

Power Quality Monitoring Algorithm Using the Protective Relay

崔仁善[†] · 李康奭^{*} · 崔勉松^{**} · 林星日^{***} · 李承宰^{**}

(In. S. Choi · Kang. S. Lee · Myeon. S. Choi · Seong. I. Lim, Seung. J. Lee)

Abstract - Power quality monitoring system is devoted to more concern than before, because the innovation of industrial technology needs more accurate instruments and more advanced power quality. This paper was studied on using data of the protective relay by Power Quality Monitor. This paper was proposed the wave storage condition and monitoring clauses of the protective relay as a power quality monitoring device. The protective relay will have problem to save data for PQM analysis because the protective relay memory is limited. Therefore this paper was proposed new a data compression of data got from the protective relay. This method is wave compression comparison algorithm using the DFT. The compression rate is higher than any other established method. This method can be real time storage. This algorithm is verified using the comparison among other compression rate and proved by Real Time Digital Simulator (RTDS).

Key Words : Power Quality, Data Compression, Protect Device

1. 서 론

일반적으로 전기품질은 주파수 유지율이나 규정전압유지율, 정전 시간 등 3대 요소에 의해 가장 영향을 많이 받는다. 그러나 정보·통신·제어기술의 발달과 기술 혁신에 따라 정보통신기기, 정밀제어기기, 사무자동화기기, 전산기기, 자동생산라인 등에 극히 짧은 파형변화나 전압변화에 민감한 고성능, 고정밀 기기가 이용되면서 기존의 전기품질에서 크게 문제 되지 않았던 순간 전압변동, 고조파 등과 같은 새로운 개념의 문제들이 전기 품질에 영향을 미침으로써 이에 대한 관심이 높아지고 있다[1].

IEEE Std 1159에서는 전기품질의 정의를 “특정 시간에 전력계통 임의의 장소에서 전압과 전류의 모양을 결정짓는 전자기적 현상”이라 매우 광범위하게 정의했다[2]. 전력시장의 민영화로 인한 변화는 전기 품질에 대한 중요성을 더욱 부각하게 되었다. 만약 사고 발생할 경우 소비자 측의 손해 발생 이유 분석이나 전력계통 장비의 어떤 전기적 장애를 분석하기 위하여 전기품질은 중요하게 되었다. 이제 전기품질은 전통적인 전기품질과 달리 아주 미세한 부분까지 감시·분석을 해야 한다. 그러므로 전기품질은 수많은 전기적 장애에 대한 기록 데이터를 이용하여 장애요인을 분석하고, 이러한 분석 결과를

통하여 더 좋은 품질의 전기를 공급하는데 그 목적이 있다. 이런 전기품질을 저해시키는 전기적 현상에 대한 구분은 IEEE Std 519와 1159에 잘 정의되어 있다[2][3]. IEEE Std519 (1992)에서는 전력계통 Harmonics Disturbance에 대한 내용이 자세히 나와 있으며, IEEE Std 1159(1995)에서는 전압의 변동, 매우 짧은 시간동안에 발생하는 Transients, 순간전압강하(Sags), 순간전압상승(Swells), 전압상승(Overvoltage), 전압강하(Undervoltage), 순간정전(Interruption), 고조파(Harmonics), 전압 불평형(Voltage Imbalance), 주파수변동(Frequency Variation) 등의 정의 및 전기적 현상이 전력계통에 미치는 영향 등에 대한 내용이 포함되어 있다[2][3]. 표 1은 대한 IEEE std 1159에서 정의한 전기적 현상에 대한 범주를 보여준다.

보호계전기는 전력시스템에서 중요한 구성 요소이며, 계통의 보호를 위하여 광범위하게 설치되어 있다. 그리고 통신이 가능하기 때문에 기존의 설비로도 충분히 전기품질 감시가 가능하다. 또한 보호계전기의 핵심인 마이크로프로세서와 정보통신 기술의 발전은 보호계전기의 기능을 향상시켜 부하의 변화 및 계통 고장 시 전압 및 전류 파형을 측정하여 저장하는 등의 기능을 추가할 수 있게 되었다[4].

이러한 보호계전기를 전기품질 감시 장치로 이용할 경우 보호계전기의 기억장치 용량이 작기 때문에 압축 기법이 필요하다. 여기서 압축의 정의는 불필요한 정보를 삭제하고 반복되는 정보를 간략히 기술하여 같은 양의 정보를 더 작은 크기의 데이터로 표현하는 기술을 말한다. 보통 압축 기술을 사용하는 이유는 디스크 공간 및 메모리 공간의 부족, CPU 속도의 한계, 컴퓨터 내부 및 통신망에서의 전송속도 문제에 의해 사용된다[5]. 현재 가장 널리 쓰이는 압축 방법으로는 DCT (Discrete Cosine Transform) 방식이 있으며, DCT의 단점을

† 교신저자, 正會員 : 明知大學 電氣工學科 碩士課程
E-mail : cis226@mju.ac.kr

* 正會員 : 明知大學 電氣工學科 碩士課程

** 正會員 : 明知大學 電氣工學科 教授 · 工博

*** 正會員 : 明知大學 電氣工學科 研究教授 · 工博

接受日字 : 2004年 5月 28日

最終完了 : 2004年 10月 5日

표 1. 전기품질현상 요소 (IEEE std 1159)

