

휴대용 다중 가스측정 장비 개발 및 평가

장희중¹, 김응식^{2*}, 박종열³

¹LG전자 L&A연구센터, ²호서대학교 안전소방학부, ³호서대학교 안전환경기술융합대학원

Development and Evaluation of Portable Multiple Gas Meter

Hee-Joong Jang¹, Eung-Sik Kim^{2*}, Jong-Yeol Park³

¹LG Electronics L&A Research Center

²Division of Safety and Fire Protection Hoseo University

³Hoseo Graduate School of Safety and health technology

요약 화재 발생으로 인한 피해 및 영향에 관해 국내에서의 연구는 미비한 상태이다. 따라서 화재 발생에 따른 연기 농도를 측정하기 위한 기기를 개발함으로써 연기가 주변 지역으로 확산될 경우의 농도를 측정하고자 한다. 본 논문에서 제안한 공기질 측정 시스템은 기존의 측정기와는 달리 CO, CO₂, NO_x, VOCs, NH₃ 등 총 5가지의 가스를 동시에 측정할 수 있고, 센서 보호 알고리즘을 통해 높은 내구 수명을 갖는다. 또한, 모니터링 프로그램을 통해 실시간 가스 변화량을 측정하는 시스템을 구성하였다. 상용 가스 분석기와의 비교를 통해 가스농도 측정의 신뢰성을 확보하였으며, 실내 및 실외 화재실험을 통해 발화점 주변에 존재하는 가스농도 평가를 실시하여 신뢰성이 높은 데이터를 얻을 수 있음을 확인하였다.

Abstract Assessing the effect of forest fires and measuring the gas concentration around a fire has received little attention. Therefore, the concentrations of various gases in areas surrounding a fire need to be measured by the development of a suitable device. Unlike conventional portable devices, the AQS (Air Quality System) proposed in this paper is a portable instrument that measures five types of gases simultaneously, including CO, CO₂, NO_x, VOCs, and NH₃, and has high durability through sensor protection algorithms. A PC-based program with an AQS connection was developed to monitor the real-time changes in the gas concentration. The reliability of the developed device was proven through a comparison of the results with other commercial gas analyzers. Measurements of the concentration due to indoor and outdoor fires were performed around a fire area to review the applicability and the predicted results were obtained.

Keywords : AQS(Air Quality System), DOAS(Differential Optical Absorption Spectroscopy), FTIR(Fourier Transform Infrared), CO(Carbon monoxide), CO₂(Carbon dioxide), NO_x(Nitrogen oxide), VOCs(Volatile organic compounds), NH₃(Ammonia)

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 필요성

최근 기후변화로 산림이 건조해져 대형 산불의 위험성이 높아지고 있다.[1-3] 국내의 경우 외국과는 달리 폭염에 의한 산불은 없으나 지난 '90년대 이후 봄철 강우량이 적어지고 건조해지는 등 기후의 변화가 있어, 지난

2000년 9월 동안 약 23,794ha를 불태운 동해안 산불과 같은 큰 산불이 다시 일어날 가능성이 높다. 농림부와 산림청에 따르면 지난 2000~2004년 동안 발생한 2,921건의 산불을 분석한 결과, 발생 시기별로는 겨울(12~2월, 22%), 봄(3~5월, 68%), 여름(6~8월, 4%), 가을(9~11월, 6%) 등의 비율로 산불로 인한 피해가 봄철에 집중됐다. 화재가 발생 시 인명피해의 가장 큰 원인은 화염에 의

*Corresponding Author : Eung-Sik Kim(Hoseo Univ.)

