JKIICE Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering

한국정보통신학회논문지(J. Korea Inst. Inf. Commun. Eng.) Vol. 17, No. 10 : 2431~2438, Oct. 2013

광음향 분광법을 이용한 휴대용 유중가스분석장치 개발

김춘동[1] · 김철규[1] · 박세현[2*]

Development of Portable Dissolved Gas Analyzer Using photoacoustic spectroscopy

Choon-Dong Kim[1] · Chol-Gyu Kim[1] · Sh-Hyun Park[2*]

요 약

본 논문에서는 휴대용 유중가스 분석기에 대해 연구 및 개발 하였다. 제안된 휴대용 유중가스 분석기는 전력기기로부터 절연유 내의 소량의 가스를 추출하여 비정상적인 열적 정보를 얻어 분석하는데 유용하게 쓰인다. 분석된 정보로부터 전력기기의 안정성을 평가할 수 있다. 본 논문에서는 기존의 고가의 시설기반의 고정형 유중 가스 분석기를 사용함으로써 발생되는 직간접적인 문제점을 해결하기 위해서 광음향 분광법 기반의 소형화된 휴대용 유중가스 분석기를 제안하고 실험적으로 검토하였다. 제안된 휴대용 유중 가스 분석기는 사용하기 편하고 실시간으로 전력기기의 열적 정보를 분석할 수 있다. 제안된 휴대용 유중가스 분석기가 현재의 전력기기 유중가스 분석에 사용된다면, 전력기기의 유중가스 분석주기를 줄임으로써 안정성을 향상 시키고 열적 이상 정보에 대하여 긴밀하게 대응할 수 있다.

ABSTRACT

The paper presents a procedure for how to development and theoretical review on Dissolved Gas Analyzer. the information of abnormal thermal stress on electrical power equipment by testing the gas is validated to easy by the gas analyzer presented in the paper. the analyzed information is used to evaluate the stability of electrical power equipment. the existing and selling DGA(dissolved gas analyzer) is so expensive and vast that all DGA product comes from foreign country. The objective of the paper is to prove that PAS(photoacoustic spectroscopy) based on a compact portable DGA solve the fixed type of DGA in order to eliminate the occurring issue directly or indirectly. the proposed DGA is easy to handle, and this can also analysis in real time for testing electrical power equipment. By applying the proposed portable, DGA be utilized in the currently electrical power equipment that are being implemented to reduce cycle of analysis of dissolved gas, it can contribute to improving safety by providing the agility of the evaluation of degradation.

키워드 : 유중가스 분석기, 가스분석기, 광음향 분광법

Key word : dissolved gas analyzer, gas analyzer, photoacoustic spectroscopy

접수일자 : 2013. 09. 02 심사완료일자 : 2013. 09. 30 게재확정일자 : 2013. 10. 11

*** Corresponding Author** Se-Hyun Park(E-mail:shpark@andong.ac.kr, Tel:+82-54-820-5424)
Department of Electronic Engineering, Andong National University, Andong 760-749, Korea

Open Access http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2013.17.10.2431 print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

ⓒThis is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(http://creativecommons.org/li-censes/by-nc/3.0/) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright Ⓒ The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

Ⅰ. 서 론

대전력은 산업 전반에 광범위하면서도 다양한 형태로 사용되고 있으며, 산업의 고도화에 따른 순간정전 또는 구간정전처럼 가볍게 여겨지는 정전에도 피해 규모는 상상을 초월할 정도로 엄청나게 크다. 따라서 전력기기의 정기적인 점검을 통한 기기 안정성에 대한 평가는 매우 중요하다[1].

그러나 전력기기들의 밀폐화, 직접화, 소형화는 등으로 내부의 점검을 쉽지 않고, 또한 복합화 된 전력기기들의 점검에 많은 인력이 필요한 실정이다. 따라서 전력기기의 안정성을 평가하는 방법 및 진단법에 대한 연구가 많이 수행되어 있고 그중 유중가스분석법(dissolved gas analyzer : DGA)이 현재에도 가장 신뢰성 있고 일반적으로 사용되고 있다[2].

현재 국내에서 사용되는 유중가스분석 장비는 주로 고가의 시설기반의 고정형 장비가 대부분인데다 시료를 수동으로 채취 및 운반하고 분석하기 때문에 전력기기의 이상유무의 진단과 대응 까지는 많은 시간이 소요될 뿐만 아니라 급속히 진행되는 이상발생시 효과적인 대응하기 어렵다. 이러한 이유로 기존의 고가의 고정형 설비를 대신할 수 있고 휴대성이 편리한 소규모의 유중가스분석장치가 필요하다.

