

연구개발계획요구서(RFP)

과제명 : 화학작용제 인공지능 탐지/식별 어레이센서 기술개발

1. 개요

가. 기술의 개념 및 정의

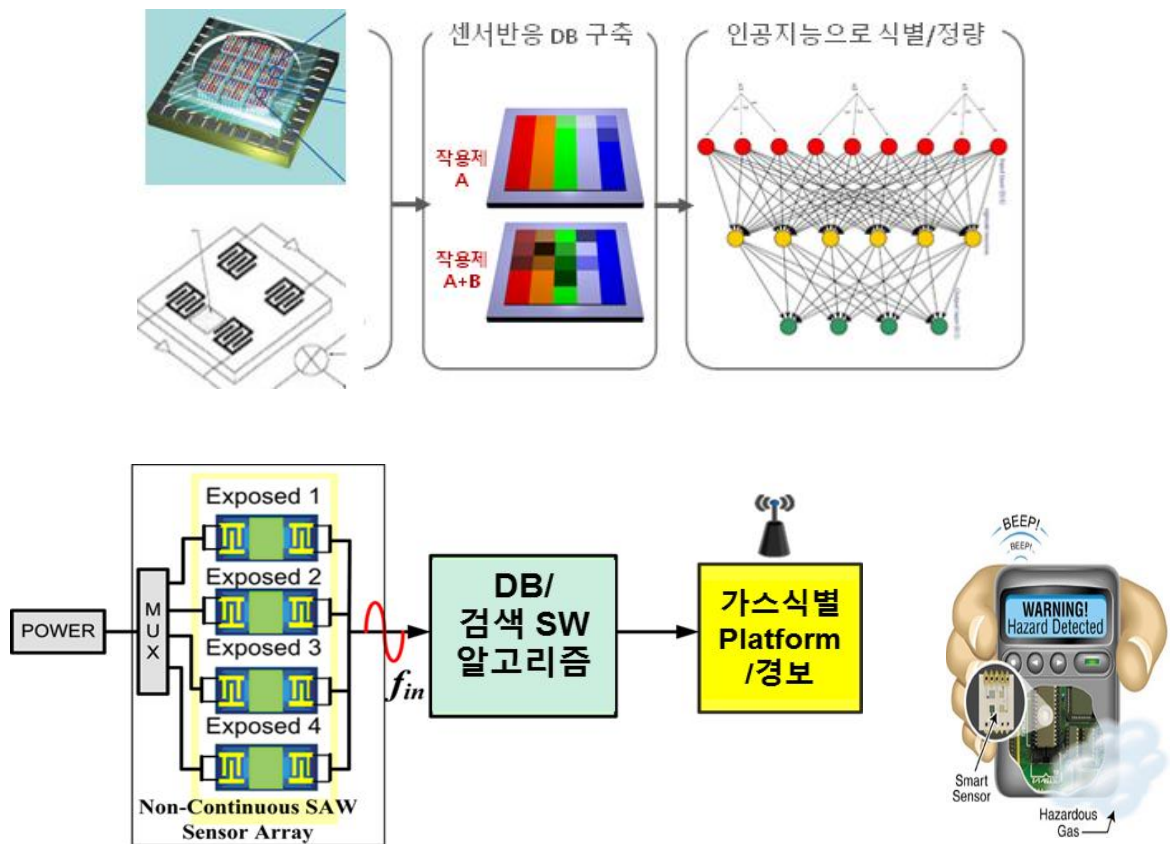


그림 1. 어레이 센서의 DB구축, 인공지능 식별 방법 및 흐름도

- 화학가스를 탐지하는 대표적인 센서기법은 전기전도(저항식, 정전식 등), 이온이동도, 질량분석, 가스이온화, 압전, 광 파장(적외선, 라만, 원자흡수분광, SPR 등) 및 레이저 탐지방식 등이 있다. 각각 장단점이 있으며 이들 중 센서 디바이스를 가장 극소형으로 설계할 수 있는 기술은 전기전도 방식의 반도체칩 센서이다. 반도체칩 가스센서는 실리콘 칩을 기반으로 다양하게 오랫동안 개발되어 왔으며 가스에 대한 감도는 좋은 반면 선택성 및 환경변화에

민감하여 여러 가지 가스들이 혼합된 복합적 환경에서는 상당한 제한성이 따르고 있다.

- 반도체칩 가스센서는 대표적으로 저항변화를 검지하는 chemiresistor, 정전용량을 검지하는 chemicapacitor를 예로 들 수 있다. 이 방식은 세계적으로 많은 연구를 기울이고 있으나 정성적인 가스 선택성 탐지 측면에서 제한성이 많이 나타나고 있다.
- 화학가스 센서의 중요한 인자들 중에서 가장 중요한 것은 감도(sensitivity)이며 다음으로 선택성(selectivity)이다. 화학탐지 센서류의 대부분은 선택성 측면에서 실용화가 되지 못하고 있다.

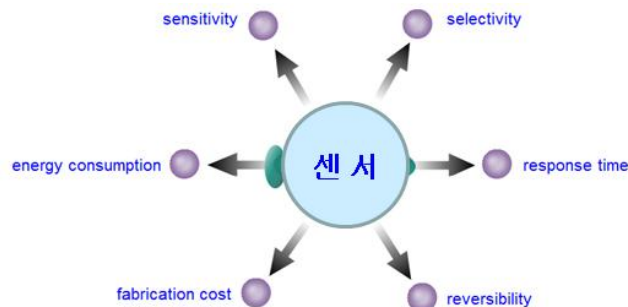


그림 2. 화학가스 센서의 주요 인자

- 칩센서는 가스탐지의 선택성을 높이기 위하여 센서표면에 희귀금속, 나노튜브, 그래핀, 전도성고분자 및 감지 생물질(항체, DNA 등) 등의 센서물질을 증착/코팅하여 선택성을 높이는 연구가 많이 이루어지고 있으나 아직까지 만족할만한 수준에 미치지 못하고 있다. 최근 선진국에서는 화학작용제와 상호호환성이 높고 우수한 센서물질로 알려진 siloxane-fluoroalcohol 계열의 고분자를 센서표면에 증착시켜 가스탐지의 선택성을 높이는 연구에 상당한 노력을 기울이고 있는 실정이다