Tel: +82-41-540-5722 email: eskim@hoseo.edu

Received November 9, 2018

Revised February 15, 2019

Accepted March 8, 2019

Published March 31, 2019

한 피해가 아닌 유독성 연기에 따른 피해가 가장 크며, 피부나 소화기 호흡기를 통해 인체에 치명적인 손상을 입히게 된다. 또한, 국립산림과학원의 연구결과 산림화재의 대표적인 연소가스를 분석한 결과 13종의 가스가 포함되어 있으며, 이산화탄소는 약 90%로 약 33,000ppm, 일산화탄소는 약 9%로 5,000ppm의 농도를 보여 허용 기준치를 크게 초과하는 것으로 이는 수분 내 질식사에 이르게 할 수 있는 것으로 나타났다.[4] 국내에서는 화재 발생 시 수반되는 연기가 주변에 미치는 영향성에 관해 검토된 바가 없다. 그 이유는 화재 발생이라는 특성상 연기측정 및 분석보다는 위험 요소에 따른 대피등이 가장 최우선적인 요소이기 때문이었다. 본 논문의 목적은 산림화재 발생 시 주변에 노출되는 연소가스의 농도를 측정하기 위한 휴대용 가스측정기의 개발이다. 기존의 측정기는 다수의 가스측정을 위하여 다수의 기기를 휴대해야 하며, 주기적으로 센서를 교체하는 불편함이 있다. 새로 개발된 측정기는 5종류의 가스를 동시에 측정할 수 있는 장점이 있으며, 센서의 내구성도 센서보호 알고리즘의 개발로 크게 향상되었다.

1.2 연구의 범위 및 목적

화재 발생 시 열과 함께 가스 및 연기가 수반되며, 가스와 연기는 가연물 및 화재 온도, 산소 공급의 조건에 따라 구성이 다르게 형성된다. 낮은 온도에서 타는 물질은 액체성 입자가 대부분으로 백색이나 청백색의 연기가 발생되며, 높은 온도에서는 유리탄소가 형성되어 검정 연기가 발생하게 된다. 연기에는 연기입자 외 유기재료의 연소과정에서 발생하는 다양한 가스가 포함되며, CO, CO2 외에 HCl, HCN, NH3, SO2 등의 유해한 무기 또는 유기 탄화수소가스가 존재하기 때문에 매우 위험하다. 더욱이 산소가 부족한 상태에서 생성된 연기가 실내에 유입되었을 경우 중독 및 질식의 위험성이 크다. 또한, 연기의 차광효과로 피난 시 각종 표지판이 무용지물이 된다.

화재 발생 시 연기는 열분해 생성물로 여러 가스와 함께 공기 중에 부유하여 확산한 상태를 말한다. 앞서 언급한 단기적인 영향 외에도 연기는 장기적으로 인체에 영향을 미침으로 주변의 연기농도를 장기적으로 모니터링할 필요가 있다. 본 논문은 화재 발생 시 생성되는 유해 연소가스 12가지 중 사회적 이슈 및 생활에 있어 직·간접적으로 영향성이 큰 5가지의 유해가스(질소산화물, 일

산화탄소, 암모니아, 이산화탄소, 휘발성 유기화합물)에 관한 실시간 가스농도 측정 장비를 개발함으로써 화재 발생 시 주변의 연기농도 측정을 하고자 한다.[5]

2. 본 론

2.1 시스템 개발 및 신뢰성 평가

2.1.1 가스농도 측정 장비 개발

공기질 측정 시스템(AQS, Air Quality System)의 구성은 다음과 같다. CO 및 NOx 센서(MiCS-4515, Micro Chemical System), NH3 센서(MiCS-5914, Micro Chemical System), CO2 센서(COZIR, GSS), VOCs 센서(SP3S-AQ2, FIS)를 사용하여 농도를 측정하고, 데이터는 고속 연산이 가능한 32Bit CPU (ARM Cortex-M3, EFM32TG222)로 처리하였다.[6] 실내의 설치를 위해 후면에 자석을 설치하여 탈·부착을 편리하게 하였고, 센서의 특성보정 및 내구성 향상을 위한 알고리즘을 구현하여 장기적인 신뢰성을 목표로 개발하였다. Table 1은 각각 사용된 센서의 외형과 가스측정 방법, 사용 온도 범위, 최대 측정농도를 나타낸다.

Table 1. Various gas sensor for measurement.

Sensor	Image	Measurement method/ Temp. range/ Max. range
NOx		Ozone reduction/ -30~85℃/ 900ppb
CO& NH3		Oxygen absorption/ -30~85℃/ 400ppm & 10ppb
VOC		DOAS, FTIR/ -20~60℃/ 10,000ppm
CO2		Non-dispersion infrared/ -25~55℃/ 2,000ppm

Fig. 1은 전체 시스템 회로를 나타낸다. 공기질 측정 시스템은 전원부, 입력부, 출력부, 센서부 등으로 구성되었으며, 이외에도 실내외의 온·습도 측정도 함께 수행한다. DC-DC 컨버터 및 노이즈 필터 등을 설계하여 불안정한 입력 전원에도 안정적으로 동작할 수 설계하였으며, 편의성을 높여 DC 9~18V를 입력받을 수 있게 구성하였다.

