

NIALM 기반의 스마트 홈 안전관리시스템에 관한 연구

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

A Study on the Smart Home Safety Management System Based on NIALM

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

¹Division of Computer Engineering, Gachon University

²Itmade Co. Ltd.

요약 기존의 전기 에너지 및 관리에 필요한 정보를 취득하기 위해 적용하였던 계측방식은 공간적인 문제와 시스템의 크기로 인해 신규 건축물 또는 교체가 가능한 지역에만 한정되었었다. 이러한 전기 부하관리 방법은 취약지구나 기존 기 구축되어 있는 가정 또는 사무실의 에너지 및 안전관리에 적용하기에 문제가 있다. 즉, 모든 분기마다 계측 모듈을 설치하는 문제로 인해, 그 시스템의 크기가 너무 크고, 계측모듈을 설치하더라도 부하의 종류를 인식하지 못해 효율적 관리가 이루어지지 않으며 많은 비용이 발생하고 있어서 보급에 어려움을 겪고 있다. 특히, 한국의 전통 재래시장 및 낙후된 시설 등에는 적용하기 매우 어려운 실정이다.

본 논문에서는 이러한 문제점을 개선하기 위해 NIALM 기술과 아크 감지기술을 적용하여, 정상적인 아크발생에 대한 NIALM의 적용가능성을 검증하고자 한다. 또한, 검증 결과를 기반으로 재래시장 및 기존 가정내 안전관리장치에 적용할 수 있는 효율적인 전기안전관리가 가능한 새로운 개념의 스마트 홈 안전관리 시스템을 제안한다.

제안된 시스템은 기존에 적용된 안전관리시스템과의 비교 성능 시험을 진행하였고, 기존 시스템 대비 40%의 공간내에서 기존 시스템에서는 불가능하였던 4가지 부하에 대한 부하인식을 95%이상 달성하였고, 또한 기존 시스템과 같은 아크 감지 기능을 확인하였다.

Abstract Due to spatial problems and system size, conventional measurement methods used to acquire the information needed for existing electrical energy and management have been limited to new buildings or areas where replacement is possible. This electric load management method is problematic when applying it to energy and safety management of vulnerable areas or existing homes or offices. The problem with installing a measurement module in every branch is that the system is too large. Even if the measurement module is installed, the type of load is not recognized, and efficient management is not performed. In particular, it is very difficult to apply it to traditional markets and backward facilities in Korea.

In this paper, we apply NIALM technology and arc detection technology to solve these problems and verify the feasibility of NIALM for normal arc generation. Also, based on the verification results, we propose a new smart home safety management system that can effectively manage electrical safety and that can be applied to conventional market and existing home safety management systems.

The proposed system conducts a comparative performance test with an existing safety management system. In addition, it achieves 95% or more load recognition for four loads, which is impossible in 40% of the existing systems, and the arc detection function was confirmed.

Keywords : arc detection, distribution board, feature analysis, Fourier transform, harmonic wave, non-intrusive load monitoring, wavelet transform, smart grid

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

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

Received July 12, 2017

Revised August 16, 2017

Accepted August 17, 2017

Published August 31, 2017

1. 서론

NIALM 기술은 1980년대에 MIT 공대 존 하트에 의해 개발된 이후 많은 실험과 다양한 개선을 거쳐 실생활에 적용할 수 있는 수준으로까지 개선되어 왔다[1]. 초기 NIALM 기술은 가전기기의 종류만을 예측할 수 있는 수준이었지만, 많은 선행 연구들이 이를 개선시킬 수 있는 방법 및 고조파의 영향을 고려한 개선된 방법 그리고 삼상 전력에서의 NIALM 시스템 등이 제안되어 현재 DR(Demand Response) 시장에 적합한 모델들로 발전해 왔다[2]. 특히, 스마트그리드와 DR시장의 변화, 이산화탄소 규제와 같은 환경의 변화는 이러한 모델들이 현장에 더 적합하게 사용될 수 있도록 하는 연구의 기반을 제공하고 있다.

이러한 NIALM 기술은 신규 시설물 및 시스템을 구축하는 곳에도 적합하지만, 이미 구축되어 있는 시스템의 에너지 패턴에 관한 분석에도 많은 유리한 점을 가지고 있다. 특히, 국내에 설치되어 있는 가정용 스마트 홈 분전반의 경우 그 설치 면적이 매우 작고, 추가적으로 장비를 설치할 수 있는 공간이 부족한 곳에 적합하다.

현재, 스마트 홈 내의 에너지 관리와 안전관리를 위해 사용하고 있는 방식은 홈 분전반 내에 메인 차단기(MCCB)와 분기 차단기(ELCB)를 설치하고 있다. 이는 가정 내 과전류 및 누설전류 등을 보호하고 각종 부하기기의 안전 정도를 분석하는데 활용되고 있으며, 더불어 스마트 홈 분전반이라는 형태로 연구가 진행되고 있다.

