

내부 최적화를 이용한 화학 센서의 단기 드리프트 분석 및 보정

전진영¹ · 백종현² · 변형기^{1,+}

Short Term Sensor's Drift Analysis and Compensation Using Internal Normalization

Jin-Young Jeon¹, Jong-Hyun Baek², and Hyung-Gi Byun^{1,+}

Abstract

One of the main problems when working the chemical sensor is the lack of repeatability and reproducibility of the sensor response. If the problem is not properly taken into consideration, the stability and reliability of the system using chemical sensors would be decreased. In this paper we analyzed the sensor's drift of short term and proposed a compensation method for reducing the effects of the drift in order to improve the stability and the reliability of the chemical sensor. The sensor drift was analyzed by a trend line graph and CV(coefficient of variation) was used to quantify. And we compensated for the drift by using the internal normalization. As a result it was found that the value of CV was decreased after compensation.

Keywords: Short term, Data analysis, Drift compensation, Internal normalization

1. 서 론

화학 센서(chemical sensor)는 일반적으로 피검체 안에 포함되는 목적 화학 물질을 포착하여 그 종류나 농도를 전기적 신호로 변환하는 장치라고 할 수 있으며, 센서 표면에 휘발성 화합물(volatile compound)이 접촉되면, 센서를 구성하는 물질의 특성이 변하게 된다. 이러한 변화가 특정 화합물에 대한 특징으로 사용된다[1]. 화학센서를 이용함에 있어서 가장 중요한 문제 중 하나는 센서 응답의 불안정성(instability) 또는 가변성(variability) 및 재현성(repeatability)에 있으며, 이 문제들은 실제 산업 현장에 센서 시스템의 적용을 제한하고 있다[2]. 시간이 지남에 따라 발생하는 화학 센서의 안정성 문제가 바로 센서 드리프트(drift)로 알려져 있으며, 이 드리프트는 동일한 환경에서 동일한 샘플에 노출 될 때, 작은 센서 응답들의 비결정적인 일시적 변화들로 인해 발생된다[3]. 장기 드리프트(몇 달, 몇 년 동안 측

정된 드리프트)는 센서 노화(aging)[4] 또는 열 기계적 열화(thermomechanical degradation)에 의해 생길 수 있으며[5], 단기 드리프트(몇 일, 몇 주 동안 측정된 드리프트)는 가스 측정 시스템의 하드웨어 결함이나 환경요인 등 다양한 원인에 의해 영향을 받을 수 있다[6]. 이러한 드리프트 현상은 센서의 안정성(stability)과 신뢰성(reliability)을 확보하기 위하여 보정해야 할 아주 중요한 요소이다. 따라서 센서의 재현성과 신뢰성을 확보하기 위해, 본 논문에서는 측정 데이터의 내부 정규화(internal normalization)[7]를 통한 단기(short term) 드리프트 보정(drift compensation) 실험을 수행 하였으며, 변화량 계수(CV)를 통해 보정 전 후 측정 데이터의 가변성을 정량화 하여 나타내었다. 덧붙여, 본 연구를 위한 센서 및 센서 데이터들은 공동연구기관인 고려대학교로부터 제공되었으며, 실험에 쓰인 데이터 측정에 이용된 센서는 Pd 촉매가 내부에 도포된 Co₃O₄ 센서로 hierarchical nanostructures로 합성 되었다.

¹ 강원대학교 전자정보통신공학부 (Division of Electronics, Information & Communication Engineering, Kangwon National University)5-Engineering Bldg., Kangwon National University, Joongang-ro Samcheok-si Gangwon-do, 245-711, Korea

² 수성대학교 컴퓨터정보과(Dept. of Computer Information, Suseong College) 15, Dalgubeoldaero-528 gil, Suseong-gu, Daegu, 706-711, Korea

⁺ Corresponding author: byun@kangwon.ac.kr

(Received: Jun. 30, 2015, Accepted: Aug. 5, 2015)

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/bync/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

