된 장비의 종류와 고장 형태를 알면 측정이나 진단의 방법을 접근하기 쉬울 것이다. 일반적으로 PQ를 모니터링하는 장치는 간단한 디지털 멀티미터부터 전용 PQ 분석장치까지 다양하다. 멀티미터는 정현파 전압의 전류나 전압의 실효치를 측정하거나 선간의 단락을 검사하는데 유용하지만, 비정현파(non-sinusoidal signal)나 비주기파형을 측정하기는 곤란하다. 실시간(real-time)으로 주기파형을 측정하는 경우는 오실로스코프가 적합하며 특히, 디지털 오실로스코프는 파형의 저장과 상승시간, 위상이나 고조파 성분을 계산 또는 분석하기도 한다. 또한, 인터페이스를 이용하여 PC로 측정 데이터나 파형을 전송할 수 있기 때문에 적절한 소프트웨어로서 분석이 가능하다.

외란분석기(distortion analyzer)는 PQ 측정을 위해 특별히 개발된 계측기이다. 이 장비는 단주기성의 과도파형이나 장주기의 정전(outage) 또는 부족전압이나 과전압 등 전력시스템의 여러 가지 종류의 외란을 측정하거나 분석하는 기능이 있다. 이 밖에도 스펙트럼분석기(spectrum analyzer)나 고조파분석기(harmonic analyzer) 등이 사용되며, 최근에는 PQ 측정과 분석을 위한 전용 계측기들이 제조, 생산되고 있다[10]. 이러한 응용 계측기들은 마이크로프로세서나 PC 기반형으로 설계되기 때문에 하드웨어는 물론, 분석과 진단을 위한 소프트웨어가 사용되기도 한다.

3.2 측정 데이터의 분석

PQ는 매우 다양한 성질들을 가진 신호이기 때문에 단순히 실효치를 측정해서는 이러한 현상들을 파악하기 곤란하다. 예컨대, 수 ms 이내에서 발생하는 외란을 측정하기 위해서는 이 신호의 발생시간에 비하여 더욱 짧은 시간에 동작할 수 있는 고성능의 계측기가 필요하다. 그렇지만, 이와 같은 계측기를 선택할지라도 측정하기 위하여 전력시스템에 접속하면 이 계측장비로 인하여 또 다른 PQ 문제가 발생되기도

표 2. PQ의 특성

Power Quality Variation Categories	Method of Characterizing	Typical Causes	Power Conditioning Solutions
Impulsive Transients	Peak Magnitude Rise Time Duration	Lightning Electro-static Discharge Load Switching	Surge Arresters Filters Isolation Transformers
Oscillatory Transients	Waveforms Peak Magnitude Frequency Components	Line/Cable Switching Capacitor Switching Load Switching	Surge Arresters Filters Isolation Transformers
Sag and Swells	RMS vs. Time Magnitude, Duration	Remote System Faults System Protection (Breakers, Fuses)	Ferroresonant Transformer UPS Backup Generator
Interruptions	Duration		
Undervoltages Overvoltages	RMS vs. Time Statistics	Motor Starting Load Variations	Voltage Regulators Ferroresonant Transformer
Harmonic Distortion	Harmonic Spectrum THD Statistics	Nonlinear Loads System Resonance	Active or Passive Filters Transformers
Voltage Flickers	Variation Magnitude Frequency of Occurrence Modulation Frequency	Intermittent Loads Motor Starting Arc Furnance	Static Var System

한다. PQ의 진폭, 발생시간, 지속시간이나 과형 형태 등이 다양하므로 임펄스나 고조파 또는 과전압과 같은 것을 측정, 분석하기 위해서는 발생과정의 특성에 맞는 정밀, 전용 계측기와 분석 소프트웨어를 이용하는 것이 바람직하다. 그렇지만, PQ 문제의 전문가가 아니면 측정, 진단 또는 분석하기 쉽지 않다.

PQ 문제에 따라 적합한 측정, 분석이나 진단 행위가 이루어지는 것이 일반적이다. 플랜트나 전력회사와 같은 대형 시스템에서는 수 많은 모니터링 시스템과 통신망 그리고 필요한 소프트웨어가 갖추어진 통합진단 및 분석시스템(global diagnosis and analysis system)의 개발이 시도되고 있다[9~11]. 이 때, 데이터 분석 시스템은 각각의 모니터에서 측정된 데이터를 수집하여 데이터베이스에 저장하고, 적당한 소프트웨어로서 PQ의 결과를 판단하거나 분석, 진단 및 대책까지 제공할 수 있어야 한다.

