

전력품질 측정장치의 개발에 관한 연구

金 應 相

한국전기연구소

A Study on the Development of Measuring Equipment in Electric Power Quality

Eung-Sang Kim

KERI

요 약

전력품질에 대한 관심과 요구가 증가되고 있는 최근의 상황에서 기존의 전력품질 관리방법의 개선과 새롭게 대두되는 전력품질 사항에 대한 정확한 정의와 대책이 필요하게 되었다. 국내에서는 아직 대비가 미비한 실정이며 외국의 경우에는 장비의 도입비용이 고가이며 고정형이 대부분인 문제가 있다. 본 논문에서는 새롭게 대두되는 미소 외란에 의한 전력품질 사항에 대해 명확하게 판단하고 검출할 수 있는 알고리즘을 제시하였으며 이를 바탕으로 기존의 측정장비가 가지는 단점을 보완한 새로운 전력품질 검출장치를 개발하였다. 개발된 측정장치는 이동형으로 만들어졌으며 제작 소요비용이 몇십 만원대로 그 기능이나 성능에 비해 저렴하다. 그리고 500 μ s의 샘플링 시간에 의해 만들어진 입력 데이터로 시험을 하고 결과를 분석하여 장치의 효율성을 입증하였다.

Abstract—Recently as the interest and request about Power Quality growth, Development of managing method and accurate definition and antidote against its characteristic has been needed. Within a country the antidote is not prepared yet. And the cost of the foreign equipment is very high and that is are not movable type. Thus paper proposed the classified algorithm and decide power quality by small-signal disturbance at a very short time in long term. And developed a new measuring equipment. This equipment is movable and costs low. Also this paper proved the efficiency of the proposed algorithm through Computer Simulation classifying Sampled Test Data and testing a new measuring equipment with the algorithm.

1. 서 론

근래에 들어 정보·통신 산업의 발달에 따라 마이크로 프로세서 및 전력용 반도체 소자를 채용한 설비가 크게 늘고 정보통신기기, 정밀제어기기, OA 기기 등과 같이 미소한 외란의 입력에도 동작불능 및 고장의 우려가 있는 설비의 보급이 증가하면서 기존에는 크게 문제시하지 않았던 순시전압저하·전압상승, 순시정전, 고조파의 영향, 전압불평형, 플리커, 써지지와 같은 전력품질에 대한 관심이 증가하고 있다. 외국의 경우 최근 유수의 전력회사들이 전력품질 향상을 위한 각종 장비를 보급하고 있으며 국내에서도 상기 전력품질 조항에 대해 미비한 점을 보완하고자 대책을 마련중에 있다. 이런 상

황하에서 국내의 전력품질에 대한 연구가 많은 성과를 거두고 있으며 특히 시뮬레이션이나 실증 시험 및 여론조사에 의한 연구로는 외란에 의한 전압이상이 수용가에 미치는 영향과 대책을 해석^[1]한 적이 있고 일본에서의 순시전압저하현상이 가져온 피해현황과 컴퓨터 장비에 의한 대책을 제시^[2]하고 수용가 장비에 대한 순시전압저하현상들의 조사·결과를 요약^[3]한 적이 있다. 그리고 1990년대 들어서 순시전압저하 및 순시정전의 특성을 분석하고 그 영향을 정량적으로 평가하려는 개념적 접근방식을 주로 한 논문들도 발표되었다. 그 예로는 순간전압저하의 크기 및 지속시간 등을 예측하는 기법^[4,5], 순시전압저하와 순시정전의 계통에 대한 영향을 평가^[6,7]하는 수식을 제시하였다.