2. 실험 방법

2.1 데이터 특징 선택 및 데이터 전처리

2.1.1 데이터 특징 선택

본 연구에 사용된 데이터는 앞서 언급한 Pd-doped Co₃O₄ 센서로 VOC (Volatile Organic Compounds) 가스인 Toluene 1ppm 을 측정 한 데이터이다. 가스 측정 시 센서의 동작 온도는 300°C 였으며, 가스 측정은 24시간 동안 연속으로, 1시간 마다 총 22

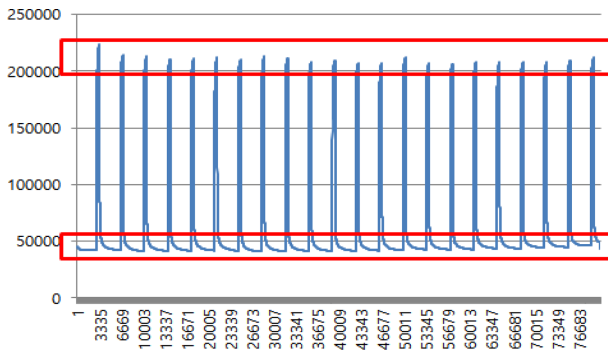


Fig. 1. Gas sensing property of Pd-doped Co₃O₄ to 1 ppm Toluene gas.

Table 1. Selected values in raw data from Fig. 1

T(hour)	Raw_Ra	Raw_Rg
0	41943.82	224281
1	42126.67	214297.5
2	41291.99	213040.3
3	41433.75	210730.7
4	41521.15	211304.7
5	41853.75	212799.1
6	41254.09	210057
7	40875.78	213208.4
8	41149.81	211265.3
9	41456.63	207987.4
10	41325.27	209193.3
11	41496.08	207226.7
12	41837.42	207089.9
13	42045.71	212238.2
14	42760.33	207657.2
15	42600.89	206545.5
16	42801.1	208581.5
17	43689.66	208367
18	43558.75	208230.3
19	44359.32	208251
20	44883.29	209661.8
21	46390.47	211987.3

회 반복 측정하는 것으로 진행 되었다. 이때, 측정 환경의 습도는 0% 였으며, 매 측정 시 가스 반응 시간은 300초, 센서 회복 시간은 3300초로 설정 후, 1초마다 샘플링이 수행 되었다.

그 결과 Fig. 1과 같이 약 24시간 동안 연속으로 측정된 데이터 샘플이 얻어졌다. 이렇게 얻어진 데이터를 이용한 드리프트 분석과 보정 실험을 진행하기 위해서는 적절한 데이터의 특징 선택이 필요하므로, 본 연구에서는 이를 위하여 Fig. 1에서 보이는 각 측정에서 각각의 최고 값과 최저 값을 특징으로 하여 선택 후 실험에 사용 하였다.

Table 2. Preprocessed data of selected values in Table 1

T(hour)	(Rg-Ra)/Ra
0	4.347177
1	4.086979
2	4.159363
3	4.085966
4	4.089087
5	4.08435
6	4.091785
7	4.216007
8	4.134053
9	4.016988
10	4.062116
11	3.993886
12	3.949873
13	4.047797
14	3.856305
15	3.848385
16	3.873275
17	3.769253
18	3.780446
19	3.694639
20	3.671266
21	3.569631

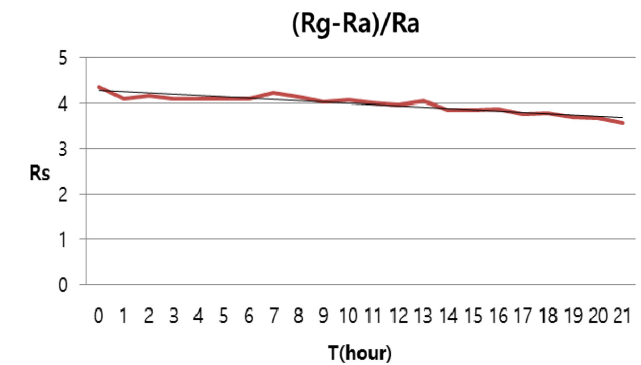


Fig. 2. The graph of preprocessed data

선택된 특징 값들은 Table 1에 나타내었다. Table 1의 T(hour)는 각 측정 시간을 의미하며, 측정은 앞서 언급했듯이 1시간에 한번씩 총 22회 측정 되었다. 이어서 Raw_Ra는 각 측정에서 선택된 최저 값 즉, 베이스 라인 값을 의미하며, Raw_Rg는 각 측정에서 선택된 최고 값, 즉 가스 반응 값을 의미한다.