이러한 가정 내 화재 예방을 위한 스마트 홈 분전반에 대한 연구는 아크를 예측하고 이를 관리하는 시스템으로서 별도의 분야로 연구되고 있다. 각종 시범사업을 통해 그 결과를 검증하여 적용사례 또한 늘어나고 있으며 관련 표준화를 위한 활동이 활발하게 진행되고 있다[3].

대부분의 가정 내 화재관리시스템에 대한 연구 모델은 각종 분기에 대한 전력관리와 안전관리를 강화하는 목적으로 연구가 진행되어 왔다. 이러한 연구의 일환으로 전기안전공사에서는 시범사업으로서 전통한옥마을의 안전관리 시스템 구축, 문화재청 주관의 중요 문화재 관리 시스템, 그리고 조계종 사찰에 대한 화재예방 안전관리 시스템 등을 구축하여 운영해 오고 있다.

그러나 이러한 시스템은 모든 분기마다 계측 모듈을 설치하는 문제와 시스템의 크기가 너무 크다는 단점을 가진다. 또한, 계측모듈을 설치하더라도 부하의 종류를

인식하지 못해 효율적 관리에 어려움이 있으며, 비용이 많이 발생하고 있어 보급에 어려움이 있다. 특히, 이러한 모델은 신규 건축물의 경우 초기 설계에 반영하여, 에너지의 관리 및 화재 예방 등과 같은 관리 시스템을 적용할 수 있지만, 한국의 전통 재래시장, 전통 마을, 그리고 낙후된 시설 등에는 적용하기 매우 어려운 실정이다.

이에 대한 대안으로서 저렴한 비용과 효율적인 방법으로 가정 내의 에너지 관리를 할 수 있는 NIALM 기술이 상당히 적합한 모델로서 연구되어 오고 있지만, 이는 가정 내에서 주요 화재 원인인 아크의 발생 감지 및 관리적 측면에서는 고려하지 않고 있다.

본 연구에서는 위와 같은 문제를 개선하기 위해 NIALM 기술을 기반으로 소형화, 집적화 할 수 있는 에너지 관리 방안을 제시하고, 화재 예방을 위한 아크 검출 기술을 접목함으로써 새로운 NIALM 기반의 스마트 홈 에너지관리 및 안전관리 시스템을 제안한다.

2. 관련연구

2.1 아크의 개요 및 특성

일반적으로 화재는 연료(fuel), 열원(heat), 산소(air) 세 가지 요소가 존재할 때 발생하는데, 사무용 건물이나 가정에서 발생하는 전기화재는 세 가지 요소 중 열원으로 인한 경우가 대부분이다. 열원의 발원은 전기에너지가 야기하는 전기적 아크와 스파크 그리고 과부하에 의한 전선의 과열이라 할 수 있다.

아크란, 기체 중에 설치한 두 개의 전극 사이에 전압을 건 경우에 발생하는 강한 빛을 말한다. 아크가 발생하는 중에는 기체를 통하여 양전극 사이에 전류가 흐르고 있는 상태이므로, 전류가 흐름으로써 도전성이 유지되는 특징을 가진다.

비록 아크가 본질적으로 불안정한 현상으로서 화재를 야기할 만큼 오래 지속되지 않는 것이 일반적이기는 하지만, 아크는 통상적인 발화물질의 발화점 이상의 온도(10000~15,000℃)를 이따금 가져올 수도 있으며 이에 따라 전기화재를 야기할 수 있다.

과전류 계전기를 사용하여 전기적 과부하 상태를 방지할 수 있다. 그러나 아크로 인한 전기화재를 예방함에 있어서는 일반적으로 효과를 발휘하지 못하는데, 과전류 계전기가 절환되는 전류레벨보다 낮은 레벨에서 아크가 발생하고 지속되기 때문이다.

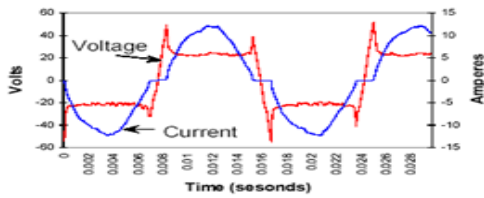


Fig. 1. typical arc waveform

전형적인 아크의 파형은 Fig. 1과 같이 나타나며 전압 파형은 직사각형의 형태를 띠고, 전류파형은 거의 평탄한 0 전류 구간(Shoulder 영역)이 생긴다.

아크는 일반적으로 정상상태의 전기적 특징이 아니므로 아크 발생 시 전기적인 특징이 변하게 된다. 아크는 Hz에서 수MHz에 이르기까지 다양한 형태의 고주파를 형성하고 일정한 전류와 전압을 가지지 않는다. 아크의 발생이 지속적으로 발생하면 전압과 전류의 형태는 많은 변화가 없으나 아크가 발생하는 부분에서는 고열이 발생할 것이다. 아크는 순간적인 임펄스 파형이 크며 다양한 형태의 주파수 중에서도 고주파에 의한 고열이 발생될 수 있으므로 전선의 열화에 큰 영향을 미치게 된다. 즉, 아크는 전압과 전류 궤적에서 높은 주파수의 잡음을 볼 수 있고 아크에 걸친 전압 강하가 생길 수 있다는 특성을 가진다.

