

전력시스템 고조파 외란의 자동식별

Automatic Classification of Power System Harmonic Disturbances

김병철, 김현수, 남상원
(Byoung-Chul Kim, Hyun-Soo Kim, and Sang-Won Nam)

Abstract : In this paper, a systematic approach to automatic classification of power system harmonic disturbances is proposed, where the proposed approach consists of the following three steps: (i) detecting and localizing each harmonic disturbance by applying discrete wavelet transform(DWT), (ii) extracting an efficient feature vector from each detected disturbance waveform by utilizing FFT and principal component analysis(PCA) along with Fisher's criterion, and (iii) classifying the corresponding type of each harmonic disturbance by recognizing the pattern of each feature vector. To demonstrate the performance and applicability of the proposed classification procedure, some simulation results, obtained by analyzing 8-class power system harmonic disturbances being generated with Matlab power system blockset, are also provided.

Keywords : harmonic disturbances, power quality, classification, wavelet transform, neural networks, Fisher's criterion

I. 서론

고조파는 기본 주파수(60Hz)의 정수 배인 주파수를 가지는 정현파 전압 또는 전류이다[1][2]. 전력 계통의 고조파 문제는 오늘날의 문제만은 아닌 것으로 유도기, 정류기 및 송전선로 불평형에 의한 고조파 발생이 문제가 되어 왔다. 이러한 고조파 영향을 줄이기 위해 변압기의 델타결선, 또는 여과기(filter)를 사용하는 등의 방법으로 대처하여 왔다. 그러나 근래에 이르러 사용이 급격히 늘어난 첨단 제어 장치, 전력전자 기기 등 다양한 반도체 전력변환 설비와 비선형 부하의 증가로 인하여 고조파 전류가 전력계통에 유입되어 전력계통의 전압을 왜곡시켜 일부 기기의 장애를 유발하고 있다. 따라서 이러한 고조파에 대한 억제대책이 필요하며, 적절한 억제대책을 위해서는 우선 계통 내에서 정확한 고조파 해석이 요구된다. 기본적으로 요구되는 고조파 해석에는 크게 i) 전력계통의 모니터링, ii) 고조파 외란의 검출, iii) 검출된 외란의 분석 및 외란의 발생원인 진단 등으로 분류할 수 있다[1]-[4].

본 논문의 목적은 효율적이며 체계적인 고조파 외란 자동식별 시스템을 제시하는데 있다. 구체적으로, 본 논문에 제시된 고조파 외란의 자동식별 과정은 다음과 같다. i) 웨이블릿 변환을 이용한 고조파 외란의 효과적 검출 단계, ii) 푸리에 변환, Fisher's criterion을 이용하여 식별에 용이한 특징벡터 추출 단계, iii) 신경회로망을 이용한 외란의 식별 단계로 구성된다. 특히, 제안된 기법의 성능을 테스트하기 위해, 8종류의 고조파 외란 데이터를 발생하였다. 그림 1은 본 논문에서 제시한 전력외란 자동식별을 위한 알고리즘의 구성도이다.

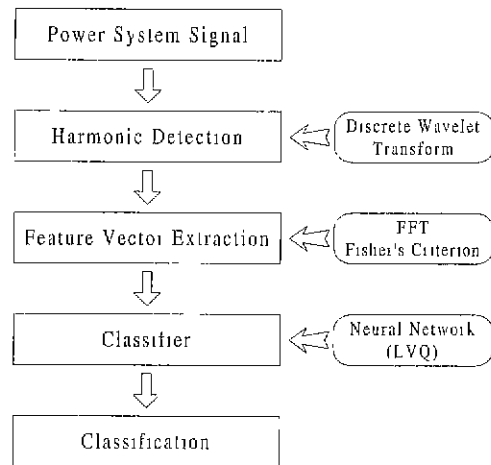


그림 1. 고조파 외란 기법.

Fig. 1. Automatic classification of harmonic disturbances.

본 논문의 구성으로는, 2장에서는 고조파 외란의 특성 및 검출을 다루며, 3장에서는 효율적인 특징벡터 추출 기법을 소개한다. 또한, 4장에서는 고조파 외란의 자동식별을 위해 신경회로망을 이용한 식별기 설계를 다루며, 5장에서는 모의실험을 통해 제안된 기법의 성능을 테스트한다. 끝으로, 6장에서 결론을 맺는다.

II. 고조파 외란의 특성 및 검출

1. 고조파 외란의 특성

본 논문에서는 IEEE Standard 519-1992[4]에 의거 파워 서플라이, 아아크 장치, 그리고 포화장치에서 발생하는 8종류의 대표적인 고조파 외란(즉, CSI-type ASD 외란, PWM-type ASD 외란, SMPS 외란, transformer magnetizing 외란, fluorescent light-electronic ballast 외란, fluorescent light(magnetic ballast) 외란, 6-pulse static