그러나 국내에서는 이런 새로운 개념의 전력품질은 아직 실제적으로 파악 및 관리되지 않고 있는 실정이며 외국에서는 이미 GE, Siemens, EDF 등과 같은 회사에서 상기 전력품질 조항을 측정하기 위한 장비가 나와 있으나 고가이며 고정형이 대부분이라는 점이 문제로 지적되고 있다. 따라서 본 논문에서는 상기 전력품질 조항들을 정확하게 측정할 수 있는 방법과 알고리즘을 제안하고 시뮬레이션을 통해 그 효용성을 확인하고자 하였으며 이를 이용하여 외국의 고정형 고가장비를 대체할 수 있는 몇십 만원대의 이동용 측정장치를 개발하였다. 개발한 장비는 DSP 칩을 주 제어기로 사용하였고 강압용 변압기, 자체 전원공급을 위한 전지, 충전시스템으로 구성되어 있고 주 제어기는 CPU, 디스플레이 장치, 키보드, A/D 컨버터, 통신회로, 메모리 및 진행과정이 프로그램된 IC로 구성되어있다. 개발장치의 성능시험은 슬라이탁스(정격 220 V/380 V, 10 kVA) 동작에 의한 순시 결과를 500 μs의 샘플링 간격으로 추출하여 만들어진 입력데이터에 대해 수행하여 그 효용성을 확인하였다.

2. 전력품질의 정의 및 항목 분류

2-1. 전력품질의 정의

전력품질이란 전력공급의 연속성과 전압의 여러 가지 특성의 관점에서 전력의 속성을 정의하는 여러 가지 파라미터의 집합을 뜻한다. 전력회사의 측면에서는 공급신뢰도에 관계되고 수용가의 측면에서는 전기설비에 공급되는 전력의 상태로 말할 수 있다. 일반적으로 지금까지는 30분 평균 전압 유지율이 사용되어왔고 주파수 유지율, 정전횟수 및 정전시간 등이 사용되었으나¹⁾ 최근에는 Fig. 1과 같이 미소 외란에 대해 발생하는 순시전압저하·전압상승, 고조파 왜형, 전압불평형, 순간정전, 썬어지 같은 요소들이 고려되고 있다.

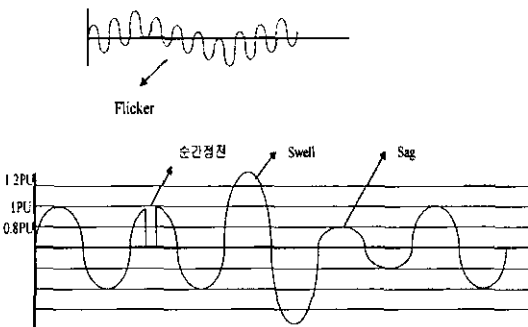


Fig. 1. The items of power quality.

2-2. 전력품질 측정항목 분류

2-2-1. 전압유지율

특정 시간 동안의 상용주파수(60 Hz) 1초 동안의 평균전압(실효치)이 1분 또는 30분을 기준으로 하여 특정 범위를 벗어나는지를 판단한다. 일반적으로 그 범위는 220±13[V], 380±38[V]로 하지만 필요에 의해 기준시간은 변경이 가능하다.

2-2-2. 순시전압저하(Sag or Dip)

단기간 전압저하란 정격주파수에서 지속기간이 0.5 싸이클에서 1분 정도, 전압저하가 실효치 기준 0.1 pu에서 0.9 pu인 현상을 말한다. 이 중 0.5 싸이클에서 30 싸이클 정도의 지속시간을 가지는 전압저하현상을 순시전압저하라 한다. 그 원인으로는 계통사고와 밀접한 관계가 있으나 대형 전동기의 기동이나 기타 다른 대형 부하의 갑작스런 투입도 원인이 될 수 있다.

2-2-3. 순시전압상승(Swell)

순시전압저하와 마찬가지로 정격주파수에서 지속기간이 0.5 싸이클에서 1분 정도, 전압저하가 실효치 기준 0.1 pu에서 0.9 pu인 현상을 단시간 전압상승이라 말하며 이 중 0.5 싸이클에서 30 싸이클 정도의 지속시간을 가지는 전압상승현상을 순시전압상승이라 한다. 보통 계통사고와 밀접한 관계가 있지만 전압저하 현상만큼 일반적이지는 않다. 비접지 계통의 1선 지락 시 전전상의 순간적인 전압상승이 일어날 수 있으며 대형부하의 갑작스런 계통분리, 대용량 커패시터 뱅크의 계통투입도 원인이 될 수 있다.