2.2 가전기기의 아크 특성

일반적인 가정에서 사용되는 선형 부하의 특성은 Fig. 2와 같은 전기적 특성을 지닌다.

2.3 기존 연구 결과 분석

2.3.1 NIALM 관련 연구

NIALM(Non-Intrusive appliance Load Monitoring)은 에너지 패턴 분석을 수행하기 위해 비탐침 계측방법의 일환으로서 개발되었으며, 초기 연구는 각각의 부하를 개별로 측정하기 위한 IALM(Intrusive Appliance Load Monitoring)의 저비용 대안으로 1980년대에 MIT에서 제안되었다.

인식 대상 기기의 정상상태를 고려한 Hart의 초기 연구는 가전기기 부하가 항상 켜져 있거나 전력의 불연속적인 변화가 없는 작은 에너지의 가전기기는 감지하지 못하는 문제점을 보유하고 있었다. Ducange et al. 연구에서 유한 요소법과 퍼지 전이 알고리즘의 융합을 통해 기기를 식별하는 방식 등을 이용하여 인식율을 높은 방

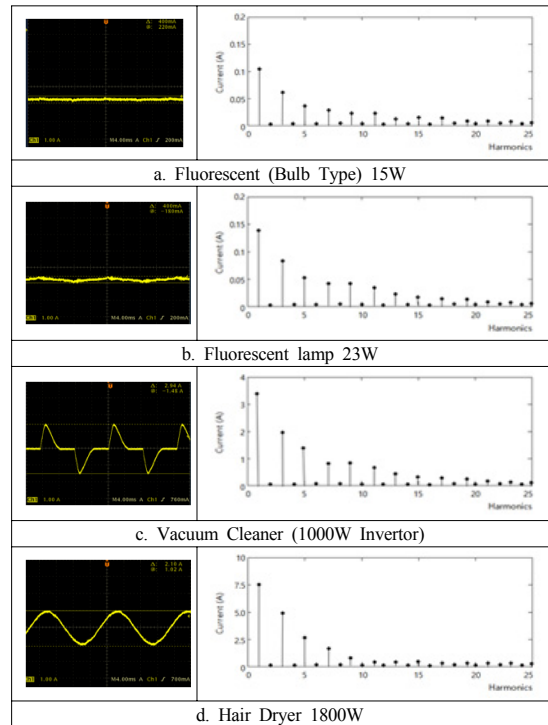


Fig. 2. Electric Characteristic of Appliances

안이 제안되었다. 이 방법은 유효전력과 무효전력 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 원하지 않는 불규칙 결과를 같이 생산하여 인식률의 오차를 만들어 냈다[4].

가전기기의 인식률과 계산시간의 효율성을 향상시키기 위해 입자군 최적화(PSO)와 인공 신경망(BP-ANN)을 이용한 방법도 고안이 되었다. 이 방법은 연구결과로서는 상당히 높은 인식 정확도를 보여주었으나, NIALM에서의 환경조건을 정상상태로만 가정하고 유효전력과 무효전력을 기반으로만 사용하는 등 실제 환경에서는 그 결과를 보장하기 어려운 문제를 안고 있었다[5].

이 후 NIALM 기반의 에너지 패턴분석에 대한 연구는 단상을 주로 사용하는 가정용 에너지 패턴 분석과 산업용에 사용되는 3상 전력에서의 에너지 패턴 분석에 이르기까지 분야를 넓히고 Load Signature 식별의 정확성을 제고하기 위한 많은 연구가 이루어졌다[6].

특히, 순간전압(sag, swell), 고조파(Harmonics), 전압 불평형(Unbalance), 순간정전, 과도전압변동(Transient),

플리커(Flicker)에 대한 측정과 평가 등이 중요한 이슈로 부각되었으며, 과도전압변동이 NIALM에 미치는 영향에 대한 연구도 진행되기 시작했다.

최근 들어, 스마트 홈 내에서의 효율적인 에너지 관리를 위해 NIALM의 패턴 인식율을 높이는 방법으로 전력 품질의 요인 및 파라미터들이 NIALM의 인식률에 미치는 영향에 대한 연구가 지속적으로 진행되고 있다. 특히, 고조파 성분에 의해 NIALM의 패턴 인식율이 영향을 받기 때문에 이를 개선할 수 있는 방안으로 Parameter와 고조파, Power Factor를 반영한 다중적 알고리즘을 적용함으로써 높은 인식율을 얻을 수 있었다[7].

전기를 사용하는 환경은 기존 NIALM의 분석기반으로 활용하던 표준 부하기기의 환경과는 많이 다르다. 실제 고조파와 아크 발생과 같은 실제 영향으로 인한 인식 결과에 부정적인 결과를 초래하며, 아크와 같은 전기 환경 하에서는 실제적인 적용을 위한 연구가 더 이루어져야 한다.

