

# 전력품질과 온·라인 모니터링 시스템

장석명·정상섭·이성호\*·박영태\*\*·윤기갑\*\*\*

(\*충남대학교 전기공학과, \*\*한국표준과학, \*\*\*한전 전력연구)

## 1. 서론

최근 전력반도체에 의한 인버터, 컨버터, 컨트롤러 등의 기술이 다양해지고, 그 응용범위가 확대됨에 따라, 전원계통에서의 고조파발생에 의한 전력품질의 오염원은 모터, 변압기 등의 電磁기기, 모터의 가변속 제어를 위한 인버터, UPS로 아래와 같이 분류할 수가 있다. 즉 전력전자기술을 응용하는 다양한 전력기기들은 배전계통은 물론 전력계통의 고조파 발생원이 되어, 전압, 전류 파형을 왜형시켜 비정현파를 만들므로 이에 따라 전력 품질을 오염시키는 심각한 원인이 되고 있다.

본 원고에서는 전력시스템에서의 고조파발생 및 품질악화의 원인과 그에 따른 산업현장에서의 문제를 설명하였다. 또한 시스템의 전력 품질을 개선하기 위해서는 시스템의 성능 파악이 무엇보다도 중요하기 때문에 성능 측정 및 분석에 관하여 검토/소개 하였다.

즉 비정현적인 파형인 고조파는 확률적이고 종잡을 수 없는 성질을 가지기 때문에 고조파가 어디서 발생하고 어디로 흘러가는가의 현상상태를 포착하여 파악하기 위해서는 여러 곳에서 장시간 관측하여 기록하는 성능이 필요하다. 그런데 비정현파전원의 측정에서 가동철편형 등 기존의 측정장비는 비정현파 전용 계측기와 비교검토하여 측정능력이 전혀 없음을 알 수가 있다.

이에 대한 대안시스템으로 성능을 자동으로 측정하고 분석을 할 수 있는 온라인 모니터링의 사례를 상용소프트웨어에 의한 경우와, 저자들이 상용소프트웨어 Lab/View에 의하여 구축한 시스템의 사례를 소개하였다. 즉 고價의 전력품질 모니터링 및 분석시스템을 시판되는 외국제품과 또 이에 비하여 비용이 매우 저렴한 가격으로 구성된 사례를 들었는데, 이 시스템은 자료의 자동 및 효율관리로 모니터링 및 분석에 필요한 인력 및 시간을 크게 절약한다. 또한 배전계통뿐 아니라 전체 전력계통의 품질을 常時 모니터링하고 관리함으로써 전 계통의 효율화, 안정화, 고신뢰도화는 물론 각 산업시설과 수용가의 전력품질 개선이 가능해질 것이다.

## 2. 전력품질이란 ?

### 2.1 고조파발생 및 전력품질 오염

최근 인버터, 컨버터, 컨트롤러 등의 기술이 다양해지고, 그 응용범위가 확대됨에 따라 산업현장에서의 고조파 발생은 필수화되고 있다. 즉 전력전자기술이 응용되는 전력기기들에서 발생하는 전력파형은 그림 1과 같이 폴리커, sag 등으로 매우 다양하여 배전계통은 물론 전력계통의 고조파 발생원이 되어, 전압, 전류 파형이 왜형되고 이에 따라 시스템의 전력품질이 심각하게 오염되는 주원인이 되고 있다. 그림 2는 고조파가 함유된 비정현파 선간전압, 전류파형과 함유된 고조파 스펙트럼 분석의 사례이다.

고조파 전류 발생에 의한 전력품질의 오염원은 電磁기기, 모터의 가변속 제어를 위한 인버터, UPS로 아래와 같이 분류할 수가 있다. 즉

- 공조기계 ; 에어컨 팬, 에어컨 컴프레서, 냉온수 및 냉각수 펌프, 냉각수 보급수 펌프, 보일러 및 온수 순환 펌프
- 위생기계 ; 양수, 배수, 잡배수 펌프, 오수, 우물용 펌프, 급탕펌프
- 운반기계 ; 엘리베이터, 에스컬레이터, 입체주차장 승강기

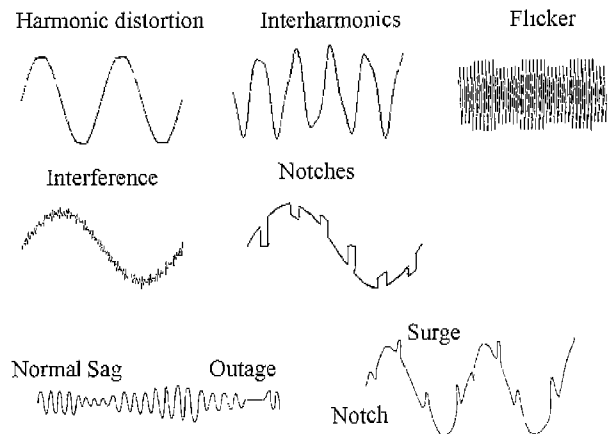


그림 1. 전력 품질을 오염시키는 각종 파형의 전원

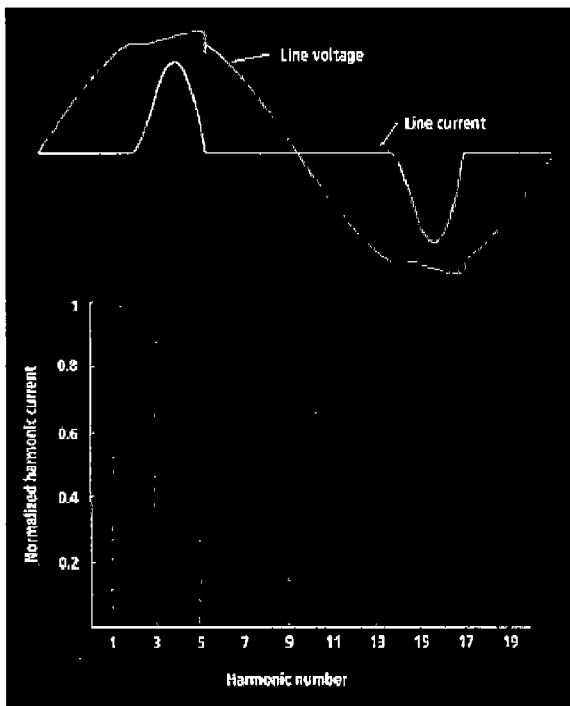


그림 2. 고조파가 함유된 비정현파 선간전압, 전류파형과 스펙트럼분석 사례

- 조광장치, 냉동냉장기기, 전기로, 용접기
- UPS, 인버터, 컨버터

### 2.2 전력품질의 저하에 의해 발생하는 문제

1992년 1월 파리의 대보험회사인 'Groupama'가 소유한 빌딩에 새로운 컴퓨터시스템을 설치하고 전원을 투입하자, 곧바로 주회로 차단기가 트립되고 전 시스템이 단락되었다. 그 원인을 규명하기 위하여 많은 시간과 비용이 소요된 후에야, 단락원인이 평형 3상시스템의 중성선이 원인이었음을 알아냈다. 즉 중성선에 흐르는 전류가 상전류의 65%를 초과하였다. 중성전류가 0이어야 하는 3상 평형시스템에서 65%를 초과한 것은 전혀 예상밖이었던 것이다. 이때 보호 릴레이의 정격은 상전류의 50%정도까지 만 보호 할 수가 있었기 때문에 트립이 되었던 것이다.