Fig. 2와 같이 공기질 측정 시스템 개발을 위해 각부

회로 및 보드 설계를 진행하였다. 통신은 3채널 절연소자(3-Channel Digital Isolator)를 통하여 송/수신 신호를 처리하여 485 통신을 구현하였다. 전원구성은 Fig. 3과 같이 정전압소자(L5973D, KIA7805) 등을 이용 DC 3.3V와 5.0V 전원을 회로의 각 부분에 공급하도록 설계하였다.

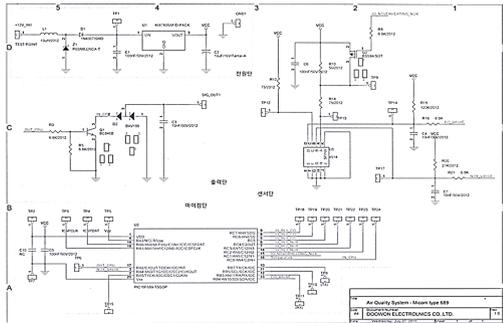


Fig. 1. Air quality system schematic

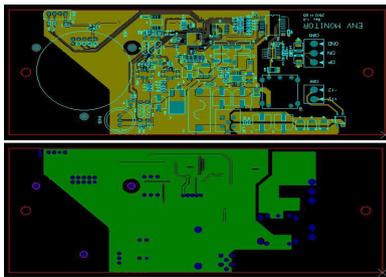


Fig. 2. Air quality system artwork (Up-Front, Down-Back)

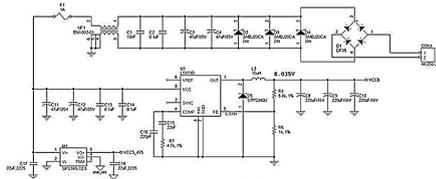


Fig. 3. Air quality system schematic(Power part)

CO 및 NOx와 NH3 가스측정용 센서는 가스농도 측정을 위하여 히터를 사용하여 센서 표면을 가열하는데, 개발된 기기에서는 퍼지 로직을 이용한 히터 제어 알고리즘으로 센서의 내구성을 향상시켰다. 이것은 가스에 노출되기 전의 상태를 초기값으로 하여 현재값과의 차이와 변화율을 입력으로 퍼지 제어량을 추출하고, 이 값에 현재 PWM 듀티비를 고려하여 새로운 목표 PWM 듀티비를 설정하여 제어하는 방식이다. 단 최소 듀티비를

30%로 유지한다. 이런 방식으로 센서 표면에 쌓이는 이물질을 감소시킴으로 센서의 수명을 연장하였다. 센서 표면의 가스는 산화·환원 반응을 통해 전압으로 출력되며 마이컴에서는 A/D 변환을 통해 농도로 측정하게 된다. Fig. 4는 상기한 3개의 가스를 측정하기 위한 센서 회로도이다.

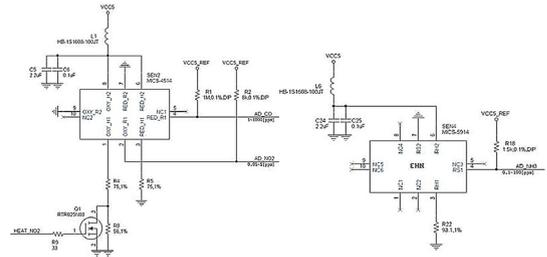


Fig. 4. Sensor schematic(CO&NOx, NH3 Part)

CO2 가스는 OCZIR 센서를 사용하며, 5V 전원 공급 시 센서에서 CO2를 값을 자동으로 측정하여 마이컴에 비동기 통신(주기 100ms)을 이용하여 측정된 센서값을 송/수신하게 된다. 마이컴은 해당 값을 10번의 샘플링 과정을 거쳐 센서값의 최대/최소값을 제거하여, 나머지 값을 평균함으로 1초에 한 번씩 측정된 가스농도를 측정하게 하였다. Fig. 5는 CO2 가스를 측정하기 위한 센서 회로도이다.

