

DWB를 이용한 배전자동화 기반의 전기품질 모니터링 시스템 구축

(Power Quality Monitoring System Using DWB on Distribution Automation System)

강문호* · 이흥호**

(Moon-Ho Kang · Heung-Ho Lee)

Abstract

The necessity of Power Quality(PQ) Management grow bigger because the disturbance strength in power system is increasing, on the other hand, the tolerance of electrical components is reducing with widely use of the IT and digital equipments. The domestic management standards on power quality are enacted based on the IEC standards in recent. Since the IEC standards defines the measurement and evaluation point on PQ as PCC(Point of Common Coupling) which is normally the point of penetration between customer and power company, the PQ monitoring system(PQMS) should be made to measure and manage the PQ of custom effectively. In this paper, therefore, the economical construction plan on PQMS using the wireless communication channel in distribution automation system is suggested, and the usefulness of the PQMS are shown by analyzing the PQM data with IEC standards.

Key Words : Distrubution Automation System(DAS), DWB(DAS Wireless Bridge), PQMS

1. 서 론

최근 국내 전기품질 관리기준은 IEC 국제규격을 바탕으로 제·개정 작업이 추진되고 있다. 전기품질관리를 위해서는 현장 데이터 확보와 분석을 위한 전기품질 측정 시스템이 필요하며, IEC 국제규격에는 전력계통의 임의의 공통 접속점(PCC)에서 전기품질을

측정하여 평가하도록 규정하고 있다. 일반적으로 공통 접속점은 고객과 전력계통이 연결되는 고객 인입점이다[1]. 따라서 효과적인 전기품질 관리를 위해서는 주요 고객 인입점에서 전기품질을 측정할 수 있는 전기품질 모니터링 시스템의 구축이 필요하다. 본 논문에서는 배전자동화 무선중계기(DWB)를 이용하여 기존 배전자동화 시스템의 통신망을 공동으로 사용하는 경제적인 전기품질 모니터링 시스템을 제안하고 본 시스템이 배전계통의 전기품질 관리에 유용하게 사용할 수 있음을 전기품질 모니터링 결과 분석을 통해 확인하였다.

* 주저자 : 전력연구원 송배전연구소 선임연구원

** 교신저자 : 충남대학교 전기공학과 교수

Tel : 042-821-5656, Fax : 042-821-8895

E-mail : leehh@cnu.ac.kr

접수일자 : 2011년 8월 1일

1차심사 : 2011년 8월 9일

심사완료 : 2011년 8월 18일

2. 배전계통 전기품질 관리

2.1 전기품질 관리대상

전기품질에 영향을 미치는 현상은 크게 전압에 관련된 것과 파형왜곡에 관련된 것으로 구분할 수 있다. 이와 관련하여 전압에 관련된 것은 그 크기와 지속시간에 따라 순간전압강하(Dip, Sag), 순간전압상승(Swell), 정전 등으로 구분하고, 파형왜곡은 고조파, 플리커 등으로 구분된다. 이와 같은 전기품질 현상은 IEC 국제규격에서 표 1과 같이 정의하고 있다.

표 1. IEC 전기품질 대상
Table 1. Power Quality Categories

Categories	Duration	Magnitude
1. Interruption		
1.1 Short Interruption	0.5cycle~3min	< 0.01pu
1.2 Long Interruption	≥ 3min	
2. Voltage Dip(Sag)	0.5cycle~1min	0.01pu~0.9pu
3. Swell		≥ 1.1pu
4. Harmonics	2~40th	0~20[%]
5. Voltage fluctuations(Flicker)	< 25[Hz]	±5[%]

2.2 정전, 순간전압강하 및 상승 관리

정전, 순간전압강하 및 상승은 발생초기부터 시간영역으로 샘플링되어 기록되며, 실효치 전압은 아래의 식 1을 이용하여 샘플링 된 시간영역 전압 값으로부터 계산된다.

$$V_s = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N v_i^2} \quad (1)$$

여기서 N는 샘플링 주기를 의미한다.

또한 순간전압강하 및 상승의 지속시간은 주로 고장 제거시간에 의해 결정되며, 일반적으로 실효치 계산방법을 이용하여 실효치 전압이 주어진 경계값 이하로 강하된 시간을 사이클 단위로 계산한다[2].