또한 미국 Midwest에서는 전체시스템이 고조파 함유진원에 의한 가변속 모터구동시스템이 주된 부하인 시스템에서는 클램프·온 평균치 전류계로는 시스템이 정격용량을 초과하지 않았는데도, 300 kVA용량의 변압기가 소손되었다고 보고하였다. 변압기를 교체하자 마자 또한 소손되었다. 이를 정밀한 실효치 전류계로 측정한 결과, 고조파전류가 원인이 되어 심각한 과부하 상태로 되었기 때문인 것으로 밝혀졌다.

이탈리아의 알프스인 Marmolada, 스키어를 위한 2중 로프 케이블 전용의 발전소가 1991년에 설치된 바가 있다. 한시간에 3,600명을 수송하도록 설계된 리프트는 각각 2MW 인 3상 6펄스 정류기로 공급부터 전원을 공급받는 2대의 직류모터로 구동되었는데, 비교적 약한 20kV로 구동시험을

하는 발전소 전압이 약 18%정도 왜형되었다. 그래서 그 왜형을 감소시키기 위하여 12펄스정류기로 교체를 하자 크게 개선되었다. 즉 12펄스 정류기는 6펄스 정류기에 비해 정현파에 가까워 지기 때문이다. 다른곳에서도 스키의 리프트 운전시 보상기를 설치하였음에도 불구하고 수 km 떨어진 곳의 캐패시터 뱅크가 트립되었다. 이는 두 보상기 시스템에서 선로 인덕턴스에 의해 공진이 일어 나 큰 고조파전류가 캐패시터 뱅크에 흘러 정격전류를 초과한 것이기 때문이다. 이러한 문제들은 공통적인 근원으로 전력소비자에게 공급되는 전압과 전류의 과도한 왜형이 주원인이 됨을 들 수가 있다. 이러한 왜형에 의한 고조파의 발생과 전력품질 악화는, 배전계통을 포함한, 계통의 핵심 요소에 원하지 않는 심각한 문제를 야기시킨다.

- 변압기등의 배전시스템 요소의 과열, 소손
- 모터등의 전기기기의 이상, 소음, 진동
- 전기적 공진에 의한 절연, 캐패시터의 파괴
- SCR, IGBT, GTO등 전력반도체를 응용기기 제어기능 불안정 및 오동작
- 통신선로의 유도장해
- 노이즈 원으로서의 각종장해
- 각종 보호시스템의 오동작

등의 현상들은 산업자동화, 첨단화의 비중이 클수록 그 피해정도가 커지고 있다. 또한 고조파가 함유된 오염된 전력품질 상태에서는, 고조파 발생 설비의 용량을 심하게 증대시키기도 한다. 따라서 이를 정밀하게 분석하여 그 대책을 세우기 위해서는 현상의 정확한 파악이 필수적이다.

### 2.3 전력에너지 시스템의 성능 모니터링 및 분석시스템

고조파가 함유된 비정현적인 파형은 확률적이고 종잡을 수 없는 성질을 가지기 때문에 고조파가 어디서 발생하고 어디로 흘러가는 가의 현상실태를 포착하여 파악하기 위해서는 여러 곳에서 장시간 관측하여 기록하는 성능이 필요하다. 그런데 기존의 계측기인 가동 철심형, 가동 코일형 전압계 및 전류계등으로는 측정이 불가능 하므로 이에 대한 특별한 방법이 필요하다. 따라서 이에 대한 국내외 연구 개발동향을 조사검토한 후, 이에 대한 온·라인 모니터링 시스템을 구축하여 응용하는 사례를 제시하기로 한다. 또한 비정현파 고조파 전원은 기존의 계측기로는 측정 할 수 없음을 실제로 확인하고 그 대안으로 본 저자들이 제안한 바가 있는 온·라인 모니터링 시스템에 의한 측정을 한다.

### 2.4 국내외 연구개발 동향은 어떠한가?

미국, 일본을 비롯하여 유럽공동체에서는 전기설비 및 기기들에 대한 전력선에서의 고조파, 중간고조파, 전압변동, 순간중단, 플리커와 같은 전기장해현상의 내성과 규제를 통하여 전력품질의 향상을 위한 기술개발이 매우 앞서가고 있다. 이미 수 년 전부터 각 지역마다 나르게 시행되던 규제규격이 이미 통합되어 IEC61000으로 국제규격화 되었다. 즉

- IEC61000-3-2 ; 고조파 전류,
- IEC61000-3-3 ; 플리커, 고조파전압,

IEC61000-4-7 ; 은 전력품질을 분석하고 평가하는 장비의 특성을 규격화,

IEC61000-4-11; 전압변동, 순간중단,

으로 통합하여 전력품질에 대한 전반적 규격화를 통하여 모든 전기설비 및 기기들에 대한 내성을 가지도록 하고 있다. 특히 IEC61000-4-7은 전력품질을 분석하고 평가할 수 있는 장치의 특성을 규격화 하였다.

그런데 IEC 61000-4-7 규격에서 제시한 특성을 평가할 수 있는 장비로는 영국의 Voltech사의 전력분석기인 power meter, PM3300모델, 일본의 YEW의 power meter 2531, 유럽의 NORMA 5000, 등이 개발되어 고조파, 플리커, 전자식 형광등의 전력파형분석 등에 사용되고 있다. 이들의 장비의 기술적 수준은 0.1%의 측정불확도(정확도)를 가지고 있으며 수백 kHz 주파수까지 측정이 가능하며 측정전압과 전류는 모두 저항을 이용한 방법을 사용하고 있어서 장단점을 가지고 있다. 측정방법도 대부분 A/D변환 방법과 마이크로프로세서를 이용한 수치해석과 연산을 통하여 이루어지고 있으며 파형을 직접 그래프로 나타내는 기술을 사용하는 장치도 상품화되어 있다.

