

## 적외선 가연성 가스검지기의 농도 산출 알고리즘의 설계 및 구현

한승호 · 유근준\* · 이연재\* · 김희식 · 박규태\*<sup>†</sup>

서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부, \*한국가스안전공사 가스안전연구원  
(2015년 12월 15일 접수, 2016년 2월 8일 수정, 2016년 2월 12일 채택)

### Design and Implementation of Concentration Calculation Algorithm for the Infrared Combustible Gas Detector

Seungho Han, Geunjun Lyu, Yeonjae Lee, Hiesik Kim, Gyoutae Park\*<sup>†</sup>

Dept. of Electrical and Computer Engineering, University of Seoul

\*Institute of Gas Safety R&D, Korea Gas Safety Corporation

(Received 15 December 2015, Revised 8 February 2016, Accepted 12 February 2016)

#### 요 약

가스사고 연감에 의하면 최근 가연성 및 독성 가스로 인한 사고가 끊임없이 발생하고 있다. 이러한 사고를 예방하기 위하여 위험지역에서도 안전하게 가스 누출여부를 검사할 수 있는 검지기를 개발하고자 한다. 따라서 본 논문에서는 적외선 가스센서의 응답특성에 근사하는 방정식을 선형회귀를 이용하여 도출하였다. 선형회귀방정식을 통해 도출된 결과를 Neville 반복 보간법을 활용하여 알고리즘을 제안하였다. 또한, 제안한 알고리즘을 시판중인 가연성 가스누출검지기와 한국가스안전공사에서 제조한 7종의 표준가스를 이용하여 시험을 한 결과 성능이 향상될 수 있음을 확인하였다. 향후, 경년변화, 온습도 조건에 따른 성능변화를 분석하고, 방폭구조를 적용한 회로를 적용함으로써 신뢰성과 안정성을 향상시키고자 한다.

**주요어 :** 적외선 가스센서, 가스검지기, 보간법, 정확도 향상

**Abstract -** Recently, we can find news about toxic and combustible gas accident. So, we have to develop gas detector that can measure gas at dangerous area for preventing gas accidents. In this paper, we calculate a approximation function from sensor's output using the linear regression. And we develop software algorithm using Neville's algorithm for measuring gas concentration. Finally, we compare our algorithm with combustible gas detectors that are already developed, by using standard gas samples manufactured Korea Gas Safety. As a result of this experiment, we confirm that performance of our algorithm is more improved than performance of already developed combustible gas detectors. In the future, we'll research how to improve reliability from using count, temperature and humidity. And we'll design hardware applied explosion proof for safety.

**Key words :** Infrared gas sensor, Gas detector, Interpolation, Accuracy improvement

<sup>†</sup>To whom corresponding should be addressed.

Institute of Gas Safety R&D, Korea Gas Safety Corporation  
Tel : 043-750-1472 E-mail : gtparkgs@kgs.or.kr

## 1. 서론

산업이 매년 고도화됨에 따라 일반 가정에서 사용하는 천연가스 및 LPG 뿐만 아니라 산업현장에서 사용하는 암모니아, 수소 등 각종 유독가스와 가연성 가스의 사용량은 매년 증가하고 있다[1]. 이에 따라 각종 사고예방을 위한 안전관리의 중요성 역시 증대되고 있다. 하지만, 2015년 5월 충북 충주에 위치한 제검사 기관에서 발생한 LPG 폭발사고, 같은 해 10월에 충북 오창에서 발생한 암모니아 누출 사고 등 가스관련 사고가 매년 발생하고 있다[2]. 이러한 유독성, 가연성 가스 관련 사고가 발생하게 되면 막대한 물질, 인적 피해를 동반하므로 사전 감시 및 관리의 중요성이 매우 높다고 할 수 있다[3]. 따라서 사고를 예방하기 위하여 한국가스안전공사에서 실시하는 관련 교육을 이수한 전문가가 현장에서 가스누출검지기를 통하여 사고예방을 위한 노력을 수행 중에 있다. 하지만, 유독성 가스의 경우, 해당 지역으로 진입 시 반드시 보호 장비를 착용하더라도, 장시간 노출이 될 경우 중독으로 인한 사고가 발생할 수 있으며, 심각한 경우 사망에까지 이를 수 있다[4]. 가연성 가스의 경우 아주 작은 점화원만 존재하더라도 엄청난 폭발을 일으