2.1.2 데이터 전처리

드리프트 분석 및 보정 실험에 사용될 데이터는 앞서 선택된 각 측정의 Ra 값과 Rg 값을 식(1)을 적용하여 감도 값으로 변

환 후 사용 하였다. 식(1)을 이용하여 변환된 감도 R_s 는 0을 최저 값으로 갖는다.

$$R_s = \frac{R_{Gas} - R_{Air}}{R_{Air}} \tag{1}$$

Table 1의 데이터에 식(1)을 적용하여 Table 2와 같이 전처리된 감도 데이터를 얻었으며, 얻어진 데이터를 그래프화 한 결과 Fig. 2 와 같은 그래프가 얻어 졌다. 이렇게 얻어진 데이터를 이용하여 드리프트 분석과 보정 실험을 진행 하였다.

2.2 드리프트 분석 및 보정 기법

2.2.1 드리프트 분석

본 연구에서는 Table 2와 같이 전처리 된 각 시간의 대표적인 특징들의 드리프트 분석을 위하여, 변화량 계수(CV)를 이용한 가변성 정량화 성능 지수를 정의했다. 이 변화량 계수는 식(2)와 같이 표준 편차를 평균 값으로 나눈 값으로 정의 된다.

$$CV = \frac{s}{x} \times 100 \tag{2}$$

식(2)에서 s 는 표준 편차이며, x 는 평균을 나타낸다. 이어서, 측정 데이터의 가변성을 시각적으로 비교하기 위하여 Box-plot을 사용 하였다. Box-plot은 데이터의 사분위수를 통해 수치자료의 그룹들을 그래프로 표현하는 방법으로, 박스의 다른 부분들 사이의 간격은 분산의 정도와 데이터의 비대칭도를 나타낸다.

2.2.2 드리프트 보정 기법

드리프트 보정을 위한 내부 정규화 방법은 측정된 데이터로부터 식(3)의 계수 a 와 b 를 추정한 후, 추정된 계수를 식(4)에 적용하여 보정된 데이터 셋을 얻는 방법이다.

내부정규화(internal normalization)를 통한 드리프트 보정을 위하여 먼저 Fig. 2와 같이 앞서 얻어진 측정 감도 값을 측정 시간에 따라 그래프로 나타낸 후, 그 위에 측정 값들을 하나의 선으로 잇는 추세선을 그려 나타낸다. 이어서, 그려진 추세선을 만족하는 식(3)의 계수 a 와 b 를 추정하였으며, 이후 추정된 계수를 식(4)에 적용하여 데이터의 드리프트 보정을 진행 하였다.