Table 1. The factor of power quality phenomena

Categories	Typical spectral content	Typical duration	Typical voltage magnitude
1.0 Transients			
1.1 Impulsive			
1.1.1 Nanosecond	5ns rise	< 50ns	
1.1.2 Microsecond	1 μs rise	50ns-1ms	
1.1.3 Millisecond	0.1ms rise	> 1ms	
1.2 Oscillatory			
1.2.1 Low frequency	< 5kHz	0.3-50ms	0-4pu
1.2.2 Medium frequency	5-500kHz	20 μs	0-8pu
1.2.3 High frequency	0.5-5MHz	5 μs	0-4pu
2.0 Short duration variations			
2.1 Instantaneous			
2.1.1 Sag		0.5-30cycles	0.1-0.9pu
2.1.2 Swell		0.5-30cycles	1.1-1.8pu
2.2 Momentary			
2.2.1 Interruption		0.5cycles-3s	< 0.1pu
2.2.2 Sag		30cycles-3s	0.1-0.9pu
2.2.3 Swell		30cycles-3s	1.1-1.4pu
2.3 Temporary			
2.3.1 Interruption		3s-1min	< 0.1pu
2.3.2 Sag		3s-1min	0.1-0.9pu
2.3.3 Swell		3s-1min	1.1-1.2pu
3.0 Long duration variations			
3.1 Interruption, sustained		> 1min	0.0pu
3.2 Undervoltages		> 1min	0.8-0.9pu
3.3 Overvoltages		> 1min	1.1-1.2pu
4.0 Voltage imbalance		steady state	0.5-2%
5.0 Waveform distortion			
5.1 DC offset		steady state	0-0.1%
5.2 Harmonics	0-100th	steady state	0-20%
5.3 Interharmonics	0-6kHz	steady state	0-2%
5.4 Notching		steady state	
5.5 Noise	broad-band	steady state	0-1%
6.0 Voltage fluctuations	< 25Hz	intermittent	0.1-7%
7.0 Power frequency variations		< 10s	

보안한 다른 압축 방식들이 연구 되고 있다[6]. 또한 DWT (Discrete Wavelet Transform)을 이용한 압축기법 연구가 활발히 진행되고 있다[7][8][9]. 그러나 고장진단을 위한 보호계전기의 특성상 CPU의 점유율이 큰 압축기법은 현실화되기 힘든 것이 사실이다.

본 논문에서는 보호계전기를 전기품질 감시 장치로서 사용 시 감시할 수 있는 항목과 그 항목에 따른 트리거 조건을 연구하였다. 이 트리거 조건을 검증하기 위하여 RTDS(Real Time Digital Simulator)를 이용하여 전기품질의 현상을 모의하여 이에 따른 트리거 조건을 실증하였다. 또한 전력계통의 전압파형의 특징을 분석하였고, 이를 이용하여 보호계전기의 데이터 저장 압축기법을 압축기법의 분류 중 하나인 손실대상 기반으로 사용할 수 있음을 논하였다. 새로운 압축 기법인 파형 비교 압축 알고리즘은 보호계전기에서 데이터 분석에 사용되는 DFT(Discrete fourier Transform)를 이용하여, 취득된 파형에 포함된 고조파의 크기 및 위상 변화의 차이를 비교한 손실대상기반 방법이다. 이 알고리즘은 압축률과 복구율을 이용하여 다른 압축 알고리즘과 비교 검증하였다.

2. 본 론

2.1 전기 품질 감시에서의 보호계전기 활용

전기품질 전용 장비는 전자기적 왜란을 정확히 측정할 수 있지만 그에 따른 장비 가격의 상승 및 현장 설치 시 접지나 절연 등의 엄격한 조건이 요구된다. 계통 전반에 설치되어 있는 보호계전기는 고장 검출을 위하여 전압, 전류의 측정과 분석을 주기적으로 하고 있으며, 데이터 전송이 가능한 통신 기능을 갖추고 있다. 그리고 고장 발생시에도 보조전원 공급 장치와 연결되어 사용이 가능하다. 그러므로 현재 마이크로프로세서의 발달을 통한 보호계전기의 기능 추가와 통신 네트워크의 지속적인 발전은 보호계전기를 전기품질감시 장치로서 활용이 가능하게 해준다.

현재 설치된 보호계전기를 이용하여 전기품질 데이터를 분석한다면 보호계전기는 물론 기존의 네트워크 및 통신망의 효율성을 높일 수 있으며 별도의 시스템 설치와 유지비를 감소시킬 수 있어 엄청난 경제적 효율을 기대할 수 있다[10].

그러나 보호계전기를 이용한 전기품질감시는 완벽한 수단은 아니므로 보호계전기를 전기품질 감시 장치로 사용하였을 경우 다음과 같은 2가지의 제약조건을 가진다. 첫째, 현재 대부분의 디지털 보호계전기의 각 주기 당 샘플링은 IEEE std 1159에서 정의한 전기적 현상 중 극히 짧은 시간 동안 발생하는 Transient Impulsive와 Oscillatory 및 Notching, Noise 등의 현상은 판단이 불가능하다. 이는 보호계전기로 전기품질을 감시하는데 있어서의 감시 항목 선정에 많은 영향을 미친다. 두 번째로 보호계전기에 내장되어 있는 메모리는 매우 작으므로 장시간의 데이터 저장이나 통신 과부하로 인하여 장시간 통신이 불가하여 고장이나 전기품질을 저해시키는 현상 발생시 선택적 데이터 저장 및 '축약 저장기법'이 필요하다[4]. 보호계전기의 샘플링 간격과 저장 공간을 고려하면 IEEE std 1159에서 정의한 전기적 현상 중에서 판단 가능한 항목을 선정할 수 있다. 표 2는 보호계전기에서 취득한 데이터를 전기품질분석에 이용할 경우 IEEE Std 1159에서 정의한 전기적 현상 중 보호 계전기의 기능과 제약 조건을 고려하여 분석 가능한 항목을 선정하고 이에 따른 데이터 저장 트리거 조건을 나타낸 것이다. 보호계전기는 높은 주파수 성분에 대한 데이터는 취득할 수 없지만, 별도의 추가 장치 없이 현재 취득되는 데이터만으로도 이전의 전기품질의 기준이었던 전압변동, 주파수 변동 등의 기본 전기품질 요소뿐만 아니라 새로이 부각되고 있는 순간전압강하(Sag), 순간전압상승(Swell), 순간정전(Interruption), 고조파(Harmonics)등의 판단이 가능하다.