이와 같은 통합시스템의 구축은 현재까지 시스템에서 발생한 PQ 문제의 부분적으로 측정, 분석, 진단 및 대책을 세우고 그 현상을 파악하는 국부적인 진단시스템에서 통합 관리시스템으로 전환할 수 있을 것이다. 물론, 모니터링 시스템의 정밀성이나 신뢰성도 중요하고 이들로부터 연속적으로 측정하여 온라인으로 주 컴퓨터에 송수신하는 통신시스템의 구축도 중요한 역할을 하게 될 것이다. 특히, 각 모니터에서 수신되는 다량의 데이터를 저장, 관리하는 기술과 이렇게 얻은 데이터들로부터 각 모니터가 설치된 시스템의 상태를 진단하는 소프트웨어의 개발도 중요하다.

4. PQ의 진단과 분석기법

4.1 PQ의 분석방법

PQ는 전력설비의 구성과 특성들에 의해 결정되기 때문에, PQ의 정확한 진단은 고도의 전문적인 지식과 경험이 요구된다. 앞으로 PQ 문제에 있어서는 한 분야에 적용할 수 있는 제한된 지식이 아니라 여러 분야에 적용할 수 있는 전문지식이 필요하게 될 것이다. 예컨대, PQ 과형은 여러 가지 형태로 기록할 수 있으나 전력시스템의 기술자가 이 데이터를 해석하고 문제들을 진단하거나 정량화하는 것은 별개이기 때문이다.

PQ를 진단하는데 가장 강력한 수단은 인공지능(artificial intelligence: AI) 개념을 도입하는 것이다. PQ 진단의 AI 기법은 초기 PQ 문제가 활성화하기 시작하였던 80년대 말부터 수많은 연구자들에 의해 주목 받아왔다[12~18]. 일반적으로 AI 기법들은 전문가시스템(expert system), 퍼지로지(fuzzy logic), 신경회로망(neural network)과 비교적 새로운 기법인 적응 신경회로-퍼지추론시스템(adaptive neuro network-fuzzy inference system) 등을 포함한다.

전문가시스템은 "복잡하고 어려운 문제를 풀기 위하여 전문가의 지식(knowledge)과 추론과정(inference procedure)을 이용하는 컴퓨터 프로그램"으로 정의된다. 전문가시스템은 일반적으로 지식기반(knowledge-based)에서 시스템을 전문가가 되도록 설계된다. 전문가시스템에서 사용자는 목

표를 규정하고 시스템에 추론능력을 부여하며 시스템이 목표를 달성하는 방법을 결정한다. 전형적으로 기존의 프로그램들은 데이터 구조와 목표에 도달하기 위한 시퀀스, 즉, 알고리즘으로 구성된다. 그렇지만, 전문가시스템은 지식을 기반으로 하고 추론과정을 통하여 결과를 얻게 된다. 이때, 적당한 응답속도, 신뢰성, 표현능력 및 유연성 등은 전문가시스템의 성능을 높이는 속성들이다.

크리스프(Crisp) 변수와 지식은 정확히 "true"나 "false"나를 결정하는 2진화 지식기반의 요소들이다. 그렇지만, 퍼지로지적 부정확한 지식, 예컨대, 해석이 매우 주관적이거나 전후 배경으로 보아 사람의 의견에 강하게 의존하는 경우에 지식을 표현하고 동작시키는 수단으로 이용된다. 퍼지시스템의 입력은 크리스프 변수를 퍼지화(fuzzification)시키고 데이터와 퍼지법칙(fuzzy rule) 기반에서 의사를 결정한 후, 비퍼지화(defuzzification)를 거쳐 결과를 얻는 게 일반적이다[12~14]. 이때, 출력은 2진 표현법이 아닌 소속함수(membership function)의 소속정도를 나타낸다. 이러한 퍼지로지적 언어적 표현의 불확실한 입력으로부터 결과를 추론하는데 적합하다. 그림 3은 퍼지추론시스템의 전형적인 구조를 나타낸다.

