Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers Vol. 20, No.10, pp. 114~119 December 2006 논문 20-10-15

# 다중 가스센서를 이용한 수소가스 측정 및 선택도 향상 연구

## (Improvement of Measurement and Selectivity of Hydrogen Gas Using Multi-gas Sensors)

선종호* · 한상보 · 이상화 · 김광화 · 강동식 · 황돈하

(Jong-Ho Sun · Sang-Bo Han · Sang-Hwa Yi · Kwang-Hwa Kim · Dong-Sik Kang · Don-Ha Hwang)

## 요 약

본 논문에서는 세 가지 종류의 가스센서를 사용하여 수소가스에 대한 정량화 및 선택도를 향상시키기 위한 연구를 수행하였다. 여러 가지 수소가스 농도에 대한 각 가스센서들의 출력을 측정하였고 높은 출력과 분해능특성을 보이는 농도범위를 분석한 결과 세 가지 종류의 센서의 사용은 10,000[ppm]까지의 광대역의 수소가스농도를 신뢰성 있게 측정할 수 있는 가능성을 보여주었다. 또한 어떠한 농도의 메탄($CH_4$) 및 일산화탄소에 대한 출력과 수소에 대한 출력을 비교한 결과 세 가지 센서의 출력을 조합하면 수소가스의 선택성을 향상시킬 수 있는 것으로 나타났다.

## Abstract

In this paper, measurement of hydrogen gas using three kinds of gas sensors were studied for improving selectivity and quantification on hydrogen gas. Output characteristics for each sensors were analyzed to some concentrations of hydrogen gas. It was illustrated that the wide range of hydrogen gas concentrations upto 10,000[ppm] can be reliably measured from investigation of concentration ranges with high amplitudes and good resolutions. Also, the combinations of outputs from three kinds sensors were able to improve the selectivity of hydrogen gas.

Key Words : Power transformer, Hydrogen gas in oil, Gas sensor

## 1. 서 론

유입식 변압기에 고장이 발생하면 절연물에 화학반응이나 산화가 일어나고 그 결과로 수소($H_2$), 아세틸렌($C_2H_2$), 메탄($CH_4$), 에탄($C_2H_6$), 에틸렌($C_2H_4$), 일산화탄소(CO), 이산화탄소($CO_2$)와 같은 가스들이 유중에 용해되다. 이들 가스는 고장에너지에 따라서 특징적인 발생유형을 보이며, 특히 수소가스는 고온과열이나 부분방전, 아크방전과 같은 고에너지 고장에서 발생하는 가스로 알려져 있다.

이러한 특성 때문에 수소가스를 감시하여 변압기의 주요한 고장을 진단하는 기술이 다양하게 연구되어 왔다[1-3].

* 주저자 : 한국전기연구원 전력설비진단연구그룹 책임연구원
Tel : 055-280-1578, Fax : 055-280-1490
E-mail : jhsun@keri.re.kr
접수일자 : 2006년 9월 5일
1차심사 : 2006년 9월 8일
심사완료 : 2006년 10월 20일

유중가스를 이용한 진단규격의 대부분은 고장 유무를 판단하기 위하여 가스농도를 사용하고 있다[4-5]. 유중 수소가스 농도를 측정하기 위해서는 유중에서 직접 또는 가스 분리 후 수소가스를 인지하고 농도에 대하여 적절한 출력특성을 보이는 센서가 필요하다. 현재 상용화된 유중 수소가스 측정시스템에서 사용되고 있는 센서로는 광센서와 수소가스 이온 분리막 센서 등이 있지만, 개발된 제품이 경제적이지 못하고 유지보수가 어렵다는 점 때문에 널리 보급되지 못하고 있다[6-7]. 최근 이러한 문제점을 해결하기 위하여 대량생산이 가능하며, 경제적이고 취급이 간단한 기존의 전기화학식 가스센서를 이용하여 유중 수소가스를 측정하고자 하는 연구가 활발히 진행되고 있다[8].