또한 휴대용 유중 가스분석기로서 완성도 있는 가스분석 알고리즘이 부재하였다[3].

따라서 본 논문에서는 기존에 고정형 기반의 유중가스분석장치를 사용함으로서 발생하는 직간접적인 문제를 해소하기 위하여 광음향 분방법(photoacoustic spectroscopy : PAS)기반의 소형화된 휴대용 유중가스분석장치를 제안한다. 제안된 장치는 유중가스분석을 위해 절연유 내에 함유된 미량의 가스를 추출하여 전력 기기내의 비정상적인 열적 스트레스에 대한 정보를 검출한다. 검출된 정보는 정보처리과정에 의해 분석되어 전력기기의 안정성을 평가하게 한다. 본 장치는 기존의 해외 의존 장비와 달리 실시간 정보처리를 하여 전력기기의 안정성을 현장에서 바로 판단할 수 있게 하였다. 이를 통해 상대적으로 안전성이 취약한 장비의 분석 횟수를 늘임으로서 전체 전력기반의 안전성을 높일 수 있다.

Ⅱ. 관련연구 및 실험장치의 구성

2.1. 광음향 효과의 원리

기체에 대한 광음향 분광법은 Viengerov(1983)와 Luft(1943)에 의해 적용된 이후 기체 분석과 증기 검출에 광범위하게 이용되어왔다.

광음향 신호는 빛의 세기에 따라 두 가지 경우로 나누어 생각할 수 있다. 첫 번째는 빛의 세기 I_0가 작고, $2BI_0 \ll \tau^{-1}$인 경우이다. 다시 말하자면 높은 에너지 상태에서 낮은 에너지 상태로의 전이가 그 반대보다 빠를 경우는

$$q \simeq \frac{k_B E_1 N_1 N}{C_V \omega}\left(\frac{\tau}{\tau_c}\right)^2 \frac{2BI_0\delta}{(1+\omega^2\tau^2)^{1/2}} e^{i(\omega t-\gamma+\pi/2)}$$

위에서 보는 바와 같이 광음향 신호는 기체 시료 분자의 개수 N에 비례하고, 빛을 흡수하는 기체만의 개수 N_1과 빛의 세기 I_0에 비례한다. 또한 광음향 신호는 $(\tau/\tau_c)^2$에 비례하는데, τ는 총 비활성화 수명 시간(de-excitation lifetime)이며 τ_c는 충돌에 의한 비활성화 해소 수명 시간(collisional lifetime)이다. 그러므로 충돌에 의해서 붕괴(decay)되는 시간이 짧을수록 열 발생이 커짐으로 광음향 신호가 커진다. 또한 온도가 증가하면 τ_c가 감소하게 되고 광음향 신호는 증가하게 된다. 두 번째는 빛의 세기 I_0가 큰 경우, $2BI_0 \gg \tau^{-1}$인 경우이다. 변조주파수(ω)가 작으면 광음향 신호 q는 다음과 같다.

$$q \simeq \frac{k_B E_1 N_1 N}{C_V \omega}\tau_c^{-2}\frac{1}{BI_0}\delta e^{i(\omega t-\gamma+\pi/2)}$$

이 경우에는 붕괴되는 것보다 빛이 더 많이 들어오기 때문에 흡수 포화상태(absorption saturation state)가 나타나게 된다. 위 식을 보면 빛의 세기와 광음향신호가 반비례하는 것을 볼 수가 있다[4].

2.2. 기존의 유중가스 분석장치

현재 고정형 설비에 주로 이용되는 방법은 가스크로마토그래피(gas chromatography : GC)기법으로서 혼합가스가 이동무리가 캐리어 가스에 의해 고온의 분리관을 이동하는 동안 분리관 내의 흡착성 물질을 충전한

고정무리와의 상호작용에 의해 단일성분으로 분리되는 현상을 이용하여 개별 가스를 분리하여 내는 방법이다.

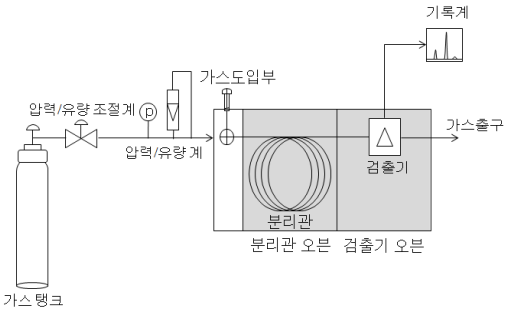

그림 1. GC기반의 가스분석기 구조
Fig. 1 Structure of gas analyzer of base on GC

GC기법에 의해 분리되어진 가스들은 시간 순서에 따라 차례대로 검출기에 도달하게 되는데 불꽃 이온화 검출기(flame ionization detector : FID) 등과 같은 검출기를 통해 그 함유량을 계측하게 된다.

