

개선된 실시간 NIALM 기반의 전기 에너지 패턴 분석에 관한 연구

정한상*, 성경상², 오해석¹
¹가천대학교 컴퓨터공학과, ²아이티네이드

A Study on the Analysis of Electric Energy Pattern Based on Improved Real Time NIALM

Han-Sang Jeong^{1*}, Kyung-Sang Sung², Hae-Seok Oh¹

¹Division of Computer Engineering, Gachon University

²Itmade Co. Ltd.

요약 기존의 NIALM 연구들은 부하 식별을 위해 전압 변동은 무시할 수 있고 식별 결과에 영향을 주지 않는다고 가정하기 때문에 일반적으로 전압과 관련된 PF나, 고조파 신호는 부하 식별을 위한 매개 변수로 고려되지 않았으나, 실제 이러한 조건은 스마트 홈 분야에서 NIALM의 응용성이 제한되는 어려움이 만든다. 본 논문의 실험을 통해 부하 모니터링 시스템의 정확성과 신뢰성을 향상시키기 위해 전압과 관련된 매개 변수와 고조파의 특성을 사용해야 한다고 결론을 내렸다.

따라서, 본 논문에서는 홈 네트워크 환경에서 가전기기의 종류 및 전기 에너지 사용량을 효율적으로 분석할 수 있는 개선된 NIALM 방식을 제안한다. 제안된 방식은 가전기기 고유의 특징 및 동작 특성을 분석하고, 일부 가전기기가 가지고 있는 고조파 특성을 인식 매개변수로 활용함으로써 전력 에너지 사용 패턴 분석 및 추적할 수 있게 된다. 본 논문에서 제안된 방식을 통해 홈 네트워크에서 실제 운용되는 가전 에너지 효율성 증대와 스마트그리드 전력 수요관리 시장에 서비스를 제공할 수 있을 것으로 기대한다.

Abstract Since existing nonintrusive appliance load monitoring (NIALM) studies assume that voltage fluctuations are negligible for load identification, and do not affect the identification results, the power factor or harmonic signals associated with voltage are generally not considered parameters for load identification, which limits the application of NIALM in the Smart Home sector. Experiments in this paper indicate that the parameters related to voltage and the characteristics of harmonics should be used to improve the accuracy and reliability of the load monitoring system. Therefore, in this paper, we propose an improved NIALM method that can efficiently analyze the types of household appliances and electrical energy usage in a home network environment. The proposed method is able to analyze the energy usage pattern by analyzing operation characteristics inherent to household appliances using harmonic characteristics of some household appliances as recognition parameters. Through the proposed method, we expect to be able to provide services to the smart grid electric power demand management market and increase the energy efficiency of home appliances actually operating in a home network.

Keywords : energy management systems, Fourier transform; feature analysis; harmonic wave, non-intrusive load monitoring; smart grid, wavelet transform;

1. 서론

전기 에너지의 관리 및 절감은 현재 국내 뿐 아니라

해외에서도 가장 중요한 과제로 인식되어 많은 연구가 이루어지고 있으며, 이러한 노력의 일환으로 IT와 결합된 스마트그리드(Smart Grid) 구축에 많은 투자와 개발

*Corresponding Author : Han-Sang Jeong(Gachon University)

Tel: +82-10-6390-7406 email: jjacji@empal.com

Received March 10, 2017

Revised April 6, 2017

Accepted April 7, 2017

Published April 30, 2017

이 이루어지고 있다. 국가 차원에서는 이러한 스마트그리드를 이용하여 전력의 수요와 공급을 원활하게 조절하여 전력 부족으로 인한 문제를 예방하고자 한다. 또한, 추가적으로 건설되는 발전소의량을 줄여 국가적 예산을 줄이고자 하는 노력을 기울이고 있다[1].

그러나, 이러한 노력과는 달리 스마트그리드의 소비자 부문에서 요구되는 전력 수요는 전기 제품 확산으로 인해 지속적으로 증가하고 있다. 매년 전력 수요량이 최고치를 갱신하고 있는 실정이다. 또한, 늘어나는 전기 수요량을 맞추기 위해 사용되는 석유, 천연가스 및 석탄 등 주요 에너지원은 유한한 자원으로서 고갈될 수밖에 없는 상황에 처해 있다[2]. 뿐만 아니라, 대기 중 오염을 방지하기 위해 많은 국가에서 에너지 보존 및 절감을 위한 법 개정과 인프라 구축 등 세계적으로 중요한 이슈로 부상하고 있다. 이러한 각국의 법 개정 움직임과 같이 산업계에서는 여러 가지 솔루션을 개발하고 있으며, 마이크로 그리드(Micro Grid) 및 에너지 수요 최적화에 많은 관심이 집중되고 있다.