접수일자 2000. 1. 7. 수정완료: 2000. 4. 10

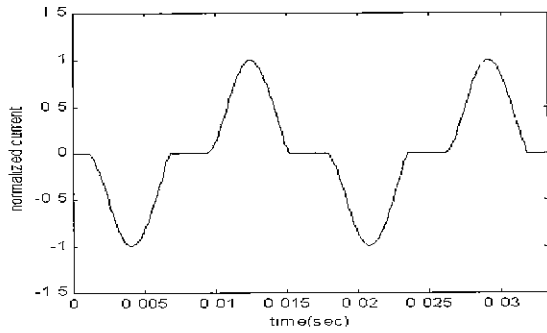
김병철, 남상원: 한양대학교 전기공학과

김현수: 삼성전자 무선사업부

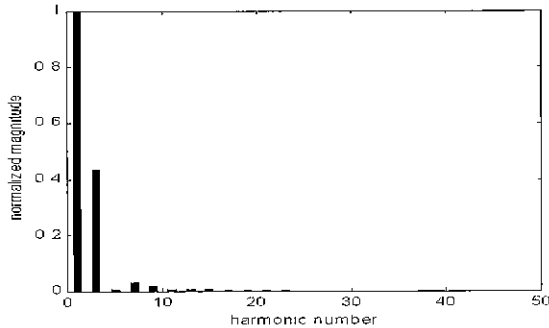
※ 본 논문은 1998년도 한국전력공사 지원 전력기술 기초연구과제(98-077)로 연구되었음.

drive 외란, 12-pulse static drive 외란 등)을 대상으로 하였으며, 그 특성들은 다음과 같다.

1) Switch-mode power supply(SMPS) 외란 : SMPS는 PC, 레이저 프린터, 복사기 등의 최근 보편화된 전자 제품에 많이 사용되며, SMPS에서 발생되는 고조파 외란은 제 3차 고조파 성분이 다른 고조파에 비해 큰 것이 특징이다 (그림 2 참조).



(a) 전류파형



(b) 스펙트럼

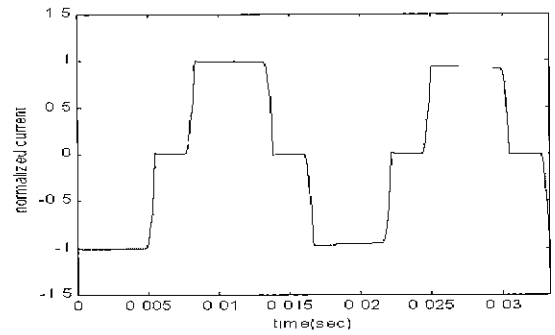
그림 2. SMPS의 입력단.
Fig. 2. A SMPS input.

2) 6-pulse static drive 외란 : 6-pulse static drive는 소용량의 직류(DC) 장치의 구동을 위해 주로 사용되며, 발생되는 고조파 외란은 5차와 7차 고조파 성분이 비교적 큰 단점이 있다(그림 3 참조).

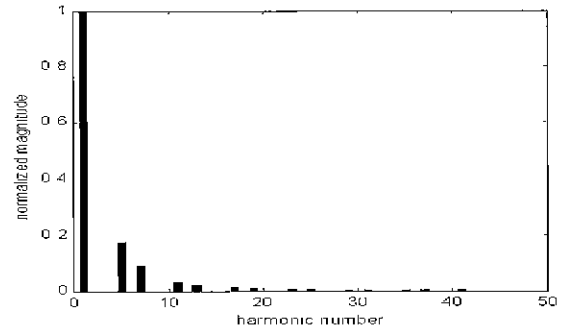
3) 12-pulse static drive 외란 : 12-pulse static drive는 대용량의 직류(DC) 장치의 구동을 위해 사용되며, 두개의 6-pulse static drive를 병렬로 연결하여 각각의 6-pulse static drive가 서로 30도의 위상 차를 갖는다 특히, 12-pulse static drive를 구성하면 6-pulse static drive를 구성하였을 때 발생되는 5차와 7차 고조파 성분을 줄일 수 있는 장점이 있다(그림 4 참조).

4) CSI-type ASD 외란 : CSI-type ASD는 교류(AC) 모터의 구동을 위해 사용되며 발생 외란은 그림 5와 같다.

5) PWM-type ASD 외란 : PWM-type ASD는 VSI를 적용한 교류모터 구동용 drive이며, 발생 외란은 그림 6과 같다.

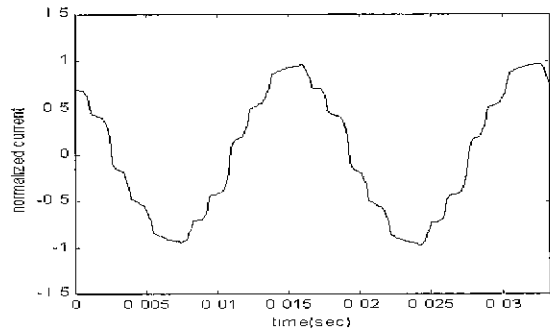


(a) 전류 파형

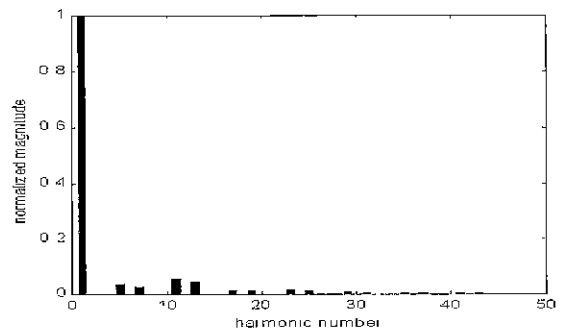


(b) 스펙트럼

그림 3. 6-pulse static drive 입력단.
Fig. 3. A 6-pulse static drive input.