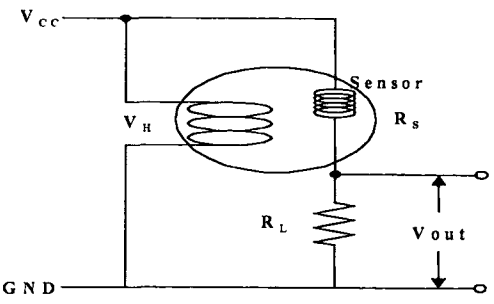
일반적으로 가스센서는 특정가스의 검지를 목적으로 제작되지만 특정가스에 대한 감도만 양호할 뿐 다른 가스도 동시에 감지한다. 수소가스를 이용한 유입식 변압기 진단에서 사용된 가스센서가 수소가스 이외의 가스에 반응하면 결과적으로 고장을 잘못 판정하게 되고, 그것으로 인해 고장예방이나 경제적 측면에서 비효율적인 유지보수 결과를 가져올 수 있다. 그러므로 수소가스의 선택성과 농도 결정에 대한 신뢰성은 수소가스를 이용한 유입식 변압기 진단에서 중요한 기술 중의 하나이다[9-10].

이와 같은 기술개발을 목적으로 본 논문에서는 제작사가 다른 3가지 종류의 가스센서를 사용하여 수소가스를 정량화하고 수소가스 선택도를 향상시키기 위한 연구 수행 결과에 대하여 기술하였다. 여러 가지 수소가스 농도에 대한 각 3가지 가스센서들의 출력특성을 분석하였으며, 이 들의 수소가스에 대한 출력특성과 변압기에서 발생할 수 있는 다른 가스에 대한 출력특성을 비교한 결과 3가지 가스센서의 출력특성을 조합하면 보다 넓은 범위의 수소가스농도를 선택성 있게 검출할 수 있음을 알 수 있었다.

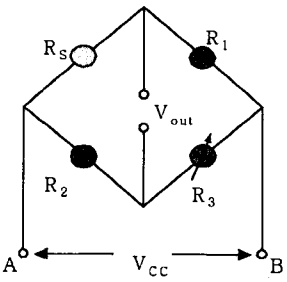
## 2. 실 험

### 2.1 실험방법

수소가스 측정에는 제작사가 다른 3가지의 가스센서를 사용하였다. 본 실험에서는 세 가지종류의 센서를 각각 센서 1, 센서 2, 센서 3으로 명명하였으며, 센서 1과 센서 2는 환원성 가스와의 접촉시 반도체의 저항특성 변화를 이용한 반도체식 가스센서이고, 센서 3은 가연성 가스가 센서의 담체에 접촉시 발생하는 열에 의한 매입전극의 저항변화를 이용한 접촉연소식 가스센서이다. 그림 1은 수소가스에 대한 센서의 출력 측정회로를 보여주고 있다.




Vcc:센서 인가전압, VH:센서 히터전압,
Rs:센서저항, RL:부하저항, Vout:출력전압
(a) 센서 1, 2




Vcc:브릿지 인가전압, R1, R2:고정저항,
R3:가변저항, Vout:출력전압
(b) 센서 3

**그림 1. 각 센서의 응답출력 측정회로**
**Fig. 1. Measuring circuits for each sensor**

그림 2와 같이 구성된 실험장치에 의하여 이 세 가지 종류의 가스센서 들의 수소가스 농도에 대한 출력을 측정하였으며, 실험방법은 다음과 같다.

수소가스 농도의 조정은 먼저 일정 농도의 수소가스를 외부에서 제작하고 제작된 가스를 일정부피의 챔버에 주입하는 방법으로 수행하였다. 제작된 수소가스의 농도는 질소를 기본으로 한 20[ppm], 50[ppm], 200[ppm], 500[ppm], 2000[ppm], 3[%]의 6