킬 수 있기 때문에 취급 및 검사 과정에 있어서 상당한 주의를 기울여야 한다[4]. 이에 검사원이 비 위험 구역에서도 안전하고 편리하게 가스를 검지할 수 있도록 하며, 실시간으로 모니터링이 가능한 가스 검지기를 개발하려고 한다. 따라서 본 논문에서는 검지기 개발에 사용 할 센서 모듈에 대해 분석하고, 이를 바탕으로 가스검지기 개발에 필요한 소프트웨어 설계 및 구현을 진행하고자 한다. 또한, 이미 개발된 검지기의 성능을 분석하고 구현된 알고리즘과 비교분석을 통하여 앞으로 개발 할 검지기에 대한 최적의 방안을 모색한다.

## 2. 본론

### 2.1 적외선 가스센서 모듈의 선정

개발하고자 하는 가스 검지기는 정확도  $\pm 3\%$  Full Scale vol. 이내, 평균수명 5년, 방폭구조가 적용된 형태로 제작하려고 한다. 또한, 제품 생산의 경쟁력 확보를 위해 센서 모듈의 가격 역시 중요한 요소로 작용한다. 따라서 첫 번째로 검지기 개발에 사용 할 센서 모듈을 선정하기 위하여 시판중인 모듈의 사양을 바탕으로 분석하였다. Table 1.은 Fig. 1에서 확인할 수

**Table 1.** Specification of sensor modules

기본 사양		
항목	N.E.T.	
정격 전압	3.0-5.5 DCV	
MTBF	5년 이상	
무게	22g	
가격	240,000	
방폭	ATEX	II 2G Ex d IIC Gb
	IECEX	Ex d I and/or Ex d IIC
탄화수소화합물		
항목	N.E.T.	
측정 범위	메탄	0-5%, 0-100% vol.
	HC	0-100%LEL.
정확도	$\pm 1\%FS(\leq 25\%)$ $\pm 2\%FS(\leq 50\%)$ $\pm 5\%FS(> 50\%)$	
응답시간(T90)	30초 미만	



Fig. 1. Infrared gas sensors(N社)

있는 제품의 사양을 나타낸 것이다[5].

제조사에서 제시하고 있는 사양을 확인 한 결과, 정확도 부분에서 50%LEL 이상 구간에서 측정 시 논문에서 목표로 삼고자 하는 정확도의 범위에 미치지 못하는 것을 확인할 수 있었다. 하지만, 제조사에서 제시한 사양만으로는 사용하고자 하는 센서 모듈의 정확한 특성을 파악하기 어렵다. 따라서 Fig. 2에 보이는 것과 같이 측정환경을 구성하고 가스 센서 모듈의 농도에 대한 전압의 응답 특성을 조사하였다. 실험 환경은 18.6℃, 습도 47%이며, 그 결과는 Table 2.와 Fig. 3과 같다.

제시한 결과에서 알 수 있듯이, 센서의 출력 값이 0%LEL, 20%LEL 구간을 제외하고 약간의, 혹은 상당한 오차가 발생함을 알 수 있다. 이 결과를 검지기 개발에 그대로 이용하게 될 경우 농도를 모르는 가스