그러나 이러한 제품은 저항(Shunt)을 사용하여 전압과 전류를 측정하므로 전류의 측정범위가 대부분 30 A 수준이며 고조파와 심하게 왜곡된 파형에서 shunt가 과손될 경우가 있고 이동이 불편하고 무엇보다도 장비가 수천만원을 넘고 있다.

표 1. 전력품질의 국제적 연구개발 현황

국 가	내 용	비 고
프 랑 스	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 프랑스 국영 EDF를 중심으로 현재까지 꾸준히 전기품질에 대한 연구업무 수행중.</li> <li>- 140,000개의 수용가중 6,500개 상업 및 산업수용가에 대해 에메랄드(Emerald)계약용 시범적용하고 있다.</li> <li>- 중앙 변전소에서 수용가의 전력 품질을 감시하여 향후에는 전국적으로 확대 적용할 계획.</li> </ul>	
영 국	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 1967년 고조파 전류에 대한 권고기준을 설계한 이후 약 10년간 검토를 통하여 관리기준 G5/3 (고조파 전압 및 전류)를 제정.</li> <li>◆ 영국의 East Midland Utility에서는 415V~132kV에 이르는 여버지점에 전기품질 감시장치를 설치하여 운용중.</li> </ul>	
노르웨이	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 노르웨이의 전기품질 연구(Norwegian Electric Power Research Institute) 수행</li> </ul>	
캐 나 다	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 22개 전력회사의 550지점에서 전력품질에 대하여 3년간 조사연구(Canadian Electric Association).</li> <li>◆ 미국과 공동으로 5년동안 130개 단상 수용가에서 전력의관 연구수행</li> </ul>	

고조파와 전압변동에 대한 국내의 관심은 국외에서 전자파내성(EMC)에 대한 규격이 발표되고 유럽공동체에서 수출 전기전자제품에 대한 규제를 시행하면서 대기업에서부터 시작되고 있으며 EMC에 대한 내성시험장치가 설치되고 있다. 그러나 대부분 전자파에 대한 내성시험이 이루어지고는 있지만 현장에서의 전력품질에 대한 모니터링과 분석은 부분적으로 외국산 장비에 의해서 이루어지고 있으며 국내에서의 개발품은 없는 실정이다.

현재 저정밀도의 국내 전력측정장비로 중소기업에서 개발된 제품이 있기는 하나 전력 품질을 모니터링할 수는 없으며, 일부 전자식적산전력량계와 전자식안정기를 개발하는 몇 개의 중소기업이 전력모니터링 기술에 입문하는 정도이다. 그러나 수 년 전부터 著者들에 의하여 전력의 국가표준기와 고조파측정장치를 교정할 수 있는 측정표준기를 개발하여 왔고, 부수적으로 전력 품질을 분석하고 모니터링 할 수 있는 기술이 축적되어 있다. 또한 최근에는 필요성이 크게 대두되어 한전 전력연구원, 전기연구원등에서 관련연구들이 수행되고 있다.

2.5 모니터링을 위해 필요한 요소는 ?

현재 수입되어 사용되는 측정과 분석장비들은 이동이 불편하고 데이터 logging 장치가 롤 프린터에 의한 기록이 이루어지거나 프린터가 없는 상태에 있다. 만약 배전반에서의 전력분석이 이루어질 경우 대부분 2차측에 5A의 변류기(Current Transformer; CT)를 사용한다면 분석 장비에 덩치가 큰 CT나 전류용량이 큰 shunt가 사용되지 않아도 충분한 모니터링이 이루어 질 수 있고 고조파나 다른 파형의 왜곡에 의한 측정부분의 손실을 방지할 수 있다.

(1) CT, PT, Shunt, 센서

국내에서는 변류기(CT), 변성기(PT), Shunt의 생산 및 판매가 이루어지고는 있으나 고조파특성을 고려한 제품은 전혀 없다. 고조파 상태에서는 주파수가 고조파의 차수배로 커지므로 이들 센서의 자기회로에서 와류손과 히스테리시스 손이 매우 커져 이들 철손에 의한 오차가 크게 발생하게 된다. 따라서 정밀한 측정을 바탕으로 한 계통전력의 모니터링과 분석이 이루어지기 위해서는 고조파특성을 고려하여 자성체를 특수구조와 재료로 구성해야 만 한다. 현재는 전량 수입해오기 때문에 매우 고가이나 국내에서 개발하는 경우 경쟁력이 충분한 저렴한 제품을 생산할 수 있을 것이다.

(2) AD 보드

현재 시판되고 있는 종합적인 기능을 갖는 AD변환보드가 시판되고 있으며 고조파 전원분석 전용은 없다.

(3) 소프트웨어

현재 시판되고 있는 Data Acquisition용 종합 소프트웨어인 Lab/View는 종합기능을 갖는 소프트웨어이기 때문에 매우 고가이고, V-PAS는 PM시리즈에 만 사용이 가능할 뿐이다.

표 2. 고조파함유전원의 자동측정 및 분석시스템 관련분야의 국내외 동향

구분	현황				향후전망
	국내	국외		가격	
		내용	가격		
관련제품	전력애널라이저 (모니터링 및 소프트웨어 센서)	없음	Voltech(영국) PM-3300모델 Power Analyzer 전력 애널라이저 (日産전기) 에너지 시프트 (고조파 측정기 PHA-3300)	\$25,000  270만엔  400만엔	· 모니터링 및 소프트웨어, 고조파용 센서 등이 갖추어진 종합시스템이 일반적일 것이다. · 일반적으로 Voltech(영국)사의 PM모델이 저렴하며 성능이 뛰어나다. 향후 이 분야의 기술을 선도할 것으로 전망됨
기간기술 (요소기술, 부품, 재료)	고조파용 CT, PT	없음	Switzerland 의 LEM co (고조파 전용센서)	20~100만원대	· 고조파 계측시에는 주파수가 차수배만큼 커지므로 철손에 의한 오차가 크다. 따라서 전력품질과 관련한 고조파 모니터링에는 고조파전용 센서가 필요하다. · 현재 Data acquisition 분야를 석권
	A/D 보드	고조파 관련 A/D보드는 없다.	National Instrument Board	250만원	
관련소프트웨어 및 시스템	소프트웨어 (Data acquisition, FFT)	시판되는 제품이없다.	Lab/View 시스템 Data acquisition, FFT분석, 자료처리, 분석, 제어 등 종합적인 범용 소프트웨어로 기능이 막강함. V-PAS, (Voltech사(영국)의 PM모델 Power Analyzer 의 전용 s/w)	300~400만원     50만원	· 종합 범용소프트웨어로 특정분야의 전용 소프트웨어로 발전될 전망이다. · 자료 모니터링, 분석, 처리, 이를 이용한 시스템의 제어까지도 할 수 있는 종합 범용 소프트웨어가 개발된다. · 특정 분야의 모니터링 시스템의 전용 s/w로도 발전할 것이다.