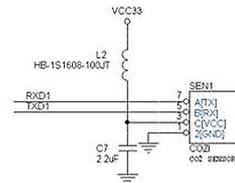


Fig. 5. Sensor schematic(CO2 Part)

VOCs 가스는 대기 중으로 쉽게 증발하는 기체상 유기화합물로 전용의 히터제어 알고리즘의 적용을 통해 센서의 내구성을 향상하였다. Fig. 6은 VOCs 가스를 측정하기 위한 센서 회로도이다.

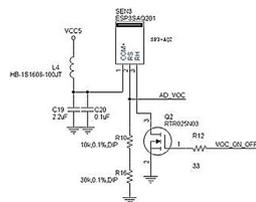


Fig. 6. Sensor schematic(VOCs Part)

가스농도 측정 외에도 주변 온도 및 습도를 측정하기 위해 센서 및 회로를 적용함으로 주변 환경 변화를 함께 측정할 수 있도록 하였다. 기존의 상용화된 휴대용 가스 측정기와 비교하면 다음과 같은 특징들이 있다. 첫째 휴대성이 좋으며 5가지 가스 및 온·습도를 동시에 측정할 수 있다. 둘째 측정기는 Fig. 7과 같이 밀폐구조 적용하고 소형 팬을 통해 외부가스가 멤브레인 시트로 유입되도록 하였다. 따라서 외부 습기는 차단하고 지속적인 가스 유입이 가능하다. 셋째 외함 상부의 온·습도 센서 홀은 밀폐되어 습기가 침투하지 못하고, 하부 홀은 가스 유입구에서 공급되는 가스가 배출되어 내부에 가스가 누적되지 않도록 하였다. 넷째 퍼지 로직을 이용한 히터 제어 알고리즘으로 센서의 내구성을 향상시켰다. 다섯째 전원 사양의 범위를 넓힘으로 편의성을 증가시켰다.



Fig. 7. Air quality system proto sample ass'y

2.1.2 가스농도 측정 신뢰성 평가

공기질 측정 시스템의 신뢰성을 검토하기 위해 가스농도 평가를 위한 별도의 챔버를 구성하였으며, 상용 가스 분석기를 이용 공기질 측정 시스템의 가스 측정 성능을 검토 하였다.

VOCs(REA, PHOCHECK Tiger)를 이용하며, CO(300EU), CO2(360EM), NOx(200E), NH3(201E)는 TELEDYNE의 가스 분석기로 가스농도 초기값 설정 및 농도별 평가를 진행하였다. 각 상용 가스 분석기는 검·교정용 가스를 통해 보정을 하였으며, 가스 분석기와 공기질 측정 시스템 간의 가스농도 편차 검토 시 최대편차 5%, 평균 약 3% 이내의 신뢰성을 확인할 수 있었다.

2.1.3 가스 센서의 가스 농도별 측정

가스농도 평가는 Fig. 8과 같이 외부와 밀폐 가능한 챔버에서 진행하였다. 공기질 평가 방법으로는 다수의

상용 측정장비를 챔버 내에 설치하고, 가스 유입 전 초기 상태의 가스농도의 편차를 검토한다. 그 후 목표한 농도의 가스를 공급 후, 장비들이 측정한 가스농도를 검토한다. 이때 상용 가스 분석기의 농도값과 공기질 측정 시스템 간의 측정 편차를 확인 후 편차가 높은 시료에 관해 1차적으로 에이징을 통해 측정값을 보정하고, 2차적으로 시스템의 보정계수를 결정하며 캘리브레이션을 수행한다. 다음으로 챔버 내에 청정공기를 약 1시간 정도 공급하여 잔여 가스농도를 낮추어가며, 각 센서의 회복성을 검토한다. 다음으로 센서의 전원을 분리하여 센서 내 히터가 모두 냉각될 때까지 약 20분간 대기한 후 상기에 언급한 프로세스를 반복하여 실험하였다. 환경에 따른 가스농도 변화를 위해 건구온도를 약 5~50℃ 범위로 5℃ 단위로 변화하며, 습도는 약 10~90% 범위로 10% 단위로 변화하며 평가하였다. 온도에 따른 가스농도 편차는 없었으며, 습도가 높은 구간에서는 편차가 발생하였으나 최대 2%를 넘지 않았다.