이러한 GC기법에 의한 가스분석장치는 초기 혼합 시료로부터 개별가스를 분리하는 과정을 먼저 수행하기 때문에 측정하고자 하는 대상 가스에 맞는 검출기를 사용함으로서 가스의 양을 식별할 수 있다 [2],[5].

하지만 장비 자체가 복잡한 구조로 되어있는데다 장치 설치시 세팅된 상태가 그대로 유지되어야 된다는 제약이 있으며, 장비 운용에 필요한 캐리어 가스를 계속적으로 공급해야 하는 등과 최소한의 요구 설비 등이 필요하고, 내부적으로는 주요 부품인 컬럼을 고온상태로 유지해야하고 외부적으로 일정한 온도 및 습도 등 주위환경을 안정적으로 유지할 수 있는 항온항습설비 또한 갖추어져야 한다.

이에 앞서 절연유로부터 유중가스를 추출하는 과정이 선행되어야 하기 때문에 가스추출을 위한 부가적인 장치는 필요하며, 이 또한 방식에 따라 차이는 있겠지만 대체로 일정한 요구 설비가 뒷받침되어야 한다.

물론 GC기법 외에도 개별 센서 형태 또는 시험키트 형태로 가스 혹은 절연유를 분석하는 방법도 존재하나 정확도면서 분석 성능이 떨어진다는 단점이 있다.

기존의 유중가스분석장치들의 경우 방식상의 문제로 초기 시설비용 및 운용 유지보수 비용이 많이 발생함으로서 널리 보급되기 힘든 실정이며, 처리할 수 있는 분석 수요도 한정될 수밖에 없기에, 전력기기의 안전성확보 측면에서 좀 더 많은 분석 수요를 처리할 수 없다는 단점이 발생한다.

따라서 전력기기의 안전성을 일정한 분석 성능을 가지면서 저렴한 기기를 사용함으로 좀 더 많은 분석 수요를 충족시키고, 나아가 개별 전력기기들의 안전성 평가를 통해 사고 예방에 기여할 수 유중가스분석장치 모델이 필요하다.

2.3. 제안된 유중가스분석장치

제안된 유중가스분석장치는 장치 자체의 크기를 소형화하고 종래의 분석장치가 요구하는 시설기반의 구성요소들을 최소화 할 수 있는 모델로 설계하였다. 아울러 고정형 기반을 벗어나 이동형에서도 적용 가능한 모델로 설계하였다.

표 1. 기존 장비과 제안된 장비의 방식 비교
Table. 1 Comparison of conventional and proposed method

구 분		기존 방식	제안 방식
주요 기법		GC	PAS
시료 상태	초기	혼합가스	혼합가스
	측정시	개별가스	혼합가스
가스분리		O - 컬럼상 분리	X - 불필요
가스검출		불꽃이온화 반응 외	광음향 반응
검출방식		접촉식, 파괴식	비접촉식, 비파괴식
캐리어가스		필요	불필요
측정환경		일정한 온도, 습도	방음
휴대성		고정식에 적합	휴대용 적용가능

먼저 주된 방식에 있어서 GC기반이 아닌 광음향 효과를 활용한 PAS 기반을 선정함으로서 GC기반에서 요구되는 많은 장치들을 배제하였다. 그리고 소형화 설계를 통해 장치의 규모를 최소화함으로서 이동성을 확보하였다.

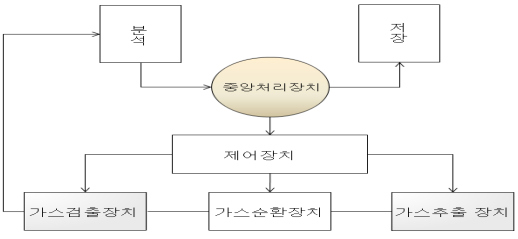

그림 2. 전체 구성도
Fig. 2 Block diagram of Portable dissolves Gas Analyzer system

그림 2는 제안된 휴대용 유중가스분석장치의 구성도로서 크게 가스추출, 가스검출, 제어부문으로 구성되어 있다. 분석에 필요한 가스들은 절연유에 용존된 상태에서 바로 계측되는 것이 아니라서, 가스추출장치를 통해 절연유로부터 가스를 우선적으로 추출하는 과정이 거친 후 가스검출장치에 의해 계측된다.