### 3. 기존 계측기는 비정현파 고조파전원을 측정할 능력이 없다

기존의 계측기는 상용전원인 60Hz 정현파 전원만을 측정할 수가 있다. 따라서 고조파가 함유된 비정현파 전원에서 고조파는 기본파의 2배수만큼 높은 주파수이므로 계측기 자체의 동손이나 철손이 매우 커지고, 指針의 진동이 매우 커서 측정 자체가 불가능 해진다. 이제 대표적인 비정현파 전원장치인 '인버터'로 모터를 구동하는 그림 3의 시스템의 성능을 가동철편형이나 디지털미터와 같은 기존의 계측기와, 비정현파를 측정할 수 있는 장비로 측정능력을 비교해 볼 수가 있다.

#### 3.1 비정현파 전원장치 입력단의 전압, 전류

3상모터와 인버터로 구동되는 시스템을 그림 3과 같이 구성하여, 가장 대표적인 기존의 계측기인 가동철심형 전압계/전류계, 디지털형 전압계/전류계로 인버터의 성능을 측정하고 그 결과를, 고조파 측정, 분석에 국내외적으로 널리 사용되고 있는 전력분석기인 영국 Voltech사의 PM-3300모델 전력분석기로 측정된 결과와 비교하여 신뢰성의 정도를 알아볼 수가 있다.

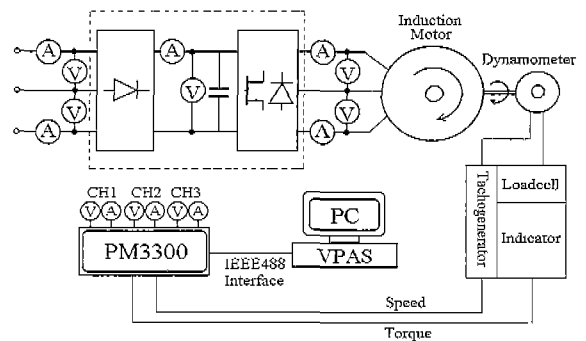


그림 3. 비정현파 전원으로 구동되는 유도형 모터 시스템의 성능측정 구성도(가동철편형등의 기존 계측기, 고조파측정전용 계측기)

그런데 비정현파 전원장치인 '인버터'라 하더라도, 입력(전원)측의 전압과 전류는 상용주파수이므로 일반적으로 어느 형식의 계측기를 사용하여도 문제가 없다고 알려져 있다. 그러나 실제로 전류를 측정하는 경우 그림 2, 그림 4에서와 같이 파형이 왜형되어 비정현파가 되므로 가동철편형이나 일반 디지털 미터로 측정하는 경우에는 지침이 심하게 진동을 하여 지시치의 판독이 매우 어렵다.

그림 5는 고조파함유 전원의 측정이 가능한 장비로 국내 외적으로 가장 널리 사용되고 있는 그림 7과 같은 모습의 영국 Voltech사의 PM3300의 전력분석기의 값을 기준으로 하여 각 기존 측정계기의 지시치를 %로 나타낸 것이다. 전류치 오차의 경우, 가동철심형은 저주파수 출력일 때 크며, 일반 디지털형의 경우에는 그 제품에 따라 크게 차이를 볼 수 있다.

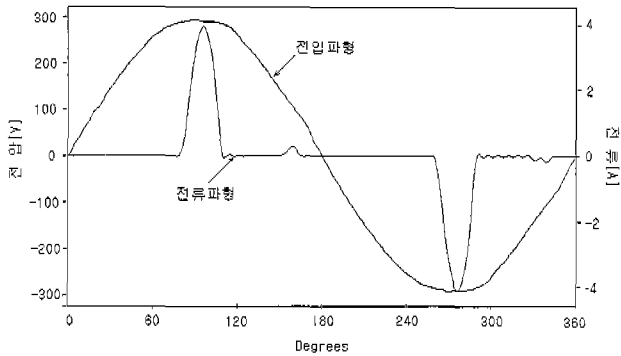


그림 4. 인버터의 입력측 전압과 전류의 파형(출력주파수60Hz)

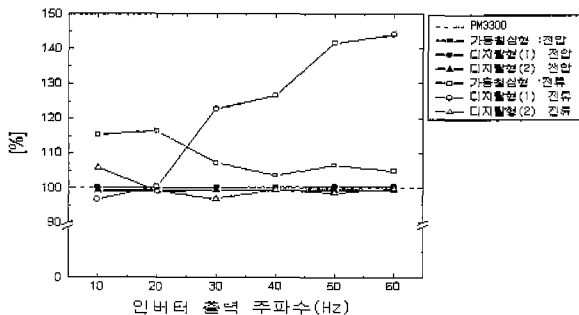


그림 5. 인버터의 입력측 전압과 전류를 PM3300의 값과 비교한 기존계측기의 측정능력(PM3300; 비정현파 전원 측정 전용 장비)

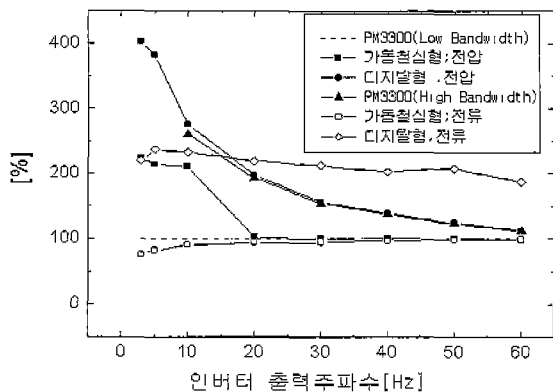


그림 6. 인버터의 출력측 전압과 전류를 PM3300의 값과 비교한 기존계측기의 측정능력(PM3300; 비정현파 전원 측정 전용 장비)

### 3.2 비정현파 전원장치 출력단의 전압, 전류

고조파에 의하여 파형의 왜형이 심한 출력측 전압과 전류는 그림 6에서 가동철심형이나 일반 디지털 메터의 측정은 신뢰 할 수가 없음을 알 수가 있다. 가동철심형 전압계의 경우 그 오차가 20Hz이상에서는 비교적 작기는 하였지만, 지침이 심하게 진동하여 실제로 정확한 판독이 어렵다.