$$Output = a + bT \tag{3}$$

$$Output_c = Output - b(T - T) \tag{4}$$

3. 결과 및 고찰

식(3)의 계수들을 추정하기 위하여, 측정 데이터를 Fig. 3 과

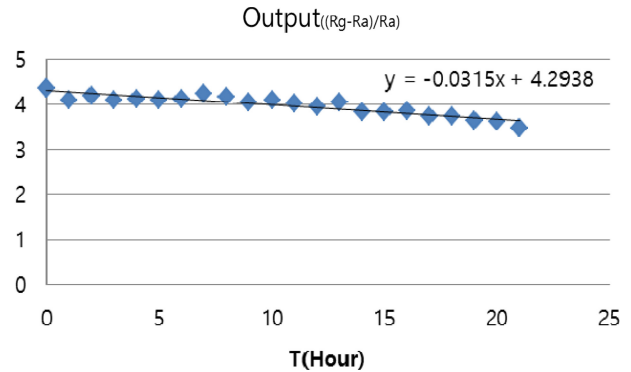


Fig. 3. The Trend line graph of the values of Output on the T

Table 3. The compensated data and difference from the original data

T(Hour)	Output	Outputc	Difference
0	4.347177	4.016427	0.33075
1	4.08262	3.78337	0.29925
2	4.174903	3.907153	0.26775
3	4.098127	3.861877	0.23625
4	4.099164	3.894414	0.20475
5	4.086497	3.913247	0.17325
6	4.108229	3.966479	0.14175
7	4.24147	4.13122	0.11025
8	4.152984	4.074234	0.07875
9	4.028603	3.981353	0.04725
10	4.076864	4.061114	0.01575
11	4.004561	4.020311	-0.01575
12	3.95241	3.99966	-0.04725
13	4.045368	4.124118	-0.07875
14	3.836838	3.947088	-0.11025
15	3.83272	3.97447	-0.14175
16	3.852836	4.026086	-0.17325
17	3.72763	3.93238	-0.20475
18	3.741944	3.978194	-0.23625
19	3.63705	3.9048	-0.26775
20	3.601185	3.900435	-0.29925
21	3.463617	3.794367	-0.33075

같이 추세선과 함께 나타내었다. Fig. 3의 x축은 측정 시간을 나타내며, y축은 감도 값을 나타낸다.

여기서 관찰 할 수 있는 바와 같이 추세선의 모양이 명확하게 시간에 따라 선형임을 알 수 있다. 이는 실험에 사용된 센서의 드리프트가 시간에 따라 선형적으로 발생함을 보여주는 것이다. 이후 이렇게 얻어진 추세선을 통해 식(3)의 a 와 b 를 추정 한 결과 $a=4.2938$, $b=-0.0315$ 로 추정 되었다.

위와 같이 추정된 계수 b 를 식(4)에 적용 하여 내부 정규화를 수행한 결과 Table 3과 같은 결과를 얻을 수 있었다. Table

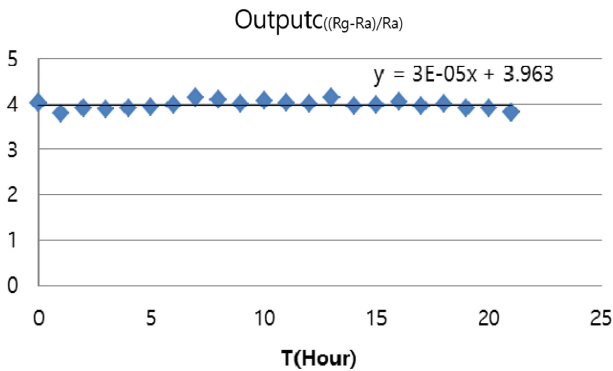


Fig. 4. The Trend line graph of the compensated values of the Output on the T.

Table 4. The CV and compensated CV(CVc)

CV	CVc
6.472161 %	2.659203 %

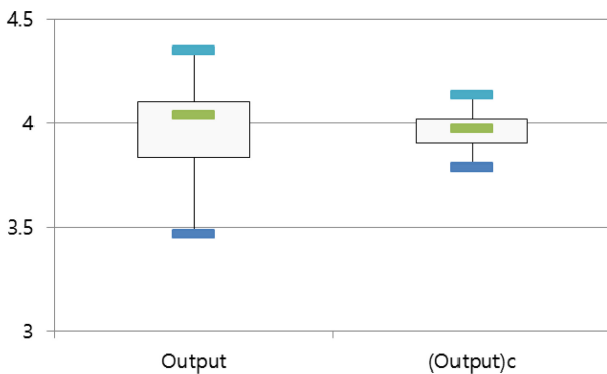


Fig. 5. The box-plot of Output and Compensated Output((Output)c)

3의 Output은 전처리된 측정 데이터를 의미하며, Outputc는 내부정규화 적용 후 드리프트가 보정된 데이터를 의미한다. 그리고 Difference는 Output과 Outputc의 차이로, 보정 수치를 의미한다.