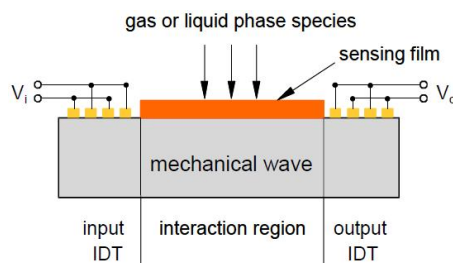


그림 3. SAW 센서표면에 도포된 센서필름(sensor film)

- 센서물질 개발은 가스탐지의 선택성을 높이고 간섭성을 줄일 수 있는 좋은

방법이지만 선택성을 높일 수 있는 방법 중의 하나다. 이와 더불어 선택성을 더욱 높이기 위해서는 센서물질별로 상호작용 탐지 특성을 분석하여 DB를 구축하고 SW적으로 검색하는 알고리즘을 개발하여 탐지가스를 식별하는 기술을 개발하여야 한다.

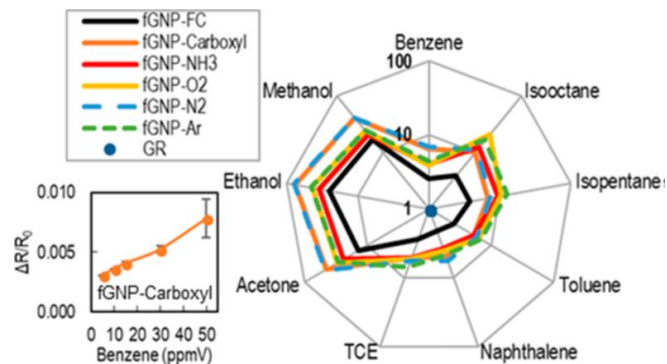


그림 4. 각 센서물질별 여러 유기가스에 대해 얻어진 감도 특성 비교표 사례

- 결론적으로 가스별 친화성 있는 센서물질 개발과 함께 검색 SW기술을 도입하면 가스탐지 확률을 더욱 높여갈 수 있는 우수한 방법이다.
- 본 제안과제의 목표는 단일 및 혼합 화학작용제를 탐지하는 센서 어레이를 구성하고 식별력을 더욱 높이는 인공지능 알고리즘을 개발하여 선택성이 높은 탐지센서를 개발 하고자 한다.
- 나노물질 기반의 센서가 가지는 고민감도, 초소형, 저전력소모 등의 장점은 살리면서 오정보율이 높은 기존 접촉식 가스센서의 단점을 극복함으로써 신형 화학 탐지기에 적용될 기반기술을 확보하고자 한다. 이를 위해 본 과제가 요구하는 핵심기술은 아래와 같다.
- 핵심기술 I (접촉식 나노센서 어레이 플랫폼): 다양한 반응특성을 가진 나노센서 어레이를 단일칩에 집적하는 기술
 - 균일한 나노물질 필름 형성을 통해 센서 간 반응특성 차이 최소화
 - M종류의 나노물질과 N종류의 표면처리를 통한 M x N 센서 어레이를 단일칩에 집적하는 기술 개발
- 핵심기술 II (화학작용제 선택적 탐지를 위한 리셉터): 화학작용제와 선택적으로 결합하는 리셉터 합성 및 나노물질 표면처리 기술
 - 탐지대상 화학작용제에만 선택적으로 결합하는 고분자 기반의 리셉터 합성
 - 나노물질과 리셉터의 결합을 위한 링커 기술 개발
 - 운용환경 하 리셉터의 장기 안정성 확보

- 핵심기술 III (단일/혼합 화학작용제에 대한 반응패턴 DB 구축): 각각의 작용제에 대한 나노센서 어레이의 반응패턴 수집 및 분석
 - 혼합 화학작용제 무작위 발생장치 구축
 - 나노센서 어레이를 혼합 화학작용제에 노출시켜 농도 및 혼합비에 따른 반응패턴 데이터베이스(DB) 구축
- 핵심기술 IV (인공지능 알고리즘을 통한 화학작용제 식별/정량): 센서 반응패턴 DB를 활용한 딥러닝(deep learning)으로 화학작용제 식별/정량
 - 센서 반응패턴 DB를 기반으로 인공신경망 네트워크를 이용한 딥러닝을 통해 혼합 화학작용제를 식별/정량하는 알고리즘 개발