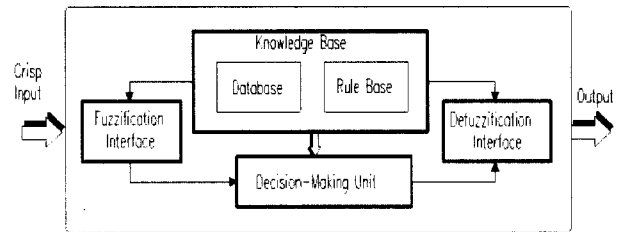


그림 3. 퍼지추론시스템의 구조

일반적으로 과학은 그 현상을 수학적 모델(mathematical model)로 기술하고 이 수식을 토대로 특성을 해석하거나 새로운 기능을 부여하는 방법을 고안해 왔다. 특히, 연산능력이 뛰어난 컴퓨터의 발전으로 인하여 비선형시스템(nonlinear system)이나 시변(time varying) 또는 적응시스템(adaptive system)의 모델링도 어느 정도 가능하게 되었다. 그렇지만, 특성이 불확실하거나 매우 복잡한 비선형성을 가진 시스템에 대해서는 여전히 정확한 수식모델을 얻기 곤란하다. 모델의 불확실성은 곧, 결과 예측의 정확도를 저하시키고 이 결과를 이용하는 시스템의 제어나 특성을 개선하기 위한 방법을 얻는 것이 불가능해질 수 있다.

플랜트가 동작하는 동안에 불확실한 파라미터(또는 정보)를 추정하고 시간이 경과하여 이 정보가 확정되면, 정확한 수식모델에 근거한 시스템이 아닐지라도 시스템 출력은 최적화될 수 있다. 일반적으로 적응 신경시스템(adaptive neuro system)은 주어진 입력 환경 하에서 인간의 학습과정처럼 예측(prediction), 인식(reasoning), 분류(classification)나 판정(assessment) 등의 행위를 수행할 수 있다[15,16]. 이러한 적응신경회로망(adaptive neuro network)은 정보를 포함하고 있는 마디(node)와 이들 사이를 함수관계로

연결한 링크(link)로 구성된다.

적응신경시스템에 저장된 지식은 각 링크에 연결된 하중(weight)으로 표현된다. 이와 같은 학습과정(learning procedure)을 "훈련(training)"이라 하고, 주로 Back-propagation이 이용된다. 신경회로망은 사용자의 경험, 시행오차 정도를 제외하고는 특별한 선택기준이 없다. 따라서, 적응 신경회로망은 100 [%]의 정확한 결과를 제공하지는 못하지만 짧은 시간 내에 충분한 정확도를 가진 결과를 추론할 수 있다.

한편, 적응 신경-퍼지시스템은 적응 신경회로망의 학습능력과 퍼지논리의 지식정보 표현방식과 추론능력을 겸비한 비교적 새로운 인공지능 도구 중 하나이다. 이것은 적응능력을 가진 지능회로망(intelligence network)의 일반형태로, 신경회로망의 모든 특징들을 포함하고 있다. 적응회로망의 노드들은 단위 프로세스를 나타내고 링크는 각 노드 사이의 인과관계를 표현한다. 노드들은 적응성이 있고 학습률(learning rate)은 회로망의 실제출력과 기준출력 사이의 오차를 최소화하는 기능을 갖도록 설계된다(16). 그림 4는 적응회로 퍼지추론시스템의 퍼지규칙을 기반으로 하는 형태와 적응신경망의 기본구조를 나타낸다.

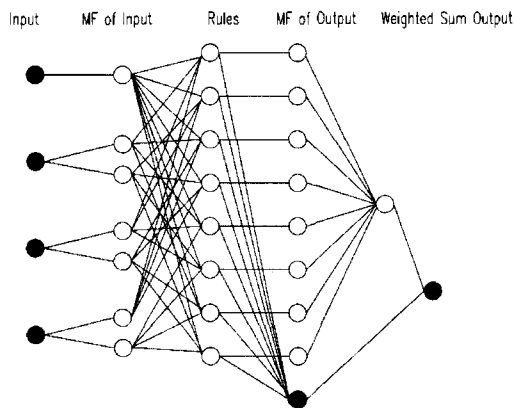


그림 4. 퍼지 신경회로망의 구성 예

4.2 인공지능과 PQ의 진단

인공지능 기법이 PQ 문제의 진단과 분석에 자주 사용되는 이유 중 하나는, 전력산업에서 PQ 문제 전문가가 매우 드물고, PQ에 대한 지식정보가 분산되어 있으며 고유한 특징을 지닌 PQ 문제를 발생하는 시스템들이 수없이 많기 때문이다. 또한, 설비들이 다양하고 PQ의 기준이 애매하며 PQ 문제를 진단하거나 분석하는 경우에 통일되지 않은 채로 다양한 방법이 이용되고 있기 때문이기도 하다. 따라서, 분산되어 있는 모니터링 시스템, 성능이 다른 측정설비 그리고 비선형, 시변 특성을 가진 전력외란과 방대한 데이터의 양 등으로 한 사람의 전문가가 광범위한 PQ 문제 모두를 다룰 수 없다. 물론, 매우 부정확한 데이터들을 입력으로 이용하여 고전적인 프로그램으로 PQ 문제를 규명하는 것은 거의 불가능하므로, 비선형이고 추상적이며 비결정적인 모델(non-deterministic model)을 추정하는 데에는 AI 도구가 효과적이다.