표 2. 전기 품질 감시 항목 및 트리거 조건

Table 2. The Power quality monitoring clauses and triggering conditions

Categories		Triggering Conditions
Short duration variations	Interruption	Vrms > 1.1[pu] or Vrms < 0.9[pu]
	Sag	
	Swell	
Long duration variations	interruption, sustained	V ₀ /V ₁ , V ₂ /V ₁ >0.5%
	Undervoltages	
	Overvoltages	
Voltage imbalance		TIID>3%
Waveform distortion	Harmonics	>±0.1%
Power frequency variations		

보호계전기는 기본적으로 고장을 검출하여 고장 발생시 트립 신호와 함께 고장 파형을 저장한다. 기본적인 보호계전기의 내부 로직을 크게 변화시키지 않고 보호계전기의 제한적인 메모리 용량을 감안하여 지속적으로 계속되는 전압, 전류에 대해서 전기 품질 저해 요소 발생시 지속시간, 발생횟수, 계측값 등을 운용자가 알 수 있도록 저장해야 하는데 이러한 정기적인 데이터를 저장하기 위해서는 데이터의 최적화 및 데이터 축약 저장기법이 필요하다. 그러나 데이터 최적화 및 데이터 축약 저장기법은 보호계전기의 기본적인 기능인 고장진단보다 CPU의 점유율이 커서는 안 된다. 그림 1은 기존의 고장 발생시 데이터 저장 기준에 전기품질 데이터 저장 항목을 추가하여 표 2와 같은 트리거 조건을 만족할 경우 데이터를 저장하는 내부 로직도를 도시한 것이다.

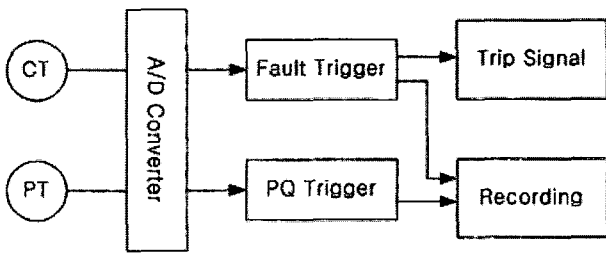


그림 1 보호계전기 트리거 로직도
Fig. 1. The trigger logic diagram of protective relay

보호계전기의 전기품질 감시 장치로서 더욱 발전하기 위해서는 다음과 같은 것을 해결해야 한다. 먼저, 양자화 오차(quantization error)를 극복하기 위한 최적의 해상도가 필요하다. 그리고 현재 트리거 조건에 들어가지 못한 전기 품질 감시항목을 추가하여 감시하기 위하여 높은 샘플링이 필요하다. 또한 파형의 저장을 위하여 현재의 메모리 크기는 너무 작기 때문에 메모리의 크기는 더욱 커져야 할 것이다. 그리고 마지막으로 저장된 데이터 전송을 위한 상위 레벨과의 안정적인 통신 채널 확보가 중요하다. 이러한 메모리와 통신의 문제는 같이 발전해야 하는데 통신이 안정화 된다고 해도 통신비용의 문제로 인해 메모리의 크기는 더욱 커져야 하기 때문이다.

2.2 압축 기법

압축기법은 크게 무 손실 압축기법과 손실 압축기법으로 나눌 수 있다. 첫째, 무 손실 압축기법이란 비트 보존 압축기법이라고도 하며 압축한 데이터를 복원했을 때 복원한 데이터가 압축전의 데이터와 완전히 일치하는 기법이다. 압축할 때 압축할 데이터에 어떠한 변경이나 수정도 가하지 않는 특징이 있다. 대표적인 무 손실 압축기법으로는 RLE(Run Length Encoding), 허프만 코딩 등이 있다. 그러나 이러한 무 손실 압축기법은 파형의 특징을 전혀 이용하지 않기 때문에 압축률이 높고, 전체 파형의 데이터를 대상으로 압축하기 때문에 실시간 압축이 불가능하다는 단점이 있다. 두 번째로, 손실 기법이란 복원한 데이터가 압축전의 데이터와 일치하지 않는 기법으로 대표적인 파형에서의 손실 기법으로는 DWT(Discrete Wavelet Transform) 방법, DCT(Discrete Cosine Transform)

방법이 있으며, 이러한 변환 방법은 전력계통에서의 특별한 파형을 분석하여, 파형의 특징을 이용하여 압축하는 방식이기 때문에 분석되지 않은 파형은 압축할 수 없다는 단점이 있다.

이에 본 연구에서는 전력계통의 전압 파형을 분석하였으며, 파형의 특징을 이용하여 모든 상태에서 압축이 가능하고 또한 보호계전기에서 사용할 수 있는 새로운 압축기법인 파형 비교 압축 알고리즘(Wave Compare Compress Algorithm: WCC)을 개발하였다.

2.2.1 전력계통 전압 파형 분석

본 연구에서는 한국 전력 공사 전력연구원에서 측정한 주거 지역, 상업 지역, 공업 지역등과 세부적으로는 오락실, 실험실, 가정집등과 같은 실측 전압 파형을 분석하였다. 파형의 분석 결과 노이즈와 같은 순간적으로 일어나는 파형을 제외한 대부분의 이상 파형은 최소 몇 초에서 몇 분 이상 지속되었다. 그러므로 전력계통의 파형은 주기 파형이며, 빠르게 변화하지 않는 것을 알 수 있다. 파형의 차이를 알아보기 위하여, 파형을 Fourier Series로 분석하면 기본파 성분과 정수배 고조파 성분의 합으로 나타낼 수 있다. 전력계통의 파형은 기본적으로 기본파가 같으므로 파형의 변화는 고조파의 함유율과 위상차에 의해 나타난다.

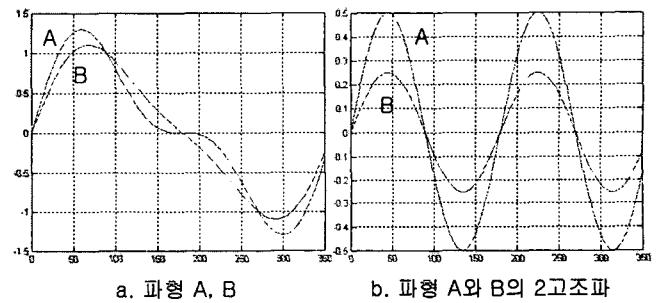


그림 2 고조파의 크기가 다른 경우
Fig. 2 The different case of harmonic amplitude

그림 2의 A와 B 두 파형은 겹보기 모양으로 보아도 서로 다른 파형임을 알 수 있다. 위 두 파형을 DFT로 분석하면 기본파와 위상은 같으나 2 고조파 성분의 크기가 다르게 나타난다. 이러한 고조파 성분의 크기 변화에 의하여 파형은 크게 변화할 수 있다.