2-2-4. 고조파 왜형(Harmonic Distortion)

전력계통의 부하와 기기의 비선형적인 특성에 의해 발생되며 그 정도를 나타내는 척도로 중화왜형율(THD)을 사용한다. 전류의 고조파 왜형이 문제되는 경우는 IEEE Standard 519-1992에서 정의한 TDD(Total Demand Distortion)를 사용하기도 한다.

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h_{max}} M_h^2}}{M_1} \quad (1)$$

M_h : h 조파 성분의 실효값

2-2-5. 전압불평형(Voltage Unbalance)

3상 전력계통에서 발전기, 변압기, 송전선과 배전계통은 전기적 평형을 이루고 있으나 계통의 말단에서 사용하는 단상부하들에 의해 부하불평형을 발생시킬 수 있다. 이런 부하불평형이 계통에 걸리게 되면 전압불평형을 발생시킨다. 불평형율은 전압 또는 전류의 평균치에 대한 최대 편차로 정의되며 그 최대 편차를 3상 전압 또는 전류의 평균치로 나눈 비율(%)로 나타내며 식 (2)는

3상 3선식의 경우 상불평형율을 표현한 것이다.

$$\text{상불평형율} = \frac{|V_{\max} - V_{\min}|}{(V_a + V_b + V_c)/3} \times 100 \quad (2)$$

여기서,

- V_a, V_b, V_c : 3상 전압 입력
- V_{\max} : V_a, V_b, V_c 중 가장 큰 전압
- V_{\min} : V_a, V_b, V_c 중 가장 작은 전압

2-2-6. 순시 정전(Interruption)

단기간 정전은 1분을 초과하지 않는 범위내에서 공급 전압이나 부하전류가 0.1 pu 미만으로 감소하는 현상을 말하는데 이 중 30 사이클 이하의 지속시간을 가지는 경우를 순시 정전이라 한다. 보통 계통사고나 기기사고, 기기의 오동작 등에 의해 발생하며 그때의 전압크기가 항상 10% 미만인 관계로 지속시간에 의해서만 측정한다.

2-2-7. 썬어지(Surge)

기준전압의 1.5 pu를 벗어난 전압이 입력되었을 때를 썬어지라 하며 일반적으로 1.5 pu에서 10 pu까지의 범위를 설정한다. 시험시에는 장치의 보호를 위해 인가시간을 0.5 sec 미만으로 설정하고 PT의 선형적인 특성을 고려하여 전압크기를 조절하여야 한다.

2-2-8. 플리커(Flicker)

전압변동(Fluctuation)이라 정의되는 여러 현상중의 하나로 일련의 램덤 또는 연속적인 전압변화를 일컫는 말이다. 보통 0.9 pu에서 1.1 pu를 벗어나지 않은 현상을 가리키며 부하전류의 크기가 연속적으로 빠르게 변화하는 부하에서 종종 감지할 수 있다. 송·배전계통에서 가장 일반적인 전압변동의 원인은 아크로에 의한 플리커 때문이며, 플리커는 기본파의 %로 나타내는 실효치의 크기에 의해 정의되며 인간의 눈의 민감도라는 측면에서 측정된다. 수용가 구내에 무효전력이 크고 급변하는 부하가 있는 경우에도 자주 감지되며 TV, 조명기기, 컴퓨터와 정밀부하에 악영향을 미친다. 측정은 1~40 Hz 성분의 전압을 감시하여 60 Hz 성분의 기준값(220[V])의 5%를 초과하는 경우 플리커라 판단한다.