Fig. 4는 Table 3의 Outputc의 값을 그래프로 나타낸 후 추세선을 그린 그래프이다. Fig. 3과 Fig. 4의 추세선과 추세선 수식을 비교하면, 보정 전후의 차이가 나타나는 것을 확인 할 수 있다. 이러한 보정 전 후 가변성의 차이를 CV계산을 통해 보다 정량화된 수치로 Table 4에 나타내었다.

Table 4에 나타낸 것처럼 보정 전후 데이터의 CV 계산 결과, 보정 전(CV) 6.472 %, 보정 후(CVc) 2.659 % 로, 드리프트 보정 후, 약 3.812 % 가량 CV 수치가 감소한 것을 확인 하였다. 이어서 이렇게 확인된 데이터의 보정 전후 가변성 변화의 시각적인 비교를 위하여, Fig. 5와 같이 Box-plot의 형태로 나타내었다. 보정 전 후 Box-plot의 모양을 비교했을 때, 보정 후(Outputc)의 박스 크기가 확연히 작아 진 것을 확인 할 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서 우리는 추세선 그래프를 이용하여 측정 데이터의 드리프트가 선형적임을 확인 하였으며, 변화량 계수(CV)를 이용하여 이 드리프트를 정량화하여 나타내었다. 그리고 추세선을 통해 추정된 계수를 이용하여 드리프트를 보정하였다.

그 결과 보정 후의 CV 값이 감소한 것을 확인 하였으며, Box-plot을 통해 데이터의 가변성 변화를 시각적으로 확인 하였다. 이러한 센서 드리프트 보정을 통해 화학 센서의 재현성 개선과 안정성 증대가 가능할 것으로 생각되며, 궁극적으로 화학 센서를 이용한 가스 측정 시스템의 신뢰성을 향상 시킬 수 있을 것으로 보인다. 하지만 보다 더 명확한 결과를 위해서는 실험에 사용할 더 많은 연속 측정 데이터를 이용한 추가적인 실험들이 필요할 것이다.

Acknowledgment

본 연구는 산업통산자원부 “핵심소재원천기술개발사업” 으로 수행된 연구 결과임.

REFERENCES

- [1] S. Di Carlo, M. Falasconi, *Drift Correction Methods for Gas Chemical Sensors in Artificial Olfaction Systems: Techniques and Challenges*, In Advances in Chemical Sensors; InTech: Rijeka, Croatia, 2012.
- [2] M. Padilla, A. Perera, I. Montoliu, A. Chaudry, K. Persaud, and S. Marco, “Drift compensation of gas sensor array data by orthogonal signal correction”, *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, Vol. 100, pp. 28-35, 2010.
- [3] M. Holmberg, F. A. M. Davide, C. D. Natale, A. D'Amico, F. Winquist, I. Lundstrom, “Drift counteraction in odour recognition applications: Lifelong calibration method”, *Sensor and Actuators B Chemical*, Vol. 42, pp. 185-194, 1997.
- [4] R. K. Sharma, P. C. H. Chan, Z. Tang, G. Yan, I-M. Hsing, and J. K. O. Sin, “Investigation of stability and reliability of tin oxide thin-film for integrated micro-machined gas sensor devices”, *Sensor and Actuators B Chemical*, Vol. 81, pp. 9-16, 2001.
- [5] Mielle, P, “Managing dynamic thermal exchanges in commercial semiconducting gas sensors”, *Sensor and Actuators B Chemical*, Vol. 34, pp. 533-538, 1996.
- [6] C. Di Natale, E. Martinelli, A. D'Amico, “Counteraction of environmental disturbances of electronic nose data by independent component analysis”, *Sensor and Actuators B Chemical*, Vol. 82, pp. 158-165, 2002.
- [7] M. M. Macías, J. E. Agudo, A. G. Manso, C. J. García Orellana, H. M. González Velasco and R. G. Caballero, “Improving short term instability for quantitative analyses with portable electronic noses”, *Sensors*, Vol. 14, pp. 10514-10526, 2014.