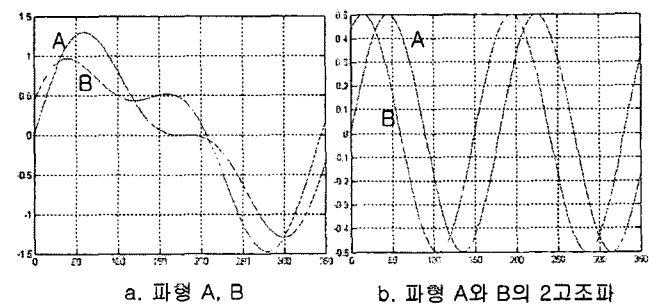


그림 3 고조파의 위상 다른 경우
Fig. 3 The different case of harmonic phase

그림 3의 두 파형 역시 마찬가지로 DFT를 통해 분석하면 기본파와 고조파 성분의 크기는 같으나 2 고조파의 위상의 차이로 인해 서로 다른 파형으로 분류할 수 있다.

2.2.2 파형 비교 압축 알고리즘 (Wave Compare Compress Algorithm : WCC)

2.2.1절에서 확인한 바와 같이 기본파와 고조파의 크기 및 위상을 비교함으로써 파형의 동일성을 판단할 수 있다. 파형의 동일성 판단에서 주의해야할 다음과 같은 특징이 있다. 첫째, 기본파의 크기가 변하였을 경우는 고조파의 크기도 변할 것이다. 그러나 이러한 파형은 기본적으로 데이터 압축의 관점에서는 같은 파형이라고 할 수 있다. 두 번째, 위상에서도 마찬가지로 기본파의 위상이 틀어져 있으면 고조파의 위상도 틀어진다. 이러한 특징을 통해서 크기 비교는 기본파와의 비율로, 그리고 위상은 기본파와의 위상차로 파형의 동일성 판단지수를 다음과 같이 만들었다. 판단지수(H)는 기본파에 대한 크기와 위상차이의 비에 보정계수(가중치: $\frac{V_{2n}}{V_{21}}$)을 곱하여 기본파에 대한 다른 파형의 동일성을 판단한다. 고조파의 차수가 높아질수록 전체 파형에 미치는 영향이 작아진다. 이러한 점은 위상에서 더 뚜렷하게 나타나는데 예를 들어 15차수가 90. 이상 차이난다고 해도 전체 파형에는 미세한 영향을 주게 된다. 그러므로 보정계수를 곱해줘서 파형의 잘못된 판단을 줄여준다. 그러므로 연속되는 파형의 중복성을 피하고 효율적인 데이터의 압축을 위한 파형의 동일성 판단지수(H)는 다음과 같다.

$$H = \sqrt{\sum_{n=2}^{16} \left(\frac{V_{1n}}{V_{11}} - \frac{V_{2n}}{V_{21}} \right)^2 + \sqrt{\sum_{n=2}^{16} \left((\theta_{11} - \theta_{1n}) - (\theta_{21} - \theta_{2n}) \right) \times \frac{V_{2n}}{V_{21}} }^2}$$

V_1 : 판단주기 파형 크기 V_2 : 비교할 파형 크기
 θ_1 : 판단주기 파형 위상 θ_2 : 비교할 파형 위상
 n : 고조파 차수

이러한 동일성 판단은 한 주기에 한번씩 진행하며 한 주기의 데이터를 저장하고 있으며, 이 주기를 판단주기로 사용한다. 그리고 PQ 트리거 조건이 아닌 경우에는 최근 10주기의 실효값을 저장한다. 이러한 최근의 10주기의 실효값은 이후 PQ 트리거 조건이 되어 데이터를 압축하여 저장할 때 같이 저장되어 전기품질 이상 전의 데이터로 쓰인다. PQ 트리거 조건이 되어 데이터를 압축하여 저장을 해야 하는 경우 트리거 조건이 된 한 주기의 데이터를 저장하고 그 주기를 판단주기로 사용한다. 그 후 계속 판단지수(H)를 계산하여 판단지수 한계치(e)보다 작으면 같은 파형으로 판단하여 실효치를 저장하고, 판단지수 한계치(e) 보다 크면 다른 파형으로 인지하여 한 주기의 데이터를 저장하고 그 주기를 판단주기로 사용한다. 이러한 압축은 PQ 트리거 조건에서 벗어 날 때까지 지속된다.

이 압축기법은 압축하고자 하는 대상의 정보의 특성을 이

용하여 압축하는 대상기반 압축기법이다. 대상을 기반으로 하므로 파형이 판단지수 한계치(e)보다 작아서 변하지 않는다면 압축률이 상당히 높아 질 수 있으나 파형의 손실률이 높아질 것이다. 그러므로 판단지수 한계치(e)를 설정하는 것이 아주 중요한 문제이다. 본 연구에서는 이러한 판단지수 한계치(e)를 얻기 위하여 한국 전력 공사 전력연구원에서 측정된 주거지역, 상업지역, 공업지역등과 세부적으로는 오락실, 실험실, 가정집등과 같은 실측 전압 파형을 이용하였다. 이렇게 많은 실측파형을 통하여 판단지수의 변화 추이를 검증해 본 결과, 판단지수 한계치(c)를 0.2로 구해 낼 수 있다. 이와 같은 파형 비교 압축 알고리즘은 무 손실 압축에 비하여 복원률이 낮은 단점이 있으나, 실시간 압축이 가능하고 압축률이 높으며, 파형의 주기적 특징을 이용하였기 때문에 손실 압축에 비하여 압축의 대상이 넓고, 압축률이 높다.