선행 연구에 따르면, 미국의 경우 주거용 및 일반 건물이 전력 소비의 75%를 차지하고 있으며[3], 한국의 경우 산업용이 53%, 일반용과 가정용이 33%의 비중을 차지하고 있으며, 효율적인 에너지 관리 시스템을 통해 전력 소비를 최대 10%~15%까지 줄일 수 있다는 보고가 있다. 즉, 에너지의 관리 및 절감과 효율적인 관리를 위해서는 개별 장비의 에너지 소비를 감지하고 모니터링할 수 있는 기술이 필요하다.

기본적으로 건물의 가전기기 에너지 소비를 모니터링하는 기술은 IALM(Intrusive Appliance Load Monitoring)과 NIALM(Non-Intrusive appliance Load Monitoring) 두 방식으로 구분할 수 있다.

IALM은 각 기기마다 부착된 장치를 이용하여 모든 기기의 소비를 측정하는 방식으로서, 복잡하고 많은 비용과 시간이 소요된다. NIALM은 회로 패널 레벨에서 측정된 것만으로 필수정보를 모니터링하고 탐지 및 추출하는 방식으로서 각 분기별 측정방법과 주회로 측정방법으로 구분할 수 있다.

NIALM은 공간적인 문제와 비용적인 문제를 개선하기 위한 방안으로서 적절히 사용될 수 있으며, 상대적으로 높은 효율성을 가져올 수 있다. 또한, 각각의 가전기기가 고유한 실제 전력 및 무효전력을 소비한다고 가정 한 후, 실제 전력 및 무효 전력이 소비되는 양을 관찰함으로써 어떤 가전기기가 동작 중인지 식별할 수 있다고

하였다[4].

MIT의 시험결과 각각의 가전기기를 분류하는 식별율을 86%까지 끌어 올렸으며, 이후 여러 가지 많은 연구의 결과로 92%이상 식별 율까지 달성하였다[5]. 그러나 기존 연구들은 모두 단일 가전기기의 운영을 고려하였고, 단일 알고리즘과 단일 알고리즘의 조합을 통해 식별 율을 분석한 결과로서 실제 부하의 중복 사용 등과 고조파 성분을 자체적으로 가진 부하의 영향을 고려하지 않아 실제 홈 내에서 운영하는 가전 기기의 동작 상태를 분석하는 분야에서는 응용성이 제한되고 있다.

따라서 본 논문에서는 이러한 문제를 고려하여 주거 건물 에너지 관리시스템을 위한 개선된 실시간 NIALM을 제안한다. 제안하는 방식의 신뢰성을 높이기 위한 방안으로 가전기기의 운용 상태까지 식별할 수 있는 모니터링 알고리즘을 설계하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 고조파 특성 및 NIALM 개념에 대해 제 2장 관련연구에서 살펴보고 제 3장에서는 전체 시스템 구조와 각 모듈들에 대해 다룬다. 제 4장에서는 제안하는 시스템의 주요 실험결과를 살펴보도록 하겠으며, 제 5장에서는 본 연구의 결론과 향후 연구 과제를 통해 제안하는 시스템이 적용되어 질 수 있는 방향을 제시하도록 한다.

2. 관련연구

2.1 고조파 개요 및 특성

우리가 흔히 쓰는 교류는 일정한 주기를 가진다. 우리나라 전류의 주파수는 60Hz인데 1초 동안 60번의 주기를 가진다는 의미한다.

고조파는 n배의 주파수를 말하는데 일정한 주기성을 갖는 파를 분해해보면 가장 기본주파수와 2배, 3배, 4배의 주파수를 포함하는데, 이 배수에 해당하는 주파수가 고조파라고 한다. 즉, 제2고조파, 제3고조파라고 한다.

상용 주파수인 정현파형에 제5고조파와 제7고조파가 합성된 왜곡된 파형을 분해하면 [Fig. 1]과 같다.

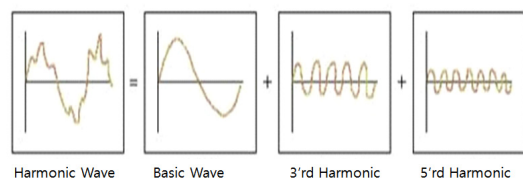


Fig. 1. Example of Harmonic Wave

일정한 주기성의 파형에서 고조파의 에너지가 강하게 되면 파형이 찌그러지게 되고 전력의 품질이 떨어지게 됩니다. 결국 고조파를 억제시키는 것이 품질 좋은 전력을 쓸 수 있다는 뜻이다. 산업화 사회에서 정보화 사회로의 급속한 변화로 인하여 모든 분야에 걸쳐 신속성·편리성 및 효율성의 극대화를 요구하고 있다. 이를 충족하기 위한 제어기술의 발전과 더불어 각종 전력변환장치 등의 연구개발이 가속화되고 있으며, 그 결과 비선형특성을 나타내는 부하설비 등이 급증하고 있다.