나. 기술의 중요성/필요성 및 시급성

1) 기술의 중요성/필요성

- 현재 군에서 사용중인 KM9탐지, KCAM2 및 KM8K2 탐지기에 적용한 탐지 기술은 화학작용제 탐지능력은 우수하나 식별력은 간접영향성으로 인해 낮다. 또한 작용제 개별 탐지는 가능하나 여러 작용제 혼합시 식별하여 탐지할 수 있는 능력은 떨어진다. 이러한 단점을 보완하기 위한 기술은 작용제별 상호호환성이 높은 센서물질(리셉터) 개발이 필요하며 이물질로 인해 탐지/식별에 영향을 주는 간접성을 배제하기 위한 기법 개발이 중요하고 필요하다.
- 세계적인 기술동향은 탐지센서가 극소형화로 발전되면서 마이크로센서(칩 및 dust센서 등)에 대한 관심도가 높아지고 있다. 마이크로센서류는 고민감도, 저전력소모, 초소형 등의 장점이 있어서 미래병사체계에 적용될 유망한 기술로 대두되고 있다. 그러나 센서가 극소형화됨에 따라서 탐지감도는 우수하지만 센서의 주요 인자인 식별력을 높이는 기술개발이 필요하다. 예로서 단백질/DNA 등 생체분자의 특이반응을 이용하는 센서방식에서 선택도는 매우 뛰어나지만 감지할 수 있는 타겟의 종류가 제한적이며 야전에서 안정성이 떨어진다.
- 센서의 선택성을 높이는 주요 기술 중의 하나는 탐지 작용제와 호환성이 높은 리셉터를 개발하는 것과 각 탐지물질의 정보를 획득하여 DB를 확보하고 인공지능을 도입한 검색 알고리즘 SW 기법으로 식별력을 더욱 높이는 기술이 필요하다. 센서물질(리셉터)은 예전부터 상당히 많이 개발되어 왔으며 최근에는 poly-siloxane 또는 siloxane-fluoroalcohol 계열이 다수 개발되어 선을 보이고 있다. 결국 이러한 물질을 기반으로한 탐지센서와 인공지능을 활용한 탐지기법이 융합된 탐지센서가 개발되어야 한다.
- 기존에 가스탐지용으로 많이 연구된 탄소나노튜브, 그래핀 등은 실용성 측면

에서 채택이 어려운 실정에 있으며 단점을 개선하기 위하여 이를 기능화하여 활용성과 신뢰성을 높이는 것이 필요하다.

- 혼합작용제에 대한 센서 어레이의 반응은 개별 센서의 반응패턴이 비선형으로 복잡하여 기존의 방법으로는 각 반응 패턴에 대한 수학적 모형 적합성을 분석하기 어렵다. 따라서 개별 및 혼합 작용제의 식별탐지를 위해서는 영상, 시계열 데이터, 스펙트럼과 같이 복잡한 특징들의 집합체를 빠르고 정확하게 분류할 수 있는 딥러닝과 같은 비선형 분류 기법을 적용한 우수 알고리즘의 개발이 요구되고 있다.
- 화학무기금지조약에 가입하지 않은 북한은 3천만톤의 화학작용제를 보유하고 있다고 알려지고 있으며 이는 화생전에 대한 군사적 위협 요소로 작용하고 있다. 또한 1995년 일본 도쿄지하철 사린가스 테러의 발생 사례는 화학작용제 테러발생시 이를 탐지하고 조기 경보하는 탐지/식별 시스템이 반드시 필요함을 보여준다.

2) 기술 개발의 시급성

- 현재 세계적으로 군에서 운용되는 화학탐지기는 여러 종류가 있으나 대부분 화학작용제를 탐지할 수 있으나 식별은 부분적으로는 가능할 뿐이다. 우리 군에 보급된 KM43A1 탐지기는 탐지는 가능하나 가스식별은 불가하며, KCAM의 경우 신경 및 수포성 작용제를 그룹별로 탐지는 되나 개개의 가스별로 식별은 불가하다. 또한 야전환경에서는 배기가스 등을 비롯한 간섭물질들의 영향성이 많아 오경보의 확률이 높다. 식별력이 낮은 탐지기의 문제점을 극복하기 위한 기술개발이 반드시 필요하며 시급하다.
- 탐지기의 간섭영향성으로 인한 오경보를 현저히 줄이고 또한 화학작용제 오염시 치료/처방 조치 및 제/해독을 위해서도 오염물질을 정확히 식별하여 탐지하는 기술개발이 요구된다. 화학작용제의 식별력을 확률적으로 높이는 기술 중의 하나는 탐지기를 어레이 센서로 구성하고 단위 센서별 각각의 화학작용제와 상호 호환성이 높은 센서물질을 단위센서별 각각 증착한 후 센서별 획득된 신호를 분석 및 DB를 구축하여 분석 알고리즘 SW의 검색을 거친 후 탐지물질의 정보와 신호를 제공하는 기술이 구축되어야 한다
- 신경작용제는 아트로핀 주사, 혈액작용제는 아질산염(nitrite)으로 해독하는 등 화학무기의 종류에 따라 조치방법이 달라진다. 또한 현기증, 매스꺼움, 근육경련은 혈액작용제와 신경작용제에 노출 시 공통적으로 나타나므로 증상에만 의존하여 생화학 작용제를 식별하고 합당한 조치를 취하기에는 위험 부담이 있다. 따라서 수종의 화학작용제가 동시에 살포될 경우에 화학작용제의

종류를 식별하고 농도를 동시에 측정할 수 있는 침단센서 개발이 시급하게 요구되고 있다.

- 2000년 이후 나노물질(CNT, 그래핀, 희귀금속 등)을 이용한 접촉식 센서가 많이 연구되었으나 휴대성과 감도는 좋으나 오정보 및 센서물질의 환경변화에 민감성으로 인하여 활용성이 낮다. 이러한 단점을 극복하는 기술을 조속히 개발하여 민수/군수 분야 활용성을 높일 필요가 있다.
- 본 연구는 최근 IT분야에 정보추적 및 분석력이 높은 인공지능 기술을 어레이센서 신호처리 기술에 적용하여 오정보를 줄이고 작용제가 혼합된 경우(유기/무기 가스와 화학작용제가 혼합, 여러 화학작용제가 혼합 등)에 탐지/식별하는 기술에 적용하여 식별 확률을 더욱 높은 탐지기를 개발하여 화학전 및 화학테러 발발시 조기경보에 직접적으로 도움을 주고 군 전력증강에 기여하고자 화학탐지의 핵심기술이며 침단기법인 어레이 센서를 개발하고자 한다.