순간전압강하 및 상승에 대한 관리지수는 미국

EPRI에서 DPQ(Distribution Power Quality) 프로젝트를 수행하고 제시한 SARFI_{x%} 지수가 많이 사용되고 있으며, 계산식은 아래와 같다[3].

$$SARFI_{x\%} = \frac{N_i}{N_T} \quad (2)$$

여기서 N_T는 전체 고객수, N_i는 순간전압강하 및 상승의 한계값을 초과한 고객수이며, 여기서 i는 140, 120, 110, 90, 80, 70, 50, 10으로 구분된다.

또한 유럽에서도 영국, 프랑스, 독일 등 9개국의 전기품질 모니터링 결과를 바탕으로 DISDIP Table을 관리지표로 제시하였다[4].

2.3 고조파 관리

IEC에서는 기기의 고조파 방출과 내성특성을 바탕으로 배전계통의 고조파 관리기준에 해당하는 계획레벨을 제시하고 있으며, IEC 61000-3-6규격에 제시된 배전계통의 고조파 관리기준은 아래 표 2와 같다.

표 2. 고조파 관리기준
Table 2. Harmonic Planning Level

차수	고조파 전압 (%)	차수	고조파 전압 (%)	차수	고조파 전압 (%)
5	5.0	3	4.0	2	1.6
7	4.0	9	1.2	4	1.0
11	3.0	15	0.3	6	0.5
13	2.5	21	0.2	8	0.4
17	1.6	>21	0.2	10	0.4
19	1.2			12	0.2
23	1.2			>12	0.2
25	1.2				
>25	0.2+1.3·(25/h)				
배전계통 THD : 6.5[%]					

2.4 플리커 관리

전압변동의 대표적인 현상인 플리커는 전압동요에

의한 전등의 깜박임에 의한 시각적 불편감을 정량적으로 나타내는 지수이다. IEC 61000-3-7규격에는 플리커 관리지수로 P_{st} 혹은 P_{lt} 값이 사용되며, 플리커 관리지수를 측정하는 플리커미터에 대한 기준은 IEC 61000-4-15에 기술되어 있다. IEC에서 제시하고 있는 플리커 지수를 표 3에 나타내었다.

표 3. 플리커 관리기준
Table 3. Flicker Planning Level

플리커 지수	P_{st}	P_{lt}
기준 값	0.9	0.7

3. 배전자동화 시스템

3.1 배전자동화 시스템 구성

국내 배전자동화 시스템은 컴퓨터와 통신기술을 활용하여 원거리에 산재되어 있는 배전용 개폐장치를 중앙제어센터에서 원격으로 조작하고 고장구간을 자동으로 구분하며, 전압 및 전류 등 선로운전 정보를 자동으로 수집하는 시스템을 말한다. 그러나 최근 배전자동화 시스템은 원격감시제어 외에 고장을 자동으로 처리하거나 손실최소화 및 부하균등화 등 배전계통을 최적상태로 운전하게 하는 기능을 탑재한 시스템으로 그 의미가 확대되고 있다.

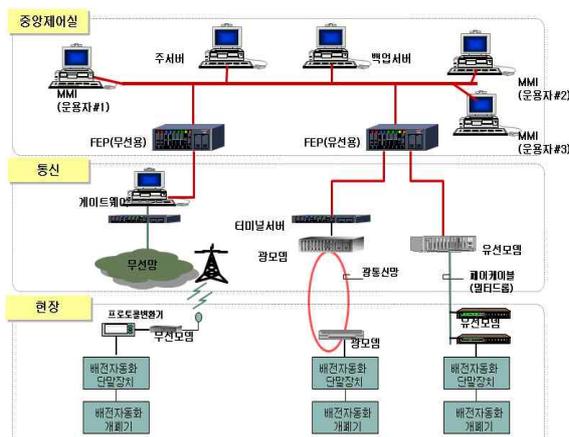


그림 1. 배전자동화 시스템 구성
Fig. 1. Configuration of DAS

배전자동화 시스템의 주요 구성품에는 시스템의 두뇌라고 할 수 있는 중앙제어장치, 배전선로 중간에 설치되는 자동화용 개폐장치, 중앙제어장치의 명령을 해석하고 운전정보를 전달하는 제어단말장치 및 데이터 전송 통로가 되는 통신망과 통신장치가 있다.