그러나 고조파 발생원으로 작용하는 Thyristor(사이리스터(전류 제어 기능을 지닌 반도체 소자(素子))) 이용기기의 급증으로 전력계통의 사고 및 장애발생이 빈번하여 전력 계통 운영에 많은 문제점을 던져주고 있어서 전력 계통 내의 고조파 확대 방지와 고조파 흡수를 통하여 사고를 예방하고 전력의 합리적 사용을 위해서는 고조파 장애 방지 설비의 적용이 불가피한 실정이다. 특히, 변압기·회전기기·스위치기어·캐패시터 뱅크 계통의 전류와 전압에 영향을 주게 된다. 왜곡은 유입되는 고조파 전류의 양(量)과 계통임피던스 특성뿐만 아니라 각각의 부하에 유입되는 고조파전류에 의해서 결정된다.

설비 단위의 측정을 위해서는 개별 설비에 에너지 계측기를 부착하는 것이 가장 확실한 방법이지만, 비효율적인 측면이나 관리적인 측면에서 어려움이 많이 따른다. 이를 해결하기 위해 연구된 방법이 NILM(Non-Intrusive Load Monitoring) 혹은 NIALM(Non-Intrusive Appliance Load Monitoring)이다.

NIALM은 전체 전력 소모량에서 개별기기의 전력 소모량을 분해, 추정하는 기술이다. 해당 기술을 적용하면 N개의 설비에 N개의 계측기를 부착해야하는 기존의 문제를 해결할 수 있다. 각 설비들이 연결된 배전반(Distribution panel)에 최소 1개의 계측기만을 부착하면 되기 때문이다. 이를 통해 에너지 계측기비용을 최소화하고, 관리의 수고로움을 덜 수 있다.

2.2 NIALM 개요 및 기존 연구 결과 분석

2.2.1 NIALM 개요

NIALM(Non-Intrusive Appliance Load Monitoring) 기법은 1980년대 초 미국의 EPRI(Electric Power Research Institute Inc.)와 MIT공대에 의해서 연구된 에너지 모니터링 방법이다[3]. 주 전력선에 연결된 하나의 계측기에서 전력량을 측정하고, 연결된 하위 장치들의

개별 전력 소모 패턴을 추정해내는 기법이다. [Fig. 2]는 NIALM 시스템 기본 구성도를 나타낸 것이다.

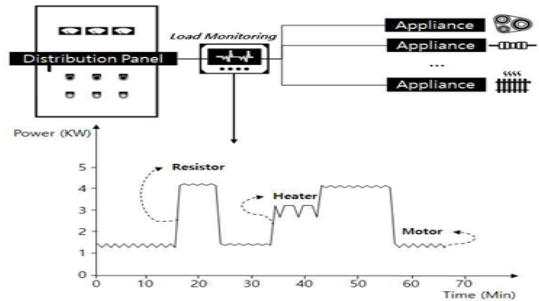


Fig. 2. Structure of NIALM System

NIALM은 지금까지 다양한 방법으로 적용되고 있으나, 초기에 MIT의 Gerge W. Hart에 의해 연구된 것은 개별 장치가 소비하는 전류와 전압을 고속으로 샘플링하여 유효 전력과 무효 전력을 구하는 방법 이었다. 이것을 그 장치가 동작할 때 갖는 고유의 특징(signature)으로 규정하였다. 이 특징의 존재 여부를 기반으로 장치의 on 혹은 off 여부를 판단하였다[4].

일반적인 NIALM 알고리즘은 [Fig. 3]과 같은 순서로 적용된다[5].



Fig. 3. Flow Chart of General NIALM Algorithm

첫 번째, Load Monitoring 부하 모니터링은 NIALM 알고리즘 적용을 위한 첫 단계이다. 측정 방법과 샘플링 속도, 계측 타입 등을 결정해야 한다.

두 번째, Event Detection 이벤트 탐색은 설비들의 작동 상태를 파악하는 것으로 각 설비 특성에 기반 하기 때문에 효율적인 전략 수립이 필요하다.

세 번째, Feature Extraction 특징 추출은 NIALM 알고리즘에서 학습을 위해 State들의 상태에 대해 정의하는 것이다.

네 번째, Classification 분류는 추출된 특징들을 기반 하여 각 특성에 맞게 신호들을 분류하는 것이다.

2.2.2 NIALM 기존 연구 결과 분석

NIALM은 각각의 부하를 개별로 측정하기 위한

IALM의 저비용 대안으로 1980년대에 MIT에서 제안되었다. Load Signature 인식 정확성의 중요성 때문에 NIALM에서 부하 식별의 정확성을 제고하기 위한 많은 연구가 이루어졌다.