전력외란의 원인을 구분하는데 적응신경회로망이 이용되

었고, 외란 자체의 특성 해석은 전문가시스템을 사용하였다. 또한, 적응신경회로망은 THD와 고조파 성분을 추정하거나 전력외란을 새그, swell, 임펄스, 외란 또는 순간정전 등으로 판별하는데도 적용된 예가 있다. 한편, 퍼지 전문가 시스템은 정보와 경험이 결합된 시스템의 PQ 문제를 진단하는데 이용하였고, 특히, 모니터링 데이터가 방대하고 수집 데이터가 부정확한 정보를 포함하고 있는 경우에 효과적이라고 보고되었다. 적응신경회로망과 전문가시스템을 복합한 구조인 PQ classifier는 주로 Wavelet 이론을 도입하여 파형의 특징을 추출하였고, 고조파 해석과 진단에 전문가시스템을 이용하기도 하였다.

신경회로망은 강력한 패턴인식(pattern recognition) 도구(16)이나 해석능력이 결합되어 있을 뿐만 아니라 하나의 현상에 하나의 패턴인식만 가능하기 때문에, 적응신경회로망 자체를 PQ 문제를 진단하거나 분석하는데는 사용하지 않는다. 그렇지만, 적응신경회로망이 전문가시스템을 보완하여 전문가시스템에서와 같이 복잡성을 감소시키고 응답 속도도 줄이는 부분적인 classifier로 이용되는 신경-전문가 시스템에서는 매우 효과적이다.

퍼지논리는 PQ 분석에 반드시 필요한 도구로, 전문가시스템과 퍼지-전문가시스템이 결합되어 있다. 이것은 부정확한 PQ 데이터나 서로 구분하기 어려운 진폭과 주기의 경계, 예컨대, 새그와 순간정전, 또는 새그와 부족전압 사이를 구별하는 것과 같은 경우에 탁월한 분석능력을 나타낸다.

적응신경회로-퍼지추론시스템은 가까운 장래에 PQ 응용에 매우 유용한 도구가 될 것으로 추정된다(18). 왜냐하면 수많은 모니터로 수집되는 데이터에 대해서도 효율적으로 사용할 수 있으며, 특히, 훈련기능을 가지므로 전력에너지 사용자가 PQ에 대한 지식을 숙지하는 것이 불필요하게 되기 때문이다. 또한, 적응신경회로-퍼지추론시스템은 구조가 다른 새로운 시스템을 설계하거나 제어, 측정, 진단 및 분석에 아주 탁월한 기능을 가진 AI 도구로서 진보될 것이 분명하다(17~21).

5. 통합환경에서의 진단과 분석

5.1 PQ 진단의 종류

앞에서 언급한 바와 같이, PQ 문제는 전력을 생산하여 공급하는 전력회사, 전력관련설비나 전력이용설비를 생산하는 제조업체 그리고 전력을 이용하는 고객들에게 공통적으로 발생하는 것으로서 PQ 진단과 분석은 현대 정보화 시대에 매우 중요한 기술분야가 되었다. 이러한 문제는 설비의 운용 측면에서 뿐 만 아니라 설계, 이용 시 항상 대두될 수 있는 문제이다. 그렇지만, PQ 문제는 전력에너지를 이용하는 분야에 관련되어 여러 가지 부수적인 산업분야를 창출하고 있다.

PQ는 측정, 진단과 분석 그리고 대책이 항상 동반되는 성질이 있으므로 이에 관련되어 하드웨어와 소프트웨어 분야가 활발하게 개발되고 있다. PQ에 의해 주목을 받는 하드웨어 산업 중 하나가 PQ 계측 분야이다. 일반적으로 전

력의람은 간단한 DMM 정도로 진단할 수 있는 것도 있으나, 비선형 및 비주기성 신호가 주류를 이루므로 스펙트럼이나 파형분석기 등의 특수계측기를 이용한다. 그렇지만, PQ는 고조파 분석, 임펄스 등을 측정해야 하므로 최근에는 BMI사와 같은 PQ 전용 계측기만을 설계, 생산하는 회사도 있다(7). 물론, 국내에서도 전력설비나 시스템의 진단장비를 제조하는 기업도 있다.