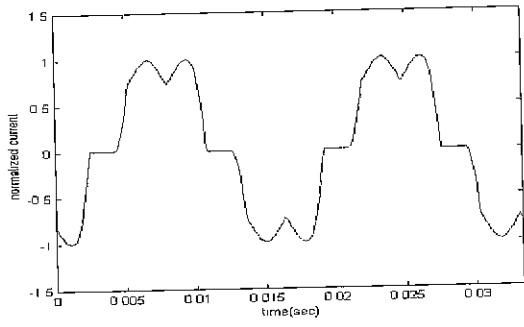


(a) 전류 파형

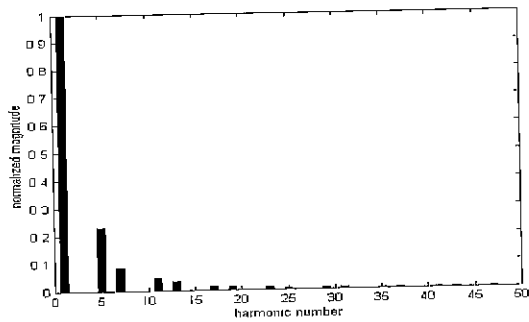


(b) 스펙트럼

그림 4. 12-pulse static drive 입력단.
Fig. 4. A 12-Pulse static drive input.

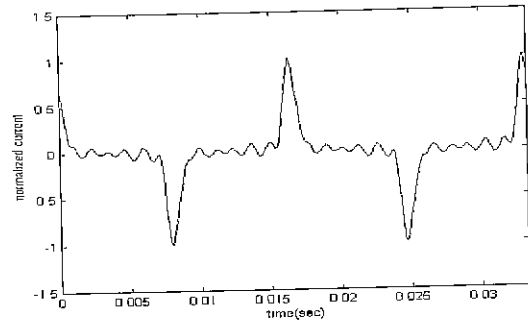


(a) 전류 파형

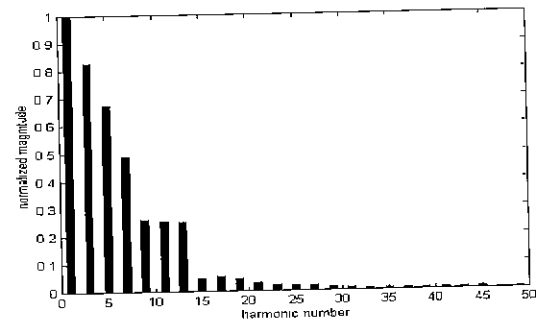


(b) 스펙트럼

그림 5 CSI-type ASD 입력단.
Fig. 5. A CSI-type ASD input.

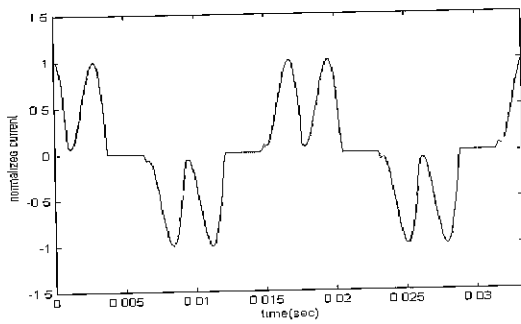


(a) 전류 파형

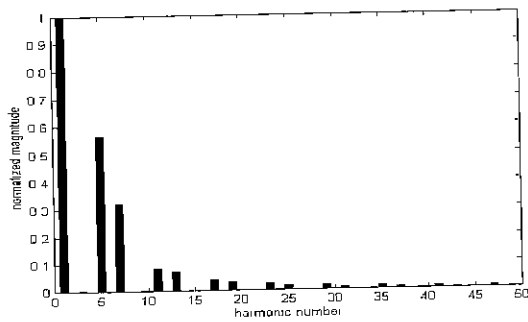


(b) 스펙트럼

그림 7. Fluorescent light(electronic ballast) 입력단.
Fig. 7. Fluorescent light(electronic ballast) input.

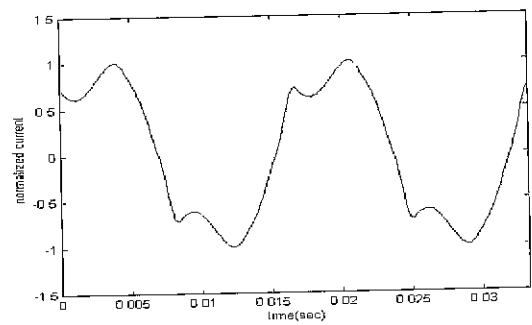


(a) 전류 파형

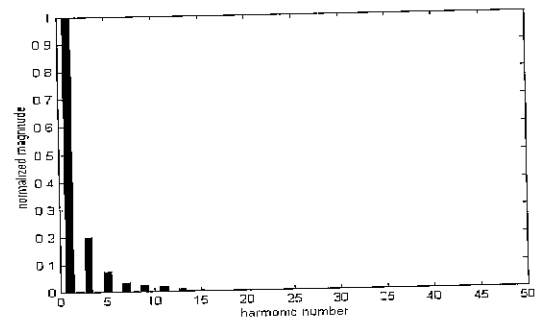


(b) 스펙트럼

그림 6. PWM-type ASD 입력단.
Fig. 6. PWM-type ASD input.