2-2-9. 복합 항목

상기한 전력품질조항 중 두 개 이상이 동시에 입력되는 경우에 설정하며 기준을 정하고 나서 똑같은 입력이 두 가지 기준값을 벗어나는 경우가 생길 수 있으므로 복합항목을 설정하였다.

2-3. 기존의 전력품질 관리

2-3-1. 관리방법

국내에서는 지금까지 주로 전압유지율, 정전 및 주파수를 관리해 왔다. 전압유지율은 한국전력공사가 보유하고

있는 측정기를 사용하여 저압에서 1년에 두 번 24시간 동안 측정하여 측정된 평균치가 공급 규정범위(±6%)를 얼마나 벗어났는가로 전압적정 유지율을 퍼센트로 나타내고 있다. 이때 측정 방법은 측정기를 사용하여 1초에 3번을 읽어오고 있으며, 1번 읽을 때마다 3 사이클을 읽어온다. 즉, 1초에 9 사이클을 읽어와 데이터를 저장하며, 30분 동안 읽은 값의 평균치로 계측한다. 또한 정전은 작업정전과 고장정전으로 분류하고 있으며, 고장정전에는 순간정전과 영구정전으로 구분한다. 여기서 작업정전은 사전에 정전 계획을 세워 행하는 것으로, 최근에는 화선으로 행함으로써 정전이 경미한 상태이다. 또한 순간정전은 5분 미만을 의미하며, 영구정전은 5분 이상의 정전을 말한다⁹⁾. 외국에서는 전압과 주파수 이외에도 최근에는 질이 좋아 문제시되지 않는다는 전제하에 주로 정전만을 관리해왔으나 최근에는 미국의 GE, 독일의 Siemens, 프랑스의 EDF 등에서 전기품질(즉 순간정전, 순간전압 강하 및 상승, 고조파 억제 및 썬어지 등)을 보상하기 위한 각종의 보상장치를 개발하여 상업성을 추진중에 있다.

2-3-2. 문제점

국내의 30분 평균 전압유지율은 순간적으로 짧은 기간동안의 전압변동은 표시가 나지 않으므로 실제적으로는 관리의 의미가 별로 없다. 왜냐하면 순간적으로나 짧은 시간동안의 전압의 상승 및 저하는 30분으로 평균하면 전혀 저하나 상승의 현상이 나타나지 않기 때문이다. 그러나 이러한 순간적인 상승이나 저하도 정밀부하를 사용하는 자가용 수용가에 전력공급의 중단에 의한 사업장의 작업중단이나 이로 인한 복구 시간과 비용 및 섬유공장의 실의 말림 등 경제적으로 막대한 손해를 미치게 된다. 또한 정전의 경우 작업 정전 시 계획에 의하여 수행되지만 고장 정전의 경우는 CB가 Rock-out된 경우(영구 정전의 경우)와 CB가 재폐로 된 경우 SCADA(배전사령실)에 고장구간과 고장시간이 명기되므로 이러한 경우의 영구 정전만이 관리되고 배전선로 리클로저, 구간개폐기 및 주상변압기 이하의 영구 정전 및 순간 정전의 관리는 소홀히 되고 있는 실정이다. 그러나 현실적으로 정보통신기기, 섬유기기 등 정밀부하를 사용하는 자가용 고압 수용가나 정전에 영향이 큰 일반 수용가들은 순간 정전(5분 미만의 정전)이나 정확하게 관리되지 않고 있는 영구 정전에 피해를 크게 입고 있다. 외국의 경우 상용의 측정장치나 보상장치의 가격이 고가이고 기술적으로도 외국 고가의 장비는 상기의 필요한 항목을 지정해야 하고 지정한 항목만 측정이 가능한 단점이 있다. 따라서 본 논문에서는 상기의 문제를 해결하고자 정확한 전력품질을 판단할 수 있는 방법과 이동용이면서 가격이 싼 측정장치를 개발하고자 하였다.