Hart에 의해 제안된 초기 접근법은 정상 상태 동작을 기반으로 하는 기기의 상태를 확인하였고, 각 단계 변화에 따라 전력 소모가 각기 다른 단일 장치를 나타내기 위해 유한상태를 개념화하였다. 그러나 이 방식은 몇 가지 단점을 보유하고 있는데, 가전기기 부하가 항상 켜져 있거나 전력의 불연속적인 변화가 없는 작은 에너지의 가전기기는 감지하지 못했다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 Ducange et al은 유한 요소법과 퍼지 전이 알고리즘의 융합을 통해 기기를 식별하는 방식을 제안했다. 이 방법은 유효전력과 무효전력과 같은 전력 파라미터의 변화를 분석함으로써 임의의 주어진 시간에 기기의 작동 상태 변화를 감지할 수 있도록 고안된 방식이다. 그러나 이 방식은 여러 가지 가전기기 부하를 인식할 수 있는 가능성을 얻었지만 원하는 불규칙 결과를 같이 생산하여 인식률의 오차를 만들어 냈다[6].

가전기기의 인식률과 계산시간의 효율성을 향상시키기 위해 입자군 최적화(PSO)와 인공 신경망(BP-ANN)을 이용한 방법도 고안이 되었는데 이 방법에서는 NIALM에서의 환경조건을 정상상태로만 가정하고 유효전력과 무효전력을 기반으로만 사용하였다[7]. 이러한 방법은 연구결과로서는 상당히 높은 인식 정확도를 보여주기는 하지만 실제 환경에서는 그 결과를 보장하기 어려운 문제를 안고 있다. 즉, 일반적으로 전기를 사용하는 기기들은 동작상태 및 내부 부하의 종류에 따라 유사한 형태의 전력패턴을 보이거나 고조파 성분들을 가지는 부하들이 많기 때문에 활용에 어려움이 있다. 수용가에서 사용하는 민감한 장비나 프로세스의 올바른 동작을 위해 점점 더 높은 수준의 전력품질을 요구하고 있는데 이를 개선하기 위해 많은 연구들이 진행되고 있다. 특히, 순간 전압(sag, swell), 고조파(Harmonics), 전압불평형(Unbalance), 순간정전, 과도전압변동(Transient), 플리커(Flicker)에 대한 측정과 평가 등이 중요한 이슈로 부각되었다. 최근의 연구에서는 이러한 특성중 과도전압변동이 NIALM에 미치는 영향들에 대한 연구도 진행되기 시작했다[7].

이러한 전력 품질의 요인 및 파라미터들이 NIALM의

인식률에 미치는 영향에 대한 연구가 지속적으로 진행되고 있다.

3. 제안 NIALM 시스템

제안하는 시스템의 특성평가를 위해 냉장고, 형광등, 진공청소기, 전자레인지 등을 대상으로 하였다. 본 논문에서는 스마트 홈내에서의 가전기기에 대한 모니터링을 수행하기 위해 기존의 스마트 홈에서 구성되어 있는 전기 배선을 적용하였다. 가전기기의 운용 상태를 식별할 수 있는 모니터링 수행을 위해 분전반 내의 주차단기(MCCB 52AF, 50A) 부하 선에 시스템을 연결하여 [Fig. 4]와 같은 시스템을 구성하였다.

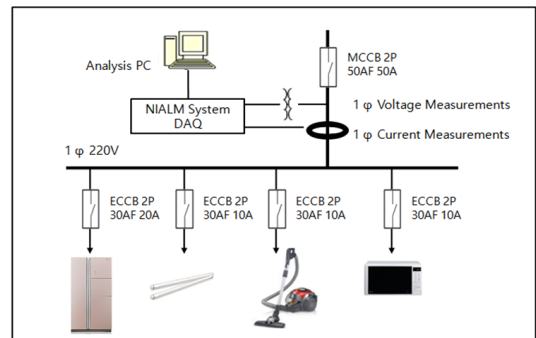


Fig. 4. System Structure

주차단기를 거쳐 분기 차단기로 분배되는 배선에 NIALM을 위한 센서를 설치하였으며, 센서는 Current Transformer(1:1000)를 사용하였고, 부하기기를 보호하기 위해 기존 스마트 홈내에서 구축된 구조와 동일하게 ELCB(Earth Leakage Circuit Breaker)를 사용하였다.

NIALM을 수행하기 위한 계측 DAQ(Data Acquisition)의 세부 구성은 전압 및 전류 파형을 얻기 위해 NI에서 개발한 데이터 수집 모듈 (DAQ) NI USB-6009과 데이터 수집, 가공, 처리하기 위한 모니터링 PC로 구성하였으며, 관련 데이터 처리 프로그램을 구현하기 위해 LABVIEW 2015와 MATLAB을 이용하였다. 데이터 처리 구성의 상세도는 [Fig. 5]와 같다.

전압의 변화를 측정하기 위해 출력 PT(Potential Transformer, 0~20mA)과 전류를 측정하기 위해 CT(Current Transformer, 1000:1)을 사용하였으며, 사용

하였으며 이러한 센서를 통해 나온 출력은 DAQ (NI USB-6009) Differential Channel로 공급되어 16비트 분해능으로 디지털로 변환된다. 2개의 DAQ 채널은 120kS/s의 변환 속도와 ±200mV의 Full Scale로 구성하였고, 이 구성을 사용하여 7mV_{RMS}분해능으로 최대 230V_{RMS}의 전압을 측정하고 458A_{RMS}분해능으로 최대 15A_{RMS}의 전류를 측정하였다.