다. 연구개발 최종 목표

○ 민·군수용

항 목	목 표 성 능
1. 어레이센서	<ul style="list-style-type: none"> ○ 어레이센서 3종 기술적용 시험시제 제작 (총 3셋) <ul style="list-style-type: none"> - 3종 기술: Chemiresistor, Chemicapacitor 및 SAW 화학센서 * SAW(surface acoustic wave) ○ 각 어레이센서의 단위센서 수: 4종 이상(단위센서별 상이한 리셉터 적용 필수) ○ 단위센서 표면적용 센서물질(리셉터) <ul style="list-style-type: none"> - 유기/고분자, 기능화 CNT/그래핀 및 복합물질 등 (무기 금속성 센서 제외) - 단 Siloxane-fluoroalcohol계 리셉터 2종 이상 반드시 포함
2. 탐지 대상물질	<ul style="list-style-type: none"> ○ 신경작용제 3종, 수포성작용제 1종, 혈액작용제 1종 <ul style="list-style-type: none"> - 시험시 유사작용제(DMMP, DFP, CK, CEES 등) 대체 가능 ○ TIC 5종(시클로헥산, 암모니아, 이산화질소 등) 이상
3. 탐지 감도 (가스상)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 실작용제와 DMMP 감도: 0.1 mg/m³이상(상온기준 오차: ±10%) (실작용제 2종 이상 공인시험기관 감도시험 의뢰) ○ CEES: 1 mg/m³ 이상 ○ CK: 10 mg/m³ 이상 ○ 시클로헥산: 688 mg/m³ 이상 ○ 암모니아: 20 mg/m³ 이상 ○ 이산화질소: 64 mg/m³ 이상

4. 탐지/식별시간 및 복구 시간	<ul style="list-style-type: none"> ○ 탐지/식별 시간: 30초 이내(S/N>3, 상온 기준) ○ 복구시간: 10분(상온 기준)
5. 작동온도	<ul style="list-style-type: none"> ○ -10~43 ℃
6. 센서수명	<ul style="list-style-type: none"> ○ 30일 이상
7. 복합 작용제 탐지/식별 능력	<ul style="list-style-type: none"> ○ (유사)화학작용제 3종 혼합시 식별 ○ TIC 3종 혼합시 식별 ○ 유사화학작용제 2종 및 TIC 2종 교차 혼합시 식별
8. 인공지능	<ul style="list-style-type: none"> ○ 단위센서별 유사작용제 4종 및 TIC 5종 이상 획득정보 식별 (단위센서 4종x(유사작용제4종+5종) = 36종 이상 종합식별정보 탑재) ○ 딥러닝 기반 능동 적응형 디지털 필터 학습 알고리즘 ○ 고도화 복합작용제 검출분석 적응형 자가 수렴형 엔진(<10,000건) ○ 야전적용 자가수렴 학습 전후 98% 이상 상관관계 및 신뢰도 ○ 실시간 Web API기반 Mobile Form Factor 분석 검출시스템(1분 이내 센서 연동)
9. 제원(탐지모듈)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 10x10x2cm 이하

2. 국내외 기술현황 및 전망

가. 국내 기술동향 및 전망

- 2000년 최초로 탄소나노튜브 가스센서가 개발된 이후로 국제적으로는 비약적인 발전을 이루었지만, 국내기술은 아직까지 대부분 상용화단계까지는 접근하지 못하고 대부분 연구단계임. 하지만, 국내에서도 가스센서에 대한 수요가 점점 증가하며, 응용 분야의 연구가 활발히 진행됨에 따라 나노튜브 기반 가스센서에 대한 연구도 상당히 진행 중임.
- 최근에는 울산과학기술원 연구팀이 살아있는 곤충이나 나뭇잎 등 다양한 생체 표면에 부착할 수 있는 무선 가스센서를 개발하여 DMMP 검출에 성공함. 국내 유연소자 기술과 무선전력 송신 기술의 발전으로 인해 앞으로 비약적인 발전을 이룰 것이라 기대됨.
- 현재 단분자 및 고분자 등 다양한 리셉터를 활용하여 검출 시 변화하는 형광특성, 색변화, 정전용량변화 등을 활용해 단일대상의 화학작용제를 검출하는 연구가 활발히 진행되고 있음. 그러나 단일대상이 아닌 혼합가스의 검출을 위한 연구는 국내뿐만 아니라 국외에서도 연구결과가 미비한 실정임. 이에 따라 혼합가스에 대한 실시간 검출을 위해서는 어레이를 이용한 패터화 기법의 활용이 필요하며, 이를 위해 탄소나노소재 어레이에 적용할 수 있는 리셉터의 개발이 필요함.

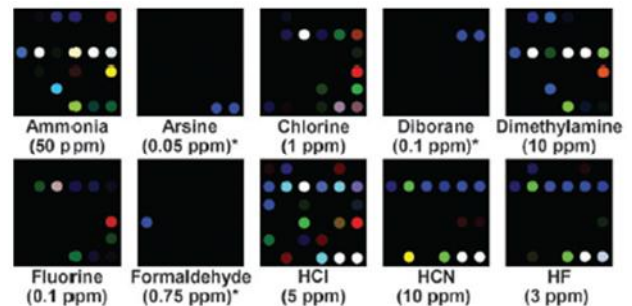
- 시계열 데이터의 분석을 위해 기계학습법의 하나인 딥러닝으로 각 데이터가 속하는 클래스로 분류작업을 하거나 예측하는 분석 작업이 영상, 스펙트럼, 시계열 데이터 분석에서 활발히 연구되고 있음. 하지만 과적합, 최적화, 느린 속도 등과 같은 문제들이 해결해야 할 과제로 떠오르고 있음. 이에, 높은 성능의 신호 분석 및 잡음 제거 알고리즘이 제안되고 적합한 수학적 모델을 찾기 위한 연구가 활발히 이용되고 있음. 이를 위해, Convolutional Neural Network(CNN)이 다양한 분야에서 시계열 데이터의 Topology와 특징을 추출하기 위해 적용되고 있으며 국내에서 유사 연구가 진행되고 있음.