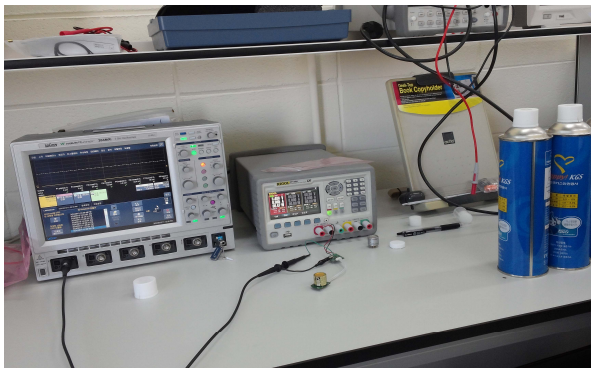


Fig. 2. Testing gas sensor module

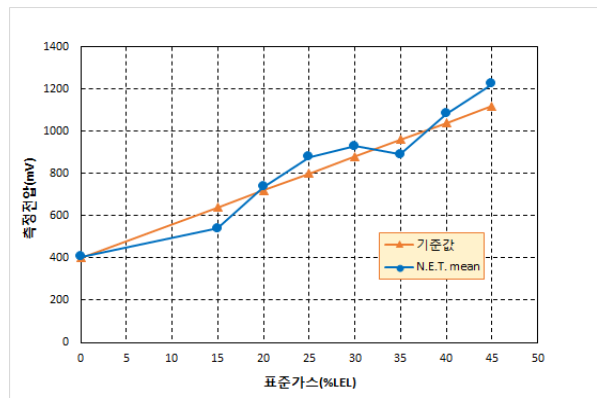


Fig. 3. A result graph of output voltage

Table 2. Result of sensor modules

표준가스 농도		적외선 센서(mV)		
%LEL	%vol	max	min	mean
0	0	407.1	405	405.2
15	0.75	557.2	515.8	539.4
20	1	754.5	711.7	736.6
25	1.25	907.1	847	879.3
30	1.5	944.7	893.6	929
35	1.75	911.9	861.1	889.3
40	2	1110.5	1031.1	1083.6
45	2.25	1244.1	1173.1	1224.7

를 주입하였을 때 그 농도를 추론하기가 상당히 어렵다고 할 수 있다. 따라서 2.2절에서 선형회귀방정식을 이용하여 센서의 응답특성을 분석 해 보고자 한다.

**2.2 적외선 가스센서의 응답 특성 분석**

시험을 통하여 획득한 센서 모듈의 응답 특성을 분석하기 위하여 먼저 선형회귀함수 중 최소제곱법을 이용하였다. 최소제곱법은 주어진 자료들과 가장 유사한 일차함수를 구하는 것으로, 주어진 자료와 일차함수간의 오차가 가장 적게 하는 것이다.

$$y = ax + b \dots\dots\dots (1)$$

제시된 식 (1)처럼 근사함수가 정의된다면, 주어진 N개의 자료  $(p_1, q_1), (p_2, q_2), (p_3, q_3), \dots, (p_n, q_n)$  와 식 (1)에 대한 각각의 오차  $e_i$ 는 식 (2)와 같다.

$$e_i = q_i - y_i = q_i - (ap_i + b) \dots\dots\dots (2)$$

최소제곱법의 목표는 오차의 합의 제곱이 최소가 되는 것이므로 이것을 수식으로 표현하면 식 (3)과 같은 형태로 이루어진다.

$$S = \sum_{i=1}^n (e_i)^2 = \sum_{i=1}^n (q_i - y_i)^2 = \sum_{i=1}^n (q_i - (ap_i + b))^2 \dots (3)$$

식 (3)의 값을 최소화하기 위해서는 식 (3)을 각각 a, b에 대하여 편미분한 두 개의 식 (4), (5)가 다음을 만족하여야 한다.

$$\frac{\partial S}{\partial a} = 2 \sum_{i=1}^n (q_i - ap_i - b)(-p_i) = 0 \dots\dots\dots (4)$$

$$\frac{\partial S}{\partial b} = 2 \sum_{i=1}^n (q_i - ap_i - b)(-1) = 0 \dots\dots\dots (5)$$

이를 바탕으로 센서 모듈의 출력 전압에 대한 근사함수를 구하면 식 (6), (7)과 같다.

$$y = 17.9631x + 364.3559 \dots\dots\dots (6)$$

여기서 x는 가스의 %LEL 농도이고, y는 센서 모듈의 응답 특성에 대한 근사값(mV)이다. 하지만 알고

리즘 설계 시 적용되어야 할 수식은 센서 모듈의 응답 특성에 대한 근사값으로부터 가스의 %LEL 농도를 추론해야 하기 때문에 식 (6)에 대한 역함수를 구하면 식 (7)과 같다.