배전자동화 시스템의 주요 기능에는 배전계통 운전상태 표시기능, 원격감시기능, 원격제어기능, 원격계측기능, 원격셋팅기능, 배전계통 최적화 운전기능, 기술계산기능 등이 포함되어 있다[5-6].

3.2 배전자동화 통신망

현재 배전자동화 통신망은 주로 광통신망을 백본망으로 구성하고 있으며, 그 외 통신을 유선과 무선으로 구분하여 보면 유선으로는 KT 전화선, 무선으로는 TRS, CDMA, 무선데이터통신 등이 있다. 이런 개별 통신방식은 유선과 무선의 연계방식이 아니라, 각각의 방식별로 별도 통신망이 구축되고 있다.

표 4. 배전자동화 통신방식별 점유율(2010년)
Table 4. Communication Share of DAS(2010)

통신매체	광통신	TRS (자가망)	전화선	무선	Total
회선수	62,481	3,821	1,686	1,461	69,449
점유율	90[%]	6[%]	2[%]	2[%]	100[%]

표 5. 배전자동화 통신망 사용료
Table 5. Communication Fee on DAS

(단위 : 억원)

연도	유선방식		무선방식		소계
	광통신	전화선	CDMA	무선 Data	
2008년	295.5	22.1	0.8	4.6	323.0
2009년	363.7	15.8	0.9	3.1	383.5
2010년	417.0	10.8	0.8	2.3	430.9

표 4에서 보는바와 같이 배전자동화 통신방식별 점유율을 보면 광통신망이 2010년 기준 90[%]로 대부분을 점유하고 있으며, 연간 통신망 사용료도 표 5에 나

타난 것과 같이 2010년 기준 전체의 97[%]를 점유하고 있다.

4. DWB를 이용한 PQM 시스템

4.1 DWB 통신장치 구성

본 논문에서는 배전자동화 통신망을 공동으로 사용하기 위한 목적으로 IEEE 802.11a WLAN 기반의 DWB 통신장치를 사용하였다. DWB는 Digital Board, Wireless Module 2개, Terminal Board 등 4개 부분으로 구성된다. Digital Board는 Digital 처리를 위한 Processor Part를 포함하고 있으며, Wireless Module은 무선통신을 하기 위한 모듈 2개로 구성되어 있다. 또한 Terminal Board는 외부의 광모뎀(RT)와 현장의 배전자동화 단말장치(FRTU)를 연결하기 위한 단자로 구성되어 있다. DWB는 외형적으로 Antenna와 내함으로 구성되며, Antenna는 2개로 구성되어 Cable을 통하여 DWB 본체와 연결된다. 지금까지 기술한 DWB의 내부 구성도를 그림 2에 나타내었다.

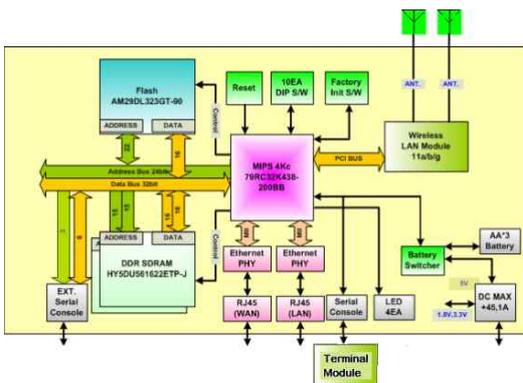


그림 2. DWB 내부 구조
Fig. 2. Inner Structure of DWB

4.2 DWB 통신장치 특징

DWB 통신장치는 추가 통신비가 없이 Local 무선통신망을 구축하기 위해 소출력 무허가 주파수대를 이용하고 있으며, 기설 광역통신망(광통신망)의 운용 효율성 향상을 통한 모뎀(광모뎀) 증설 없이도 무선 셀

망으로 시스템 확장이 가능하다. 배전자동화 시스템과 연계 운전이 용이하도록 현 배전자동화 단말장치(FRTU) 및 주장치 운전정보의 변경없이 배전자동화 주장치와 유무선 최적연계를 구성할 수 있다. 장치의 장점은 산업용 시스템 감시제어용 통신장치로 신뢰성을 확보하기 위해 Fail Safe 기능, 주파수 간섭 복구 기능, 통신경로 복구기능이 구비되어 있다는 것이다. 이러한 기능은 데이터통신의 신뢰성을 극대화하기 위한 DWB 고유기능으로 각각의 기능은 다음과 같다[7].