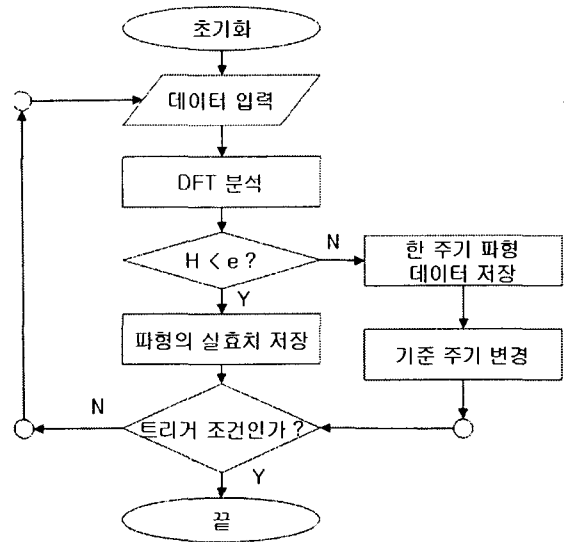


그림 4 압축 기법 흐름도
 Fig. 4 The flow of compression method

그러나 데이터가 무제한으로 저장할 수 있는 것이 아니기 때문에 일정량의 데이터 이상이 될 경우 데이터를 전송해야 한다. 이러한 문제는 결국 통신 속도와 메모리의 양의 문제로 직결된다. 그러나 이러한 문제는 보호계전기와 통신의 상태에 따라 다르기 때문에 결국 보호계전기와 계통의 구성에 대한 모듈화가 중요할 것이다.

3. 사례연구

계통에 설치된 전기품질 감시기능이 추가된 보호계전기로부터 취득된 전기품질 데이터는 압축되고, 통신 단말 장치를 통하여 중앙 시스템으로 전달되며 이 데이터는 모니터링 소프트웨어를 통하여 사용자에게 보여 줄 것이다. 그림 5는 전기품질 시뮬레이터의 전체 시스템 구성을 나타낸다. 크게 전기품질의 다양한 상황을 시뮬레이션 하는 부분, 데이터를 취득하고 이러한 데이터를 분석하여 전기품질 트리거하여 전압 파형을 압축하여 상위부분으로 전송하는 보호계전기를 모의한 부분, 그리고 전송된 데이터를 운영자에게 보여주는 HMI 등 세 개의 부분으로 구성되며, RTDS(Real Time Digital

Simulator)를 이용하여 실시간으로 순간전압강하(Sag), 순간 전압상승(Swell), 순간정전(Interruption) 등의 계통의 상황 변화를 모의할 수 있도록 하였다.

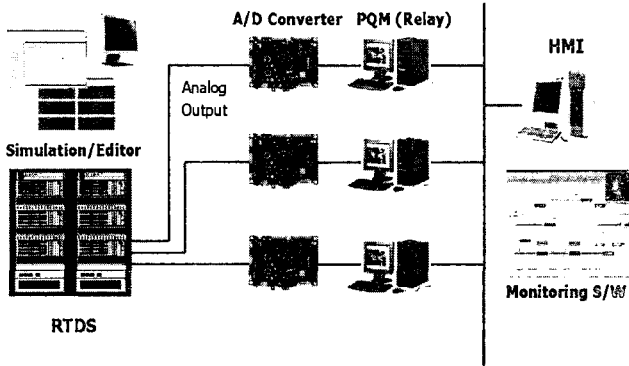


그림 5 RTDS를 이용한 전기품질 모의 시스템 구성도
 Fig. 5 The construction of power quality simulation system using the RTDS

또한 본 논문에서는 제안된 파형 비교 압축 알고리즘 (WCC)을 검증하기 위하여 무 손실 압축기법인 RLE와 허프만 코딩과 비교하여 실 계통에서 취득한 전압 파형을 이용하여 검증하였다. 또한 손실 압축기법과의 비교를 위하여 DWT를 이용한 전기품질 압축기법을 제안한 논문[9]의 사례연구와 비교하여 검증하였다. 알고리즘을 비교하기 위하여 압축률과 복구률을 이용하였다. 압축률은 어떤 파일의 압축 전과 압축 후를 비교한 바이트 수의 비를 말하며, 복구률이란 압축 전과 압축 후의 데이터를 비교하여 손실이 얼마나 많은가에 대한 비교이다. 복구률을 계산하기 위하여 NMSE(Normalized Mean Square Error)를 이용하였다.

$$NMSE = \frac{|Original\ Signal - Reconstructed\ Signal|^2}{|Original\ Signal|^2}$$

3.1 RTDS를 이용한 전기품질 모의

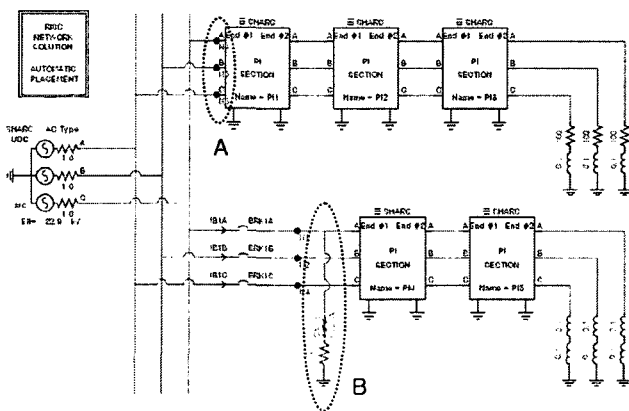


그림 6 RTDS를 이용한 순간전압강하(Sag) 모델링
 Fig. 6 The sag modeling using the RTDS

그림 6은 RTDS를 이용하여 모의하기 위한 GUI 환경인

RTDS/PSCAD에서 구성한 드래프트(draft)화면이다. 그림 6은 같은 모선에서 인출된 다른 회선 중 한 회선에 B와 같이 중부하를 연결하여 다른 회선의 같은 상에서 순간전압강하(Sag) 현상을 모의하였다.