가지이다. 밀폐된 상태에서 공기로 대기압(1가압) 상태를 유지하고 있는 일정한 크기의 스테인레스 챔버에 한 가지의 수소가스를 주입하며, 챔버의 압력이 약 1.5기압 정도 되면 수동으로 수소가스의 유입을 차단하고 팬으로서 챔버내의 가스를 일정시간동안 섞는다. 다음으로 챔버내의 압력을 대기압까지 해제한 후 배기밸브를 잠그고, 대기압 상태의 일정한 수소가스 농도를 유지시킨다. 이 때 센서에 전원을 입력하고 센서에 연결된 부하저항의 단자전압 변화를 측정하여 가스농도에 대한 출력특성을 구한다. 3가지 종류의 센서 각각에 대하여 3개의 센서를 사용하여 총 9개의 센서에 대하여 측정을 실시하였다. 각 센서마다 측정을 마친 후 배기관의 한쪽에 연결된 밀폐형 주사기를 이용하여 챔버내의 가스를 추출하고 가스크로마토그래피(GC)를 사용하여 수소농도를 분석한다. 다음 측정을 위하여 진공펌프를 사용하여 챔버내의 잔여 수소가스를 충분히 탈기한 후 진공을 해제하여 챔버는 공기중 대기압 상태를 유지한다.

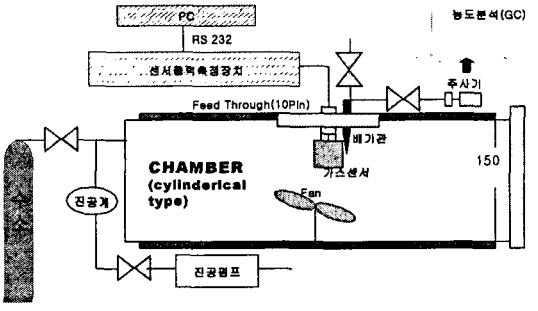
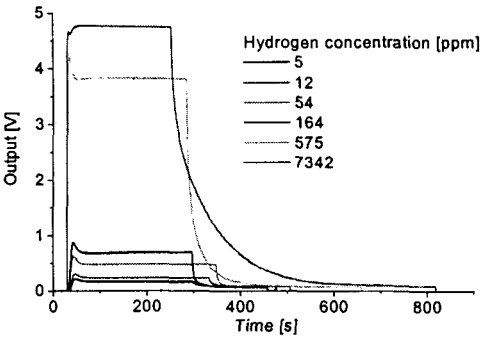


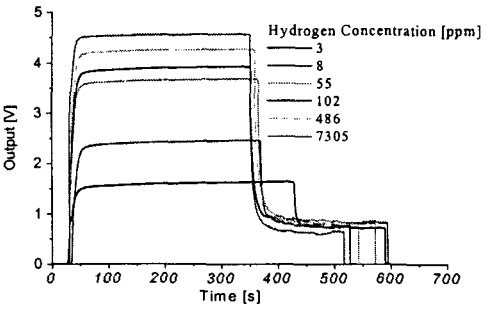

**그림 2. 실험장치 구성도**
**Fig. 2. Experimental setup**

## 2.2 실험결과

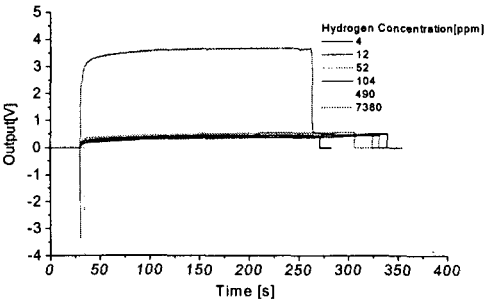
여러 가지 수소가스 농도에 대한 세 가지 가스센서에 대한 대표적 응답특성은 그림 3과 같다. 그림 3에서와 같이 각 센서의 출력은 한 가스농도에서 센서전원 인가 10여초 후 어떠한 값으로 포화되고 농도의 증가에 따라 출력크기도 증가하는 특성을 보였다. 이러한 특성을 감안하여 각 농도에 대한 출력값은 센서 전원 인가 1분 후 측정하는 것으로 하였다.