가. Fail Safe 기능

이 기능은 아래 그림 3에 나타낸 것과 같이 유무선 연계지점에 장애발생 시 기존 장비의 통신장애 발생을 예방하기 위해 이상상태를 감지하면 통신경로를 바이패스하여 통신장애 문제를 극복하는 기능이다.

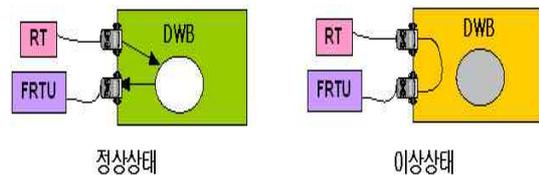


그림 3. Fail Safe 기능
Fig. 3. Fail Safe Function

나. 주파수 간섭 복구 기능

외부에 동일주파수로 인한 간섭이 발생할 경우, 사용 가능한 채널 내에서 다른 채널로 복구하는 기능으로 충돌을 인식하면 Recan으로 접속 가능한 채널을 찾고, 인증을 받아 데이터통신을 복구시킨다. 이를 위해 DWB는 10[MHz] 대역으로 10개의 채널을 확보하여 채널간섭 복구에 이용한다. 주파수 간섭 복구기능을 아래 그림 4에 나타내었다.

다. 통신경로 복구 기능

DWB는 기기간에 무선 데이터도 중계를 하는데, 중계 장치에 이상이 발생하면 연결해야 할 기기가 정상이라 해도 중계 장치의 이상으로 연속적인 데이터 통신이 불가능하다. 이러한 장애를 복구하기 위한 기능으로 인접장비로의 접속이 가능한 경우, 접속 후 정상

DWB를 이용한 배전자동화 기반의 전기품질 모니터링 시스템 구축

운전이 가능하게 하는 기능으로 아래 그림 5에 나타내었다.

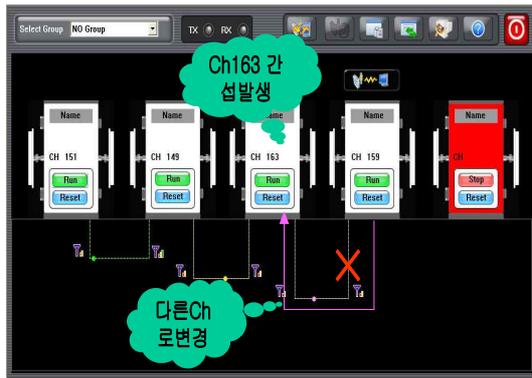


그림 4. 주파수 간섭 복구 기능
Fig. 4. Frequency Interference Recovery Function

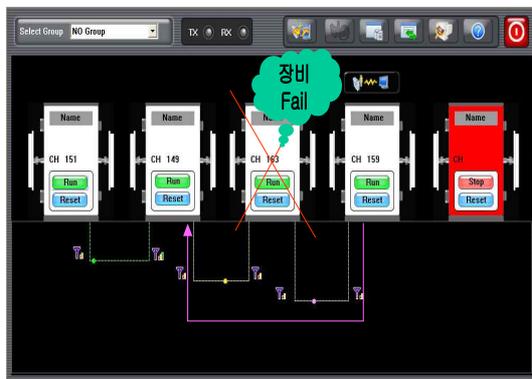


그림 5. 통신경로 복구 기능
Fig. 5. Communication Restoration Function

본 논문에서 적용한 DWB 통신장치의 사양을 정리하면 다음 표 6과 같다.

4.3 PQM 시스템 구성

본 연구에서 경제성과 신뢰도가 높은 PQM 시스템의 구축을 위해 DWB를 사용하여 배전자동화 시스템의 광통신망을 공용하였다. DWB는 Fail Safe 기능, 주파수 간섭 복구 기능, 통신경로 복구기능을 통해 통신 신뢰도를 높일 수 있으며, 통신망 사용료 역시 표 7에 나타낸 것과 같이 배전자동화 통신망의 대부분을 차지하는 광통신망을 사용하는 경우와 비교하면 2년이 경과하기 전 경제성을 확보할 수 있는 것으로 조사되었다.