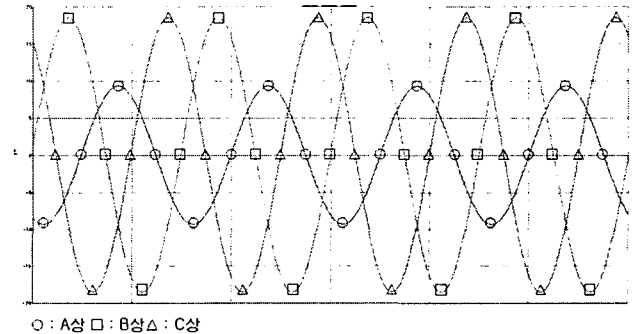


그림 7 RTDS에 도시된 순간전압강하 파형
 Fig. 7 Show the sag wave in the RTDS graphic form

그림 7은 그림 6의 A부분의 3상의 전압을 도시하였다. 그림 6의 B부분의 중부하 때문에 같은 모선에서 인출된 다른 회선에서 순간전압강하(Sag)가 나타나는 것을 볼 수 있다. 이러한 데이터는 실시간으로 모의되며, 또한 모의된 데이터는 RTDS의 아날로그 출력으로 나오게 된다. 그리고 이는 A/D 컨버터를 통해서 디지털 신호로 변환된다. 이렇게 변환된 데이터는 계전기로 모의된 장비를 통하여 전기품질 트리거 조건을 검사한 후 조건이 맞게 되면 파형 비교 압축 알고리즘(WCC)을 통해서 저장된다. 이러한 A/D 컨버터의 구현 및 전기품질 트리거 조건은 Visual Basic을 이용하여 구현하였으며, 각각의 전기 품질 감시항목에 대하여 모두 RTDS로 모의하여 트리거 조건에 충족하여 압축되는 가를 확인하였다. 데이터 압축은 Visual C++를 이용하였다.

3.2 데이터 압축 및 비교

3.2.1 무 손실 압축기법과의 비교

그림 8의 파형은 전체 140 주기로 한 주기 당 32 샘플이다. 전체 데이터의 크기는 45.9Kbyte이다. 이 파형은 굉장히 많은 고조파가 섞여 있어서 걸어서 보아도 변화가 많다는 것을 알 수 있다.

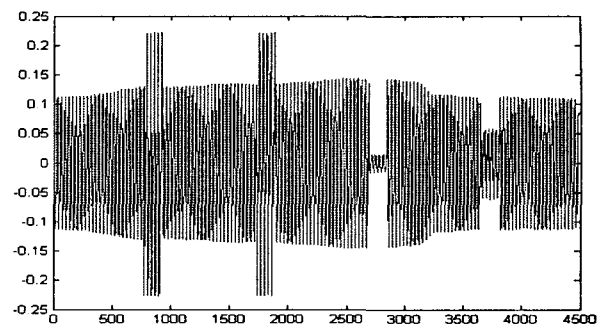


그림 8 모의 파형
 Fig. 8 The simulation wave

그림 9는 파형이 다른 구간을 확대한 것이다. 확대한 파형을 보면 각 구간별로 파형의 모양이 많이 차이 나는 것을 볼 수 있다.

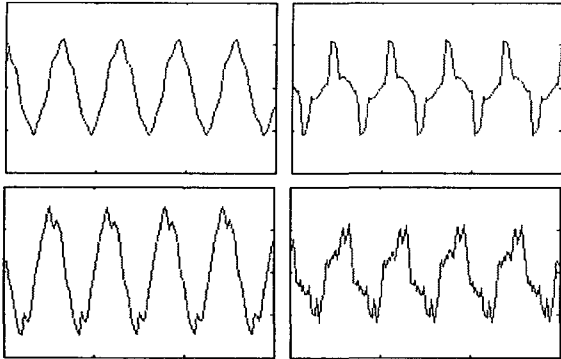


그림 9 그림 8 구간별 확대 파형
Fig 9 The enlarged wave for the fig 8's section

이 데이터를 데이터의 압축을 위한 파형의 동일성 판단지수(H)를 통하여 분석한 결과 판단지수 한계치(e)인 0.2를 넘어서는 값이 9번 존재하는 것을 볼 수 있다. 그러므로 모의 파형은 9번의 파형을 제외한 나머지 파형은 압축이 되었음을 알 수 있다.

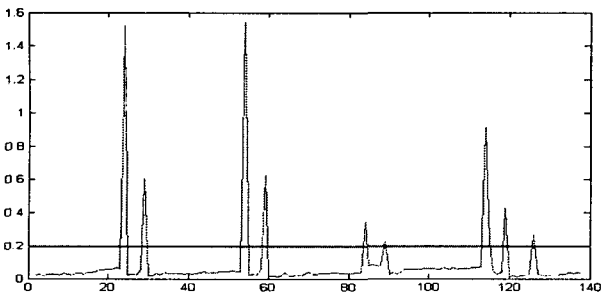


그림 10 파형 동일성 판단 지수(H) 변화 추이
Fig. 10 The development of identity interpretation index change

표 3은 대표적인 압축기법인 RLE와 허프만 코딩과 파형 비교 압축기법(WCC)을 압축률과 복구률을 이용하여 비교한 것이다. 무 손실 기법이므로 RLE와 허프만 코딩은 모두 복구률은 가장 좋은 0이었으나, 압축률에서 상당히 많은 차이를 보이는 것을 볼 수 있었다. RLE는 오히려 압축이 되지 않고 데이터가 늘어났으며, 허프만 코딩 방식은 압축은 되었으나 전체의 데이터의 중복성을 체크하는 방식이므로 전체 데이터를 전부 받은 후에 저장할 수 있으므로 실시간의 문제로 전기품질 감시 장치의 데이터 압축기법으로는 어렵다. 또한 압축률도 파형 비교 압축 알고리즘(WCC)이 31.19% 정도 좋은 것을 알 수 있다.

3.2.2 손실 압축기법과의 비교

손실 압축기법은 보통 DCT나 DWT 등과 같은 파형의 분석을 통해 압축을 한다. 그러나 전력계통의 파형은 여러 가지

요인으로 인하여 많은 변화가 일어날 수 있으므로 위와 같은 파형 분석을 통하여 공통점을 찾기 힘들다.