$$y = 0.0557x - 20.2836 \dots\dots\dots (7)$$

**2.3 가스농도 산출을 위한 알고리즘 설계**

센서 모듈의 출력 값은 센서 모듈 고유의 응답특성 및 주변 환경, 사용 횟수 등에 따라 그 값이 변하게 된다[6]. 따라서 선정된 센서 모듈을 올바르게 적용하기 위해서는 센서 모듈에서 출력되는 데이터를 분석하여 적절한 보간이나 맵핑, 학습 등을 통한 교정 작업을 적용하여야 한다[7]. 이에 따라 2.2절에서 도출한 결과를 바탕으로 실제 가연성 가스검지기에 적용할 수 있는 소프트웨어를 작성하기 위하여 알고리즘을 설계하였다.

Fig. 4에서 볼 수 있듯이, 가스 주입 → 출력전압 측정 → 전압을 농도로 변환 → 값 표시의 4단계로 진행하였다. 이 4단계 중 “전압을 농도로 변환”하는 단계에서 2.2절에서 도출한 수식을 바탕으로 보간이나, 맵핑, 학습 등을 통한 교정 작업을 선정하고 적용하는 것이 가장 중요하다고 할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 네빌레(Neville)의 반복 보간법을 추가로 적용하였다. 네빌레 반복 보간법은 뉴턴 방정식을 기초로 한 재귀 알고리즘이다[8]. 네빌레 반복 보간법이 라그랑

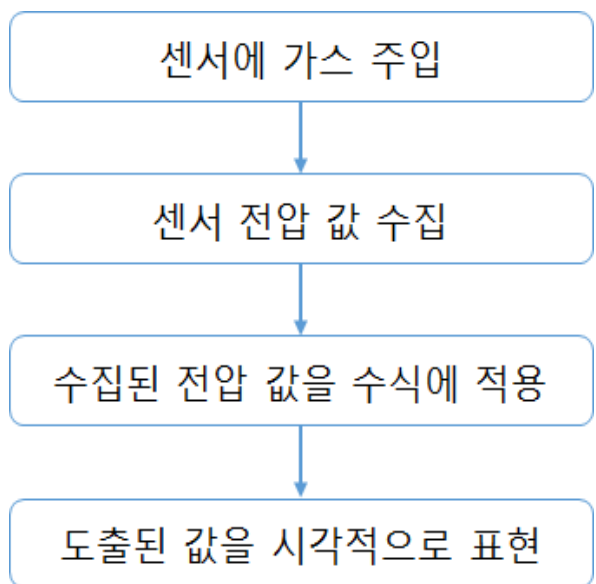


Fig. 4. Measuring algorithm

지(Lagrange) 보간다항식에 비해 좋은 점은 새로운 점이 추가될 때, 이전 단계에서 계산한 결과를 다시 활용하여 편리하게 보간 다항식을 도출할 수 있다는 것이다[9]. 이 보간법은 함수  $f(x)$ 가 폐구간  $[a, b]$  위에서 정의되고, 이 구간 안에 있는  $(n+1)$ 개의 서로 다른 점  $x_0, x_1, x_2, \dots, x_n$ 에 대한 각각의 함수값  $f(x_0), f(x_1), f(x_2), \dots, f(x_n)$ 을 안다고 하면 다음과 같은 방정식을 도출할 수 있다[9].

$$P_{i,0}(x) = f(x_i) = y_i \text{ 일 때,}$$

$$P_{i,j}(x) = \frac{(x_i - x)}{(x_i - x_{i-1})} P_{i-1,j-1}(x) + \frac{(x - x_{i-1})}{(x_i - x_{j-1})} P_{i,j-1}(x)$$

..... (8)

이를 바탕으로 실제 가스농도를 측정하기 위한 알고리즘을 작성하면 다음과 같다.

```
function Neville(x[0:n], y[0:n], input a)
data_prev := y
data_curr := zero array
for i := 0 to n-1
    for j := 0 to (n-1)-(i-1)
        data_curr[j]
            = ((a-x[j])data_prev[j+1] - (a-x[j+1+i])data_prev[j])/(x[j+1+i]-x[j])
    end
    for j := 0 to (n-1)-i
        data_prev[j] := data_curr[j]
    end
end
return data_curr[0]
```