나. 국외 기술동향 및 전망

- 탄소나노튜브 기반 가스센서는 스탠포드 대학의 Hongjie Dai 연구팀이 NO₂나 암모니아 등의 독성가스 검출로 가장 먼저 시도함(Science 2000, Vol 287, 622-625)
- 초기단계의 대부분의 나노튜브 가스센서는 비가역으로, 당시에는 주로 여러 가닥의 나노튜브가 뭉쳐있는 나노튜브 다발로 센서를 제작하였기 때문에 나노튜브와 나노튜브의 사이 공간과 같이 에너지가 높은 부분에 화학작용제가 잡혀서 빠져나오지 못하게 됨. 센서의 운용면에서 가역센서가 유리하기 때문에 초기 연구단계에서 이러한 비가역 분자흡착을 가역흡착으로 전환하는 방식으로 진행되었음.
- 일리노이 대학의 Strano 연구진은 나노튜브 표면에 가스분자보다 흡착력이 강한 작용기를 코팅함으로써 나노튜브와의 결합에너지를 낮춰 가역센서로 전환하는 보다 간편한 기술을 개발하였고, 지금까지 이러한 다양한 기술들의 발전을 통해서 현재 나노튜브 가스센서는 훨씬 안정적으로 발전됨.
- 한편, 특이성이 우수한 센서로 발전하기 위해서는 특정가스를 선택적으로 인식할 수 있는 인식물질이 필요함. 전도성 고분자를 나노튜브표면에 코팅하거나, Penn State대학의 A. T. Johnson 그룹에서는 특정 가스를 선택적으로 흡착하는 단일 가닥의 염기서열(DNA)을 나노튜브 표면에 고정화하여 선택도를 높임. 다양한 표면처리를 통해서 최근에는 타겟 분자와의 선택도뿐만 아니라 반응성 또한 다양하게 조절 가능함. 동일한 가스분자더라도 어떠한 표면처리를 하느냐에 따라 전기전도도가 증가 혹은 감소하는 다양한 반응성을 가지도록 할 수 있음
- 이러한 다양한 표면처리의 발전은 반응성이 다양한 여러 종류의 센서를 어레이 형태로 배열한 멀티플렉스 센서 개발 가능성을 제시하였고, 이러한 멀티플렉스 센서의 반응은 탐지물질의 종류에 따른 패턴으로 인식하므로 센서

의 오작동을 최소화할 수 있으며, 혼합가스의 경우에도 각각의 종류와 농도를 동시에 측정할 수 있게 되었음.

- 일리노이대학의 Suslick 그룹에서 센서 어레이의 색깔 패턴 변화를 통해 냄새를 시각화하는 멀티플렉스 (multiplex) 센서를 이용하여 날숨 분석을 통한 폐암진단, 공장의 매연 탐지, 커피-인공감미료-음료수 등 식료품 분석, 박테리아 식별 등 광범위한 분야에 적용 가능성을 보임. 하지만 육안으로 색깔 구분을 해야 하는 특성상 소형화가 어려우며 통신기술과 연동을 통한 원격/무인탐지 등에 적용은 제한됨.

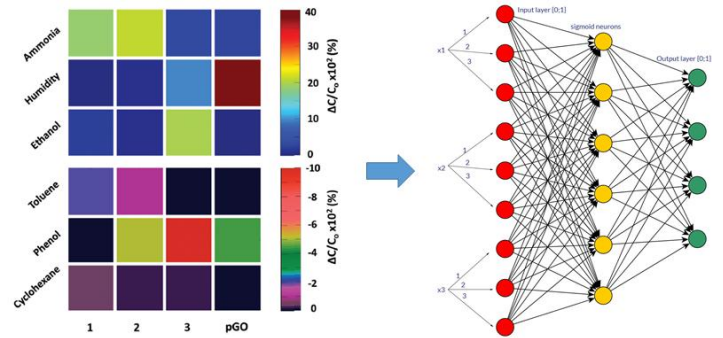


멀티플렉스 센서의 예. 색깔구분을 통한 탐지의 특성상 소형화/원격화가 어려움(Suslick et al. Chem. Comm. 2010).

- Stanford 대학의 Dai 그룹에서는 색깔 대신 탄소나노튜브 센서 어레이의 전기신호를 분석하였음. NO₂와 같이 전자를 받아들이는 분자 탐지용으로 polyethyleneimine 처리를, NH₃처럼 전자를 내놓는 분자 탐지에는 Nafion 처리를 하여 다양한 분자를 식별할 수 있었음. 하지만 나노재료 기반 센서의 상당수는 분자의 흡착이 비가역적이라 반복 탐지 시 민감도가 점차 떨어지는 한계를 가짐.
- 혼합물 분석에서의 민감도와 선택도 문제를 해결하기 위해 미국 DARPA에서는 마이크로-가스크로마토그래피(micro gas chromatography, micro-GC)로 혼합물을 분리한 후 말단에 설치된 초고민감도의 탄소나노튜브 가스센서를 통해 식별과 농도측정을 동시에 수행하는 시스템 개발에 투자하였음. Micro-GC 입구에는 농도를 수천 배 높여주는 농축기와 MEMS 기술을 이용한 마이크로 injector까지 탑재하여, ppb 이하 농도의 화학작용제 혼합물을 효율적으로 분리 및 탐지할 수 있게 시스템을 구성함. 하지만 유기적으로 연결된 각각 구성요소의 기술이 성숙되지 않아 아직까지는 분석의 재현성과 신뢰도가 떨어짐.
- 기존의 가스 센서 어레이 방식에서는 육안으로 구별을 해야 하고 혼합가스의 경우 식별이 어려운 문제점이 있기 때문에 이를 해결하기 위해 인공신경망 기반의 패턴 인식 기술을 적용하여 혼합가스를 식별하기 위한 연구가 진행되었음.
- 인공신경망 기법이란 인간의 신경을 흉내 낸 딥러닝 기법으로, 여러 층의 뉴런이 연결되어 복잡한 연산 등을 수행하는 것과 같은 두뇌의 정보처리 과정을 모방해서 만든 수학적 알고리즘임. 많은 양의 데이터를 학습하여 이를 바