Fig. 8. AQS in gas measurement chamber

2.2 실내 및 실외 연기 농도 측정 평가

공기질 측정 시스템을 이용한 연기측정 방법으로 산물 발생상황을 두고 크게 2가지로 분류하여 평가하였다. 첫 번째로 실내에 산림화재를 모사하여 연기 농도를 각 높이에 따라 측정하였다. 각 센서별로 한계 측정농도와 화재 진행에 따라 농도 분포의 변화를 고려하여 설치 위치를 선정하였다. 두 번째로 실외 산림화재를 위한 평가로 공기질 측정 시스템을 차량 전면부에 설치하고 풀(Pool) 화재형태로 산림화재를 축소화하여 가스농도를 측정하였다.

2.2.1 실내 연기 농도 측정

공기질 측정 시스템의 측정 위치는 30cm 간격으로 변화시켜가며, 연기의 농도를 측정하였다.[7] 실험 공간에는 Fig. 9와 같이 공기질 측정 시스템 외 상용 가스 측

정기기를 추가적으로 설치하여 공기질 측정 시스템과의 연기 농도의 편차를 검토하였다.



Fig. 9. Environment of gas measurement system

화재 발생을 위한 실험 공간에서는 산불 발생 조건을 모사하기 위해 실내의 온도 및 습도를 점검하였으며, 발화 연료는 Fig. 10과 같이 산에 있는 가연물을 채워하여 밀폐용기에 보관한 시료와 실외에서 3일간 건조한 시료를 동일한 비율로 혼합하여 준비하였다.[8] 그 이유는 화재의 속도와 연기 발생량을 조절하기 위함이다.



Fig. 10. Dry and wet fuel(leaves, etc.)

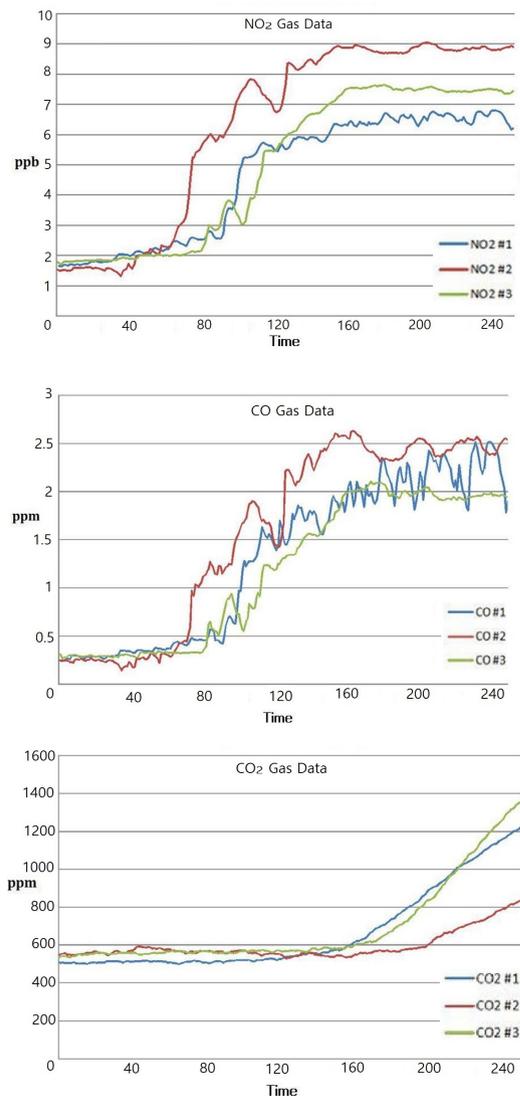
실내 모의 화재는 Fig. 11과 같이 화원 주변에 경사면을 두어 화재가 시간에 따라 확산할 수 있도록 하여,[9] 시간의 흐름에 따라 공간 내 연기의 농도가 점차 높아지게 하였다. 실내 평가를 통해 연기 농도의 변화에 따른 센서의 반응 및 기울기, 측정값의 한계값 등을 평가하였다.