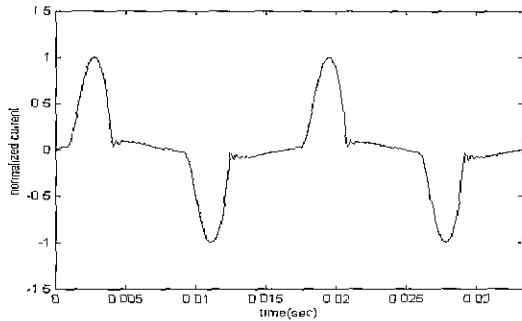


(a) 전류 파형

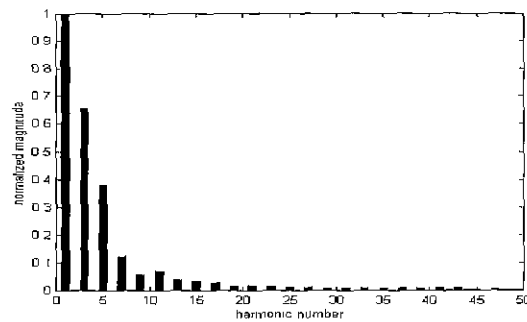


(b) 스펙트럼

그림 8. Fluorescent light(magnetic ballast) 입력단.
Fig. 8. Fluorescent light(magnetic ballast) input.



(a) 전류 파형



(b) 스펙트럼

그림 9. Transformer magnetizing 입력단.

Fig. 9. Transformer magnetizing input.

6) Fluorescent light(electronic ballast) 외란 : Electronic ballast를 부착한 fluorescent light로서 magnetic ballast 보다 효율이 좋고 SMPS를 응용한 기기 중의 하나이며, 발생 외란은 그림 7과 같다.

7) Fluorescent light(magnetic ballast) 외란 : 과거에 많이 사용된 fluorescent light 방식으로서 발생 외란은 아크로와 비슷한 파형을 보인다(그림 8 참조).

8) Transformer magnetizing 외란 : 포화 영역에서의 변압기 운전으로 인하여 파형 왜곡이 발생하며 분산 시스템에 영향을 미친다(그림 9 참조).

2. 고조파 외란의 검출

고조파 외란의 검출 방법으로는 인접 사이클을 비교하는 방법과 문턱값(threshold) 이상일 때 외란이 발생하였다고 판단하는 방법 등이 보고되어 있는데 전자는 주기적인 외란이 있을 때 검출하지 못할 수 있고, 후자의 경우 문턱 값이 외란의 종류에 따라 상이하야 적용이 쉽지 않다. 따라서 본 논문에서는 외란 검출에 대한 연구 결과들 중 웨이블릿 변환(wavelet transform)을 이용한 외란의 검출 방법[4][5][6][9]을 적용하고자 한다. 최근에 웨이블릿 변환은 신호처리, 수치 해석, 수학적 모델링 등 많은 분야에서 활발히 연구, 응용되고 있는데, 다해상도 해석(multiresolution analysis)법을 통해 scaling 함수 $\phi(t)$ 와 wavelet 함수 $\psi(t)$ 는 다음과 같이 정의될 수 있다.

$$\phi(t) = \sqrt{2} \sum_n h(n) \phi(2t - n) \quad (3)$$

$$\phi(t) = \sqrt{2} \sum_n g(n) \phi(2t - n) \quad (4)$$

검출할 신호를 $c_0(n)$ 라 할 때, (3), (4) 및 직교(orthogonality) 성질을 이용하여 $c_0(n)$ 를 분해하는 방법은 다음과 같다. 먼저 $c_0(n)$ 와 scaling 함수를 이용한 연속 함수 $f(t)$ 는

$$f(t) = \sum_n c_0(n) \phi(t - n) = \sum_n c_0(n) \phi_{0,n}(t) \quad (5)$$

$$c_0(n) = \int f(t) \phi_{0,n}(t) dt = \int f(t) \phi(t - n) dt \quad (6)$$

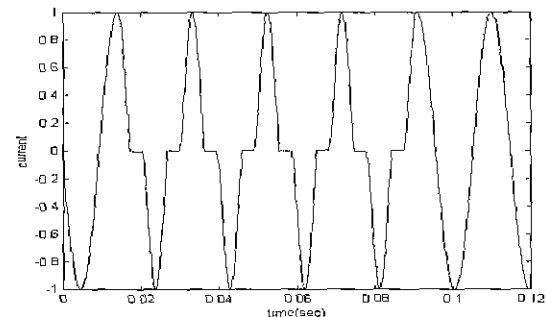
이고, $c_0(n)$ 을 $c_1(n)$ 과 $d_1(n)$ 으로 분해하면 다음 식으로 표현할 수 있다.

$$f(t) = \sum_n c_1(n) \phi_{1,n}(t) + \sum_n d_1(n) \psi_{1,n}(t) \quad (7)$$

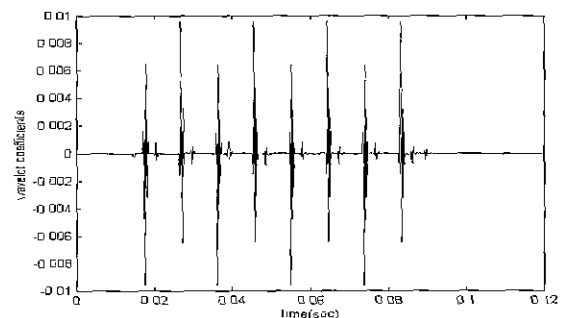
(7)에서 $c_1(n)$, $d_1(n)$ 은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$c_1(n) = \sum_k h(k - 2n) c_0(k) \quad (8)$$

$$d_1(n) = \sum_k g(k - 2n) c_0(k) \quad (9)$$



(a) 정규화한 SMPS 입력 단의 전류 파형



(b) Daub8(scale 1)을 이용한 wavelet 계수

그림 10. DWT를 이용한 SMPS 고조파 외란 검출.
Fig. 10. Detection of the harmonic disturbance of a SMPS input using DWT.