2-4. 전력품질 측정 알고리즘

전압유지를 뿐만 아니라 순간전압저하·전압상승, 고조파 왜형, 순시정전, 전압불평형 및 써어지 등을 측정하기 위하여 지정해 준 일정레벨을 벗어나는 전압 입력이 들어오면 해당 항목에 대하여 현상을 분류 및 분석하는 알고리즘을 제시하였다. 제안된 알고리즘과 프로그램

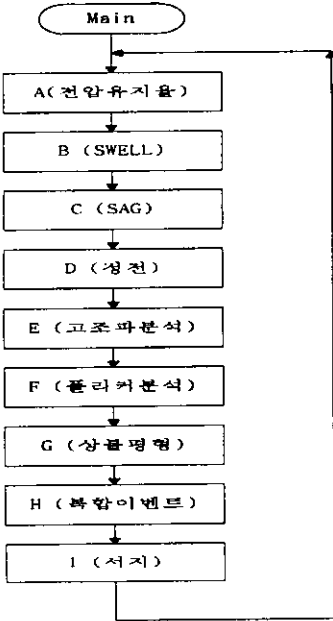


Fig. 2. Total flow chart.

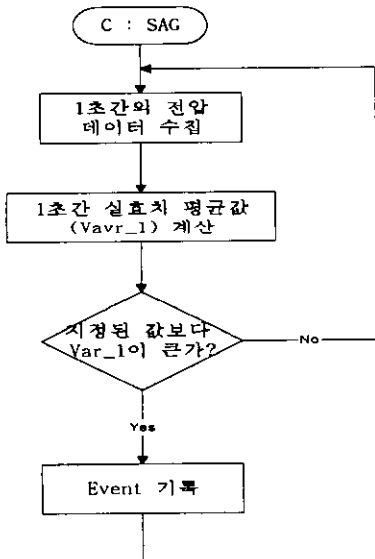


Fig. 3. Algorithm for sag decision.

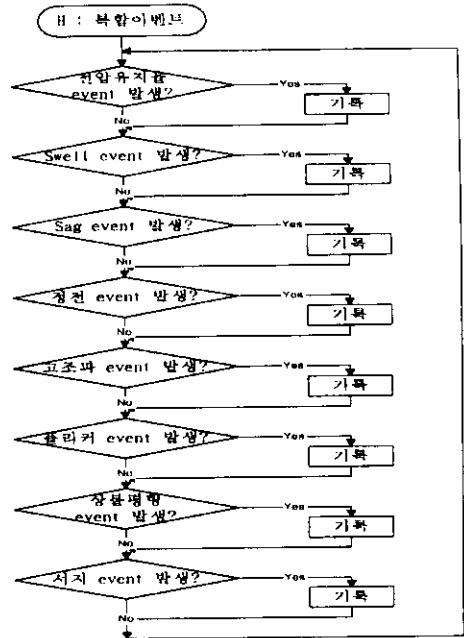


Fig. 4. Algorithm for compound event.

램에 의하여 가상의 입력을 주입한 후 정확한 출력이 제시되는 지를 확인하였다. 본 논문에서 제안된 알고리즘은 상기의 전력품질을 각 항목별로 구성하고 마지막으로 복합항목에 대한 알고리즘도 제시하였다¹⁰⁾. 대표적인 알고리즘의 흐름도는 전체적인 알고리즘을 나타내는 흐름도를 Fig. 2에 나타내었고, Sag, 복합 항목의 검출 알고리즘을 각각 Fig. 3, 4에 나타내었다. Fig. 3은 전압인가 시 상용주파성분 1초간의 데이터를 수집하여 실효치의 평균전압을 계산하여 설정범위(220 V-6%, 또는 380 V-10%)를 벗어나는지 감시하여 Sag를 검출하는 알고리즘이며 기록 데이터는 누적횟수, 발생시각, 종료시간(지속시간), U 상 실효치, V 상 실효치, W 상 실효치이다. Fig. 3은 상기한 전력품질 사항이 동시에 발생했을 때 기록하는 복합항목 검출 알고리즘이다. 기록 데이터는 누적횟수, 발생시각, 복합 이벤트 수, 전압유지율, 정전, Swell, Sag, Flicker, 고조파, 상불평형, 써어지이다.