Fig. 11. Indoor gas measurement

연기의 농도 평가 진행 시 동일한 조건에 대한 실험을 총 3차례 진행하여 연기 발생량에 대한 정량적인 평가를 진행함으로 측정 데이터의 신뢰성을 확보하고자 하였다. 재실험 시 챔버에서 진행한 동일한 방법으로 초기조건을 설정하였다. 실험실 내 심한 대류가 발생하지 않도록 외부 공기 유입을 최소화한 후 가스농도를 측정하였다.

Fig. 12는 5가지 가스농도의 측정값을 보여준다. 이산 화탄소의 경우 실험 공간 내 초기 500ppm의 상태를 유지하다가 화재 이후 농도가 점차 증가하였다. 상용 가스 농도 측정계의 값과 오차 20ppm 이내로 측정되었다.



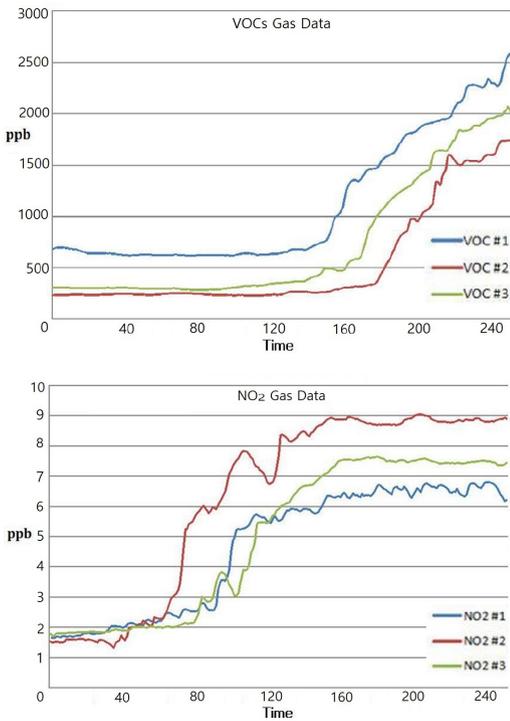


Fig. 12. Indoor gas measurement data

일산화탄소 및 질소산화물, 암모니아, 휘발성 유기화합물의 경우 화재 후 가시적으로 판단하는 연기의 확산에 따라 가스농도 측정값이 증가됨을 확인할 수 있었으며, 상용 가스농도 측정계와의 오차는 최대 5% 이내로 측정됨을 확인할 수 있었다. 실내 평가를 통해 연기는 위로부터 누적되어 점차 쌓이는 것을 확인할 수 있었으며, 연기의 누적에 따라 가스농도 역시 급격하게 증가하였다. 암모니아 가스의 경우 센서 측정값이 한계점에 도달하여 포화하는 그래프를 보여준다.

2.2.2 실외 연기 농도 측정

실외 연기 농도 측정 평가를 위해 Fig. 13과 같이 차량 시거잭 전원(DC10~14V)을 사용하여 차량 전면부에 공기질 측정 시스템을 좌·우로 2개 설치하였으며, 차량 내부에서는 노트북을 이용하여 측정된 가스농도 데이터를 수집하였다.

실외 평가는 청정공기 지역에서 연기가 존재하는 공간으로 접근하며 농도를 측정하였다. Fig. 14는 화재 전후의 연기 농도 비교 사진이다. Fig 15에서 알 수 있듯이 가스농도 측정 시에 CO, NO2, NH3 등 가스농도의 변

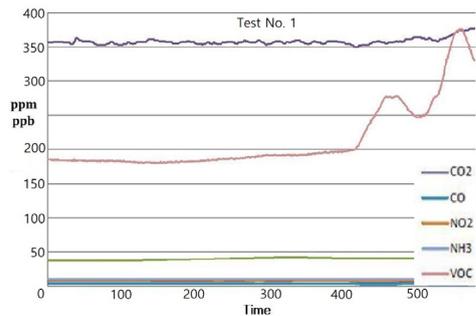
화는 측정되지 않았다. VOCs의 농도는 화원과의 거리에 반비례하여 그 농도가 증가하였으며, CO2의 경우 소폭의 증가를 확인하였다. 그 이유는 대부분 가스가 대류에 의해 상승되어 측정되지 않았으며, CO의 경우 모의 화재에 의한 화원의 규모가 작아 불완전 연소가 이뤄지지 않았기 때문이라고 사료된다. 또한, VOCs 및 CO2는 공기보다 비중이 높아 공기질 측정 시스템의 측정 위치에서 검출될 수 있음을 확인하였다. 동일한 공간에서 2차례의 실험을 통해 실험데이터의 신뢰성을 확보할 수 있었다.