측정이나 분석기능이 강화된 전문 계측시스템은 마이크로프로세서나 DSP 보드를 내장하고 있어서, 하드웨어뿐만 아니라 소프트웨어의 설계도 필수적이다. 이러한 소프트웨어는 PQ 분야에 전문가의 경험과 지식을 기반으로 설계된다. 이러한 배경에서 부각된 것이 전력설비의 PQ 전문가들에 의한 기술자문 분야이다. 기술자문회사는 PQ 문제뿐만 아니라 다른 분야에서도 지속적으로 발전되어 온 분야이지만 특히, PQ 문제를 취급하는 분야에서의 전문가는 PQ의 다양성과 취급정보의 불확실성으로 인하여 특수한 전문적 지식을 갖고 있지 않으면 안된다.

PQ 문제의 측정, 진단과 분석은 문제가 발생한 장소나 설비에 국한되어 수행되는 개별진단방식(individual diagnosis system)과 분산된 계측장비로부터 모니터링된 데이터를 중앙컴퓨터(host computer)에 수집하여 진단과 분석하는 통합진단시스템(global diagnosis system)으로 구분된다. 예컨대, AC 전동기의 전압 새그 현상을 측정하여 진단하는 것이나 자동화 설비의 고장진단, PLC의 노이즈 문제, 전열 부하의 스위칭 시 나타나는 임펄스 등은 각각의 설비나 장비에 대하여 부분적으로 계측기를 사용하여 모니터링하거나 측정하여 분석하는 방식을 이용한다. 이 경우에는 측정장치의 선택과 측정 데이터의 처리는 PQ 진단 기술자나 분석자에 따라 매우 다양한 방식이 이용될 수 있다. 다시 말해서, 동일한 장비의 진단일지라도 진단 또는 분석 방법이 통일되어 있지 않고 IEEE 1159의 기준을 참고하더라도, 측정기기의 종류가 다양하고 진단하는 사람의 경험 등이 다르기 때문에 PQ 지표의 분석결과가 정확하다고 볼 수 없다. 이러한 문제는 PQ의 진단이 모니터나 측정기와 같은 하드웨어적 요소뿐만 아니라 측정 수집된 데이터로부터 PQ 문제를 정확하게 판단해 내는 소프트웨어도 중요함을 지적해 준다.

개별진단방식은 소규모 기술자문회사나 보수회사 또는 현장 기술자나 전문가들이 주로 이용하는 것으로 실재는 일반화된 기술형태이다. 진단 비용이 저렴하고 속응성 및 현장성이 있는 반면에, 사용 계측기의 정밀도, 기술자의 PQ 인지도 그리고 시간과 공간적 다양성으로 인하여 신뢰성있는 진단결과를 얻기는 곤란하다. 그렇지만, 간단한 설비나 사무실, 가정용 기기 등의 PQ문제는 이와 같은 개별진단방식이 효율적이다.

한편, 여러 시스템에서 모니터링된 데이터는 종합시스템에 저장되어 관리되므로써 측정 데이터의 분석과 진단의 효율성을 증가시킬 수 있다. 최근에는 정보통신 및 프로세서 등의 급속한 발달로 인하여 현재 사용되는 PQ 계측기들의 대부분은 DSP를 내장하고 Windows와 같은 그래픽 환

경 그리고 고속 통신이 가능하도록 최신 기술을 응용하고 있다. 따라서, PQ를 연속적으로 모니터링한 데이터를 별도의 소프트웨어를 이용하여 분석하거나 전문가의 도움으로 결과를 판단하였던 과거 방식은 번잡하고 비효율적이었다.

결국, 개별진단방식에 비하여 통합진단방식은 진단설비의 수나 종류가 많은 경우에 적합하다. 특히, 전력설비가 다양한 PQ 문제를 발생하는 전력회사나 고정밀, 안정성을 요구되는 대형병원, 연구소 등의 PQ 진단에는 통합진단방식이 경제적이고 합리적인 결과를 도출할 수 있다. 이러한 통합시스템은 웹서버(Web server)나 PC의 보급으로 여러 종류의 사무실이 입주된 복합건물이나 아파트 또는 소규모 공업단지나 같은 곳에서도 구현이 그다지 어렵지 않게 되었다. 이러한 환경은 전자, 통신 및 컴퓨터 기술과 인터넷과 같은 정보기술의 발전을 토대로 급속하게 확장될 것으로 전망된다.