고조파의 경우 FFT 분석을 통해, 일정 양상의 특이점 추출이 가능하지만, 아크의 경우 단시간내에 나타나는 것이 많고, 이들의 특성이 대부분 반복 특성을 보이지 않고 있기 때문에 NIALM에서의 패턴분석에 부정적 영향을 끼치며 화재를 일으킬 수 있는 잠재적 요인으로 작용한다.

본 연구에서는 이러한 아크가 NIALM에 미치는 영향을 고려하여 개선된 방식을 제안할 것이다.

2.3.2 안전감시 시스템

2014년도에 발생한 가정이나 상가단위의 화재의 경우, 전체 42,135건의 화재 중, 전기적 요인에 의한 화재는 전체의 22%에 해당하는 9,445건이 발생하였고, 이중 80% 이상의 원인이 과부하/누전, 아크 등과 같은 관리 가능한 부문에서 7,556건이 발생하였다[8].

외국 사례의 경우, 이러한 시스템이 현재 제안되어 지지는 않고 있으나, 미국의 경우 가정내 전기에 대한 안전을 강화하기 위하여 분기부분에 Arc 차단기를 설치하여 가정 내에서 발생할 수 있는 아크에 의한 화재를 예방하려고 노력하고 있다. 미국의 경우 목조 건물이 많아 욕실, 주방에 대해서는 의무적으로 아크차단기를 설치하는 수가 많으며, 이러한 예방대책의 일환으로 UL1699를 제정하여 아크 차단기에 대한 기능과 설비에 대한 사양을 지정하여 도입하고 있는 실정이다[9].

국내의 경우, 이러한 위험요소로부터 재산과 인명을 보호하기 위한 연구가 정부 주도로 시범사업을 통해 검증 절차를 거치고 있다. 과전류로 인한 사고 및 화재에 대한 예방을 위해 분기 차단기 단에서 아크의 발생 정도를 감지하고 데이터를 센터로 전송, 처리, 관리하는 등 화재에 대한 안전 정도를 관리하기 위한 연구가 진행되고 있다.

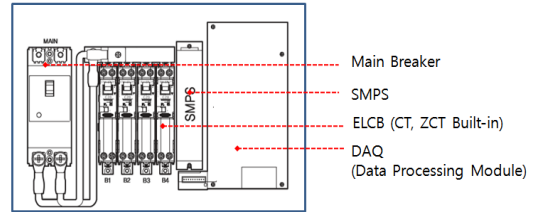


Fig. 3. Local Facility (Intelligent Distribution Board)

Fig.3에서 보는 것과 같은 시스템이 안전 관리를 위한 현장 설비의 예로 볼 수 있다. 즉, 분기를 관리하기 위한 분기 누전 차단기와 아크를 감지하기 위한 아크 감지기, 데이터를 처리하여 과전류, 과전압, 아크 정보를 추출하는 DAQ 장비 그리고 원격으로 모니터링하기 위한 Network 설비와 서버, 운영컴퓨터로 구성된다. 이러한 시스템은 IoT 기술과 접목되어 효율적인 전기 안전 관리 시스템을 구축하여 국민의 안전과 재산을 보호하기 위한 노력이 지속되고 있다[10].

그러나 이러한 연구들은 각 분기마다 탐침방식 (IALM)을 적용한 CT와 ZCT 센서를 내장한 차단기를 사용하거나, 또는 분기차단기 아래의 출력단에 CT와 ZCT를 설치하고, DAQ 처리장치와 연결하여 안전시스템을 구성한 방식으로서, 설치 면적과 구축비용이 많이 발생하고, 기 구축된 장소 및 재래 시장 등에는 적용하기 어려운 문제점을 갖고 있다. 따라서, 화재 및 과전류와 같은 안전관리를 위한 데이터를 수집하기 위한 시스템을 구축하는 것이 현실적으로 어려운 실정이다.

3. 제안하는 시스템

기존 연구결과와 분석을 통해 NIALM기반의 에너지 모니터링 기술은 부하종류의 판단, 사용 패턴에 대한 분석 등 효율적인 에너지 관리방안을 제공할 수 있는 것을 알았다. 그러나 이러한 기존 NIALM 기반의 에너지 패

턴 연구는 가정 내 안전을 위한 관리 측면이 고려되지 않아 효율적인 시스템을 구성하기 어렵다. 본 논문에서는 NIALM 기반의 에너지 패턴분석 기술과 화재감지 관련 아크에 대한 기술을 접목하여 효율적인 스마트 홈에서의 안전 관리시스템을 제안한다.

3.1 시스템 구성

본 논문에서는 스마트 홈 내에서의 가전기기에 대한 모니터링을 수행하기 위해 일반적인 스마트 홈에서 구성하는 전기 배선을 적용하였다. 그리고 제안하는 시스템의 특성평가를 위해 정상적인 아크를 발생시키는 Bulb Type 형광램프(15W), 일반 형광램프 (23W), 진공청소기(550W), 헤어드라이어기(1800W)를 대상으로 하였다.