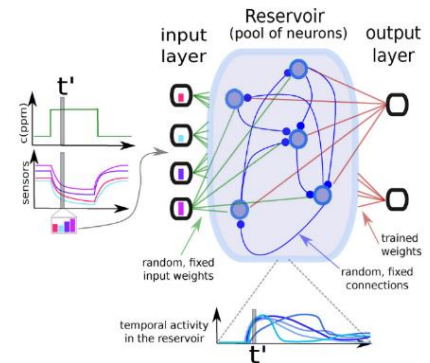
탕으로 다양한 종류의 화학작용제를 정확하게 분류하고 식별하기 위한 효율적인 방법임.

- 유해가스를 식별하기 위해 인공신경망 기술과 패턴인식 기술을 사용한 연구를 Sharma 그룹에서 진행하였는데, 표면음향파 기술을 사용하여 센서 어레이의 주파수 변화를 이용해 신



멀티플렉스 센서 기술 기반(Teradal et al., *Journal of Materials Chemistry C* 5, 1128-1135, 2017.)에서 인공신경망 기술 활용으로의 변화

경 네트워크 알고리즘으로 정보를 처리하여 화학작용제의 종류와 농도를 식별하였음. 단일 폴리머 코팅 표면음향파 센서의 감지데이터 베이스에 패턴인식 알고리즘과 인공신경망 알고리즘을 적용하여 각각의 화학작용제 증기를 식별하였음. 표면 음향파 기술은 소형화, 가격 경쟁성, 신뢰성, 높은 감도 및 무선 사용성으로 인해 기체 및 액체 환경 모두에서 센서로 활용 가능한 기술이나, 단일 플랫폼에서 가까운 거리에 있는 여러 개의 센서 어레이로 활용하기 어려운 문제점이 있음.



인공신경망 기술을 활용한 가스의 식별 (Fonollosa et al., *Sensors and Actuators B: Chemical*, 215, 618-629, 2015.)

- 캘리포니아 대학의 Fonollosa 그룹은 16개의 산화금속 가스센서 어레이를 다양한 조성의 가스에 노출하여 얻은 데이터에 인공신경망 알고리즘을 적용하여 혼합가스를 식별/정량하였음.
- 국내에서도 인간의 시각/청각/촉각을 모방하는 기술은 상당한 수준이나, 미각과 후각에 관한 연구는 부족하므로 향후 패턴인식 및 인공신경망 기술을 접목한 기술의 발전이 기대됨.
- 국외에서는 현재 탄소소재와 리셉터를 활용한 화학작용제의 검출 연구가 활발히 진행되고 있음. 미군의 Uzarski 연구진이 그래핀 나노플레이트와 고분자를 이용하여 저항센서 어레이를 구성하여 DIMP, DEMP 등 개별 화학작용제를 탐지하는 연구를 진행한 예가 있으나 혼합 작용제의 동시검출 연구는 미비한 실정임. 2018년 중국의 Yinsheng Chen 그룹은 혼합가스 검출을 위해 산화금속 반도체를 이용한 센서 어레이를 구성하고, 주성분 분석과 k-최근접 이웃 알고리즘을 이용해 혼합가스인 이산화탄소와 메탄을 약 95% 신뢰도로 분석하였음. 이러한 혼합가스 검출연구는 일부 기업 또는 대학연구소 수준에서 제한된 종류의 가스로만 진행됨. 따라서 혼합가스에 대한 실시간 검출을

○ 인공지능 알고리즘은 2D영상 분석을 기반으로 다양한 분야에서 활발히 적용되고 있으며, 신호처리 기술과 함께 2D-1D스펙트럼-1D시계열 데이터를 이용하는 응용 분야에서 그 성능이 평가 검증되고 있음. 특히, 의료 영상, 자율주행, Raman 분광 분석, IR 스펙트럼 분석과 같이 그 활용범위가 확대되어 가고 있어 관련 기술의 연구 개발과 상용화, 이에 대한 국가적 지원이 필요함.