Fig. 5. Pseudo code for Neville's interpolation

Fig. 6과 같이 Matlab을 활용하여 작성된 코드를 통하여 데이터 수집 장치에 센서 모듈을 연결한 뒤,

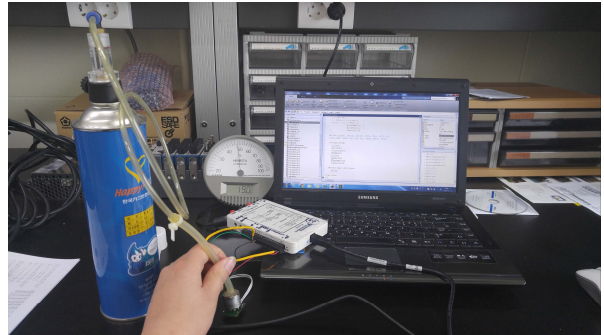


Fig. 6. Testing algorithm using Matlab and a data gathering device

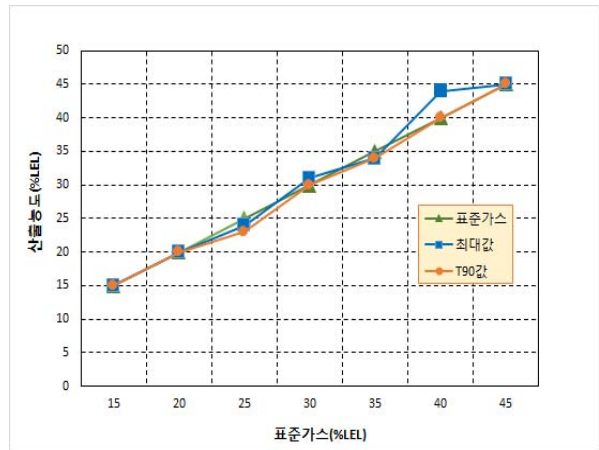


Fig. 7. A graph of result values using algorithm

Table 3. Result values using algorithm

표준가스 농도		측정최대치 (%LEL)	T90 측정치 (%LEL)
%LEL	%vol		
15	0.75	15	15
20	1	20	20
25	1.25	24	23
30	1.5	31	30
35	1.75	34	34
40	2	44	40
45	2.25	45	45

**Table 4.** Environment of experiment

	국내	해외
온도	18.6℃	23.7℃
습도	22%	42%

**Table 5.** Result value of gas detector(domestic)

표준가스 농도		측정최대치 (%vol)	T90 측정치 (%vol)
%LEL	%vol		
15	0.75	0.88	0.72
20	1	1.04	1.02
25	1.25	1.5	1.45
30	1.5	1.51	1.48
35	1.75	1.77	1.75
40	2	2.16	2.08
45	2.25	2.12	2.08

센서 모듈에 가스를 주입하여 실험을 진행 한 결과는 아래의 표와 그림과 같다.

제시된 결과에서 알 수 있듯이, 측정최대치에서는 15%LEL, 20%LEL, 45%LEL 구간을 제외한 전 구간에서 오차가 발생하였으며, T<sub>90</sub> 측정치에서는 25%LEL 구간과 35%LEL 구간을 제외하고는 오차가 발생하지 않는 것을 알 수 있다. 이를 바탕으로 2.4절에서는 시판중인 가연성 가스검지기의 성능실험을 통하여 제시하고자 하는 알고리즘의 정확도를 평가하고자 한다.

#### 2.4 적외선 가스검지기와의 성능비교 및 평가

Fig. 8에서 확인할 수 있는 가스검지기들은 D社의 센서 모듈이 탑재된 제품들로 왼쪽의 제품은 국내 중소기업에서 8종의 표준가스를 사용하여 선형회귀방정식을 적용하여 출시한 제품이다. 또한 오른쪽의 제품은 표준환경시험연구원에서 교정을 완료한 제품이다. 실험 환경은 Table 4.와 같다.