여기서 $h(n)$ 과 $g(n)$ 은 각각 저역 및 고역통과 필터를 나타낸다. 위의 식에서 알 수 있듯이 실제적으로 $f(t)$ 의 구성이 필요 없이, (8), (9)부터 $c_i(n)$, $d_i(n)$ 을 직접 구할 수 있다. 또한 scale 2에서의 분해를 위해서는 신호 $c_i(n)$ 으로부터 위의 과정을 반복한다. 그러나, scale이 증가할 수록 scaling 함수와 wavelet 함수는 time localization 특성이 나빠진다. 따라서, 고조파 외란의 검출에는 scale 1 또는 scale 2가 가장 적절하다. 이러한 다해상도 분해는 i) Daub 4 웨이블릿 계수를 이용하여 빠르고 짧은 외란을 검출하고, ii) Daub 8(또는 10) 웨이블릿 계수를 이용하여 느리고 긴 외란을 검출하는데 효과적으로 이용될 수 있다 [4][5][6][9]. 본 논문에서는 고조파 외란의 검출에 Daub 8 웨이블릿 계수를 사용하였으며, 그림 10은 웨이블릿을 이용하여 고조파 외란을 검출한 예이다.

III. 고조파 외란의 특징벡터 추출

검출된 외란의 종류를 판단하기 위해서는 외란에 대한 적절한 정보를 추출하여 식별기에 인가하여야 한다. 특히, 식별기의 입력은 가급적 데이터 양이 적고 각 신호의 특징 정보를 최대한으로 포함하고 있어야 하는데, 이와 같이 검출된 각 외란의 특성을 대표할 수 있는 값들을 추출하는 과정을 특징벡터 추출이라고 하며, 특징벡터를 식별기의 입력으로 사용함으로써 식별기의 식별능력을 좀더 향상시키는데 그 목적이 있다. 본 논문에서는 고조파 외란에 적합하고 좀 더 향상된 식별성능을 얻기 위해 다음의 방법을 제시하고자 한다.

Step 1 : 검출된 외란 정보로부터 외란의 특성이 충분히 포함될 수 있도록 적절한 길이의 외란의 데이터를 얻어야 한다. 본 논문에서는 전력 고조파 외란의 주파수 특성을 이용하기 위해 한 주기의 외란 데이터를 추출하여 푸리에 변환(FFT)을 통해 50차(3000Hz)까지의 고조파 성분을 구하고 그 값들을 최대 값으로 정규화한다.

Step 2 : 전력 고조파 외란의 스펙트럼의 특성상 제 3차 (180Hz) 고조파의 유무 또는 크기가 외란의 식별에 큰 영향을 미치므로[9], 본 단계에서는 적당한 문턱 값을 통해 고조파 외란을 다음의 두 부류로 나누었다: i) Class-A : 제3차 고조파의 크기가 문턱 값보다 큰 경우(즉, SMPS, Transformer magnetizing, Fluorescent light-electronic ballast, Fluorescent light-magnetic ballast 등), ii) Class-B : 제3차 고조파의 크기가 문턱 값보다 작은 종류(즉, CSI-type ASD, PWM-type ASD, 6-pulse static drive, 12-pulse static drive 등).

Step 3 : 다음의 Total Harmonic Distortion(THD)값을 계산하여 특징벡터에 추가하였다.

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h_{max}} M_h^2}}{M_1} \quad (10)$$

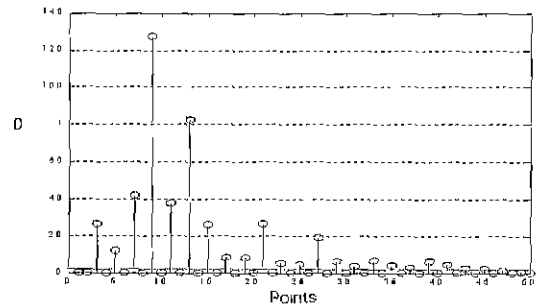
여기서 M_h 는 h 번째 고조파 성분의 크기를 나타낸다.

Step 4 : 주성분 분석법(Principal Component Analysis)인 Fisher's Criterion을 적용하여 각각의 고조파 외란의 특징을 가장 많이 포함하는 성분만을 선택한다. 따라서

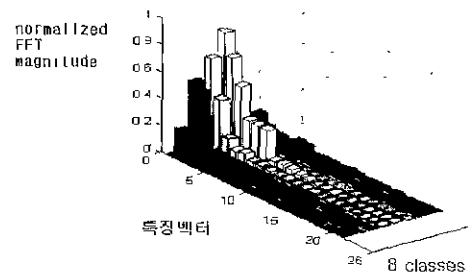
데이터 압축은 물론 식별을 향상에도 도움이 된다. Fisher's Criterion은 다음과 같다[7]

$$D = \frac{\overline{\mu^2} - \mu^2}{\sigma^2} \quad (11)$$

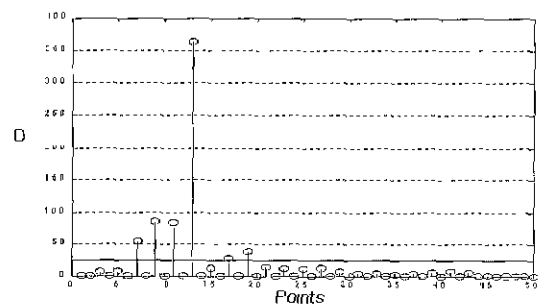
여기서, μ^2 은 모든 종류의 특징벡터에 걸쳐 계산된 평균값의 제곱이고, $\overline{\mu^2}$ 과 σ^2 은 각 종류의 특징 벡터에 대한 평균값의 제곱과 분산의 기대치를 의미한다.