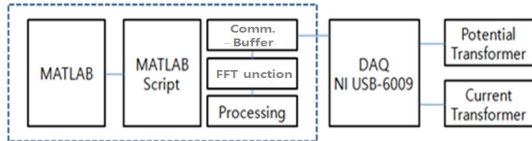


Fig. 5. Data Processing Structure

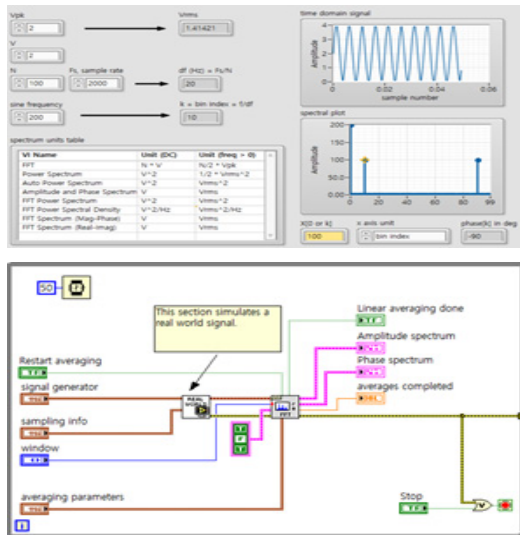


Fig. 6. FFT Processing in LABVIEW

측정된 데이터가 LabVIEW를 통해 [Fig. 6]과 같이 프로세싱이 끝나면 MATLAB 스크립트를 사용하여 RMS 전압, RMS 전류, 능동, 반응 및 피상 전력, 역률 및 현재 신호의 1차 고조파를 최대 25까지 계산하였다.

각각 MATLAB에서 구현한 파라미터 계산식은 다음과 같다.

실효전압은

$$V_{RSM} = G_v \sqrt{\sum_{n=1}^N \frac{v[n]^2}{N}} \quad (1)$$

유효전력은

$$P = G_i * G_v \sum_{n=1}^N \frac{i[n]*v[n]}{N} \quad (2)$$

피상전력은

$$VA = VRMS * IRMS$$

여기에서 PF(Power Factor)의 계산은 $\text{Cos}\Phi = P/VA$ 전류 신호의 고조파 성분의 유효 값은 Discrete Fourier Transform의 고전적 방정식을 기반으로 한 공식을 사용하여 계산하였으며, 수식은 다음과 같다 [7].

$$|I[k]_s| = \frac{\sqrt{\text{Re}\{I(k)\}^2 + \text{Im}\{I(k)\}^2}}{N} * G_i * \sqrt{2} \quad (3)$$

k는 고조파 성분의 지수, $|I[k]_{RMS}|$ 는 k 번째 고조파의 모듈의 실효값이고 $\text{Re}\{I[k]\}$ 와 $\text{Im}\{I[k]\}$ 는 각각 k번째 고조파 성분의 실수부와 허수부이며, $\text{Re}\{I[k]\}$ 와 $\text{Im}\{I[k]\}$ 는 다음 식에 의해 특정 지어질 수 있다.

$$\text{Re}\{I[k]\} = \sum_{n=1}^N i[n] * \cos\left(\frac{2\pi kn}{N}\right) \quad (4)$$

$$\text{Im}\{I[k]\} = \sum_{n=1}^N i[n] * \sin\left(\frac{2\pi kn}{N}\right) \quad (5)$$

이렇게 산출된 각종 전기 관련 파라미터들은 PF(Power Factor), DC(Duty Cycle), SO(Slop of On state), VO(Variation On state), ZC(Zero Crossing), DC, VO 및 ZC의 조합과 FI(Fourier Index)의 8가지 특징으로 표시되며, KNN(K-Nearest Neighbor) 분류자와 NB(Naive Bayesian) 분류자를 사용하여, 14개의 후보군을 유도해내고, 다중적 다중 알고리즘 방법을 사용하여 이러한 잠재적 솔루션을 평가하였다. 다중적 다중 알고리즘 방법의 성능은 단순 신호 기능 알고리즘보다 우수한 특징을 보인다[7].

[Fig. 7]에 기존의 다중적 다중 알고리즘을 개선할 수 있도록 PF, FI를 반영한 적용한 다중적 알고리즘을 나타내었다.

4. 실험결과 및 분석

본 연구에서는 NIALM을 기반으로 한 전력 에너지 모니터링을 수행하기 위해, 기존 스마트홈내에서 운영되는 가전기기들의 동작특성 및 부하특성을 측정하였다.