(a) 센서 1




(b) 센서 2

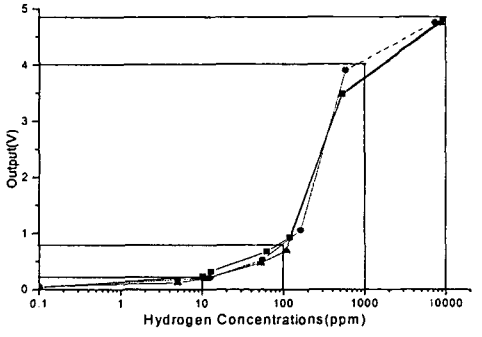



(c)센서 3

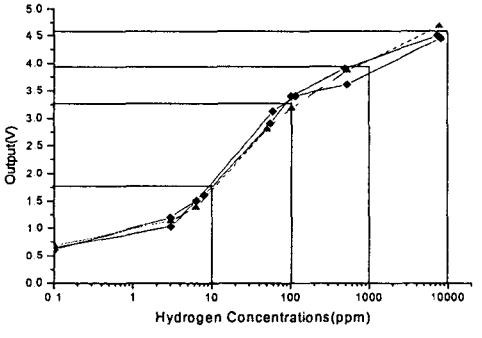
**그림 3. 세 가지 종류 가스센서의 대표적 수소 응답특성**
**Fig. 3. Typical responses to hydrogen gases of each sensor**

그림 4는 그림 3과 같은 센서의 출력곡선으로부터, 센서 전원인가 후 1분이 경과되었을 때 측정한 각각의 센서 종류별 3개 센서에 대한 수소가스농도 변화에 따른 출력특성을 보여주고 있다. 그림 3에서와 같이 측정된 수소농도 범위는 수 [ppm]에서 약 10,000[ppm]까지이며, 같은 종류의 3개의 센서는 수

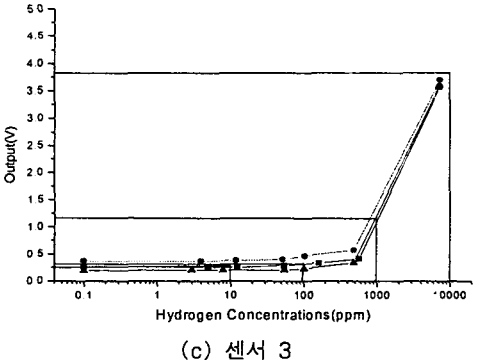
소 농도에 대하여 모두 유사한 출력특성을 보이는 것으로 나타났다. 한 특성을 분석하기 위하여 그림 4에서 표시한 바와 같이 10, 100, 1000, 10000[ppm]의 가스농도에서 각 센서종류의 3개의 센서에 대한 평균출력을 구한 후, 각 영역에서의 출력 증가비를 구하였다. 표 1은 이와 같은 결과를 정리한 것이다.




(a) 센서 1




(b) 센서 2




(c) 센서 3

그림 4. 수소농도에 대한 센서출력특성
Fig. 4. Sensor output with hydrogen concentrations

## 2.3 실험결과고찰

그림 4로부터 세 가지 종류의 센서는 가스농도의 증가에 따라 출력도 증가하고 있지만 서로 다른 출력값과 증가경향을 보이는 것으로 나타났다. 이러표 1에서와 같이 센서 1은 1000[ppm]까지, 즉 세 번째 영역까지 약 5배 정도의 일정한 증가비를 보이다가 1000[ppm]이상에서 증가율이 1.2로 급격히 감소하고 있다. 따라서 분해능 측면에서 센서 1은 1000[ppm]까지가 양호한 특성을 보인다고 할 수 있지만 10[ppm]이하에서는 출력이 0.2[V]이하로서 측정시 외부잡음의 영향을 받기 쉽기 때문에 센서 1은 10~1000[ppm] 영역에서 측정조건이 가장 양호하다고 할 수 있다. 센서 2는 농도증가에 대하여 출력전압 증가비는 처음 3에서부터 감소하지만 0~100[ppm] 영역에서 비교적 양호한 증가비와 0.6[V] 이상의 큰 출력전압을 보이고 있는 것으로 나타났다. 센서 3의 경우는 네 번째 영역인 1000~10000[ppm]에서 양호한 분해능과 큰 출력전압을 보이는 것으로 나타났다. 이와 같이 각 센서는 그 종류에 따라서 양호한 분해능과 높은 출력값을 보이는 가스농도 영역이 다르기 때문에 이를 적절히 조합하여 사용하면 넓은 가스농도의 범위에서 양호한 분해능을 가질 수 있고 잡음의 영향을 줄일 수 있을 것이다.