5.2 통합진단시스템의 구축

그림 5는 일반적인 통합진단시스템의 구성을 나타낸다. 초기에는 모니터링 데이터를 전화모뎀을 통하여 수집하였으나 현재는 Ethernet, Entranet 또는 인터넷 망을 통하여 전송속도가 문제가 되지 않는 시스템 구축이 가능하게 되었다. 이와 같은 통합시스템 구축은 사용자뿐만 아니라 현장에서 발생하는 새로운 PQ 문제의 대안을 신속하게 제시해 줄 수 있다. 또한, 모니터링되는 장소에서 관리자나 사용자가 설비의 상태를 실시간으로 파악할 수 있다.

현재, 미국에서는 Dranetz-BMI 8010 QNode를 뉴욕의 Manhattan의 모든 배전망에 설치하여 WebPASS로 Con

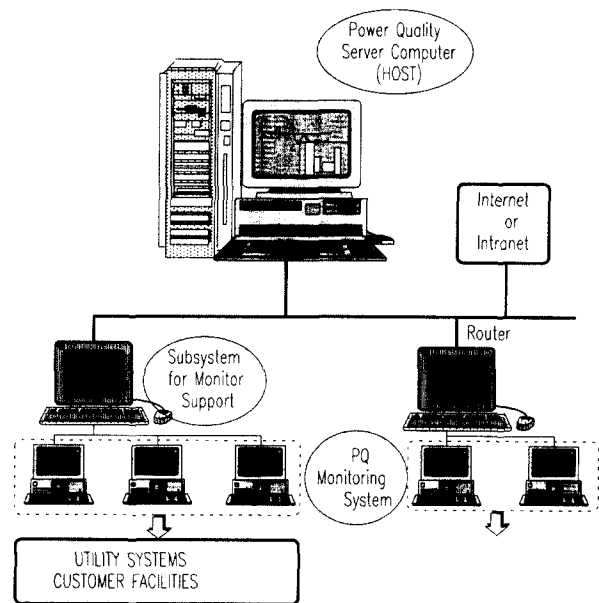


그림 5. Web 기반형 PQ 모니터링 통합진단시스템의 구성

PQWeb Steady State Report
Trend Plots

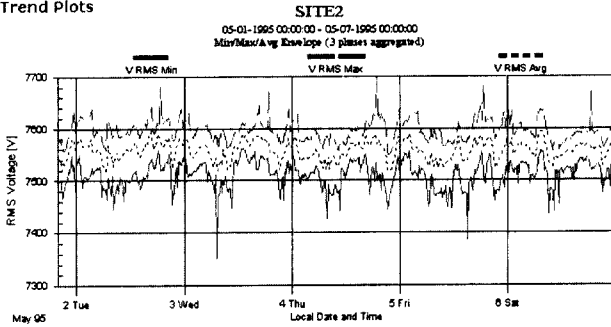


그림 6. PQWeb의 실행 예

Edison Intranet에서 종합관리하고 있다(9). 또한, EPRI(Electric Power Research Institute)에서는 PQ 데이터 베이스 PQWeb을, Electrotek에서는 TOP 2000을 운영하고 있다(10,11). PQWeb은 모니터링 계측기로부터 이미 수신된 모든 데이터와 PQ 사건, 파형분석, 검색 등이 가능하여, 현장 기술자나 가입자들이 인터넷을 통하여 특정시간, 기간 동안에 발생한 PQ의 분석결과를 확인할 수 있다. 특히, 주목할 만한 점은 이들이 PQ에 관련된 정보와 자료들을 가입자들뿐만 아니라 PQ에 관심을 가진 일반인에게도 공개하였다는 사실이다. 그림 6은 PQWeb를 이용한 분석 예를 나타낸다. 이러한 배경에는 아직도 기준이나 진단 또는 분석방법이 정립되지 않아 현장 및 전문가들의 경험, 지식을 충분히 수렴하여 데이터를 확보하는 것과 그들이 개발한 PQ 문제에 관련된 하드웨어, 소프트웨어의 기능을 공개함으로써 장래에 새로운 프로토콜을 선점하겠다는 의의이기도 하다.