표 6. DWB 주요사양
Table 6. Specification of DWB

항 목		사 양
기구적 사양	사이즈	242×361×130[mm]
	Serial Port	RT, FRTU 외 4개
	Ethernet Port	2개
통신 사양	안테나	분리형 양방향
	사용주파수	5.725~5.825[GHz]
	Date rate	6[Mbps]/10[MHz]
	Media Protocol	CSMA/CA
	통신반경	Max 5[km]
환경적 사양	안테나 이득	지향성(Max 19dBi)
	온도	-25~70[°C]
전기적 사양	습도	0~90[%]
	입력전압	DC 24[V]
	소비전력	17[WMax]

표 7. DWB 경제성 비교
Table 7. Economic Comparison of DWB and Optic Communication

(단위 : 대, 천원)

구 분	초 기 설치비	통신모뎀				총 설치비	회선요금 (대당,월)	통신망 운영비 (설치비 + 회선사용료)		
		수 량 (대)		금 액 (천원)				1년	2년	3년
		광모뎀	DWB	광모뎀	DWB					
광통신	2,800	120	-	24,000	-	26,800	58	110,320	220,640	330,960
DWB	1,400	60	120	12,000	119,760	133,160	58	174,920	216,680	258,440

※ DWB 1조에 고객 1호 연결, 총 60조 사용 조건

IEC 61000-4-30 규격에는 적용대상에 따라 모니터링 장치의 성능을 A급 및 B급으로 정의하고 있다. A등급 장치는 관리기준의 준수여부, 분쟁해결과 같이 정밀한 측정이 요구되는 경우에 사용하며, B등급 장치는 통계조사, 문제해결과 같이 정밀도가 낮아도 가능한 분야에 사용된다. 본 연구에서는 국제기준과의 부합여부를 확인하기 위해 IEC 규격의 A등급에 해당하는 PQM장비를 사용하였다.

PQM시스템 측정대상은 표 1에 나타낸 것과 같이 국제규격에서 분류하고 있는 대표적인 전기품질요소인 순간정전, 순간전압강하 및 상승, 고조파, 플리커 등을 대상으로 선정하였다[8-9].

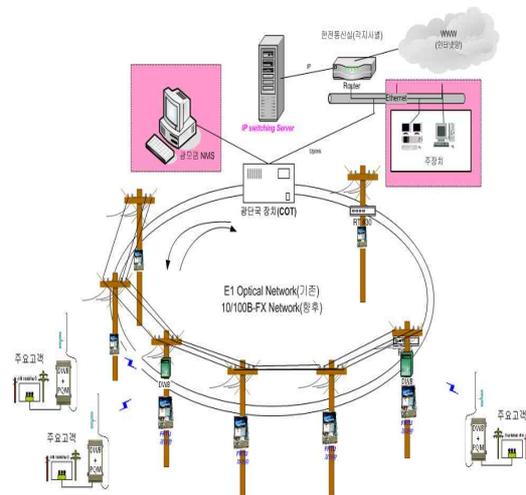


그림 6. DWB를 이용한 배전자동화 기반 PQMS 구성도
Fig. 6. PQMS Configuration using DWB in DAS

DWB를 적용한 배전자동화 기반의 전기품질 모니터링 시스템은 배전자동화 시스템의 광통신망을 공동으로 사용한다. 따라서 그림 6에서 보는바와 같이 DWB에서 전송되는 주요 고객의 전기품질 모니터링 정보는 배전자동화 단말장치(FRTU)를 통해 광통신망으로 전송되어 배전자동화 주장치에서 전송받을 수 있도록 구성된다.

배전자동화 시스템 주장치에 전기품질 모니터링 프로그램을 설치함으로써 PQM 시스템 구성을 완료하였다. 그림 7은 배전자동화 주장치에 탑재된 전기품질 모니터링 프로그램을 보여주고 있다.