2-5. 전력품질 측정장치

30분 평균 전압유지율 관리방법을 현실성 있게 1분 평균으로 개선하였고 외부전원이 없어도 전력품질의 측정이 가능하도록 내부전지와 충전회로를 포함하였다. 제어기에서 정해진 레벨과 판단 알고리즘에 의하여 이상유무를 판단한 후 측정할 가치가 있는 입력으로 판단되면 저장이 되고 저장된 데이터는 수신 프로그램이 들어있는 컴퓨터를 이용하여 통신회로에 의해 데이터를

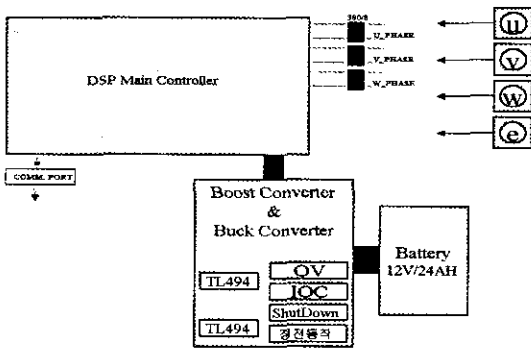


Fig. 5. Internal block diagram of equipment.

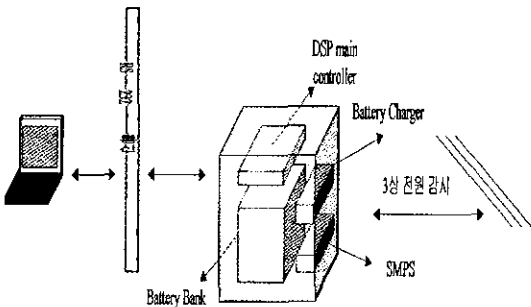


Fig. 6. Input/output diagram of equipment.

수신하였다는 최종 신호가 전달된 후에야 저장되었던 데이터는 소멸된다. 장치의 내부구성은 Fig. 5에 나타내었으며 Fig. 6은 장치의 입·출력을 표시한 개요도이다.

DSP를 주제어기로 사용한 전력품질 분석용 장치라 할 수 있으며 3 μ s의 고속 A/D 변환기를 이용하였다. 내부 전지를 사용할 경우 정전 시에도 최소 2일간 데이터의 분석이 가능하며 특별한 검출사항이 없을 경우에는 전지의 소비전력이 적고 또한 포함된 충전회로에 의해 충전되므로 4-5일간의 사용이 가능한 장점이 있다. 또 전지가 없을 시에도, 플래쉬 메모리에 저장된 전력품질 이벤트 DATA를 연결된 PC로 분석이 가능하다. 측정장치에 기록된 데이터를 수신하는 PC 측의 운용 프로그램은 윈도우즈 95에 기반을 두고 Visual Basic에서 개발되었으며 9600 Baud RS232C 방식에 의해 측정장치와 PC 사이에 통신 연결이 가능하도록 되어 있다. 그 외에 기록 데이터의 안전한 전송이 이루어지도록 소프트웨어적으로 충분한 대비를 하였다. 이동용으로 만들어졌으며 전체적으로 기능과 성능에 비하여 가격이 저렴하므로 쉽게 구입이 가능하고 여러 대를 보유하여 동시에 여러 곳에서 측정할 수 있는 장점이 있다.