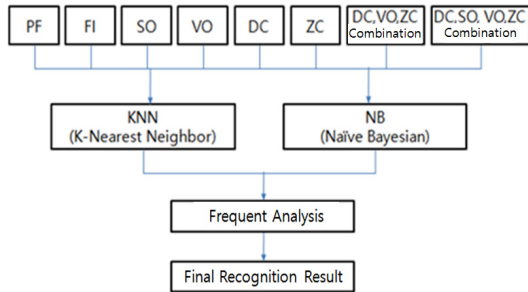
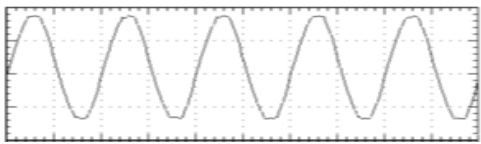


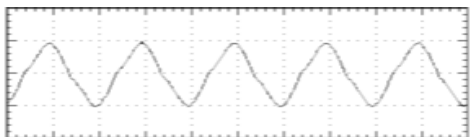
Fig. 7. A New Multiple Algorithm

4.1 실험 관련 선행 사례 분석

우리 주변에서 자주 사용하는 대표적인 가전기기(에어컨, 백열등, 레이저 프린터)의 선행 부하 특성은 [Fig. 8]에서 보는 것과 같이 일정한 패턴을 가지고 있다.



a. Typical voltage characteristics of a household appliance load



b. Typical current characteristics of a household appliance load

Fig. 8. Example of Linear Load Characteristics

그러나 스마트 홈 내 가전기기에서 일어나는 전기의 부하 패턴은 이상적인 형태와 다르게 나타나며 실제 몇몇 가전기기의 특성은 분석하기 어려운 환경을 만들어 내기도 한다. 대표적인 사례는 진공청소기와 같은 경우인데 [Fig. 9]에서 보는 바와 같은 형태를 가진다.

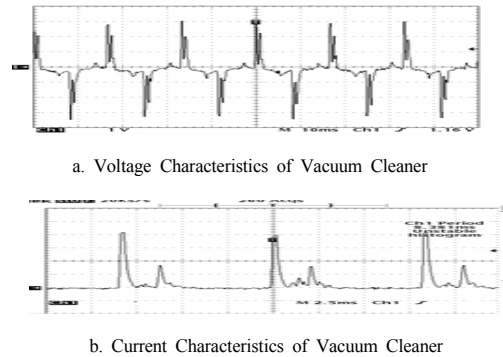
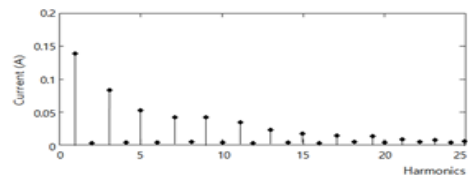


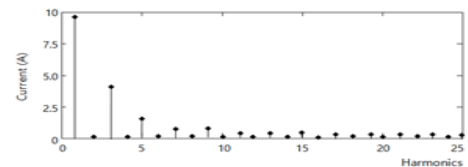
Fig. 9. Example of Vacuum Cleaner Load Characteristics

실제 스마트 홈 내에서 자주 발생하는 현상인데, 이러한 현상에 영향을 미치는 이유는 가전기기 부하의 전원 동작 구동방법 때문이다. 주로 인버터를 사용하거나 내부에 코일 부하 그리고 고주파를 사용하는 가전기기들에서 많이 나타난다. 이러한 가전기기로서는 냉장고, 진공청소기, 형광등, 전자레인지 등이 대표적이다. 이러한 가전기기들의 부하 특성은 기존 표준 기기에 대한 성분만을 고려한 NIALM에서 제안한 방안들이 다소 효과적이지 못함을 보여주는 결과를 나타낸다.

NIALM의 인식률에 영향을 미치는 이러한 가전기기 부하들은 특정 고조파 특성을 가지는데 이러한 영향을 분석하기 위해 FFT처리를 하였으며 [그림 10]에서 보는 것과 같은 수행 결과를 보인다.



a. Fluorescent lamp 23W



b. Microwave Oven

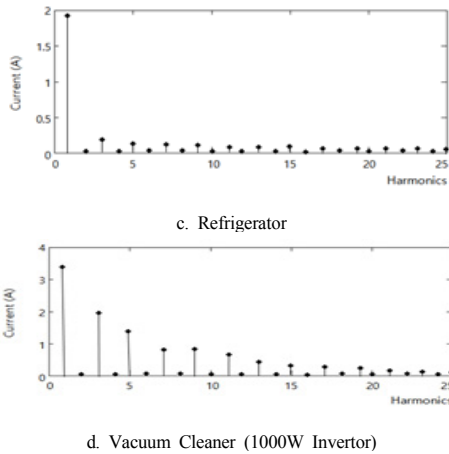


Fig. 10. FFT processing result of Appliance

위의 결과를 분석하면, 각각의 가전기기가 독특한 고조파 특성을 지니고 있는데, 이 특성을 이용하면 고조파 특성을 가진 제품의 종류 및 전기 에너지 사용량을 인식할 수 있다. 즉, 고조파 특성을 가지는 가전기기에 대해 FFT를 통한 고조파 특성 분석 파라미터로서 그 기기의 종류를 인식할 수 있다는 것을 나타낸다.