표 3. 무 손실 압축기법과 압축률 및 복구률 비교

Table 3. The comparison among the no loss compression method, the compression rate and the restoration rate

비교방법 \ 압축기법	RLE	허프만	WCC
압축률	0.94	2.91	9.33
복구률	0	0	0.1120

그러므로 DWT를 이용한 전기품질 압축기법을 제안한 논문[9]은 전기품질 현상에서 가장 많이 나타나는 순간전압강하(Sag), 순간전압상승(Swell), 순간정전(Interruption)등의 특징을 분석하여 압축 방법을 고안하였다. 이 논문과 압축률 및 복구률을 비교함으로써 파형 비교 기법의 우수성을 검증하였다. 표 4에서와 같이 파형비교 압축 기법(WCC)은 기존의 알고리즘보다 압축률이 60%이상 좋음을 알 수 있다. 기존의 DWT를 이용한 손실 압축 기법은 파형의 저장 대상이 한정되어 있으며, 한정된 대상에서도 파형 분석 레벨의 차이로 인해 압축률이 많이 차이가 난다. 또한 계진기에서 사용하는 파형 분석 알고리즘과 틀린 분석기법을 사용하기 때문에 추가의 연산이 필요하기에 실시간 사용에 문제가 있다.

표 4. 손실 압축 기법과 압축률 및 복구률 비교

Table 4. The comparison among the loss compression method, the compression rate and the restoration rate

압축기법	손실 압축		WCC		압축률 비교(%)
	압축률	복구률	압축률	복구률	
전기품질상태					
Sag	8.43	7.0423×10^{-5}	13.45	1.75×10^{-2}	59.54
Swell	8.51	6.950×10^{-5}	13.45	2.4×10^{-3}	58.05

3.3 데이터 복원 및 HMI

이렇게 저장된 데이터는 다시 복원된다. 그림 11은 그림 8의 파형을 압축 후 다시 복원한 파형을 도시하고 있다. 그림 12은 그림 11 파형의 구간별 확대 파형이다.

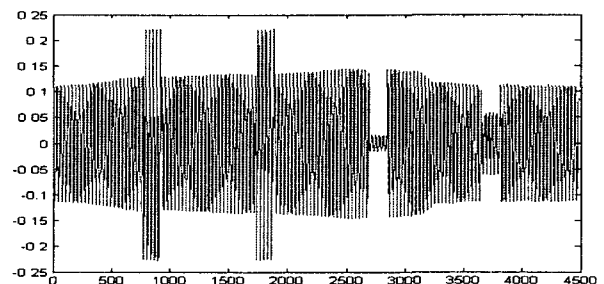


그림 11 복원 파형
Fig. 11 A diagram of restored wave

이를 그림 8, 그림 9와 비교 하였을 때 가시적으로 파형이 변화가 없음을 알 수 있다.

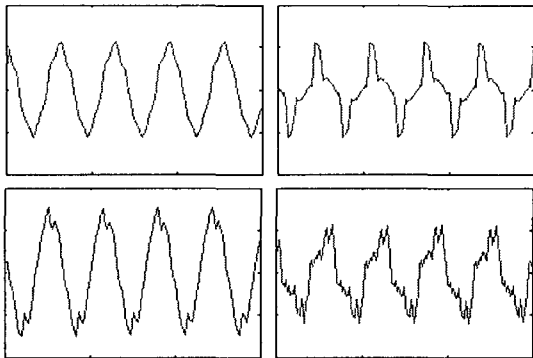


그림 12 그림 11 구간별 확대 파형
Fig. 12 The enlarged wave for the fig 11's section

이렇게 복원된 파형은 HMI를 통하여 운영자에게 모니터링 소프트웨어를 통하여 보여준다. 이러한 모니터링 소프트웨어는 인터넷 기술을 접목시켜 친숙하고 표준화된 MMI를 제공하였다. 그림 13는 웹브라우저로 구성된 모니터링 소프트웨어 화면이다.

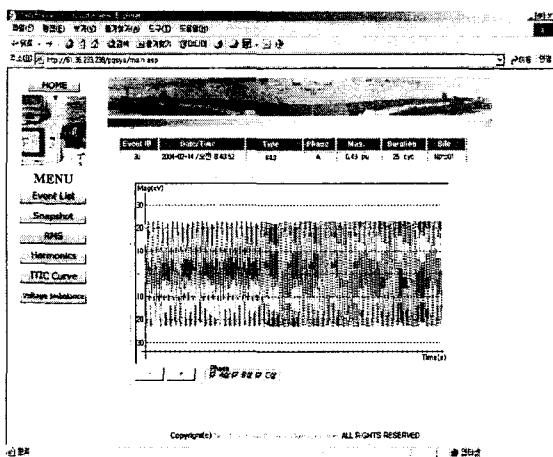


그림 13 HMI의 모니터링 소프트웨어
Fig. 13 The monitoring software of HMI

표 5는 각각의 전기 품질 감시 항목에 대한 압축률 및 오차율을 나타낸 것이다. 압축률은 시간이 길어 질 수록 더욱 더 좋아지는 것을 볼 수 있으며 오차율 또한 실제 데이터에 비하여 최대 0.0175% 이상 크게 차이 나지 않는 것을 볼 수 있다. 현재 보호계전기로 감시 할 수 있는 항목은 transients 상태나 noise 같이 샘플링 데이터 안에 들어가지 않고 빠르게 변화하는 것은 판단 자체가 불가능하다. 그러나 전기 품질 감시의 문제에서 Sort-duration variations와 Long-duration variations은 전압의 크기와 상관있는 문제이므로 오차율에 크게 영향을 받지 않았으며, Voltage imbalance 및 Power frequency variations의 검출 문제는 압축과 상관없는 문제이다. Harmonics 문제는 DFT에서 검출이 되는 문제이며, 또한 복구률에서도 크게 문제되지 않는 것을 볼 수 있다.