3. 사례 연구

수용가 구내에서 차단기 개폐 동작 및 슬라이더스(정

<<전기품질모니터링장치>>
 Up_Load_일시: 1999/02/26-20:06
 장치번호: 40

정전 B	누적횟수	발생시간	지속시간	발생상황					
1	1	1999/02/26-19:57:35	0-00:00:00	U					
SWELL C	누적횟수	발생시간	지속시간	U상실효치	V상실효치	W상실효치			
1	1	1999/02/26-19:57:51	0-00:00:02	245	248	245			
2	1	1999/02/26-19:57:59	0-00:00:00	245	248	245			
3	1	1999/02/26-19:58:06	0-00:00:04	245	248	245			
SAG D	누적횟수	발생시간	지속시간	U상실효치	V상실효치	W상실효치			
1	1	1999/02/26-19:57:35	0-00:00:01	101	101	106			
Flicker E	누적횟수	발생시간	지속시간	SUM(F_U)	Dom_Freq	SUM(F_V)	Dom_Freq	SUM(F_W)	Dom_Freq
1	1	1999/02/26-19:57:35	0-00:00:00	13	9	9	9	9	9
상불평형 G	누적횟수	발생시간	지속시간	정상분전압	불평형비	RSV#			
1	1	1999/02/26-19:57:35	0-00:00:01	5.3	0	0			
상전압기록	RSV#	발생시간	UP_RMS	VP_RMS	WP_RMS				
J	0	1999/02/26-19:57:00	222	222	220				
J	0	1999/02/26-19:58:00	219	222	220				
J	0	1999/02/26-19:59:00	219	222	219				
J	0	1999/02/26-20:00:00	219	222	220				
J	0	1999/02/26-20:01:00	220	222	220				
Sag L	발생시간								
L	1999/02/26-19:57:35								
Time_Tag(msec)	U상전압	V상전압	W상전압						
0	-193.7	-104.9	306.8						
0.5	-144.8	-159.9	312.1						
1	-90	-204.8	303.8						

Fig. 7. The example of data recording.

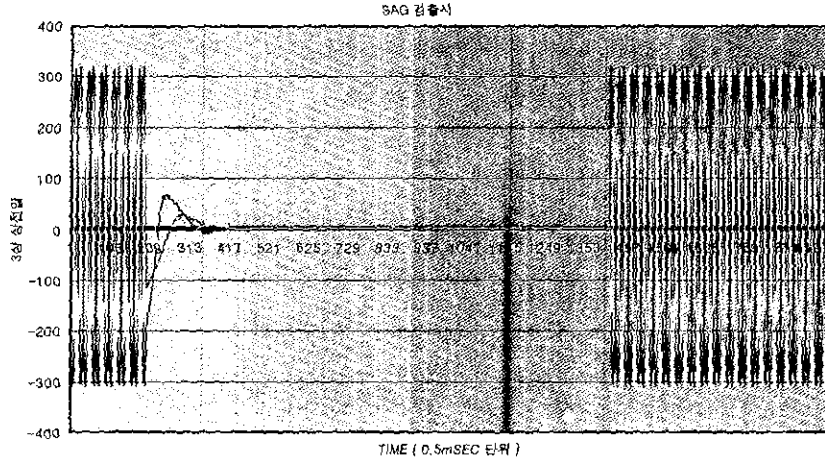


Fig. 8. The example of sag detection.

적 220 V/380 V, 10 kVA) 동작에 의한 순시 결과 데이터를 몇 초의 샘플링 간격으로 추출하여 입력데이터로 만들고, 제시된 알고리즘으로 전력품질에 관한 사항들을 분류한 결과 기존의 전력품질 검토 방법에서는 나타낼 수 없었던 순시정전, 순시전압상승, 순시전압저하, 고조파, 플리커, 상불평형, 및 써이저를 포함하여, 각각의 세부 사항에 대한 자료를 출력함으로써 제시된 알고리즘의 효용성을 확인할 수 있었다. Fig. 7과 8은 본 논문에서 개발한 측정장치의 측정 데이터 기록의 예이다.