CPU는 절연유로부터 가스를 추출하고, 검출하는 일련의 과정들을 총괄하며, 제어장치를 통해 각 과정에 맞게 가스추출장치, 가스순환장치, 가스검출장치 등을 제어한다. 그리고 가스검출장치에 의해 계측되는 측정값들을 분석하고, 저장하는 기능을 포함은 일련의 신호처리 과정도 담당한다.

2.3.1. 가스 추출 장치

가스추출장치는 절연유 시료로부터 가스 시료를 추출하는 장치이다. 추출 방식으로 실린더에 적재된 일정한 양의 절연유를 회전막대를 이용하여 소용돌이를 일으킨 후, 여기에 기포를 발생시킴으로 가스를 추출한다. 가스의 추출율을 증가시키기 위하여 필요에 따라 히터를 사용한다.

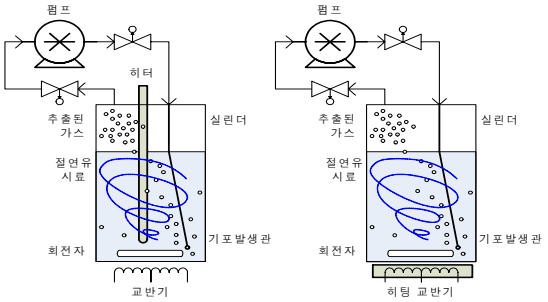

그림 3. 가스 추출 장치
Fig. 3 Gas extractor

2.3.2. 가스 순환 장치

가스순환장치는 측정할 가스 시료를 광음향 분광장치에 적재시키기 위한 장치이다. 절연유에서 추출된 가스를 분석하기 위해서는 이를 순환계통을 통해 시료셀로 유입시켜야 하는데, 이 과정은 노즐, 펌프, 밸브 이 세 가지에 유기적 동작에 의해 이루어지게 된다.

그림 4는 유중가스분석장치의 가스순환 계통도이다. 순환 계통은 순환의 동력으로 사용되는 펌프, 순환 흐름제어를 위한 솔레노이드 밸브, 순환의 통로이며 각 장치간 연결을 위한 노즐로 이루어져 있다. 그리고 추가적으로 측정하려는 절연유가 담기는 시료병 또한 순환 계통의 한 부분을 차지한다.

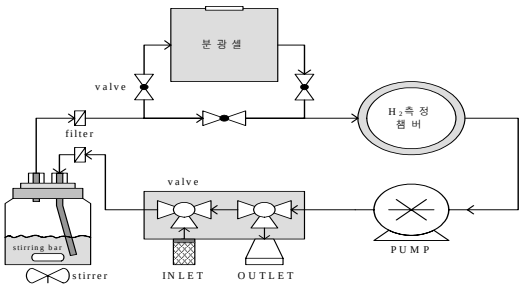

그림 4. 가스 순환 장치
Fig. 4 System of gas circulation

순환은 크게 입출력 밸브로 사용되는 그림 하단의 2개의 3-way 솔레노이드 밸브의 제어에 따라, 내부 순환과 외부 순환으로 나눌 수 있다.

내부 순환은 입출력 밸브를 제어하여 흡입구와 배출구를 막고, 내부 통로끼리 연결함으로서 펌프에 의한 순환이 폐회로를 따라 이루어지는 것을 말한다. 내부 순환은 가스 추출을 위해 시료병 안에서의 버블링을 일으키도록 하는 기능을 갖는 순환계통이다. 그리고 장치 내부에 있는 가스들의 농도 분포를 균일하게 하는 용도로도 사용된다.

2.3.3. 가스 검출 장치

가스검출장치는 추출된 가스를 계측하는 장치로서 추출된 가스시료가 적재된 측정셀 내부로 특정한 빛을 입사시켜 가스의 분자운동에 의해 발생하는 음향을 마이크로폰을 통해 취득하여 가스의 양을 계측한다.

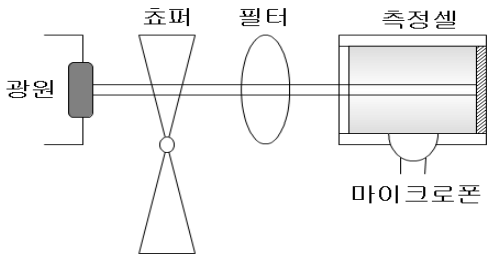

그림 5. 가스 검출 장치
Fig. 5 Gas detector

그림 5는 제안된 유중가스 분석장치의 가스 검출 장치의 구조로서 광원, 광조절계(쵸퍼, 필터), 측정셀로 이루어져 있다.