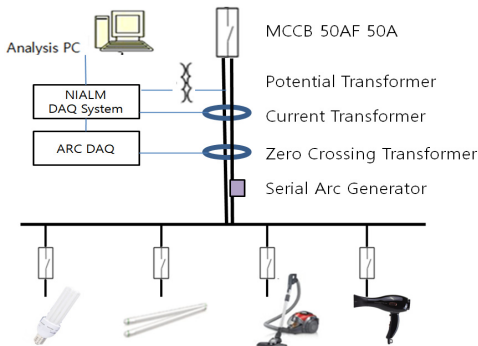


Fig. 4. System Structure

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.

3.2 Data Processing Structure

[Fig.5]는 본 논문에서 제안하는 스마트 홈 시스템에서의 센서를 통한 데이터 처리 구조를 나타낸 것이다.

주차단기를 거쳐 분기 차단기로 분배되는 배선에 NIALM을 위한 센서를 설치하였으며, 적용된 센서는 PT(Potential Transformer, 0~20mA)와 전류계측 센서 CT(Current Transformer, 1000:1)을 사용하였다. 그리고 아크의 발생유무와 신호처리를 위해, Zero Crossing Transformer를 설치하여 출력되는 센서 신호를 활용하였다. NIALM에 대한 직렬아크의 영향을 분석하기 위해 직렬 아크 발생기를 각 분기단에 설치하였으며, 부하기

기를 보호하기 위해 ELCB(Earth Leakage Circuit Breaker)를 사용하였다.

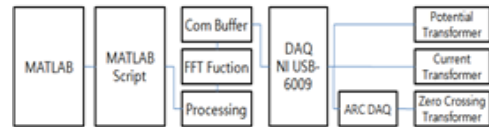


Fig. 5. Data Processing Structure

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 구성하였다. 그리고 관련 데이터 처리 프로그램을 구현하기 위해 LABVIEW2015와 MATLAB을 이용하였다.

NIALM의 패턴 분석을 위한 신호로서 CT와 PT 센서를 통해 나온 출력은 DAQ (NI USB-6009) Differential Channel로 공급되어 16비트 분해능으로 디지털 변환된다. 2개의 DAQ 채널은 120ks/s의 변환 속도와 ±200mV의 Full Scale로 구성하였으며, 7mVRMS 분해능으로 최대 230VRMS의 전압을 측정하고 458ARMS 분해능으로 최대 15ARMS의 전류를 측정하였다.

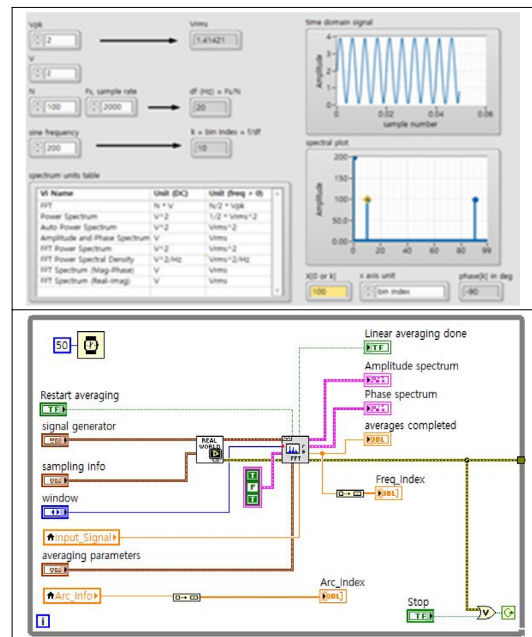


Fig. 6. FFT Processing in LABVIEW

Fig.6은 LabVIEW와 MATLAB 스크립트를 이용하여 본 논문에서 필요한 데이터를 구하기 위한 일련의 과정을 나타낸 것이다.

측정된 데이터는 LabVIEW를 이용하여 FFT 처리하고, 처리 결과를 본 논문에서 구형한 MATLAB 스크립트를 이용함으로써 RMS 전압, RMS 전류, 능동, 반응 및 피상 전력, 역률 및 현재 신호의 1차 고조파에 대해 최대 25까지의 유효한 결과 데이터를 구할 수 있었다.

3.3 아크검출시스템

3.3.1 아크시뮬레이터의 구성

아크시뮬레이터를 구성하는 목적은 아크의 영향을 평가하고 관련 대책을 수립하기 위한 것으로 Fig.7과 같이 직렬아크 발생장치를 구성하였다. 아크 발생부에는 탄소봉과 구리봉을 사용하여 아크를 발생시키도록 하였고, 양 극간의 거리를 조정하기 위해 Micro Meter를 탄소봉이 설치되는 극쪽에 구성하여 아크의 발생량을 조정할 수 있도록 하였다.

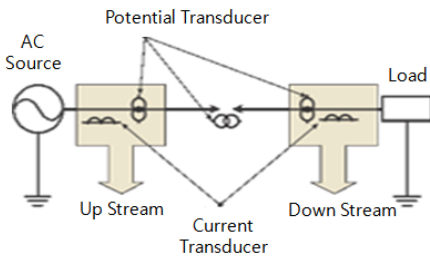


Fig. 7. Serial Arc Generator

3.3.2 감지 알고리즘

아크 발생장치를 통해 나온 유해 아크 성분을 검출하기 위해 Fig.8과 같이 직렬 아크 검출 회로를 구성하였다.