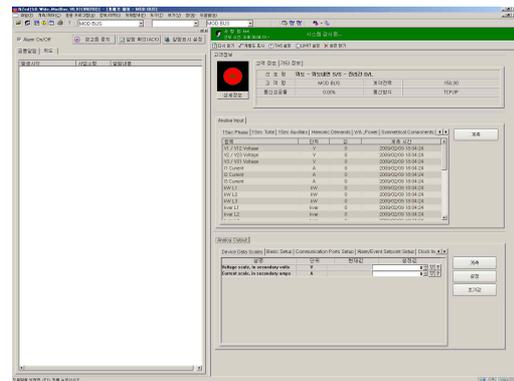


그림 7. PQM 프로그램 구성도
Fig. 7. PQMS Program in DAS

4.4 PQ 데이터 측정 및 분석[10]

본 논문에서 제안한 PQM 시스템을 현장에 구축하고 5월 17일부터 12주간 주요 고객 4호의 전기품질을 모니터링하고 그 결과를 분석하였다. 구축한 전기품질 모니터링 시스템에서 측정된 전기품질 측정대상별 실측파형을 아래 그림 8에 나타내었다.

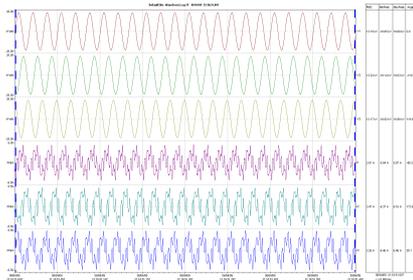
본 전기품질 모니터링 시스템에서 측정된 고객별 고조파 전압왜형률은 3상을 모두 1주일간 측정하고 최대 누적 확률값을 기준 데이터로 하여 측정기간 중 최대값을 조사하였으며, 고객별 고조파 전압 측정결과를 아래 표 8에 나타내었다. 측정결과 배전계통의 고조파 전압은 IEC의 고조파 전압왜형률(THD) 기준치인 6.5[%]를 초과하지 않는 것으로 분석되었다.

표 8. 고조파 모니터링 결과

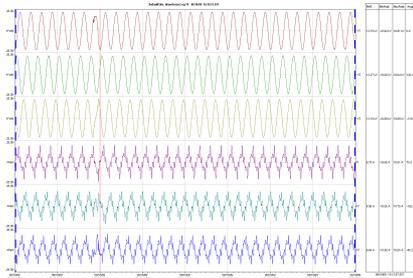
Table 8. Monitoring Result of Harmonic Voltage

대 상	고객 1	고객 2	고객 3	고객 4
고조파 (THD)	3.1[%]	3.1[%]	2.6[%]	2.7[%]

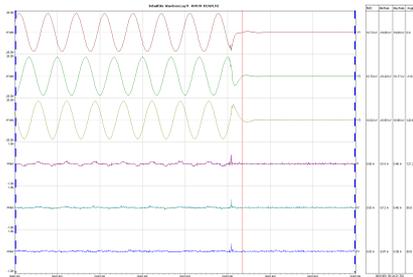
주요 고객의 장기 플리커 지수(P_{lt}) 측정은 3상을 각각 1주일간 측정하고 상별 최대값을 기준으로 하여 측정기간 중 최대 누적 확률값을 조사하였다. 모니터링 데이터를 분석한 결과, 아래 표 9에 나타낸 것과 같이 모든 고객이 IEC 규격의 플리커 기준치인 0.7을 초과하는 것으로 분석되었다. 그러나 현장 조사결과 대부



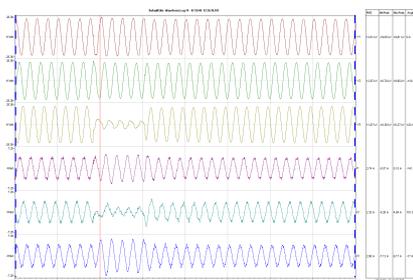
(a) 고조파 측정 파형



(b) 플리커 측정 파형



(c) 순간정전 측정 파형



(d) 순간전압강하(상승) 측정 파형

그림 8. 전기품질 실측 파형
Fig 8. Measured PQ Waveform

분 형광등 사용 고객으로 전압 플리커에 의한 문제는 발생하지 않았다.

표 9. 장기 플리커 모니터링 결과

Table 9. Monitoring Result of Flicker(P_{It})

대 상	고객 1	고객 2	고객 3	고객 4
플리커 지수 (P_{It})	1.92	1.89	1.85	1.33

전기품질 모니터링 기간 동안 순간정전은 아래의 표 10에 나타난 것과 같이 고객 3에 1회 발생한 것으로 분석되었다.