광원으로는 대상 가스 시료들이 공통적으로 반응할 수 있는 적외선 영역의 광원을 사용하였으며, 광원은 광조절계에 의해 측정하고자하는 가스시료의 광흡수 스펙트럼에 맞게 변조되어 측정셀로 입사된다. 측정셀은 가스 시료가 적재되는 공간으로 셀 내에는 혼합 상태의 가스 시료가 주입된다[6-7].

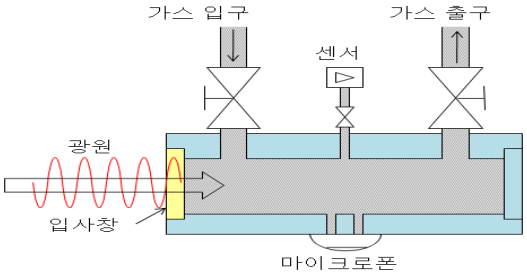

그림 6. 광음향 측정셀
Fig. 6 Measurement cell of Photoacoustic

그림 6은 측정셀의 세부구조로서 변조된 광원을 통과시키는 입사창, 가스시료 이송 및 밀폐를 위한 흡배기구 및 제어밸브, 광음향을 신호를 취득하기 위한 마이크로폰과 가스시료의 기타 상태를 측정하기 위한 센서 및 제어밸브로 구성된다.

제안된 가스 검출 장치는 혼합상태의 가스가 혼합상태 그대로 시료로서 사용되는데, 이는 GC방식의 비하여 비교적 단순한 구조로서 구현이 가능하여 컬럼에 의한 가스분리 메커니즘이나 캐리어 가스와 같은 소모성 재료를 필요로 하지 않아 장비 운용 및 유지보수 측면은 물론 소형화에서도 큰 이점을 지닌다. 그리고 입사광에 의한 광음향 신호를 마이크로폰에 의해 취득하는 비파괴적인 방법을 사용함으로서 시료에 대한 손상을 주지않아 해당 가스 시료의 재사용이 가능하므로 추가적인 가스분석에 활용될 수 있다.

2.3.4. 가스 검출 신호 처리

마이크로폰에 의해 계측된 광음향 신호는 소신호 레벨의 신호로서 신호 증폭 등과 같은 신호처리 과정이 필요하며, 아날로그 광음향 신호는 디지털 신호로 변환되어 디지털 신호처리 장치에 의해 최종적인 가스 검출 신호로서 사용된다.

그림 7은 제안된 유중가스분석장치의 광음향 신호 처리 과정이다. 먼저 마이크로폰으로 취득한 광음향 소신호는 증폭기를 통해 대신호 레벨로 증폭된다. 증폭된 광음향 신호는 아날로그 신호로서 데이터 처리를 위해 디지털 신호에 전환되어 FFT(fast fourier transform)를 비롯한 디지털신호처리 기법을 적용하여 주파수 영역의 신호로 변환된다. 최종적으로 주파수 영역의 광음향 신호들은 분석 알고리즘을 통해서 시료에 대한 정량 분석 결과로 환산된다.

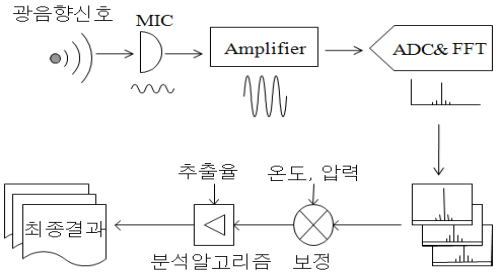

그림 7. 광음향 신호 변환 및 처리과정
Fig. 7 Photoacoustic signal converting and processing

그림 8은 제안된 장치의 신호 처리 몇 제어 보드의 모습으로 신호 처리 및 분석 알고리즘을 위해 TI사의 부동소수점 연산이 가능한 DSP인 TMS320C6713를 사용하였다.