PQ 모니터링 기술은 컴퓨터 산업의 발전을 토대로 급속하게 성장되었다. 또한, 정보통신 및 웹 브라우저 기술도 급속하게 진보되었으며 컴퓨터를 이용도 확대되었다. 컴퓨터 네트워킹, 인터넷이나 웹 브라우저는 PQ 진단과 분석에 새로운 돌파구를 제공하기에 이르렀다. 이러한 기술혁신은 고성능 전력전자소자, 응용반도체소자, 고정밀 모터, 특수용도의 센서, 자동화기구나 컴퓨터를 이용한 산업 및 사무기기로 인하여 발생하는 PQ 문제의 처리방법을 제공하고 있다.

5.3 국내의 현황

PQ 문제에 대한 관심은 전력 사용자로부터 유발되었지만, 국내는 한국전력공사가 전력의 대부분을 생산하고 전량을 공급하고 있으므로, 사용자는 그들의 설비나 기기에 공급받는 전력의 품질에 대하여 평가할 입장이 아니었다. 따라서, 고객의 설비에서 발생하는 PQ 문제의 처방은 설비제조사나 사용자가 스스로 해결할 수 밖에 없었다. 그러나, 고성능, 고정밀 설비가 늘어나므로써 사용자는 그들의 설비에 대한 안전한 운용을 위해 PQ 문제에 대한 인식도가 증

가될 것이고 이러한 흐름은 적어도 전력설비의 제조업 뿐만 아니라 전력회사의 공급전력에 대한 PQ 개선 압력으로 작용하게 될 것이다.

현재, IEEE 1159에서는 PQ 문제에 대한 용어들을 정의한 것이며 강제규정이 아니다. 그렇지만, 국제사회는 적어도 이 PQ 지표를 토대로 전기용품의 제조나 생산, 전력공급 등에 산업표준을 정할 것이 예측된다. 따라서, PQ에 관련된 전력회사, 설비제회사나 전기용품 제조회사 등 관련 분야에서는 장래에 예측되는 이러한 문제에 대하여 대처할 수 있는 방안을 강구해야 한다. 앞에서 언급하였듯이, 현재까지 PQ의 기준과 방향 등이 개괄적으로 정해진 단계이므로, 국내에서 PQ를 모니터링하는 전문적인 계측기를 설계, 제조하여 세계 PQ 시장을 확보하는 것은 그리 쉽지 않다고 판단된다. 그러나, 최근 컴퓨터를 기반으로 하는 정보통신 기술과 인터넷 등의 소프트웨어 산업이 활성화됨으로써 분석, 진단기술이나 통합진단시스템의 구축 등의 분야는 투자와 노력 여하에 따라 경쟁력을 갖출 수 있을 것으로 기대된다.

6. 결 론

본 기사에서는 전력설비와 전력에너지를 이용하는 기기에 장해나 문제를 일으키는 PQ(전력품질)에 대한 연구 동향과 기술적 문제를 다루었다. PQ 문제가 현대 사회에서 전력을 이용하거나 생산 공급하는 광범위한 분야에서 다루어지는 배경과 그 진단 및 분석의 필요성에 대하여도 기술하였다. PQ의 정의와 이 PQ를 정량화한 척도를 소개하였고 다양하게 발생하는 PQ 문제도 고찰하였다.

전력외란은 진폭, 주파수 특성이 변동되고 전력시스템이 비선형성과 비 주기성 특성 가지므로 적합한 수식모델을 구하기 어려운 경우가 대부분이므로, 전문가의 경험이나 인지 등의 지식기반으로 결정된 것 같이, PQ를 진단하고 분석하는 방법들도 매우 다양하다. 따라서, PQ 문제를 몇 가지 중심 영역으로 구분하여 정의하거나 그 특성을 규정하여 이 분야에 관계된 기술자들의 공동 개념으로 사용할 필요가 있다. 이와 같은 작업은 차후, 고정밀, 고성능 또는 대전력용 시스템이 출현하여 새로운 PQ 문제를 발생하는 경우에도 신속하게 진단하고 대처할 수 있다. 전력설비나 기기들의 PQ의 측정이나 진단 그리고 분석은 전문가들의 경험과 지식을 토대로 이루어져 왔다. 그렇지만, 수많은 종류의 전력설비나 전기용품에서 발생하는 PQ의 문제는 매우 복잡하고 변화가 많아 선형모델에 의한 결과를 얻기가 쉽지 않아졌다. 따라서, 불확실한 입력 파라미터나 정보 데이터를 가진 환경에 적합한 퍼지로지, 신경회로망, 적층회로망과 적응신경-퍼지추론시스템과 같은 인공지능 기법이 PQ 문제를 분석하는데 사용되었으며 앞으로 더욱 확대될 것으로 보인다. 특히, 주목할 것은 정보화의 주역인 컴퓨터망을 전제로 인터넷이나 웹서버를 이용하여 실제 전력설비에 발생하는 PQ 문제의 원인과 과정을 고찰하고 그 대책을 진단하고 있다는 사실이며, 특히, 이러한 진단과 분석 정보들이

일부분 일반인에게 공개되고 있다는 점이다.