표 1. 여러 가지 수소가스영역에서 센서 출력의 비교
Table 1. Comparison of sensor output in the several concentration ranges

| 수소농도 ([ppm]) | | 0~10 | 10~100 | 100~1,000 | 1,000~10,000 |
|---|---|---|---|---|---|
| 출력 (증가율) | 센서 1 | 0.04~0.2 (5) | 0.2~0.8 (4) | 0.8~4.0 (5) | 4.0~4.8 (1.2) |
| | 센서 2 | 0.6~1.8 (3) | 1.8~3.3 (1.8) | 3.3~4.2 (1.2) | 4~4.6 (1.1) |
| | 센서 3 | 0.4~0.4 (1) | 0.4~0.4 (1) | 0.4~1.2 (3) | 1.2~3.8 (3.2) |

일반적으로 가스센서는 측정 대상가스 이외에 다른 가스에도 반응을 하기 때문에 다른 가스에 대해 반응을 하게 되면 대상가스의 존재여부 및 그 농도를 잘못 지시할 수 있다. 본 연구에서는 3가지 종류

의 가스센서를 사용하여 수소가스의 선택성을 높일 수 있는 방안에 대하여 분석하였다. 그림 5는 그림 4에서 구한 0, 5, 10, 50, 100, 500, 1000, 5000, 10000[ppm]에서의 3가지 종류 가스센서의 평균출력을 비교한 것이다. 이 그림에서와 같이 3가지 센서는 어떠한 수소가스 농도에 대하여 특징적인 출력값과 분포패턴을 보이면서 변하고 있다. 만약 3가지 종류의 가스센서가 수소 가스외에 다른 가스와 반응하더라도 센서 출력값에 대한 패턴이 그림 4의 것과 같은 패턴과 일치하지 않는다면 결과적으로 수소가스가 없는 것으로 판정하게 된다. 이러한 특성을 확인하기 위하여 대표적 유중가스인 메탄(CH4)과 일산화탄소(CO)에 대한 3가지 가스센서의 반응실험을 실시하였다. 각각의 가스농도는 CH4가 615[ppm], CO가595[ppm]이며, 3가지 종류의 센서에 대한 출력패턴을 그림 4에 점선으로 표시하여 수소가스의 패턴과 비교하였다. 그림 4에서와 같이 그래프의 가장 아래쪽에 있는 CH4가스는 약 1[ppm]이하의 매우 낮은 수소가스패턴과 유사한 패턴을 보이고 있어 수소가스가 없는 것으로 판정할 수 있으며, CO는 수소 10[ppm]과 유사한 패턴을 보이지만 센서 3에서 수소 10[ppm]과 CO가스의 출력은 약 2배 정도의 차이가 있어 충분히 패턴구분이 가능하여 수소가스가 없는 것으로 판정하게 된다.

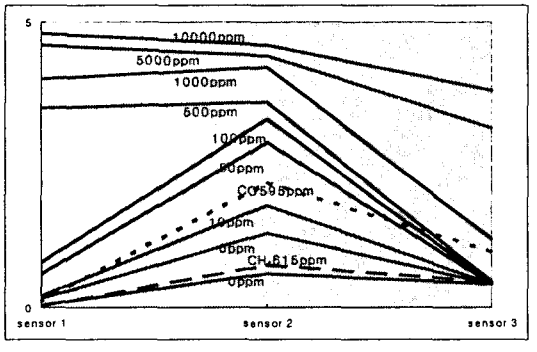



**그림 5. 3가지 종류 센서의 농도별 출력패턴**
**Fig. 5. Output patterns of three types of sensors with concentrations**

이와 같이 본 연구에서 사용된 세 가지 종류의 센서는 양호한 신뢰성을 가지고 광범위한 수소농도를 측정할 수 있고, 출력 분포에 대한 패턴인식을 이용하면 수소가스의 선택성을 높일 수 있는 것으로 나타났다.