Table 5와 Fig. 9에서 제시하고 있는 결과는 국내에서 개발한 검지기의 측정 결과를 나타내고 있다. 이를



**Fig. 8.** Testing gas sensors  
(左 domestic, 右 international)

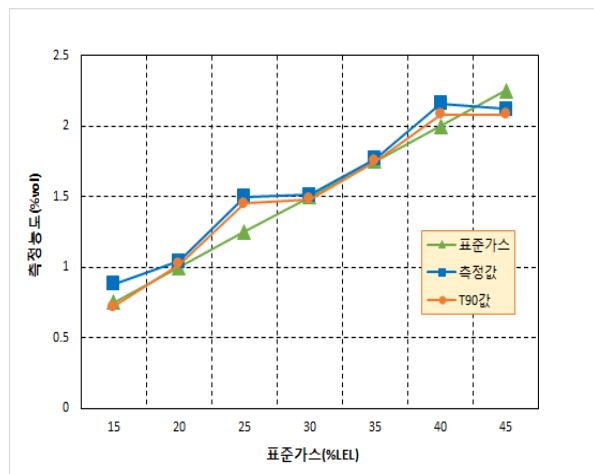
바탕으로 측정값을 분석하면, 먼저 측정최대치에 대해서는 15%LEL과 25%LEL, 40%LEL, 45%LEL에서 오차가 발생함을 알 수 있다. 또한, 농도별 T<sub>90</sub> 측정치에 대해서는 25%LEL과 40%LEL, 45%LEL 에서 오차가 발생함을 알 수 있다.

**Table 6.** Result value of gas detector(international)

표준가스 농도		측정최대치 (%LEL)	T90 측정치 (%LEL)
%LEL	%vol		
15	0.75	15	15
20	1	20	20
25	1.25	29	29
30	1.5	31	30
35	1.75	35	34
40	2	41	40
45	2.25	47	46

**Table 7.** Comparison of prediction and measurement value

표준가스 농도		예측값		측정값(T90)	
%LEL	%vol	결과	오차	결과	오차
15	0.75	15	0	15	0
20	1	20	0	20	0
25	1.25	23	-2	29	4
30	1.5	30	0	30	0
35	1.75	34	-1	34	-1
40	2	40	0	40	0
45	2.25	45	0	46	1
오차 절대값 합계			3	5	



**Fig. 9.** A result graph of density(domestic)

Table 6과 Fig. 10에서 제시하고 있는 결과는 해외에서 개발한 검지기의 측정 결과를 나타내고 있다. 이를 바탕으로 측정값을 분석하면, 25%LEL 구간을 제외하고는 측정최대치와 T<sub>90</sub> 측정치 모두 오차가 크게 발생하지 않는 것을 알 수 있다.

Table 7은 2.3절에서 작성한 코드를 바탕으로 측정 자료와 해외업체 개발 제품의 측정 결과 중 T<sub>90</sub> 측정값에 대한 오차를 비교, 분석한 것이다. 이것을 Fig. 7에 도식화 하였으며, 본 논문에서 제시하고 있는 알고리즘이 측정값에 비해 정교한 결과를 제시하고 있는 것을 알 수 있다.

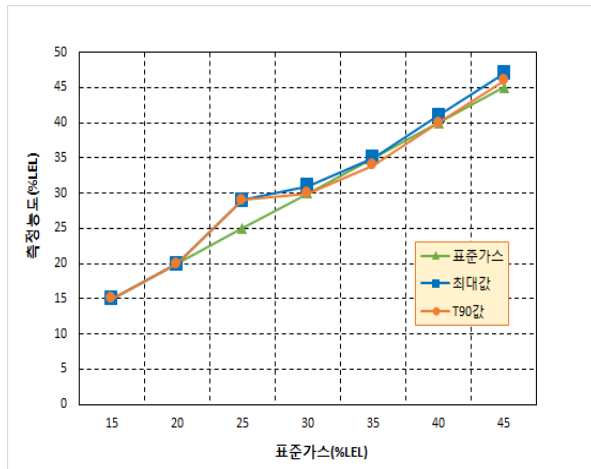


Fig. 10. A result graph of density(international)