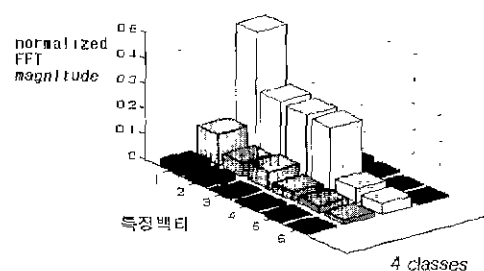
(a) 전체 8종류 고조파 외란의 D 값



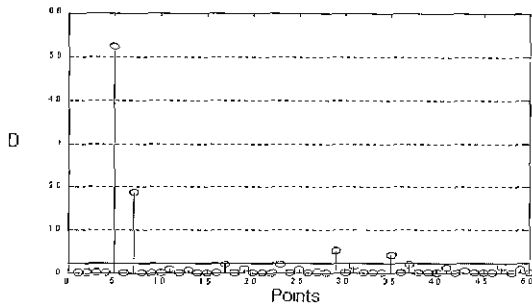
(b) 전체 8종류 고조파 외란의 특징벡터



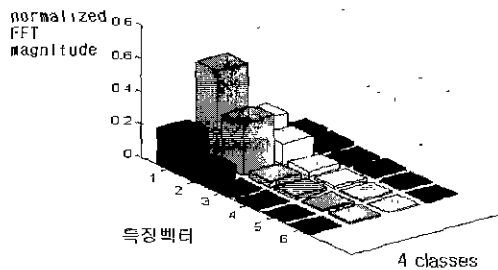
(c) Class-A 외란의 D 값



(d) Class-A 외란의 특징벡터



(e) Class-B 외란의 D 값



(f) Class-B 외란의 특징벡터

그림 11. 고조파 외란의 특징벡터 추출.
Fig. 11. Extraction of feature vectors.

본 논문에서는 각 외란의 THD 값과 일정값 이상의 D 값을 갖는 고조파 성분으로 구성된 특징벡터를 식별기의 입력으로 사용하였다. 그림 11은 Fisher's criterion을 적용하여 추출한 특징벡터 예이다.

IV. 신경회로망을 이용한 식별기 설계

III장에서 추출된 특징벡터를 입력으로 하는 식별기의 설계에는 신경회로망을 사용하였다. 신경회로망은 패턴에 대한 사전 지식 없이 패턴으로부터 필요한 정보를 학습할 수 있으며 학습하지 않은 패턴도 분류할 수 있는 능력이 뛰어나다[8]. 본 논문에서는 신경 회로망 중에서 Learning Vector Quantization(LVQ)를 사용하였는데, LVQ는 참조 벡터(reference vector)들로 입력벡터를 패턴 공간에 할당시키는 대표적인 알고리즘이다. 특정한 패턴 종류에 대해 경쟁학습(competitive learning)을 통한 가중치의 고유 할당이 이루어지므로 MLP보다 일반화 능력이 떨어지지만 수렴속도가 빠른 장점이 있다. LVQ의 구조를 그림 12에 보였으며, 입력 벡터를 $x \in R^n$, 가중치 벡터(weight vector)를 $\{m_i(t), i=1,2,\dots,k\}$, $m_i(t)=[m_{i,1}(t) m_{i,2}(t)\dots m_{i,n}(t)]^T$ 로 각각 나타내었다. 이때 입력 신호 $x(t)$ 에 가장 가까운 거리에 있는 가중치 벡터를 winner라고 정의하고 $m_c(t)$ 로 표기하면 경쟁학습 알고리즘에 의해 $m_c(t)$ 는 다음과 같이 갱신된다.

$$m_c(t+1) = \begin{cases} \frac{m_c(t) + \alpha x(t)}{\|m_c(t) - \alpha x(t)\|}, & \text{if } x(t) \text{ is correctly classified.} \\ \frac{m_c(t) - \alpha x(t)}{\|m_c(t) - \alpha x(t)\|}, & \text{if } x(t) \text{ is incorrectly classified.} \end{cases} \quad (11)$$

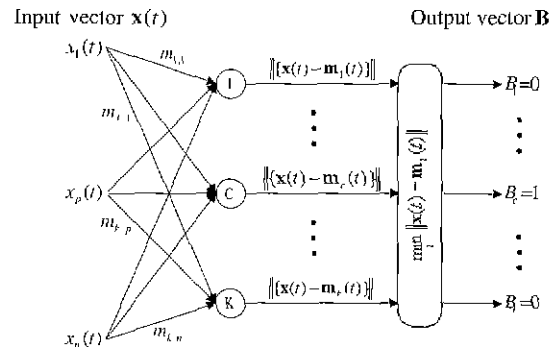
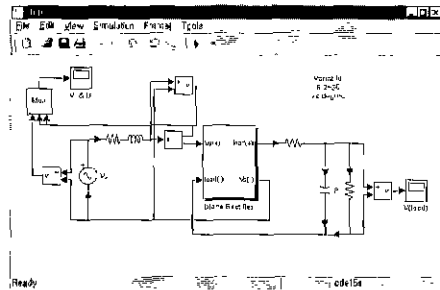


그림 12. LVQ 구조.
Fig. 12. Architecture of LVQ.