### 3.3 기존 계측기로는 비정현파 전원을 측정 할 수가 없다.

그림 3과 같은 인버터, 비정현파 전원으로 구동되는 유도형 3상모터 구동시스템의 성능측정을 위한 구성을 하여 측정을 한 결과는 그림 5와 그림 6이다. 이로부터 지금까지 일반적으로 사용해 온 기존의 가동철심형 계기나 디지털 메터로는 측정이 불가능하다는 것을 알 수가 있다. 따라서 이를 위해서는 컴퓨터의 연산능력과 자료축적기능을 측정기와 조합하여 모니터링과 분석이 가능한 시스템으로 구성하게 된다. 일반적으로 국내외에서 널리 사용되는 시스템이 그림 3에서의 PM3300으로 그림 7과 같은 모습이다.

## 4. 고조파를 함유한 비정현파의 자동측정 및 분석이 가능한 온·라인 모니터링시스템의 사례

### 4.1 국내외에서 일반적으로 사용되는 시스템

그림 7은 가장 널리 사용되고 있는 PM3300모델의 모습이다. 그림 3에서 인버터 입출력 전력은 2전력계법(CH1, CH2), DC bus에서의 전력은 CH3로 계측하였다. 이때 사용한 PM3300 모드는 “PWM mode”이며, 자동계측을 위해 이 모델에서 만 사용되는 전용의 상용 소프트웨어인 ‘VPAS’를 사용하였다. 이 경우 모터의 토크와 회전수도, 로드셀을 장치한 동력계와 tachogenerator로 계측하여 PM3300에 입력하면 부하의 토크특성도 정밀하게 측정을 할 수가 있다.

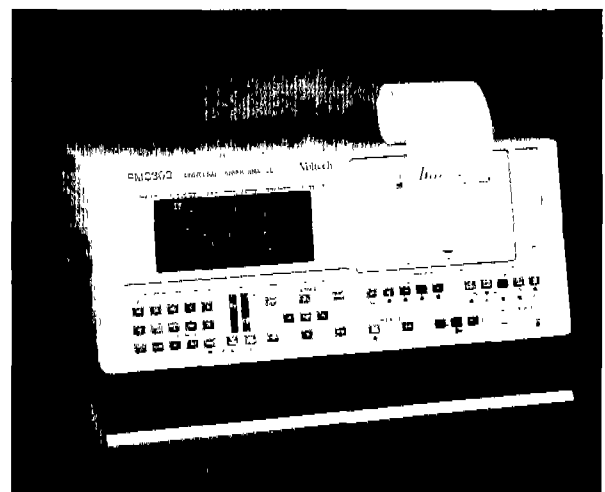


그림 7. 비정현파 전원의 측정에 널리 사용되는 계측시스템의 실제 모습

그림 8은 그림 7의 시스템에서 전용으로 사용하는 계측 및 해석을 위한 상용 소프트웨어 “VPAS”의 컴퓨터 모니터링 창이다. 즉 ㉠, ㉡, ㉢는 각각 input configuration window, parameter set up window, show window이다.

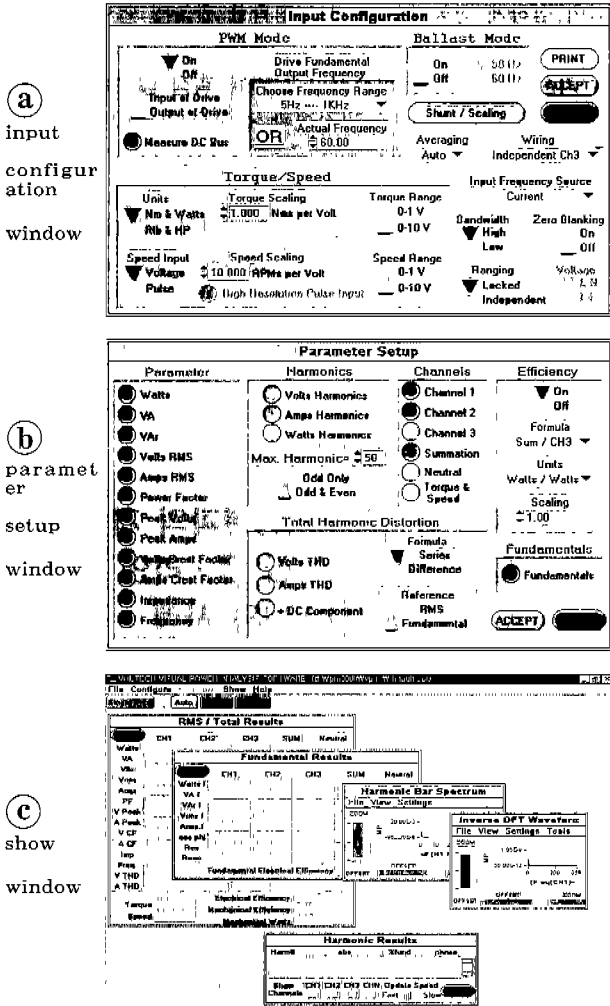


그림 8. 고조파전원 전용 전력분석기의 소프트웨어의 모니터링 창 사례

#### 4.2 배전시스템에의 응용 사례

자동으로 시스템의 성능을 측정하는 방법은 그림 9와 같이 배전시스템에도 적용 할 수가 있다.

#### 4.3 새로운 온·라인 모니터링 시스템 구축(사례)

##### (1) 시스템 구성

그림 10과 그림 11의 시스템은 부하를 모터로 하는 시스템 성능의 자동측정 및 분석을 위한 온·라인 모니터링 시스템이다. 즉 그림 11의 블록선도와 같은 개념에 의해 실제로 구성한 시스템의 모습이 그림 10이다. 이로부터 1차측 입력 전류, 전압, 전력, 역률 특성 등에 관한 전기량과 추력, 속도, 효율 특성에 관한 성능을 모니터링 하게 된다.