국내에서는 PQ에 관한 측정, 진단과 분석, 그리고 통합 진단시스템의 구축 등 PQ문제에 대한 연구나 개발이 종합적이지 못한 채로 개별화되어 있다. 따라서, 결과의 응집성과 실용화 그리고 경제적 측면에서 적극적인 투자와 종합적 체계의 연구가 요구된다. PQ 문제는 미래에 전력산업과 전력에너지를 사용하는 모든 분야에서 하드웨어 및 소프트웨어의 응용과 개발을 촉진시키는 기폭제 역할을 할 것이 분명하기 때문이다.

참고문헌

[1] G.T. Heydt, Electric Power Quality, Stars in Circle Publications, Scottsdale, 1991.

[2] R.C. Dugan, M.F. McGranaghan, H.W. Beaty, Electrical Power Systems Quality, McGraw-Hill, 1996.

[3] C. Gellings, "Power quality: EPRI perspective," Proceedings: Second Int. Conf. on Power Quality, pp.2/1-2/10, 1994.

[4] M. Kupie, "Power quality: Consequence and perspective in Europe", Second Int. Conf. on Power Quality, pp.4/1-4/4, 1994.

[5] IEEE P1159 "Recommended practice on monitoring electric power quality," 1995.

[6] A. Lakshmikanth, M.M. Morcos and W.N. White, Jr., A real-time system for power quality testing, IEEE Instrumentation and Measurement, Vol. 47, No. 6, pp. 1464~1468, Dec. 1998.

[7] The Dranetz Field Handbook for Power Quality Analysis, Dranetz Technologies Incorporated, 1991.

[8] C.J. Melhorn and M.F. McGranaghan, "Interpretation and analysis of power quality measurement," Electrotek Concepts, Report.

[9] Electrotek Concepts Inc. Homepage electrotek.com

[10] Power Quality Database: Users Guide, EPRI Report, 1995.

[11] TOP 2000 User's Guide, Electrotek Concepts Inc, 2000.

[12] M. Sugeno, Industrial Applications of Fuzzy Control, North-Holland, 1985.

[13] K. Hirota, Industrial Applications of Fuzzy Technology, Springer-Verlag, 1993.

[14] H.T. Nguyen and E.A. Walker, A first course in Fuzzy Logic, CRC Press, 1997.

[15] L. Wang, Neural network applications in power system stability analysis, M.S. Thesis, EECE, KSU, 1997.

[16] S.K. Pal and S. Mitra, Neuro-Fuzzy Pattern Recognition: Methods in Soft Computing, John Wiley & Sons, Inc., 1999.

[17] M.M. Morcos and W.R.A. Ibrahim, "Electric power quality and artificial intelligence: overview and applicability," IEEE Power Engineering Review, vol.19, pp. 5-10, 1999.

[18] W.R. Anis ibrahim and M.M. Morcos, "Preliminary application of an adaptive fuzzy system for power quality diagnostics," IEEE Power Engineering Review, vol.20, pp. 55-58, 2000.

[19] T. Tagaki and M. Sugeno, "Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control," IEEE Trans. Syst., Man, Cybern. Vol. 15, pp. 116-132, 1985.

[20] J.R. Jang, "ANFIS: Adaptive-network-based fuzzy inference system," IEEE Trans. Syst., Man, Cybern, Vol. 23, pp. 665-685, 1993.

[21] D. Liu, Adaptive neural fuzzy logic control and its application, Ph.D. Thesis, Kansas State Univ., IMSE, 1999.

저자 소개



김성덕 (金成德)

1951년 10월 1일생. 1978년 한양대학교 전기공학과 졸업. 1980년 한양대학교 전기공학과 졸업(석사). 1988년 한양대학교 전기공학과 졸업(박사). 1990년~1991년 Australia National University 객원교수. 2000년 12월~현재 Kansas State University 객원교수, 현재 한밭대학교 전기·전자공학부 교수