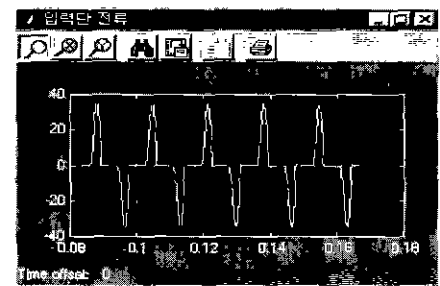
V. 모의실험 및 결과

1. 고조파 외란 발생 모의 실험

고조파 외란의 발생원인이 되는 비선형 부하의 모델링 및 모의실험은 Matlab Power System Blockset을 이용하였고, 다양한 고조파 외란을 얻기 위해 부하의 파라미터들을 변화시켜 데이터를 발생하였다. 그림 13은 발생된 고조파 외란의 한 예를 나타낸다.



(a) SMPS의 DC-link단 모델링



(b) SMPS에서 발생하는 입력단 전류 파형 창

그림 13. Matlab power system blockset을 통해 발생시킨 고조파의 예
Fig. 13. A harmonic disturbance waveform generated by using matlab power system blockset.

2 고조파 외란의 검출 모의 실험

웨이블릿을 이용한 검출기법의 성능을 실험하기 위해 그림 14와 같은 파형을 이용하였는데 이 파형에는 60Hz의 정현파와 고조파가 포함되어 있으며 0.6초간 7680Hz(128 samples/cycle)로 샘플링(sampling)한 결과이다.

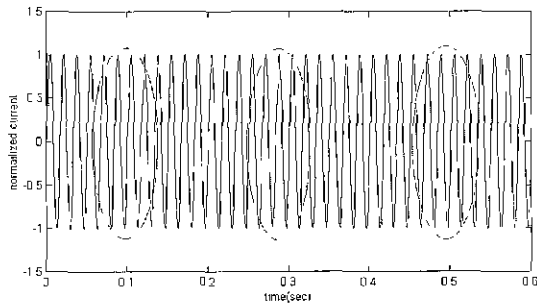


그림 14. 고조파 외란 검출을 위한 실험 파형 (fs=7680 Hz).

Fig. 14. A test waveform for the detection of a harmonic disturbance (fs=7680 Hz).

그림에서 ○부분(총 3번 발생)이 외란이 발생된 부분을 나타낸다. 외란을 검출하기 위해서는 발생된 시각과 외란의 지속시간이 동시에 검출되어야 하는데 이는 그림 15의 알고리즘에 의해 구현될 수 있다. 그림 14의 실험 파형을 이용하여 검출한 결과는 다음과 같다. 그림 16의 모의실험 결과에서와 같이 외란이 발생된 부분과(3번 발생), 외란의 지속시간도 비교적 잘 검출할 수 있음을 알 수 있다.

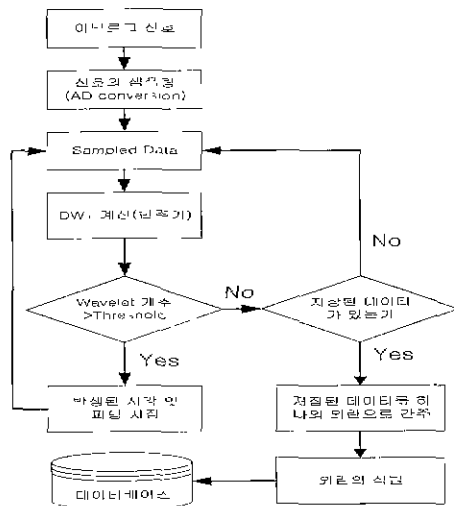


그림 15 고조파 외란의 검출 알고리즘
Fig. 15. Detection of harmonic disturbances.

3 고조파 외란의 식별 모의 실험

고조파 외란의 자동식별을 위해 앞에서 제안한 특징벡터 추출 방법을 적용하여 LVQ의 입력으로 사용하여 식별 성능을 테스트 해 보았다. 본 논문에서 적용시킨 데이터는 SNR이 40dB인 고조파 외란을 사용하였는데, 모의 실험을

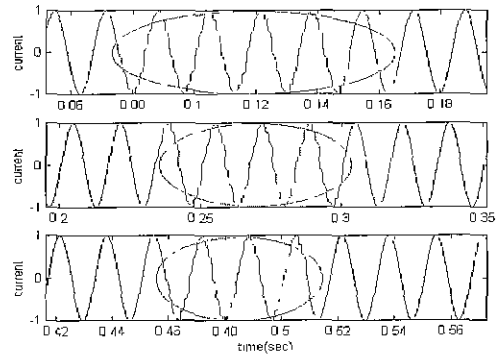


그림 16. 고조파 외란의 검출 모의 실험 결과.
Fig. 16. Simulation results of harmonic disturbance detection.