표 5. 전기 품질 감시 항목의 압축률 및 복구률
Table 5. The Power quality monitoring clauses's the compression rate and the restoration rate

Categories		압축률	오차율
Short duration variations	Interruption	10.75	1.45×10^{-2}
	Sag	13.45	1.75×10^{-2}
	Swell	13.45	2.4×10^{-3}
Long duration variations	interruption, sustained	15.12	1.54×10^{-2}
	Undervoltages	19.35	2.5×10^{-3}
	Overvoltages	19.34	1.89×10^{-3}
Voltage imbalance		13.45	1.75×10^{-2}
Waveform distortion	Harmonics	14.33	1.45×10^{-2}
Power frequency variations		12.45	4.53×10^{-3}

4. 결 론

이제 과거의 '값싼 전력의 안정적 공급' 차원에서 벗어나 '상품(전기)에 대한 품질 보증을 요구하는 고객 욕구 수준에 부응하는 전기 품질 관리 체제로의 전환'이 필요한 시점이다[11]. 그러나 새로운 장비로의 전환을 통한 전기 품질 감시는 천문학적 예산이 필요한 것이 사실이기 때문에 본 연구에서는 전기 품질 감시 장치에 대한 보호계전기의 적합성에 대해 알아보았다. 이에 보호계전기의 샘플링 간격과 제한된 메모리의 제약 조건하에서 IEEE 규정 1159에 정의된 각 현상 중 보호계전기가 판단 가능한 전기 품질 현상 항목을 선정하였고, 그에 따른 PQ 트리거 조건을 선정하였으며 이를 RTDS를 이용하여 검증하였다. 또한 제한된 메모리 용량의 한계를 극복하기 위한 압축기법의 조사를 통하여 현재 연구되고 있는 압축기법을 알아 보았으며, 제한된 메모리 용량과 마이크로 프로세서에 부담을 주지 않는 파형비교 압축 알고리즘(WCC)을 연구하였다. 제안된 알고리즘은 계전기에서 기본적으로 수행하고 있는 DFT를 압축기법에 이용하였기 때문에 계전기 수행에 부담을 주지 않는다. 또한 파형비교 압축 알고리즘은 압축률과 복구률을 이용하여 다른 압축 알고리즘과 비교하여, 압축률이 뛰어나며, 실시간 압축이 가능하다는 장점을 지니고 있다는 것을 검증하였다. 또한 압축된 데이터는 후에 복원이 된 후에도 전기 품질 분석에 아무런 문제가 없음을 검증하였다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부 및 한국과학재단의 ERC 프로그램의 지원으로 이루어졌으며 이에 감사 드립니다.

참 고 문 헌

- [1] 황병준, "PQM(Power Quality Monitoring) 시스템 運營技術의 適用", 전기학회월간지, 51권 8호, 26-32, 2002.
- [2] IEEE Standards Coordinating Committee, "IEEE std

- 1159-1995”, IEEE Standards Board, Nov 1995.
- [3] IEEE Standards Coordinating Committee, “IEEE std 519-1992”, IEEE Standards Board, April 1993.
- [4] 배영준, 임성일, 최인선 “보호계전기를 이용한 전기품질 감시 기법 연구”, 2002년도 대한전기학회 전력기술부문 회 추계학술대회논문집.
- [5] 압축기법연구 <http://user.chollian.net/~iissi/목차.htm>
- [6] 임상호, 서영호, 김동욱 “DWT 기반의 영상 압축기 구현을 위한 데이터 형식”, 2002년도 통신 및 신호처리소 사이어티 추계학술발표논문집.
- [7] T.B.Littler,Dr.D.J.Morrow, “Wavelets for the analysis and compression of power system disturbances”, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 14, No. 2, April 1999.
- [8] P.K.Dash, B.K.Panigrahi,D.K.Sahoo. G.Panda, “Power Quality disturbance data compression, detection, and classification using integrated splin wavelet and S-transform”, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 18, No. 2, April 2003.
- [9] Shyh-Jier Huang, Ming-Jong Jou, “Application of arithmetic coding for electric power disturbance data compression with wavelet packet enhancement”, IEEE Transactions on Power Systems, 2004.
- [10] David G Hart, “Tapping Protective Relays for Power Quality Information”, IEEE Computer Applications in Power, Volume: 13 Issue: 1, 45 -49, Jan. 2000.
- [11] 이은용, “첨단 기술에 앞서야만 하는 전력품질”, 전기학회월간지, 51권 10호 37-43, 2002.



이 강 석(李康奭)

2003년 명지대학교 공과대학 전기공학과 졸업. 현재 동대학원 전기공학과 석사과정. 주 관심분야 : 전력계통, 변전소 자동화, 전기품질, Web-based SCADA
Tel : 031-335-2068, Fax : 031-330-6816
E-mail : sky76lee@mju.ac.kr



최 면 승(崔勉松)

1967년 4월생. 1989년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1991년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 동 전기공학과 졸업(공학박사). 1995년 Pennsylvania State Univ. 방문 연구원. 1992년 기초전력공학 공동연구소 전임연구원. 현재 명지대 학교 공대 전기정보제어공학부 부교수. 주 관심분야: 계통보호, 인공지능의 전력계통 응용
Tel : 031-336-6367, Fax : 031-321-0271
E-mail : mschoi@mju.ac.kr



임 성 일(林星日)

1994년 명지대학교 공과대학 전기공학과 졸업, 1996년 동 대학원 전기공학과 석사, 2004년 동 대학원 전기공학과 박사. 1996-2001년 한국전력공사 전력연구원 근무, 2004-현재 명지대학교 전기공학과 차세대 전력기술연구센터 연구교수. 주 관심분야: 계통보호, 배전 자동화, 변전소자동화
Tel : 031-330-6819, Fax : 031-330-0271
E-mail : lim7610@mju.ac.kr



이 승 재(李承宰)

1955년 11월 30일생. 1979년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1981년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1988년 Univ. of Washington 전기공학과 졸업(공학박사). 1994년 Univ. of Washington 교환교수. 현재 명지대 공대 전기정보제어공학부 교수. 주 관심분야 : 전력 계통 지능보호 및 제어, 인공지능의 전력계통 응용, 배전자동화, 변전소자동화
Tel : 031-336-6362, Fax : 031-330-6816
E-mail : sjlee@mju.ac.kr

저 자 소 개



최 인 선(崔仁善)

2002년 명지대학교 공과대학 전기공학과 졸업. 현재 동대학원 전기공학과 석사과정. 주 관심분야 : 전력계통, 배전자동화, 변전소 자동화, 전기품질
Tel : 031-336-3290, Fax : 031-330-6816
E-mail : cis226@mju.ac.kr