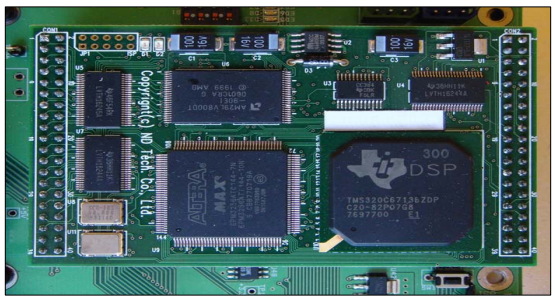

그림 8. 신호처리 및 제어보드
Fig. 8 Signal processing and control board

2.3.5. 사용자 인터페이스

제안된 유중가스 분석장치는 휴대용 측정장비로서 측정을 위해 별도의 부가적인 시스템 없이 본체만으로 측정이 가능하도록 터치스크린 방식의 사용자 인터페

이스를 제공한다. 사용자는 터치스크린을 통해 측정 수행 및 중지에 관한 명령을 전달하고 측정의 진행 상황 및 측정 결과를 확인할 수 있다.

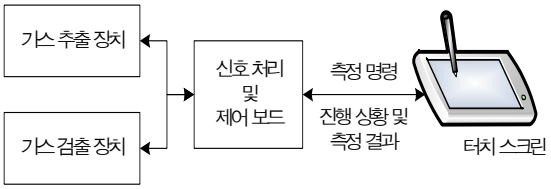

그림 9. 사용자 인터페이스
Fig. 9 User interface

Ⅲ. 실험결과 및 고찰

그림 10은 제안된 유중가스 분석장치의 성능 평가에 사용된 실험 장치이다.

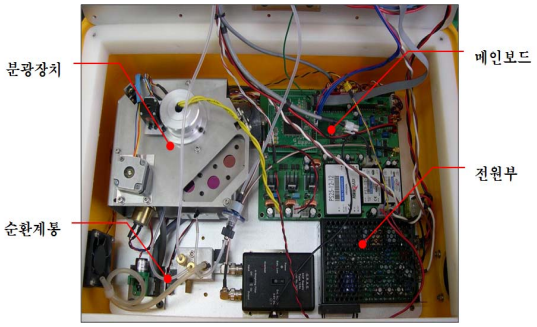

그림 10. 제안된 실험장치
Fig. 10 Proposed experimental setup

실험방법은 시스템 전체에 대한 평가를 위해 최대 측정치의 50%이내의 농도 분포로 용해된 혼합가스 절연류 시료를 제작하고, 제작된 시료에 대하여 유중가스분석 실험을 시행하였다. 그리고 현재 유중가스분석에 사용되고 있는 고정형 타입의 GC방식 장비를 비교장비로 채택하고 동일 시료에 대한 분석을 시행하여 그 결과를 비교하였다. 비교 실험에서는 저농도 시료와 중농도 시료에 대하여 비교실험을 수행하였다. 비교장비에서의 분석은 1회만 수행하였으며, 연구장비에 대하여서는 2회 이상의 측정을 통해 반복성 여부를 함께 평가하였다. 측정가스의 측정 범위는 아래 표 2와 같다.

표 2. 측정가스의 측정범위
Table. 2 Measurement range of the measured gas

측정 대상 가스	측정최소치 [ppm]	측정최대치 [ppm]
수분(H_2O)	10	2,000
수소(H_2)	50	2,000
이산화탄소(CO_2)	100	10,000
일산화탄소(CO)	50	2,000
에틸렌(C_2H_4)	50	2,000
에탄(C_2H_6)	50	2,000
메탄(CH_4)	50	2,000
아세틸렌(C_2H_2)	5	2,000

3.1. 저농도 실험

저농도 실험은 최대 측정치의 약 5%의 농도의 가스 함유 분포를 가지는 절연유 시료에 대하여 비교 측정이 이루어 졌다.

반복성 편차율의 경우 H_2O, C_2H_6에서 다소 편차가 있는 결과를 보이고 있으나 대체로 양호한 결과를 나타내었다. CO_2의 오차율은 상당한 큰 오차를 보이고, H_2의 경우도 다소의 오차를 보이고 있다. C_2H_6의 경우 두 번째 측정에서 다소 큰 오차를 보였으나 오차율 평균은 10% 이내로 양호한 편이다.

표 3. 저농도 실험결과
Table. 3 Experimental results of low concentration

구분	장비	H_2O	CO_2	CO	C_2H_4	C_2H_6	CH_4	C_2H_2	H_2
저농도	G/C	N/A	640	86	66	79	92	105	87
	연구장비(1)	48	920	90	70	79	104	105	103
	연구장비(2)	41	932	92	75	94	100	97	111
	평균[ppm]	45	926	91	73	87	102	101	107
	반복성 편차율 [%]	11.1	0.9	1.6	4.9	12.3	2.8	5.6	5.3
	오차율(1)		43.8	5.0	5.7	0.5	13.1	0.1	18.8
	오차율(2)		45.6	7.3	13.2	18.3	8.7	7.5	28.0
	평균[%]		44.7	6.1	9.5	9.4	10.9	3.8	23.4

3.2. 중농도 실험

중농도 실험은 최대 측정치의 약 25%의 농도의 가스 함유 분포를 가지는 절연유 시료에 대하여 비교 측정이 이루어 졌다.