Fig. 7은 측정장치의 운용 프로그램에서 TXT로 저장된 결과 DATA를 EXCEL을 이용하여 저장한 파일의 일부를 나타낸 것으로써 500 μ s 간격으로 샘플링 된 데이터를 측정장치의 입력으로 주고 본 논문에서 제시된 알고리즘으로 판단, 검출하여 저장장치에 기록된 결과이다. 기록된 결과에서 시험시간동안 정전, Swell, Sag, Flicker, 상 불평형이 검출된 것을 볼 수 있으며 하단부의 기록 데이터는 Fig. 8의 그래픽 출력을 위해 기록된 것이다. Fig. 8의 그래픽 출력은 Sag와 순시정전현상을 지속시간과 함께 명확하게 보여줌을 알 수 있다. 이 결과를 통해 개발된 장치의 효용성을 입증할 수 있었다.

4. 결 론

정보·통신 산업의 발달에 따라 정보통신기기, 정밀 제어기기, OA 기기 등과 같이 미소한 외란의 입력에도 동작불능 및 고장의 우려가 있는 마이크로 프로세서 및 전력용 반도체 소자를 채용한 설비의 보급이 크게 증가하면서 기존에는 크게 문제시하지 않았던 순시전압저하·전압상승, 순시정전, 고조파의 영향, 전압불평형, 플리커, 써이저와 같은 전력품질에 대한 관심이 증가하고 있다. 이

러한 상황에서 GE, Siemens, EDF 등과 같은 선진외국의 유명회사에서 내놓은 장비는 고가이며 고정형이 대부분이라는 점이 문제로 지적되고 있고 국내에서는 이런 새로운 개념의 전력품질은 아직 실제적으로 파악 및 관리되지 않고 있는 실정이다. 본 논문에서 개발한 전력품질 측정장치는 제안한 전력 품질을 정확하게 측정할 수 있는 방법과 알고리즘을 이용하여 외국의 고정형 고가장비를 대체할 수 있는 몇십 만원 대의 이동용 측정장치를 개발하였다. 개발한 장치는 상가의 전력품질 사항을 측정하여 원인 규명 및 대책을 수립할 수 있도록 보조할 수 있다. 이는 곧 수용가에 양질의 전력을 공급받을 수 있게 하여 작업중의 전력의 질에 의한 피해를 줄일 수 있고 경제적으로 경쟁력을 갖출 수 있다. 장치의 성능시험 에에서 전력품질 측정 알고리즘의 효과를 입증하였고 장치의 효용성도 확인할 수 있었다.

참고문헌

1. Ward, J., et al.: "Power Quality Two Different Perspectives", IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 5(3), pp. 1501-1513, July (1990).
2. Sekine, Y., et al.: "Present State of Momentary Voltage Dip Interferences and the Countermeasures in Japan", CIGRE 36-206, September (1992).
3. Lamoree, J., et al.: "Voltage Sag Analysis Case Studies", IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 30(4), pp. 1083-1089, July/August (1994).
4. Conrad, L., Little, K. and Grigg, C.: "Predicting and Preventing Problems Associated with Remote Fault-clearing Voltage Dips", IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 27(1), pp. 167-172, January

- (1991).
5. Math H.J. Bollen: "Fast Assessment Methods for Voltage sags in Distribution Systems", IEEE Transaction on Industry Applications, Vol. 32(6), pp. 1413-1423, November/December (1996).
 6. Brown, R.E., *et al.*: "Distribution System Reliability Assessment Momentary Interruptions and Storms", IEEE PES Proceedings 96 SM, pp. 1-6, (1996).
 7. Dugan, R.C., *et al.*: "Indices for Assessing Utility distribution System RMS Variation Performance", IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 13(1), pp. 254-259, January (1998).
 8. Dugan, R.C., Mark F. McGranaghan and H. Wayne Beaty: "Electrical Power Systems Quality", McGraw-Hill, pp. 9-80 (1996).
 9. Warren, C.M.: "The Effect of Reducing Momentary Outages on Distribution Reliability Indices", IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 7(3), pp. 1610-1617, July (1992).
 10. 김용상 외: "전기품질 측정방법에 관한 연구", 대한전기학회 춘계학술대회 논문집 (1999).