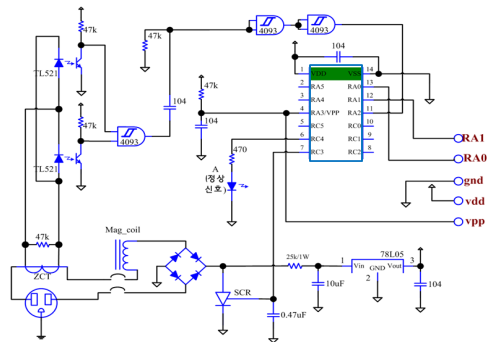


Fig. 8. Diagram of Serial Arc Detector

상기 회로를 이용하여 상용주파수 검출용 CT에 의한 검출 파형 60Hz 전원주파수에 따라 부하로 흐르는 전류는 60Hz 정형파로 보여진다. 아크 발생 시 이 전류는 0A를 교차하는 지점에서 솔더를 보여준다. 이러한 솔더를 검출하기 위하여 전류를 전과 정류하여 회로를 통과시켜 솔더의 폭을 구형파로 변환한다. 이 변환한 구형파는 정상적인 전류일 때 일정한 폭을 유지하게 되며, 아크 발생 시 정상적인 폭 +a 로 나타나게 된다. +a 발생 시 본 논문에서 제안하는 시스템에서 셋팅한 프로그램은 해당 정보를 아크로 판단하고 지속적으로 아크 파형이 계속되면 HIGH로 출력 값을 가진다. 이러한 HIGH 출력의 신호를 통해 유해 아크를 분리하고 관련 정보를 처리하는 일련의 과정을 진행한다.

3.4 에너지 관리 및 안전 시스템의 구성

본 논문에서는 기존 연구에서 얻어진 PF(Power Factor), FI(Fourier Index)를 반영한 다중적 알고리즘을 적용하였으며, [Fig.9]와 같은 신호처리를 구성하였다.

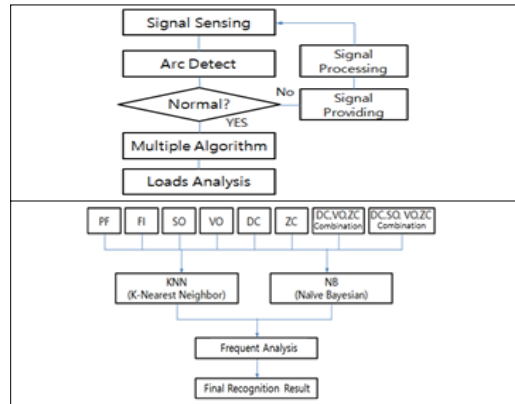


Fig. 9. A New Multiple Algorithm

Fig. 9는 기존의 다중적 다중 알고리즘을 개선할 수 있도록 PF, FI를 적용한 다중적 알고리즘을 나타낸 것이다.

본 논문의 정당성을 입증하기 위해 적용한 다중적 알고리즘 관련 파라미터들은 PF, DC(Duty Cycle), SO(Slop of On state), VO(Variation On state), ZC(Zero Crossing), DC, VO 및 ZC의 조합과 FI의 8가지이다.

본 시스템에서 적용한 다중적 다중 알고리즘은 많은 개선된 효과를 보이지만, 아크가 발생한 전기 에너지 패턴에 대한 인식을 수행하기에는 정확성에 대한 문제를 가진다. 따라서, 이를 개선하기 위해 신호처리 순서를 5

회 반복함으로써 결과에 대한 신뢰성을 높이도록 하였다.

그리고 KNN(K-Nearest Neighbor) 분류자와 NB(Naive Bayesian) 분류자를 사용하여 14개의 후보군을 유도해내고, 다중적 다중 알고리즘 방법을 사용하여 본 논문이 제안하는 시스템을 평가하였다

3.5 고조파 성분 유효값 추출

전류 신호의 고조파 성분의 유효 값은 Discrete Fourier Transform의 고전적 방정식 (수식 1)을 이용하여 계산하였다.

$$|I[k]_s| = \frac{\sqrt{Re\{I[k]\}^2 + Im\{I[k]\}^2}}{N} * G_i * \sqrt{2} \quad (1)$$

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

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

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

이를 통해 고조파 성분을 갖는 부하들의 특징을 짓는 Parameter를 분석하였고, 이렇게 산출된 각종 전기 관련 Parameter(PF, DC(Duty Cycle), SO, VO, ZC, DC, VO+ZC의 조합, FI)들과 KNN(K-Nearest Neighbor) 분류자와 NB(Naive Bayesian) 분류자를 사용하여, 14개의 후보군을 유도해내고, 다중적 다중 알고리즘 방법을 사용하여 부하기 종류를 예측할 수 있었다.