실험결과에서 보듯이 NIALM에 있어서 고조파 성분을 지니고 있는 가전기기의 인식과 에너지 사용량을 분석하기 위해서는 고조파의 영향 및 분석이 수행되어야 하며, 파라미터는 인식을 향상에 반드시 필요한 요소라는 것을 확인 할 수 있다.

따라서 본 논문에서는 FFT 처리를 통해 나온 결과 데이터를 기반으로 기존 NIALM 방식에 적용함으로써 개선된 시스템을 구현할 수 있었다.

4.2 실험 환경

본 논문에서는 선행 사례에서 살펴본 내용을 토대로 개선된 시스템의 성능 검증을 위해 실험 환경을 마련하고 테스트를 수행하였다.

[표 1]처럼 위의 FFT Processing을 거친 4가지 가전 기기로 선별하였으며, 가전기기별 20번의 반복 인식을 시험을 진행하였고 인식된 예측치를 비교하여 그 정확도를 분석하였다.

Table 1. Test Sample of Appliance

Appliance	Capacity (Watt)	Fourier Index	Character
Fluorescent	23	1,3,5,7,9,11	220V, 60Hz
Micro Oven	1100	1,3,5,7	220V, 60Hz
Cleaner	1000	1,3,5,7,9,11	220V, 60Hz
Refrigerator	1000	1,3,5	220V, 60Hz

4.3 실험 결과

본 장에서는 FI(Fourier Index)와 PF(Power Factor)를 고려하지 않는 것과 주요 파라미터로 사용하여 테스트한 결과 데이터를 비교함으로써 제안하는 논문의 적정성 및 신뢰성을 검증할 수 있었다.

Table 2. Test Result without using FI, PI

	Fluorescent	Refrigerator	Cleaner	Micro Oven
Fluorescent	5	4	0	0
Micro Oven	0	20	0	0
Cleaner	0	0	11	9
Refrigerator	0	0	12	8

[Table 2]는 FI(Fourier Index)와 PF(Power Factor)를 고려하지 않고 진행한 NIALM의 인식률 결과로서, 냉장고를 제외한 다른 가전기기의 인식률은 현저히 떨어져 있다. 이러한 패턴을 분석한 결과, 형광등의 경우 부하량이 적은 전기적 특성 변화로 인식하는 정도가 저하되는 것으로 판단된다. 진공청소기와 전자레인지의 경우 유사한 전류 소모 패턴을 가지고 있는 전기적 특성 때문에 혼재된 결과 값을 나타내는 것으로 판단된다.

Table 3. Test Result using FI, PI

	Fluorescent	Refrigerator	Cleaner	Micro Oven
Fluorescent	20	0	0	0
Micro Oven	0	20	0	0
Cleaner	0	0	18	2
Refrigerator	0	0	19	1

[Table 3]은 FI(Fourier Index)와 PF(Power Factor)를 주요 파라미터로 사용한 결과로서 시험 대상들이 가지는 고유 고조파 특성을 고려하여 분류된 데이터다. 결과에서 보듯이 유사한 패턴을 보이는 진공청소기와 전자레인지에서도 인식률이 뚜렷해지는 결과를 만들어 냈다.

실험결과에서 보듯이 NIALM에 있어서 고조파 성분

을 지니고 있는 가전기기의 인식과 에너지 사용량을 분석하기 위해서는 고조파의 영향 및 분석이 수행되어야 하며, 파라미터는 인식을 향상에 반드시 필요한 요소라는 것을 확인 할 수 있었다. 즉, FI와 PF가 고려되지 않은 상태에서의 고조파 성분을 갖는 부하기기의 인식률은 60% 수준에 미치지 못하는 결과를 보인 반면에 FI와 PF를 고려한 다중적 다중 알고리즘이 90% 이상의 인식 성공률을 확인하였다.

따라서 본 논문에서 제안하는 FFT 처리를 통해 나온 결과 데이터를 기반으로 기존 NIALM 방식에 적용함으로써 홈 네트워크에서 실제 운용되는 가전 에너지 효율성 증대와 스마트그리드 전력 수요관리 시장에 서비스를 제공할 수 있을 것으로 기대한다.

5. 결론

20년 전에 NIALM 시스템을 사용한 첫 번째 연구가 시작되었지만 부하 분산에 가장 적합한 전기량에 대한 고려가 이루어지지 않았었으며, 많은 연구들이 가전기기의 이상 상태에 대한 NIALM의 특성 연구에 집중에 왔다.