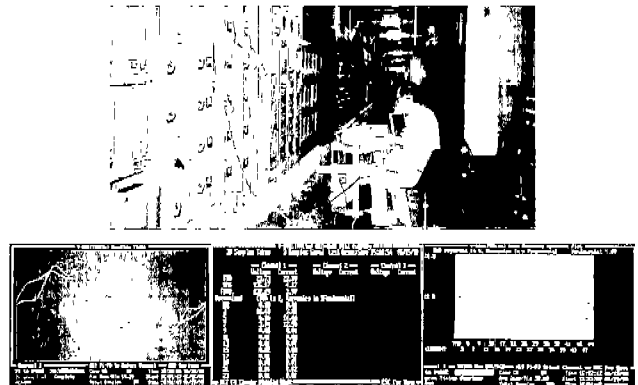


그림 9. 배전시스템의 모니터링 장치와 창

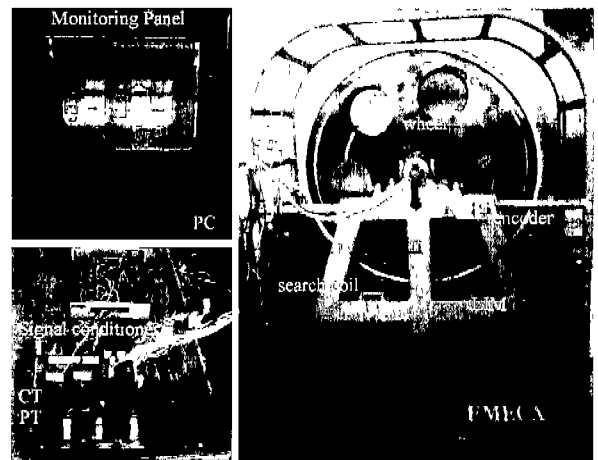


그림 10. 모터부하의 성능 모니터링 시스템의 사진

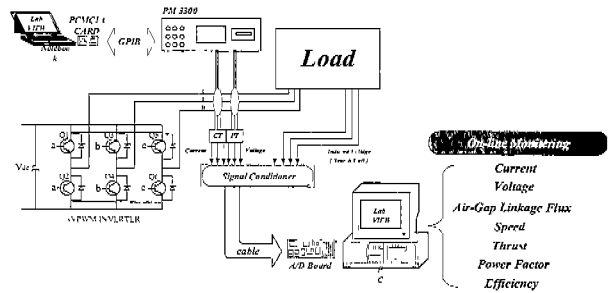


그림 11. 모터의 성능 모니터링 시스템의 전체 블록도

부하인 모터의 운전성능에서 특히 중요한 요소인 전자적 추력은 물론이고, 그림 10, 그림 11의 개념을 구현하여 각 운전성능을 실시간으로 모니터링 하기 위해서는 우선 전원의 성능 파악이 매우 중요하다. 즉 상용전원 또는 인버터로부터 모터에 공급되는 전기량에 관한 자료를 획득하기 위해서는 우선적으로 입력 전압과 전류의 순시치가 정밀하게 측정되어야 한다. 모니터링 시스템에서 1차측 인가전압, 전류를 측정하기 위하여, 그림 11에서와 같이 변성기(Potential Transformer; PT)와 변류기(Current TransFormer; CT)를 사용하여 전압 및 전류를 검출한 후, 이 신호를 아날로그/디지털 변환용 A/D 보드의 아날로그 입력단에 입력시킨

다. 이 경우에 상용전원에서는 입력전원이 정현적이므로 문제가 되지 않으나, 인버터 전원에서는 시간고조파를 함유하므로 공급전원의 순시파형은 그대로 유지시킨 채, 단지 크기만이 가변되어야 만 한다. 이를 위해서 시간고조파 함유 공급전원에서의 전압, 전류를 정밀하게 고려할 수 있는 기능을 특별히 갖는 CT와 PT를 사용해야 만 한다.

따라서 아날로그 전압, 전류가 CT, PT를 거쳐 A/D 보드에 입력되고, 디지털화 되어 컴퓨터에서의 연산을 통해 전기량에 관한 데이터가 수집되면, 이를 즉시 처리하여 성능을 실시간 모니터링하게 된다. 또한 그림 11과 같은 모니터링 시스템으로 측정된 전기량 측정결과의 타당성을 검증하기 위하여, 그림 7과 같이 고조파 특성을 고려한 측정이 가능한 고가 장비인 Votech사의 PM3300의 측정결과를 GPIB를 통해 PCMCIA 카드가 장착된 노트북에서 수집, 처리할 수 있도록 하는 상용소프트웨어인 Lab/VIEW를 이용한 별도의 가상계측시스템을 별도로 구성하여 전기량들을 측정하여 분석하게 된다.

(2) 프로그래밍

그림 11의 가상계측(Virtual Instrument: VI)시스템은 물론, 그림 3, 그림 7, 그림 9와 같은 의 전력 측정 시스템을 포함하는 모니터링 시스템에서 각종 신호 및 데이터를 처리하여 전기적, 기계적 파라미터의 값을 자동으로 산정하여 모니터링 하기 위해서는 소프트웨어적인 처리가 필요하다. 이를 위해서 그래픽 프로그램 언어로 각종 데이터를 자동으로 처리하고 모니터링 할 수 있는 상용프로그램인 Lab/VIEW와 같은 tool을 이용하게 되고 그림 12와 같은 블록선도로 구성된다. 즉, CT, PT를 통해 입력되는 각 상의 1차측 아날로그 전류신호  $i_a, i_b, i_c$ , 전압신호  $v_a, v_b, v_c$ 와 서치코일에 유도된 전압  $e_a, e_b, e_c$ , 엔코더에서 출력되는 펄스 신호를 총 9개 채널에서 동시에 읽어들이게 된다. 그런 다음 특성식을 이용하여 실효치 전압, 전류, 3상 입력전력, 역률 등이 계산되고 이를 실시간으로 모니터링하게 된다. 이 때 입력되는 신호들은 전자기적 노이즈를 제거하기 위하여 필터링하게 되며, 전자기적 추력, 효율이 계산되어 각각 모니터링을 할 수있게 된다. 이때 상용전원으로 운전하는 경우에는 A/D보드 내에 내장된 3개의 타이머/카운터를 그림 9의 (a)와 같이 커넥터에서 연결한 후, 입력되는 엔코더 신호의 상승에서 펄스수를 카운팅하여 식 (10)에 의해 속도를 계산하고 모니터링 할 수도 있다.

(3) 시스템의 성능분석 모니터링 판넬

그림 13은 시스템의 성능분석을 하기 위한 모니터링 판넬이다. 물론 필요한 경우에는 각각의 성능결과와 만을 분석, 파악하기에 편리한 형태로 모니터링도 할 수가 있다.

즉 그림 12의 판넬에 별도의 sub VI를 구성하여, 그림 11의 하단 좌측부의 FFT 선택 버튼을 누르면, A/D 보드 각 입력신호들의 순시파형과 FFT 분석결과 및 필터링 된 입력신호의 순시파형과 FFT 분석결과를 그림 14와 같이 도

시하게 된다. 이 경우에, 필터는 소프트웨어적으로 구현한 2차 버터워스 필터를 사용하였다. 필터를 사용하는 이유는, 전자기적 노이즈 등에 의해 실제 실험치와 많은 오차를 보이므로, 입력되는 각 상 전류파형과 서치코일에 유도되는 전압파형을 필터링하여 그림 14에서와 같이 기본과 만을 성분으로 하는 신호를 산출하게 된다.