또한, 이러한 예측된 결과와 아크가 미치는 영향을 분석하기 위해 CT와 ZCT에서 나온 출력 신호를 다중적 알고리즘 기반으로 아크의 발생유무와 발생시간을 확인할 수 있도록 구성하였다. 산출된 아크정보를 기반으로 아크가 발생하였을 시점에서는 NIALM의 Processing 중에 발생한 Parameter들은 다시 인식 단계를 거치도록 하였고, 아크 발생의 시간을 통해 화재 발생의 가능성을 평가할 수 있는 Parameter로 활용하였다.

4. 실험결과

4.1 시험환경

제안하는 시스템의 성능을 검증하기 위해 실험 환경

을 마련하고 테스트를 수행하였다.

아크의 판별과 기기의 에너지 패턴 분석을 통한 결과를 분석하기 위해 Table 1과 같이 정상 아크를 가진 제품을 선정하였다. 그리고 정상아크로 판별된 가전기기의 상태 분석을 위해 가전기기별 20번의 반복 인식을 시험을 진행하였고 인식된 예측치를 비교하여 그 정확도를 분석하였다.

Table 1. Test Sample of Appliance

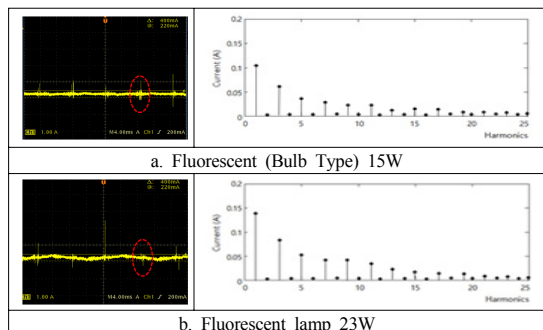
Appliance	Capacity (Watt)	Fourier Index	Character
Fluorescent (Bulb Type)	15	1,3,5,7,9,11	220V, 60Hz
Fluorescent	23	1,3,5,7,9,11	220V, 60Hz
Cleaner	1000	1,3,5,7,9,11	220V, 60Hz
Hair Dryer	1800	1,3,5,7,9	220V, 60Hz

참고로 본 논문에서 제안하는 시스템의 성능 검증을 위해 가전기기들을 시험 대상으로 선정한 이유는 다음과 같다.

일부 가전기기들은 가전기기의 동작 시 화재에 영향을 주지 않는 정상아크를 발생시키며, 이를 비정상적인 위험 아크로 인식할 경우 오동작을 일으키는 결과를 초래한다. 그러므로, 정상아크와 비정상아크를 구분할 수 있는 기준을 마련하고자 시험대상을 정상아크 성분을 가지고 있는 가전기기들을 선정한 것이다.

4.2 시험결과

실제 화재의 가능성을 일으키는 아크의 발생은 비정기적, 그리고 짧은 주기 내에 일어나기 때문에 이를 인식하는 것이 어렵게 되고, NIALM의 인식 성능에 어떠한 영향을 주는 지 판단하기 어렵게 만든다. 이에 대한 영향을 분석하기 위해, 위의 가전기기 부하에 직렬아크를 인가하였을 때의 전기적 패턴과 NIALM을 수행하기 위한 FFT 결과는 Fig.10과 같이 도출되었다.



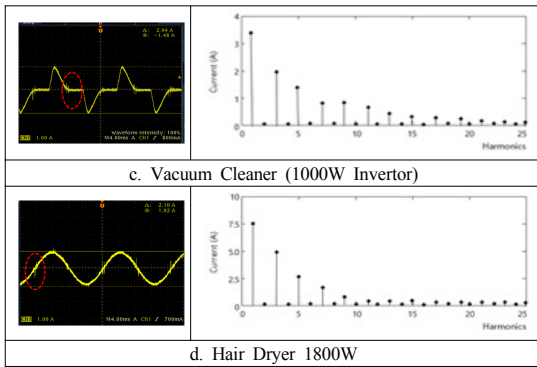


Fig. 10. Improved Electric Characteristic of Appliances

실험결과에서 보듯이 NIALM에 있어서 고조파 성분을 지니고 있는 가전기기의 인식과 에너지 사용량을 분석하기 위해서는 고조파의 영향 및 분석이 수행되어야 한다. 파라미터는 인식을 향상에 반드시 필요한 요소라는 것을 확인 할 수 있지만, 그 정확도와 화재 예방을 위한 Parameter 형성을 위해서는 아크 발생에 따른 영향을 분석하여야 한다. [Fig. 12]의 전기패턴 결과 중 아크 발생으로 인해 틀어진 파형을 나타낸다. 단시간 내에 발생하는 아크의 불규칙적 특성을 고려하여, 본 논문에서는 일정간격으로 파형을 분석하였다. 그리고 도출된 FFT 결과를 중첩시켜 아크의 영향을 최소화함으로써 정형화된 FFT 결과를 만들어 내었으며, Fig. 12와 같은 결과가 도출되었다.