기존의 연구들은 부하 식별을 위해 전압 변동은 무시할 수 있고, 식별 결과에 영향을 주지 않는다고 가정하기 때문에 전압과 관련된 PF(Power Factor)나 고조파 특성 신호는 부하 식별을 위한 매개 변수로 고려되지 않았다.

그러나 본 실험에서 그것이 사실이 아니며 전압 신호의 변화와 고조파의 존재로 인해 부하의 식별이 어려워지는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 부하 모니터링 시스템의 정확성과 신뢰성을 향상시키기 위해 전압과 관련된 매개 변수와 고조파의 특성을 사용해야 한다는 결론을 내렸다. 즉, 실질적이고 효과적인 NIALM을 구축하기 위해서는 반드시 고조파 성분과 전압의 변동 성분을 반영하여야만 실질적인 NIALM이 구축될 수 있다.

본 연구에서는 연구 대상인 NIALM의 적합한 전기 매개 변수를 적용함으로써 실제 고조파 특성을 지닌 가전기기의 인식률을 높은 수준으로 끌어 올릴 수 있었다. FI와 PF가 고려되지 않은 상태에서의 고조파 성분을 갖는 부하기기의 인식률은 60% 수준에 미치지 못하는 결과를 보였고, 동일한 기기에 대해 FI와 PF를 고려한 다중적 다중 알고리즘이 90% 이상의 인식 성공률을 보임을 확인하였다.

향후, 에너지 절감 효과를 기대할 수 있는 홈 네트워크 시스템을 구축하기 위해서는 본 논문에서 제안하는 개선된 NIALM 방식을 기반으로 다양한 측면에서의 연구가 뒷받침 되어야 할 것이다.

References

- [1] Chan-Kuk, Park "Trends and Implications of Smart Grid in Major Countries," The Energy & Climate Change. Energy Management Corporation, Korea, 2013.
- [2] Bureau of Energy "Long-Term Demand Forecast and Energy Report," Technical Report for Ministry of Economic Affairs: Taipei, Taiwan, 2011.
- [3] G. W. Hart, "Nonintrusive appliance load monitoring," Proc. IEEE, vol. 80, no. 12, pp. 1870 - 1891, USA. 1992. DOI: <https://doi.org/10.1109/5.192069>
- [4] Building Energy Data Book; United States Department of Energy: Washington, DC, USA, 2009.
- [5] Lu-Lulu, Sung-Wook Park "Electric Load Signature Analysis for Home Energy Monitoring System," International Journal of Fuzzy Logic and Intelligent Systems, vol. 12, no. 3, pp. 193-197, Korea 2012. DOI: <http://doi.org/10.5391/IJFIS.2012.12.3.193>
- [6] Ducange, P.; Marcelloni, F.; Michela, A. A Novel "Approach Based on Finite-State Machines with Fuzzy Transitions for Nonintrusive Home Appliance Monitoring," IEEE Trans. Ind. Appl, 1185 - 1197, Italy, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1109/TII.2014.2304781>
- [7] Hsueh-Hsien Chang, "Non-Intrusive Demand Monitoring and Load Identification for Energy Management Systems Based on Transient Feature Analyses," Energies 4569-4589, Taiwan, 2012.
- [8] Mario Berges, Ethan Goldman, H.Scott Matthews, Lucio Soibelman, "Learning System for Electric Consumption of Building," Carnegie Mellon University, 2007.

정 한 상(Han-Sang Jeong)

[정회원]



- 1997년 8월 : 아주대학교 공과대학원 신소재학과 (공학석사)
- 2016년 12월 : 가천대학교 공과대학원 컴퓨터공학과 (박사과정 수료)
- 1999년 4월 ~ 2006년 2월 : DB 정보통신 책임연구원
- 2008년 9월 ~ 현재 : ㈜대륙 기술연구소 소장

<관심분야>

인공지능, 정보통신, 통신 Network

성 경 상(Kyung-Sang Sung)

[정회원]



- 2003년 8월 : 숭실대학교 대학원 컴퓨터학과 졸업(석사)
- 2009년 2월 : 경원대학교 대학원 컴퓨터학과 졸업(박사)
- 2009년 6월 ~ 2012년 6월 : CST 컨설팅 사업부 선임연구원
- 2013년 4월 ~ 2015년 7월 : SK Infosec 컨설팅 사업부 수석컨설턴트
- 2015년 8월 ~ 현재 : 아이티네이드 보안관제2팀 팀장

<관심분야>

정보보호, 멀티미디어, 머신러닝과 빅데이터

오 해 석(Hae-Seok Oh)

[정회원]



- 1975년 2월 : 서울대학교 공과대학 졸업
- 1989년 2월 : 서울대학교 대학원 졸업(전산학 박사)
- 1982년 3월 ~ 2003년 8월 : 숭실대학교 전자계산학과 교수
- 2003년 9월 ~ 현재 : 가천대 컴퓨터공학과 교수

<관심분야>

머신러닝, 정보 보안, 빅데이터