Fig. 13. Installation of AQS on the vehicle



Fig. 14. Smoke difference before and after a fire



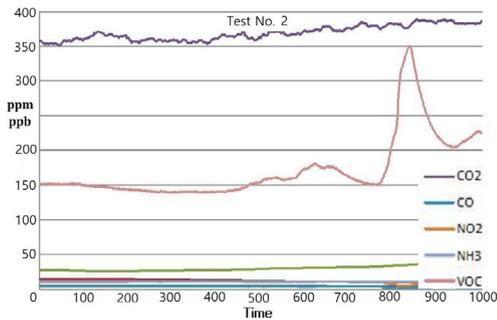


Fig. 15. Outdoor gas measurement data

다음으로 차량이 화재 주변을 나선형 형태로 주행하며 바람의 방향에 따른 가스 전파에 대해 가스농도 측정을 위한 실험을 추가로 진행하였다.

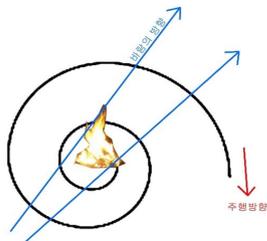


Fig. 16. Spiral driving for gas assessment

Fig. 16과 같이 화재 중심을 기준으로 나선형으로 주행을 하였을 때 바람이 부는 방향에 따라 발화점을 지난 구간에서는 가스의 농도가 검출되는 것을 확인할 수 있었다. 야외의 노출된 지역에서는 VOCs 이외에는 모두 낮은 농도의 가스가 검출되는 것으로 확인하였으며, 바람의 방향과 차량의 주행 방향에 따라서 VOCs 가스가 측정되었다. Fig. 17은 측정 가스농도를 나타낸다. 실외 화재 상황에서는 모의화원의 규모로 모든 가스의 농도 변화를 측정할 수 없었다.

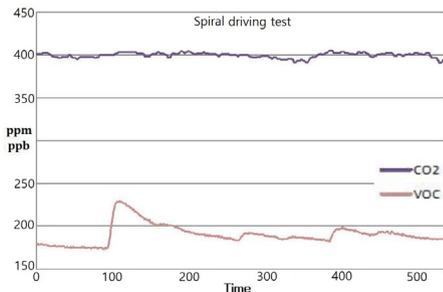


Fig. 17. Results of spiral driving test

3. 결론

산림화재 발생 시 수반되는 연기로 인한 영향을 검토하기 위해 5가지 가스농도를 측정하는 공기질 측정 시스템을 개발하였으며, 이 시스템의 가스농도별 평가를 통해 신뢰성을 검증하고 실내 및 실외 화재의 화재 발생 시 발생하는 가스농도를 측정함으로써 다음과 같은 결론은 얻었다.

- 1) 5가지 가스(CO, CO₂, NO₂, NH₃, VOCs등)를 동시에 측정하기 위해 휴대용 공기질 측정 시스템을 개발하였으며, 센서의 수명을 연장하기 위한 히터 알고리즘을 개발하였다.
- 2) 챔버를 이용한 가스 농도별 평가 실험을 통해 상용 가스 분석기와의 측정 편차 5% 이내의 신뢰성을 확보할 수 있었다.
- 3) 실내 산림화재 모의실험을 통해 휴대용 가스 분석기와의 편차 5% 이내로 신뢰성을 확보할 수 있었으며, 연기의 누적으로 인하여 3분 이내로 가스농도가 환경기준치를 3배 이상 초과하는 확인할 수 있었다.
- 4) 실외 산림화재 모의실험을 통해 화재 주변을 선회하며 측정할 때 바람과 차량이 교차할 때 VOCs의 농도가 변화하였으며, 기타 가스의 농도 변화는 측정되지 않았다. 또한, 발화점을 향하여 직선으로 주행하면 농도가 급격히 증가함을 확인할 수 있었다.
- 5) 향후 대형 산림화재의 발생을 대비하여 그 영향성 평가를 위해서는 측정 기기 및 측정 방법 등 여러 가지 평가 방법이 연구되어야 한다.