2 년 차		<ul style="list-style-type: none"> ○ 신호처리 SW 탑재 및 에버리징 ○ 단위센서 표면 리셉터 고정화/증착 ○ 탐지 메커니즘 연구 		7
	Chemicapacitor 단위/어레이 센서 제작	<ul style="list-style-type: none"> ○ Chemiresistor 단위센서 및 어레이센서 제작 ○ 단위센서 표면처리 공정 및 공정법확립 ○ 단위/어레이센서 제어모듈 및 패키징화 ○ 신호처리 SW 탑재 및 에버리징 ○ 단위센서 표면 리셉터 고정화/증착 ○ 탐지 메커니즘 연구 	Chemicapacitor 센서제작	
	SAW 단위/어레이 센서 제작	<ul style="list-style-type: none"> ○ SAW 단위센서 및 어레이센서 제작 ○ 단위센서 표면처리 공정 및 공정법확립 ○ 단위/어레이센서 제어모듈 및 패키징화 ○ 주파수검출(oscillator) 탑재 ○ 신호처리 안정화 및 에버리징 ○ 단위센서 표면 리셉터 고정화/증착 ○ 탐지 메커니즘 연구 	SAW 센서제작	
	센서물질(리셉터) 합성	<ul style="list-style-type: none"> ○ 유기/고분자 리셉터 합성 <ul style="list-style-type: none"> - siloxane-fluoroalcohol 2종 포함 5종 이상 - 확인 동정/분석방법 확립 ○ 합성물 정제(90% 이상) 및 안정화 방법 확립 ○ 합성공법 재현성 확립 	리셉터 합성	
	센서신호 data 통계 수집	<ul style="list-style-type: none"> ○ 단일센서 종류별 유사작용제(DMMP 등) 신호 특성 수집/분석 ○ DB화 및 특성 분류(통계적 분류) 	센서신호 수집 신호특성 분석/통계	
	복합 화학작용제 혼합 제조	<ul style="list-style-type: none"> ○ 복합 화학작용제 발생/혼합 제조 <ul style="list-style-type: none"> - 유사화학작용제 3종이상 혼합상 제조 - TIC 3종이상 혼합상 제조 - 유사작용제+TIC 3종이상 혼합상 제조 	혼합 작용제 발생/제조	
	각 어레이센서별 감도시험	<ul style="list-style-type: none"> ○ 각 어레이센서별 유사작용제 감도시험 <ul style="list-style-type: none"> - Chemiresistor 어레이센서 유사작용제 감도 - Chemicapacitor 어레이센서 유사작용제 감도 - SAW 어레이센서 유사작용제 감도 ○ 각 어레이센서별 신호 특성분석 및 DB화 	어레이센서별 감도시험	
	딥러닝 기반 검색 알고리즘 구축 및 작용제 검색 구현	<ul style="list-style-type: none"> ○ 작용제 검색 알고리즘 구축/시험 ○ 개별 화학작용제 신호 학습 네트워크 개발 ○ 복합 화학작용제 신호 학습 네트워크 개발 ○ 복합 신호 네트워크 학습 (10,000건 이상 데이터 증강 및 DB 입력, 95%) 	멀티모달 학습 네트워크 엔진개발	
	Chemiresistor 어레이센서	<ul style="list-style-type: none"> ○ 유사작용제 탐지 감도시험 <ul style="list-style-type: none"> - 최저 탐지농도 도출 	Chemiresistor 탐지/식별	

	3 년 차	탐지성능 시험	<ul style="list-style-type: none"> 유사작용제 탐지 안정성 및 재현성 평가 혼합가스 식별성 평가 	성능평가	7
		Chemicapacitor 어레이센서 탐지성능 시험	<ul style="list-style-type: none"> 유사작용제 탐지 감도시험 <ul style="list-style-type: none"> 최저 탐지농도 도출 유사작용제 탐지 안정성 및 재현성 평가 혼합가스 식별성 평가 	Chemicapacitor 탐지/식별 성능평가	
		SAW 어레이센서 탐지성능 시험	<ul style="list-style-type: none"> 유사작용제 탐지 감도시험 <ul style="list-style-type: none"> 최저 탐지농도 도출 유사작용제 탐지 안정성 및 재현성 평가 혼합가스 식별성 평가 	saw 탐지/식별 성능평가	
		센서물질(리셉터) 합성공정 재현성 확립	<ul style="list-style-type: none"> 센서물질 합성공정 재현성(순도 95% 이상) 센서물질 안정화/노화분석 <ul style="list-style-type: none"> 온습도 변화시 물성변화 분석 	리셉터 합성공정 재현성 확립	
		센서 신호특성 통계 수집	<ul style="list-style-type: none"> 혼합 화학작용제 무작위 농도에 따른 센서반응 통계 수집 	신호특성 수집	
		멀티모달 학습네트워크 고도화 및 검증	<ul style="list-style-type: none"> 복합 신호 네트워크 고도화 자동 네트워크 학습 시스템(Self-learning)을 통한 입출력 오류 수정 학습 네트워크의 검증 (98%이상 성능) 	고도화 복합 작용제 분석 네트워크 엔진	
	4 년 차	Chemiresistor 어레이센서 환경성 시험	<ul style="list-style-type: none"> 온습도 변화시 탐지(감도/식별)성 평가/분석 타물질 간섭 영향성 시험 및 분석 센서수명 평가 센서 제작공정 최적화 및 수정/보완 	Chemiresistor 환경성 평가	4
		Chemicapacitor 어레이센서 환경성 시험	<ul style="list-style-type: none"> 온습도 변화시 탐지(감도/식별)성 평가/분석 타물질 간섭 영향성 시험 및 분석 센서수명 평가 센서 제작공정 최적화 및 수정/보완 	Chemicapacitor 환경성 평가	
		SAW 어레이센서 환경성 시험	<ul style="list-style-type: none"> 온습도 변화시 탐지(감도/식별)성 평가/분석 타물질 간섭 영향성 시험 및 분석 센서수명 평가 센서 제작공정 최적화 및 수정/보완 	SAW 환경성 평가	
		센서물질(리셉터) 저장성 평가	<ul style="list-style-type: none"> 센서물질(리셉터) 저장성 평가 <ul style="list-style-type: none"> 리셉터별 저장성 분석 대량생산 공정화 기술 확립 	리셉터 저장성 평가	
		각 어레이센서별 환경성 평가	<ul style="list-style-type: none"> 야외 환경의 단일가스 탐지성 평가 야외 환경에서 복합가스 탐지/식별성 평가 	환경성평가	
		검출 알고리즘 복합 화학작용제 검출 성능 평가	<ul style="list-style-type: none"> 단일 화학작용제 식별/정량화 출력 성능평가 복합 화학작용제 식별분석 및 예측용 멀티모달 학습 네트워크 완성 엔진 최적화 및 Deploy (Mobile Form Factor) 	복합 화학작용제 검출 네트워크 및 분석 시스템	

			<ul style="list-style-type: none"> ○ 환경 영향성 배제기술 평가/확립 ○ 알고리즘 수정/보완 	산출물	
		결과물 작성	<ul style="list-style-type: none"> ○ 최종보고서 작성 ○ 논문/학술발표 및 특허 출원 ○ 운용메뉴얼 및 규격서 작성 		
총					23