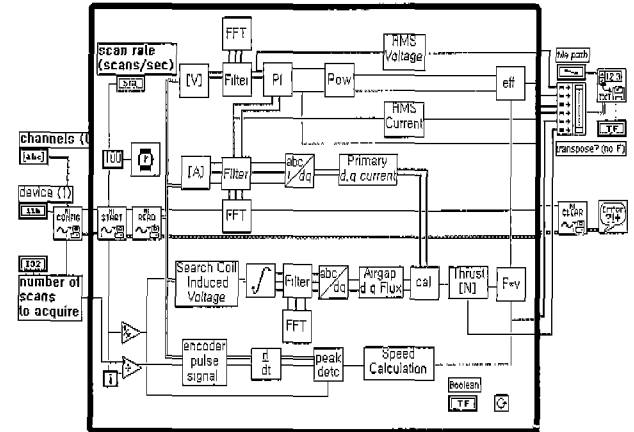


그림 12. 그래픽 프로그램 언어인 LabVIEW를 이용하여 구성된 모니터링용 프로그래밍 블록도

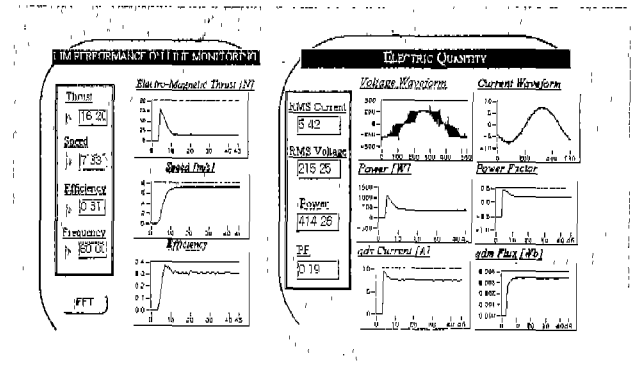
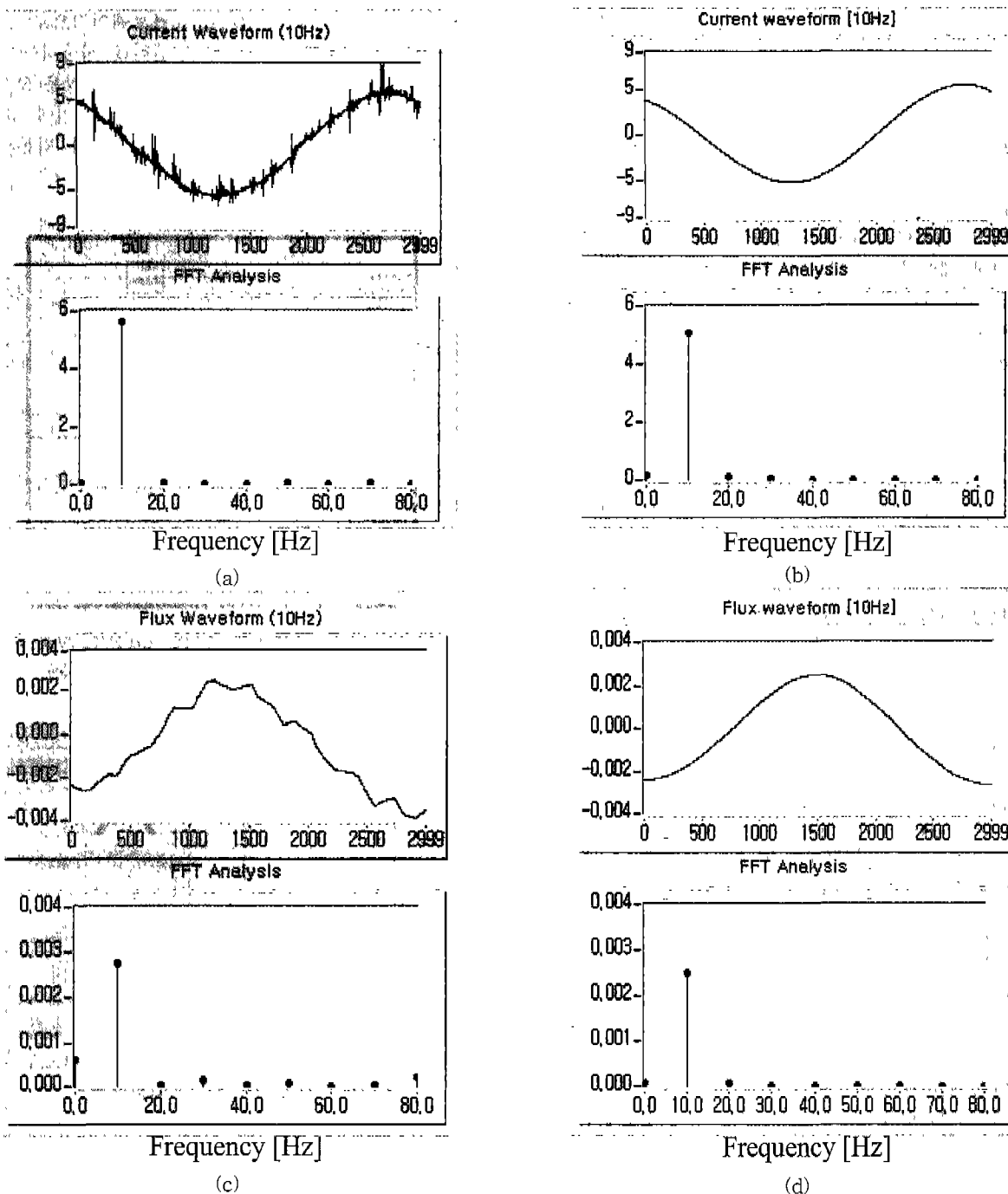


그림 13. 모터부하의 성능을 가상계측시스템으로 실시간 모니터링하는 패널

그림 14는 그림 10, 그림 11, 그림 12를 구현한 시스템으로 모터부하 시스템의 상용전원, 인버터 전원 각각에서의 1차측 입력전류, 전압측정 결과를 각각 실시간 모니터링을 하는 패널이다. 고가장비인 PM3300으로 계측한 결과와 비교하여 10% 이하의 저가로 구현한 모니터링 시스템의 측정결과가 잘 부합된다.