중농도 시료에 대한 분석 결과는 CO_2 결과값을 제외하고는 상당히 양호한 결과를 보이고 있다. 대체로 10% 이내의 오차율을 보이고 있으며, CO_2의 오차율도 저농도 결과와 비교해 볼 때 상대적으로 낮게 나타났다.

표 4. 중농도 실험결과
Table. 4 Experimental results of middle concentration

구분	장비	H_2O	CO_2	CO	C_2H_4	C_2H_6	CH_4	C_2H_2	H_2
중농도	G/C	N/A	2218	399	305	378	436	444	450
	연구장비(1)	42	2829	417	302	412	411	472	471
	연구장비(2)	43	2743	388	294	386	394	461	441
	연구장비(3)	42	2746	386	296	400	396	462	460
	평균[ppm]	42	2773	397	297	399	400	465	457
	반복성 편차율[%]	1.4	1.8	4.4	1.4	3.3	2.3	1.3	3.3
	오차율(1)		27.5	4.4	0.9	9.0	5.7	6.3	4.7
	오차율(2)		23.7	2.9	3.6	2.1	9.6	3.8	2.0
	오차율(3)		23.8	3.4	2.9	5.8	9.2	4.1	2.3
	평균[%]		23.7	3.1	3.2	4.0	9.4	4.0	2.1

3.3. 비교분석

본 실험에서 언급한 반복성 편차율과 오차율은 KS 표준(KS A ISO 5727)에 따라 15% 이내로 산정하고 실험을 진행분석 하였다. 수분의 경우 기준장비의 측정대상이 아니어서 기준장비(G/C)에 의한 수분 측정치가 없으며, 따라서 수분에 대한 비교평가는 반복성 편차율로 판단하였다.

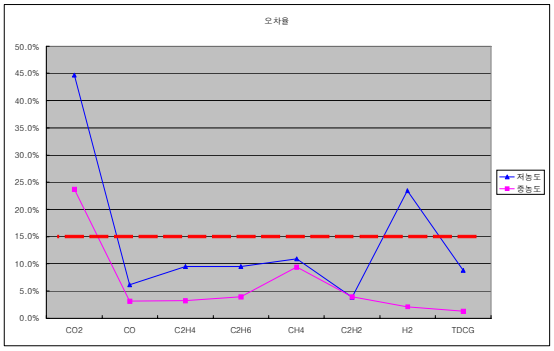

그림 11. 오차율
Fig. 11 Measuring efficiency

그림 11은 오차율에 대한 나타낸 것으로 측정결과가 전반적으로 기준치 15%를 만족하고 있음을 알 수 있었다. CO_2의 경우, 오차율 평균이 개별 시료에 대하여 저농도, 중농도 각각 44.7%, 23.7%, 평균 결과가 34.2%로 기준치를 상회하는 결과를 보여주었다. 이는 CO_2가 대기 중에 높은 농도를 유지하고 있는 가스이고, 제안한 분석기가 채택한 가스 추출 방법의 특성상 대기 가스의 영향을 전적으로 배제할 수 없기에, 대기에 상당량 포함된 CO_2가스의 측정결과에 있어서는 정확도가 다소 떨어질 수 밖에 없었다.

H_2의 경우, 저농도, 중농도 오차율 평균이 12.8%로 광음향 분광법에 의해 측정된 다른 가스들의 결과치보다 정확성이 다소 낮다. 이 결과는 H_2 가스의 경우 광음향 분광법에 의해서 측정이 불가능한 가스로서, 제안장치에서는 수소를 측정하기 위해 별도의 접촉 연소식 센서 방식의 계측부를 채용하였기 때문에 기인했다[8].