References

[1] B. M. Wotton, D. L. Martell, K. A. Logan “Climate Change and People-Caused Forest Fire Occurrence in Ontario”, *Climatic Change*, Vol.60, Issue.3, pp.275 - 295, October, 2003.
DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1026075919710>

[2] B. J. Stocks, M. A. Fosberg, T. J. Lynham, L. Mearns, B. M. Wotton, Q. Yang, J-Z. Jin, K. Lawrence, G. R. Hartley, J. A. Mason, D. W. McKENNEY, “Climate Change and Forest Fire Potential in Russian and Canadian Boreal Forests”, *Climatic Change*, Vol.38, Issue.1, pp.1 - 13, January, 1998.
DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1005306001055>

- [3] G. Wotawa1, M. Trainer, “The Influence of Canadian Forest Fires on Pollutant Concentrations in the United States”, *American Association for the Advancement of Science*, Vol.288, No.5464, pp.324-328, April, 2000. DOI: [10.1126/science.288.5464.324](https://doi.org/10.1126/science.288.5464.324)
- [4] R. G. Gann, V. Babrauskas, R. D. Peacock, J. R. Hall Jr, “Fire conditions for smoke toxicity measurement”, *Fire and Materials*, Vol.18, No. 3, pp. 193-199, June, 1994. DOI: <https://doi.org/10.1002/fam.810180306>
- [5] W. R. Cofer III, E. L. Winstead, B. J. Stocks, J. G. Goldammer, D. R. Cahoon, “Crown fire emissions of CO₂, CO, H₂, CH₄, and TNMHC from a dense Jack pine boreal forest fire”, *Geophysical Research Letters*, Vol.25, No.21, pp. 3919-3922, November, 1998.
- [6] D. Gutmacher, C. Foelmlib, W. Vollenweiderb, U. Hoferb, J. Wöllensteina, “Comparison of gas sensor technologies for fire gas detection”, *Procedia Engineering*, Vol.25, pp.1121-1124, January, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.12.276>
- [7] D. Gutmacher, U. Hofer, J. Wöllenstein, “Gas sensor technologies for fire detection”, *Sensors and Actuators B: Chemical*, Vol.175, pp.40-45, December, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.snb.2011.11.053>
- [8] J. Kesselmeier, U. Kuhn, S. Rottenberger, T. Biesenthal, A. Wolf, I. G. Schebeske, M. O. Andreae, P. Ciccioli, E. Brancaleoni, M. Frattoni, S. T. Oliva, M. L. Botelho, C. M. A. Silva, and T. M. Tavares, “Concentrations and species composition of atmospheric volatile organic compounds (VOCs) as observed during the wet and dry season in Rondonia”, *Journal of Geophysical and Research*, Vol.107, Issue.D20, pp. LBA 20-1-LBA 20-13, September, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1029/2000JD000267>
- [9] E. S. Kim, D. H. Kim, J. H. Kim “A Study on the Characteristics of Combustion according to the Type of Forest Fire”, *Fire Research Report*, pp.185-229, 2010. DOI: <https://doi.org/10.7467/KSAE.2012.20.1.068>

장 희 중(Hee-Joong Jang)

[정회원]



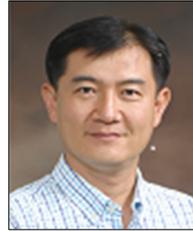
- 2013년 2월 : 호서대학교 안전공학
과 (안전공학석사)
- 2012년 5월 ~ 현재 : LG전자
L&A 연구센터 재직 중

<관심분야>

전기전자, 에너지변환

김 응 식(Eung-Sik Kim)

[정회원]



- 1984년 2월 : 서울대학교 전기공학
과 (전기공학석사)
- 1987년 2월 : 서울대학교 전기공학
과 (전기공학박사)
- 1992년 9월 ~ 현재 : 호서대학교
안전소방학부 교수

<관심분야>

전기전자, 전기안전

박 종 열(Jong-Yeol Park)

[준회원]



- 2018년 2월 ~ 현재 : 호서대학교
안전환경기술융합대학원 석사과정

<관심분야>

전기안전, 안전환경기술