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

4.3 개선된 NIALM 결과 특성

대부분의 정상아크 성분을 갖는 가전기기들은 고조파 성분을 포함하고 있는 경우가 많다. 이러한 고조파 성분은 FFT 처리를 통해 도출된 Index 값과 PF 등의 Parameter를 적용하여 다중적 알고리즘을 구현할 경우 패턴인식이 가능하다. 위와 같은 방법으로 처리된 패턴 인식 결과와 비정상 아크가 혼입되었을 경우의 패턴인식 결과를 분석하였다. 다중적 알고리즘 적용에 앞서 아크를 우선적으로 검출하고, 추출된 특성을 이용하여 일정간격으로 다중적 알고리즘을 5~6회 반복 적용함으로써 부하의 기기 식별 능력을 높일 수 있도록 하였으며 부하기기의 인식 결과는 Table 2에서 보는 바와 같다.

Table 2. Test Result using New Multiple Algorithm

	Fluorescent A	Fluorescent	Vacuum Cleaner	Hair Dryer
Fluorescent A	19	1	0	0
Fluorescent	0	20	0	0
Cleaner	0	0	20	0
Hair Dryer	0	0	2	18

** Fluorescent A는 Bulb Type

4.4 시스템의 개선 결과

Table 3은 본 논문에서 제안한 시스템과 기존 화재 예방에 적용된 지능형분전반의 비교 시험 결과를 나타낸 것이다.

Table 3. Comparative Test Results

Division		Intelligent Distribute Board (Existing)	Proposed System
Load recognition	FluorescentA	×	○
	Fluorescent	×	○
	Cleaner	×	○
	Hair Dryer	×	○
Normal Arc Detect		○	○
Abnormal Arc Detect		○	○
Size (4 circuit)		50*45*15	20*12*10

기존 지능형 분전반이 부하의 종류를 인식하지 못하는 반면 제안하는 시스템에서는 가정 내 홈 분전반의 어느 부하에서 전기화재의 원인 중 하나인 아크가 발생하는지를 감지할 수 있는 결과를 확보하였다. 이와 같은 결과는 NIALM의 기술에 아크 분석 기술을 접목함으로써 가정 내에 사용되는 가전기기별 화재의 진단 가능성을 확인할 수 있었으며, 예측 가능한 새로운 화재감지 및 예방이 가능한 시스템으로 활용할 수 있을 것으로 기대한다.

5. 결론

본 논문에서는 기존의 화재 안전예방 및 관리에 적용되었던 아크 센싱 방식과 분기 관리 방식을 NIALM 기반의 효율적인 시스템으로 개선하였다. 분기를 모두 IALM방식으로 계측하여 분석하였던 기존의 지능형분전반은 어떤 부하 사용 라인에서 화재 원인이 발생하는지 분석에 어려움이 있어 효율적인 안전관리 시스템을 구축할 수 없다. 반면에 본 논문에서 제안한 시스템은 간단한 Main 차단기의 전기 특성만을 분석함으로써 가정 내 사용하는 가전기기 라인에서 발생하는 아크를 추출할

수 있었다. 이를 통해 재래시장 및 전통마을 등과 같이 전기 화재에 취약한 부문을 효율적으로 관리 할 수 있어 전기 안전관리의 효율성을 증진 시킬 수 있을 것으로 기대한다. 향후, 새로운 가전기기 및 산업용 기기에서의 정상아크에 대한 정보 Data를 구축함으로써 정상아크에서의 안정적인 동작 상태를 확보하고 에너지 패턴 분석을 통한 가전기기의 종류를 분류할 수 있는 연구가 필요하다.

References

- [1] 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>
- [2] Building Energy Data Book; United States Department of Energy: Washington, DC, USA, 2009.
- [3] Hyun-Wook Moon, Young-Bae Lim, "A Study on the Standardization of Smart Distribution Board for Electrical Safety," The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers Vol. 65. No. 1. pp.227-231, 2016. DOI: <https://doi.org/10.5370/KIEE.2016.65.1.227>
- [4] 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>
- [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.
- [6] Loredana Cristaldi, Antonello Monti, "Three-phase Load Signature: a wavelet-based approach to power analysis," Sixth International Workshop on Power Definitions and Measurements under Non-Sinusoidal Conditions Milano, October 13-15, 2003.
- [7] Han-Sang, Jeong, Kyung-Sang, Sung, Hae-Seok, Oh, "A Study on the Analysis of Electric Pattern Based on Improved Real Time NIALM," The Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 18, No. 4, pp. 34-42, 2017. DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2017.18.4.34>
- [8] Information Statistics Officer "National Security Administration Major Statistics_5 (Firefighting)," National Security Division, 211. 2015.
- [9] UL Standard for Safety for Arc-Fault Circuit-Interrupters, UL 1699 Second Edition, Dated April 7, 2006.
- [10] Sung-Soo Shin, Young-Bae Lim, "Development and Actual Application of Smart Cabinet Panel with Wireless Communication," The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers, 4, pp. 250-251, 2012.

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 : 아이티메이드 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