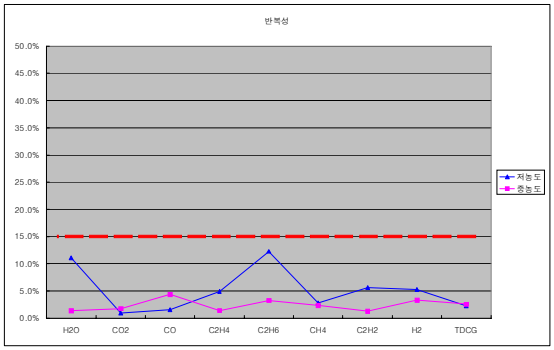

그림 12. 반복성 편차율
Fig. 12 Deviation rates of repeatability

그림 12는 반복성 편차율에 대하여 나타낸 것으로 모든 가스에 대한 측정 결과가 개발목표치의 반복성 편차율 15% 이내를 만족하고 있다. 특히 중농도 시료의 경우 5% 이내의 고른 반복성 편차율이 나타났다. 종합적으로는 10% 이내의 반복성 편차율을 보여서 유중가스를 측정함에 있어 상당한 안정도를 가지는 것을 알 수 있었다.

Ⅳ. 결 론

본 논문에서는 전력기기 열화평가를 위한 광음향 분광법을 이용한 휴대용 유중가스분석기를 제안하고, 이를 검증하기 위하여 저농도, 중농도의 절연유 제조하여 실험을 실시하였고 , 기존에 사용되고 있는 GC 방식의 유중가스분석기(GC-2014)와 제안한 분석기를 동일한 시료에 대하여 측정을 수행하고 그 결과를 비교하였다.

제안된 분석기의 실험결과 10% 내외의 오차율과 5% 내외의 반복성 편차율을 보였으며 이는 휴대용 장치임을 고려해 볼 때 상당히 양호한 결과로 평가할 수 있다.

제안된 광음향 분광법을 이용한 휴대용 유중가스 분석기는 전력 기기에서 채취한 절연유를 현장에서 즉시 분석함으로서 유중가스 분석에 소요되는 시간을 단축할 수 있을 뿐만 아니라, 이상 발견시 신속히 이를 분석 전문기관에 정밀 측정을 의뢰함으로서 장비의 안정성 여부를 확인할 수 있는 등, 정기 검사 주기 사이의 공백기에서의 보조적인 점검 장치로서 적극 활용한다면 전력기기의 안정성 평가 및 유지보수의 신속성을 제공할 수 있으며, 보다 빈번한 점검을 통해 절연유의 열화에 대한 경향을 분석함으로서 전력기기의 안정성 향상을 도모할 수 있을 것이다.

REFERENCES

[1] Pourbeik P, Kundur P. S, Taylor C. W, “The anatomy of a power grid blackout root causes and dynamics of recent major blackouts,” *International Journal of Power and Energy Magazine*, vol. 4 , no. 5, pp. 22-29, Sep 2006.

[2] J. T. Kim, J. Y. Gu , “Diagnostic technology of Insulation degradation of OF cable,” *Journal of KIIEE*, vol. 14 , no. 4, pp. 13-23, Aug 2000.

[3] C. D. Kim, S. H. Park, “Development of portable dissolved gas analyzer for electric power,” in *Proceedings of Fall meeting of IEEK*, vol 32, no 2, pp. 618-619, 2009.

[4] John Wiley and Sons, “Photo-acoustics and photoacoustic spectroscopy,” A wiley-interscience Pub., ch 3, pp. 15-25, 1980.

[5] Kepco Research Institute, “A study for methodological foundation of insulation degradation diagnosis & estimating the life on underground transmission cable,” Kepco Research Institute: Technical Report TM.97EJ03.M1999.67, 1999.

[6] Y. H. Pao, “Optoacoustic spectroscopy and detection,” Academic Press Pub., ch 3, pp. 47-77, 1977.

[7] D. L. Pavia, G. M. Lampman, G. S. Kriz, “Introduction to spectroscopy ”, Saunders College Pub., ch 2, pp .15-104, 1996.

[8] K. C. Jung, J. Y. Kim, “Measurement equipment of gas,” Tae-Hoon Pub., ch 6, pp. 221-239, 2004.

김춘동(Choon-Dong Kim)

2006년 : 안동대학교 전자공학과 공학 석사
현 재 : 안동대학교 전자공학과 박사과정, (주)동양기술단 대표이사
※관심분야 : 광음향 신호처리, 계측제어, 임베디드 시스템 설계

김철규(Chol-Gyu Kim)

2009년 : 경북대학교 전기공학과 공학 석사
현 재 : (주)동양기술단 연구원
※관심분야 : 계측제어, 임베디드 시스템 설계

박세현(Sh-Hyun Park)

1982년 : 경북대학교 전자공학과 공학 석사
1990년 : 아주대학교 전자공학과 공학 박사
현 재 : 안동대학교 전자공학과 교수
※관심분야 : 마이트로프로세서, 임베디드 시스템 설계