200번 독립 시행하여 평균을 취하여 식별율을 구하였고, 학습에 사용된 데이터는 각 종류별로 20개(총 160개), 테스트 데이터는 각 종류 당 100개(총 800개)가 사용되었다 III장에서 제안된 Step 2부터 Step 4까지 차례로 추가시켜 식별율을 비교한 결과는 표 1와 같다 Step 4까지 모두 적용한 결과 99.5%의 높은 식별결과를 얻을 수 있었다.

표 1. 8가지의 고조파 외란에 대한 식별 결과.

Table 1. Classification result of the proposed algorithm for 8-class harmonic disturbances.

Class	Method	step1-step4	step1-step3+step1	step1+step2+step3+step1
	CSI-type ASD		89/100	91/100
PWM-type ASD		100/100	100/100	100/100
SMPS		74/100	89/100	99/100
Transformer magnetizing		100/100	100/100	100/100
Fluorescent light (electronic ballast)		100/100	100/100	100/100
Fluorescent light (magnetic ballast)		100/100	100/100	100/100
6-pulse static drive		100/100	100/100	100/100
12-pulse static drive		100/100	100/100	100/100
Total		763/800 (95.38%)	780/800 (97.50%)	796/800 (99.50%)

VI. 결론

본 논문에서는 고조파 외란의 자동식별을 위한, 효율적이고 체계적인 접근법을 제시하였다. 구체적으로, 고조파 외란 검출을 위해 이산 웨이블릿 변환을 사용하였고, 효율적 특징벡터 추출을 위해 고조파 외란의 특성과 푸리에 변환 및 Fisher's criterion 등의 신호처리 기법을 적용하였다. 특히, Fisher's criterion을 적용함으로써 데이터 압축 효과 뿐만 아니라 식별에도 좋은 성능을 낼 수 있었다. 또한, Matlab Power System Blockset을 통한 8종류의 고조

과 외란의 모의 실험 데이터를 발생하여 제안된 기법을 적용하여 고조파 외란의 검출 및 식별 실험을 한 결과 99.5%의 높은 식별 성능을 보였다 이러한 실험 결과로부터, 본 논문에서 제안한 외란 검출 및 자동식별 기법이 실제 전력 시스템에 실제 적용 가능함을 알 수 있었고, 제안된 기법을 확장 적용하면 고조파 뿐만 아니라 기타 여러 종류의 전력 품질 외란으로 인한 손실 예방에 적용할 수 있을 것으로 기대된다. 본 연구에서 제안한 외란 검출 및 자동식별 기법을 실제 전력시스템에 적용시킨다면 자료의 효율적인 관리가 가능하고, 모니터링 및 분석에 필요한 인력 및 시간을 절약할 수 있다. 또한, 전력계통의 품질을 모니터링하고 관리함으로써 전 계통의 효율화, 안정화, 고 신뢰도화를 꾀할 수 있으며, 고조파가 미치는 경제적 손실을 예방하는데 기여할 수 있을 것으로 기대된다. 앞으로 고조파 외란뿐만 아니라 좀 더 많은 종류의 전력품질 외란에 대한 검토와 제안된 외란 식별 시스템의 적용 가능성에 대해 추후 연구가 요구된다.

참고문헌

[1] R. C. Dugan, M. F. McGranaghan, and H. W. Beaty, *Electrical Power System Quality*, McGraw-Hill, New York, 1996.
 [2] J. Arrillaga, D. A. Bradly, and P. S. Bodger, *Power System Harmonics*. John Wiley & Sons, New York, 1985.

[3] IEEE Standard 519-1992, *IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems*, Piscataway, N.J., 1992
 [4] S. Santoso, *Application of Wavelet Transform Analysis to the Detection and Localization of Power Quality Disturbances*, M.S. Thesis, The Univ. of Texas at Austin, Aug. 1994.
 [5] W. A. Wilkinson, "Discrete wavelet analysis of power system transients," *IEEE Trans. Power Delivery*, vol. 11, no. 4, pp. 2038-2044, Nov., 1996.
 [6] A. M. Gaouda and M. M. A. Salama, "Power quality detection and classification using wavelet - multiresolution signal decomposition," *IEEE Trans. Power Delivery*, vol. 14, no. 4, pp. 1469-1476, Oct., 1999.
 [7] K. Fukunaga, *Introduction to Statistical Pattern Recognition*, Academic Press, London. 1990.
 [8] M. H. Hassoun, *Fundamentals of Artificial Neural Networks*, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1995.
 [9] H. S. Kim, B. C. Kim and S. W. Nam, "Efficient feature vector extraction for the automatic classification of power system harmonic disturbances." *ICEE'99* vol. 2, pp. 42-45, Hong Kong, Aug., 16-19, 1999.



김 병 철
 1972년 6월 18일생. 1999년 수원대학교 전기공학과 졸업. 1999~현재 한양대학교 전기공학과 석사 과정. 관심분야는 전력 품질 및 신경회로망 응용.



김 현 수
 1972년 7월 3일생. 1998년 한양대학교 전기공학과 졸업. 2000년 동대학원 석사 졸업. 2000년 3월~현재 삼성전자 무선사업부 근무. 관심분야는 신경회로망 응용, 무선 통신.



남 상 원
 1957년 2월 24일생. 1981년 서울대 공대 전자공학과 졸업. 1987년 Univ. of Texas at Austin 졸업(석사). 1990년 Univ. of Texas at Austin 졸업(공박). 1991년 9월 ~ 현재 한양대 공대 전기공학과 부교수. 관심분야는 비선형 신호 및 시스템, 디지털 교차 통계 신호처리, 웨이블릿 이론, 신경회로망 등.