## 3. 결 론

수소가스에 대한 3가지 종류의 가스센서의 응답특성 실험 및 분석결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 각 센서의 출력은 한 가스농도에서 센서전원 인가 10여초 이후 어떠한 값으로 포화되고 농도의 증가에 따라 출력크기도 일정한 특성을 가지고 증가하였다.
2. 센서 1은 10~1000[ppm] 영역에서, 센서 2는 0~100[ppm] 영역에서, 센서 3은 1000~10000[ppm] 영역에서 양호한 분해능과 큰 출력전압을 보이고 있어 세 가지 종류의 센서의 조합을 통하여 신뢰성있는 광범위의 수소농도 측정이 가능한 것으로 나타났다.
3. CO와 CH4에 대한 세 가지 종류의 가스센서의 출력분포 패턴은 수소가스에 대한 패턴들과 일치하지 않거나 수소가스가 없을 때의 패턴과 유사한 패턴을 보이고 있어 세 가지 가스센서의 출력 분포 패턴인식을 이용하면 수소가스의 선택성을 높일 수 있음을 알 수 있었다.
4. 세 가지 센서들의 출력분포 패턴을 인공지능화하여 자동으로 인식이 가능해 지면 유중 수소가스 측정에서 선택성이 우수한 광영역의 수소가스농도 감시가 가능할 것으로 생각된다.

## References

[1] M. Shirai et al.,"Generation of hydrogen from insulating oil in transformer", JIEEJ A, Vol. 96, No. 6, 1976.
[2] Y. Inoue et al., "Development of oil-dissolved hydrogen gas detector for diagnosis of transformer", IEEE Trans. on PWRD, Vil. 5, No. 1, 1990.
[3] J.J.Kelly. "Transformer Fault Diagnosis by Dissolved-Gas Analysis" IEEE Transactions on Industry Application. Vol. 16. No. 6. pp. 777-782, November 1980.
[4]ANSI/IEEE C57.104-1978, "Guide for the detection and determination of generated gases in oil-immersed transformer and their relation to the serviceability of the equipment".

[5] IEC Publication 567, Guide for the sampling of gases and of oil from oil filled electrical equipment and for the analysis of free and dissolved gases, Second Edition, 1992.
[6] CE Syprotec, Hydran H201i System and Hydran H201R Model I, Transformer Incipient Fault Monitor, Instruction Manual Version 2.11. March 97.
[7] A. Varl, "On-line diagnostics of oil-filled transformers", Proc. ICDL 2002, pp. 253-257, July 2002.
[8] R. Qin, "An oil/gas separation membrane and its use in gas sensor for on-line incipient fault monitoring of transformer", ACED 2004 pp.385-387.
[9] J. L. Rodriguez et al., "Robust, wide range hydrogen sensor", IEDM 92, pp.521-524.
[10] S. Birlasekaran et al., "Use of FFT and techniques in monitoring of transformer fault gases", proc. 1998 ISEIM, pp.75-78.
[11] S. B. Belhouari, et al., "Gas identification algorithm for microelectronic gas sensor", IMTC 2004, pp584-587, May 2004.

## ◇ 저자소개 ◇

**선종호** (宣鍾好)
1962년 10월 10일생. 1986년 부산대 전기공학과 졸업. 1988년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2001년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 한국전기연구원 산업전기연구단 전력설비진단연구그룹 책임연구원.

**한상보** (韓尙甫)
1972년 9월 22일생. 1998년 경남대 전기공학과 졸업. 2000년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2004년 동 경대학 전자공학과 졸업(박사). 현재 한국전기연구원 산업전기연구단 전력설비진단 연구그룹 선임연구원.

**이상화** (李相和)
1978년 1월 25일생. 2001년 고려대 전자공학과 졸업. 2003년 포항공대 전지공학과 졸업(석사). 현재 한국전기연구원 산업전기연구단 전력설비진단 연구그룹 연구원.

**김광화** (金光和)
1956년 5월 12일생. 1981년 부산대 전기공학과 졸업. 1983년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1992년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 한국전기연구원 산업전기연구단 전력설비진단연구그룹 책임연구원.

**강동식** (姜東植)
1956년 10월 13일생. 1983년 부산대 전기공학과 졸업. 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2002년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 한국전기연구원 산업전기연구단 전력설비진단 연구그룹 책임연구원, 그룹장.

**황돈하** (黃敦夏)
1969년 2월 10일생. 1991년 영남대 전기공학과 졸업. 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2003년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 한국전기연구원 산업전기연구단 전력설비진단 연구그룹.