표 10. 순간정전 모니터링 결과

Table 10. Monitoring Result of Short Interruption

대 상	고객 1	고객 2	고객 3	고객 4
순간정전	0	0	1	0

모니터링 기간 동안 주요 고객에게 발생한 순간전압강하 및 상승을 조사한 결과 아래 표 11과 같이 고객 별로 최소 3회에서 최대 23회까지 순간전압강하가 발생하였으며, 순간전압상승은 평균 1회 정도 발생한 것으로 분석되었다.

표 11. 순간전압강하 및 상승 모니터링 결과

Table 11. Monitoring Result of Sag and Swell

대 상	고객 1	고객 2	고객 3	고객 4
Sag/Swell	3/1	4/1	3/0	23/1

5. 결 론

IEC 국제규격의 전기품질 관련 기준에 따라 배전계통 전기품질에 영향을 주는 고조파, 플리커, 순간정전, 순간전압강하 및 상승 등에 대한 측정 및 관리방안을 마련하고, 고객 중심의 전기품질 관리를 위한 기본 전기품질 데이터 확보를 위해 전기품질 모니터링 시스템 구축이 필요하다.

특히 전력전자 기술 발달에 따른 비선형 부하의 급증과 전력외란에 민감한 전기기기의 보급확대에 따라 전력품질문제를 줄이고 고품질 전력공급 기반 마련을 위해 본 논문에서는 국제규격에서 분류하고 있는 대표적인 전기품질요소들을 측정대상으로 선정하여 경

제적인 전기품질 모니터링 시스템 구성을 위해 무선 통신 중계장치인 DWB를 이용하여 배전자동화 시스템의 통신망을 공용하는 전기품질 모니터링 시스템을 제안하고 경제성을 분석하였다. 또한 실제 배전계에 전기품질 모니터링 시스템을 구축하고 전기품질 관리 대상을 기준으로 모니터링 결과 분석함으로써 제안한 PQM시스템이 배전계의 전기품질 관리에 유용하게 적용될 수 있음을 확인하였다.

References

- [1] Y. U. Park, K. H. Lee, "A Study on the Economical PQMS of the Utility Distribution Power System", Trans. KIEE, Vol. 59, No. 9, SEP, 2010.
- [2] IEEE Press, "Understanding Power Quality Problems", 2000.
- [3] I. Y. Chung, D. J. Won et al., "Development of Power Quality Management System with Power Quality Diagnosis Functions", Journal of Electrical Engineers & Technology, Vol. 1, No. 1, pp.28~34, 2006.
- [4] 이근준, 이상한 외, "전압품질이 저압 전기기기 운전한계에 미치는 특성연구", 충북과학대학, 최종보고서, 2008, 1.
- [5] B. N. Ha, S. W. Lee, et al., "Development of intelligent distribution automation system", IEEE T&D Asia, 2009.
- [6] B. N. Ha, S. W. Lee, C. H. Shin, et al., "SCADA 기능과 전기품질 온라인 감시 및 배전설비 열화감시 기능을 갖는 배전자동화 시스템 개발", Trans. KIEE, Vol. 59, No. 10, OCT, 2010.
- [7] J. K. Hwang, T. I. Choi, "Implementation of Fiber Optic and Wireless Complex Communication Network for Distribution Automation using IEEE 802.11a WLAN technology", Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, Vol. 24, No. 10, pp. 49~57, 2010. 10.
- [8] 남기영, 최상봉 외, "새로운 전기품질 감시장치 개발 및 전기품질 관리방안", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 447~449, 2005, 7.
- [9] 원동준, 문승일 외, "전력품질 모니터링 및 알고리즘에 관한 연구", 대한전기학회 추계학술대회 논문집, pp. 269~271, 2001, 11.
- [10] S. Vehvilainen, R. Seesvuori, et al., "Power Quality Monitoring As Integrated with Distribution Automation", CRED2001, Conference Pub. No. 482.

◆ 저자소개 ◆



강문호 (姜汶昊)

1969년 6월 21일생. 1994년 울산대학교 전기공학과 졸업. 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 한국전력공사 전력연구원 송배전연구소 선임연구원.
Tel : (042)865-5952
E-mail : mhkang@kepco.co.kr



이흥호 (李興浩)

1950년 10월 28일생. 1973년 서울대 공업교육과(전기전공) 졸업. 1977년 동 대학원 공업교육과 졸업(석사). 1994년 동 대학원 컴퓨터공학과 졸업(박사). 현재 충남대학교 전기공학과 교수.