5. 결 론

인버터, 컨버터등의 전원장치에 의하여 시스템에 고조파가 함유되어 비정현과 전원이 된다. 본 원고에서는 전력시스템에서의 고조파발생 및 품질악화의 원인과 그에 따른



(a)필터링 전, a상 전류의 순시파형 및 FFT 분석결과 (b)필터링 후, a상 전류의 순시파형 및 FFT 분석결과 (c)필터링 전, a상 검출자속의 순시파형 및 FFT 분석결과 (d)필터링 후, a상 검출자속의 순시파형 및 FFT 분석결과

그림 14. 필터링 전·후, a상 전류와 검출자속의 순시파형 및 FFT 분석결과 (10Hz 운전시)

산업현장에서의 문제를 설명하였다. 또한 품질을 개선하기 위해서는 시스템의 성능 파악이 가장 중요하기 때문에 계측시스템을 소개 하였다. 즉 비정현과전원의 측정에서 가동철편형등 기존의 측정장비의 능력을 검토하여 비정현과 진용 계측기와 비교검토하였다. 이로부터 기존의 계측기는 비정현과전원을 측정 할 수 있는 능력이 전혀 없음을 보였다.

또한 시스템의 성능을 자동으로 측정하고 분석을 할 수 있는 온라인 모니터링의 사례를 상용소프트웨어에 의한 경우와, Lab/View에 의하여 구축한 시스템의 사례를 소개하였다.

고가의 전력품질 모니터링 및 분석시스템을 시판되는 외국제품과 또 이에 비하여 비용이 매우 저렴한 가격으로 저



자들이 구성한 사례를 들었는데, 이 시스템은 자료의 자동 및 효율관리로 모니터링 및 분석에 필요한 인력 및 시간을 크게 절약한다. 또한 배전계통뿐 아니라 전체 전력계통의 품질을 常時 모니터링하고 관리함으로써 전 계통의 효율화, 안정화, 고신뢰도화도 꾀할 수 있을 것이다. 따라서 이러한 온라인 모니터링 자동 계측시스템의 사용은 각 산업시설 수용가의 전력품질 개선연구에 필수적이 된다.

**참 고 문 헌**

[1] Wilson E.Kazibwe et al "Power Quality: A review" IEEE Computer Applications in Power, vol.3, No.1, pp.39-42, Jan., 1990

[2] Richard R.Elfisa "Power Electronics' Polluting Effect" IEEE Spectrum, pp.32-39, May 1997

[3] C Gilker et al "A Measurement Technique for Power System Harmonics" IEEE Computer Applications in Power, vol.3, No.4, oct. 1990

[4] W. Xu et al "Using Spreadsheet Software as a Platform for Power System Analysis" IEEE Computer Applications in Power, Vol.12, No.1, pp. 41-45, Jan. 1999

[5] M. Kezunovic wt al "Automating the Analisis of Faults and Power Quality" IEEE Computer Applications in Power, Vol.12, No.1, pp. 46-50, Jan. 1999

[6] D. Graovac et al "Power Quality Compensation Using Universal Power Quality Conditioning System" IEEE Power Engineering Review, Vol.20, No.12, pp. 58-60, Dec. 2000

[7] S Peeran et al "Faults Analysis Through Power Quality Metering" IEEE Computer Applications in Power, vol.13, No.1, pp. 28-31, Jan., 1990

[8] J. CGomez et al "Induction Motor Behavior Under Short Interruptions and Voltage Sags" IEEE Power Engineering Review, Vol.21, No.2, pp. 11-15, Feb. 2001

[9] 박영태 "열전형 변환기를 이용한 고조파함유 전력의 정밀계측 시스템 구현에 관한 연구" 충남대 박사학위 논문, 1997.2

[10] 박영태, 이현구, 장석명 "전력비교기에 의한 전력 가변 공급 시스템의 비정현파형 전압, 전류, 전력의 정밀측정" 전기학회 논문지, 제 46권 6호, pp.862-868, 1997.6

[11] 장석명, 이현구, 박영태 "시간고조파를 함유한 전원에 의하여 구동되는 유도형 리니어모터의 등가회로구성 및 특성해석, 전기학회 논문지, 제46권 8호, pp. 1154-1160, 1997.8

[12] 장석명, 박영태, 서진호, 정상섭, 이성호, 함상용, 박찬일, 정락교, 이 주 "신교통 차량 추진용 리니어모터의 운전성능측정 및 모니터링시스템 구축" '97대한전기학회 창립 50주년 하계학술대회 논문집 A권(EMO-21), pp. 74-76, 1997. 7. 21-23

[13] 박영태, 강전홍, 서진호, 장석명 "고조파를 함유한 대용량 인버터의 전력측정용 2단변류기" '97대한전기학회 창립 50주년 하계학술대회 논문집 A권(EMO-29), pp. 218-220, 1997. 7. 21-23

[14] 장석명, 정상섭, 박영태 "유도형 리니어모터 구동용 인버터의 고조파 파형분석과 효율측정" '97대한전기학회 창립 50주년 하계학술대회 논문집 A권(EMO-49), pp. 282-284, 1997. 7. 21-23

[15] 장석명 "고조파 함유전력 시스템에서의 표준 적산 전력량계 특성해석 및 시험" 한국표준과학원 위탁연구보고서, 1998.2

[16] 이진호, 박영태, 이민명, 서진호, 장석명 "고조파 영향에 의한 위상변화가 적은 분류기" '97대한전기학회 창립 50주년 하계학술대회 논문집 A권(EMO-50), pp. 285-287, 1997.7.21-23

[17] 박영태, 이성호, 장석명 "전력품질 실시간 모니터링 시스템" 대한전기학회 하계학술대회, EMP-67, A 권 pp. 299-301, 1999. 7. 19-21

[18] 장석명, 이성태, 이성호, 박영태, 박찬일 "유도형 리니어모터의 특성모니터링 시스템 구현" 대한전기학회 추계학술대회 논문집, A-EMP-5, pp. 52-54, 1999. 11. 20

[19] 장석명, 이성호, 장건우, 박영태, 김봉섭 "유도형 리니어모터의 성능 on-line 모니터링" 대한전기학회 하계학술대회 논문집 B권, EMO-27, pp. 660-662, 2000. 7. 17-20, 무주

[20] 박영태, 유광민, 장석명 "정밀전력계와 전력량계의 시험을 위한 기준시스템" 대한전기학회 하계학술대회 논문집 B권, EMO-79, pp. 928-930, 2000. 7. 17-20, 무주

[21] 장석명, 이성호, 장건우, 정상섭 "유도형 리니어모터 성능의 온·라인 모니터링을 위한 가상계측시스템 구현" 대한전기학회 논문지, 제50권 5호, pp. 205-213, 2001.5