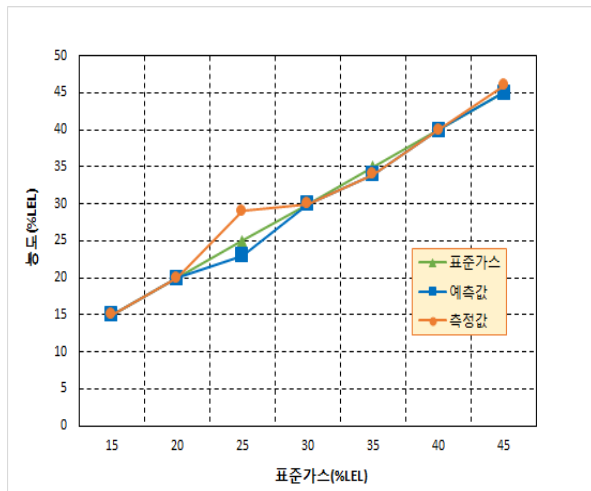


Fig. 11. A result graph of prediction and measurement values

### 3. 결론 및 향후 계획

본 논문에서는 각종 가스센서 모듈의 응답 특성에 대한 최적의 근사식을 구하고 이를 바탕으로 Neville 반복 보간법을 활용하여 알고리즘을 설계하고 Matlab를 이용하여 알고리즘을 구현하였다. 또한, 구현한 소프트웨어를 NI사의 데이터획득보드(DAQ)를 이용하여 한국가스안전공사 품질검사부에서 제작한 7종의 표준가스를 측정 한 후, 기존에 개발된 가스검지기와 비교 및 분석을 실시하였다. 그 결과 제안한 알고리즘이 기존 검지기의 알고리즘 보다 측정 정확도가 더 우수함을 확인하였다. 향후 경년변화, 온습도 조건에 따른

성능변화를 보상할 수 있는 방법과 본질안전 방폭 회로를 적용하면 더욱 경쟁력 있는 가스검지기가 출시 될 것이라 사료된다.

### Acknowledgment

본 연구내용은 한국산업기술진흥원 지원과제 "스마트 기반 가스누출검지장비 및 성능평가기술 개발", 과제번호 R00003355, 지원으로 진행되었습니다.

### References

1. 검사지원처, 가스통계, 한국가스안전공사, 2015
2. 사고점검처, 가스사고통계, 한국가스안전공사, 2015
3. Seong-Hwan Han, Hern-Chang Lee, Kyoshik Park, Tae-Ok Kim, "Consequence Analysis for Fire and Explosion Accidents in Propylene Recovery Process", KIGAS Vol.18, No.1, pp 52~60, 2014.2
4. Seungho Han, Yeonjae Lee, Geunjun Lyu, Hiesiki Kim, Gyoutae Park, "Performance Test and Analysis of Infrared Gas Sensors and a combustible Gas Detector", ICS' 2015, pp 42-45, 2015
5. Nano Environmental Technology, *DS2967 rev. 9 - IRNEX-P low power*, Nano Environmental Technology, 2014.9.7
6. In-Soo Lee, Young-Wung Kim, "Analysis and Compensation of Sensor Drift in the Gas Monitoring System", KI-IT Vol.9, No.11, pp 9~15, 2011
7. Gyou-tae Park, Geun-jun Lyu, Young-do Jo, Jeong-rock Kwon, Sang-guk Ahn, Hiesik Kim, "A study on the Development and Accuracy Improvement of an IR Combustible Gas Leak Detector with Explosion Proof", KIGAS Vol.18, No.3, pp 1~12, 2014
8. Taeho Nam, Gyoutae Park, Geunjun Lye, Yeonjae Lee, "Design of a Portable Ammonia Detector for Supporting Gas Safety Fields", ICS' 2015, pp 34-37, 2015
9. 장옥배 저, "수치해석의 기초 및 활용 - C언어를 중심으로 -", 박영사, 1997