* 상기의 내용은 연구목표 달성을 위한 항목으로서 제안시 제안기관이 수정 가능

※ 연차 구분은 회계연도를 기준으로 설정 및 예산 배분

연구단계	응 용 연 구			
연차	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도
연차별 기간	7개월 (20.6~20.12)	12개월 (21.1~21.12)	12개월 (22.1~22.12)	5개월 (23.1~23.5)
평 가	진도평가▲	진도평가▲	진도평가▲	최종평가▲
예산지급	▲	▲	▲	▲

*재료비, 장비비 등은 사업 초기에 집행하여 활용도 제고

나. 사업기간 및 연구개발비

- 사업기간: 3년(응용연구 3년)
- 총 연구개발비 중 정부출연금: 23억원 이내(응용연구 23억원)

4. 적용 및 파급효과

가. 적용분야

- 민수
 - 인구 밀집지역(공항, 공공기관, 학교, 터미널, 백화점 등)의 화학작용제 테러 대비 무인감시체계로 운용이 가능하며 사전 모니터링으로 상황 대처가 가능한 센서기술임
 - 단일/혼합 TIC 식별 및 정량: 가로수/가로등에 설치하여 대기오염을 감시, 공단주변에 설치하여 유독물질 무단방류 및 배출 감시, 공단주변 주거지 유해환경 모니터링, 배관 내에 배치되어 수질관리/수원지 보호
 - 음주, 구취 등 개인용 VOC 탐지: 개인 휴대기기에 설치하여 사람의 날숨에 포함된 알콜, 휘발성 황화합물 등을 모니터링함으로써 음주운전 방지, 구취 정도 알림, 더 나아가 원격진료 등 헬스케어 시스템과 연동
 - 동식물 등 자연물에 부착하는 센서로 다양한 지형에서 활용도가 높음.

- 음식물 신선도 실시간 측정하는 스마트 패키징: 음식물 부패 과정에서 발생하는 VOC를 탐지하여 신선도를 실시간 측정하는 패키징

○ 군수

- 화생방전하에서 화학작용제 조기 탐지 및 혼합 화학작용제 살포시 식별 가능하며 MOPP 단계 적용에 가능한 기술이다
- 오염(예상)지역 무인 원격 로봇 또는 드론에 장착하여 화학탐지 정찰병 투입 대신에도 활용이 가능하다.
- 화학작용제로 오염된 개인 장구류, 장비 및 차량 등의 제독 후 화학작용제 극미량 잔류오염을 탐지하는데도 상당히 유용한 기술이다.



인공지능 센서 어레이의 다양한 응용분야

나. 파급효과

○ 기술적 측면

- 이온이동도 방식의 탐지기는 일부 간섭물질의 영향이 있으나 감도가 뛰어나고 선택성도 있어 유독물질 탐지 또는 잔류 오염 탐지에 주로 사용되나 단점으로는 탐지를 직접 의심되는 물질 부위에 가까이하는 접촉식 탐지 방식이어서 사용 및 용도가 제한됨.
- 탄소나노튜브를 전기특성별로 분리하는 기술은 비교적 최근에 개발되어 그 응용 가능성이 무궁무진함. 특히, 분리된 나노튜브 각각이 반응성이 다른 센서로 쓰일 수 있음. 하지만 분리된 나노튜브를 이용한 센서는 제대로 연구된 바가 없어 본 연구를 통해 분자와 나노튜브간의 결합 이해에 기여할 수 있음.
- 각각 작용제별 리셉터로 기능화, 전기적 특성별로 분리된 탄소나노튜브 기반의 멀티플렉스 센서는 관련 특허가 없어 지식재산으로서의 가치가 뛰어남.

○ 경제·산업적 측면

- 빠르게 화학작용제를 탐지-식별하는 센서는 지하철, 공항, 공공기관 등 테러에 취약한 장소에 설치되어 사회적 불안 및 고통 경감시키며 그에 따른 국민 행복지수 상승 효과를 기대할 수 있음.
- 개발된 센서를 가로수와 공단 주변지역에 설치하여 환경 모니터링 및 유해물질 배출 감시하여 24시간 무인 감시체계 확립할 수 있음.
- 스마트폰과 연동하여 개인의 신변 보호뿐만 아니라 최근 추진되고 있는 원격의료 및 건강관리시스템에도 적용하여 막대한 경제적 효과를 기대할 수 있음.
- 화학탐지 관련 국내 기반기술은 전무한 실정으로, 최근 활발히 연구 중인 나노기술과 인공지능을 접목한 신개념 탐지기술 개발로 관련 산업을 선도할 수 있음.

○ 군사적 측면

- 화학전 지역 화학작용제를 조기에 탐지하여 인명피해 최소화 및 제독작전 등 전력화에 기여.
- 특히 미래병사체계에 유용한 극소형 및 마이크로 센서 디바이스 제작에도 적용이 가능한 기술임
- 향후 유연성 반도체 전자소자 기술과 접목할 경우 나뭇잎과 곤충 등 자연물에 부착되어 군사적 활용도가 높음.
- 유기물 및 탄소재료 기반의 화학작용제 센서는 금속탐지기에 검출되지 않아 적과의 정보전에서 우위를 점할 수 있음.
- 향후 무선 송수신 기술 접목시 무인 감시체계 운영이 가능한 기술로 인력감축 및 비용절감 효과가 기대됨.
- 마이크로 센서에 장착이 가능한 첨단 기술로 미래병사체계의 웨어러블(wearable) 센서로의 군사적 활용성이 높은 기술로 판단됨.

5. 연구개발 결과 제시물 및 평가항목

가. 연구개발 결과 최종 제시물

- 리셉터로 코팅된 센서 어레이 및 식별/정량 알고리즘
- 연구개발 결과보고서(전산화일 포함)
- SCI(E) 학술지 연구결과 논문 3편 이상
- 특허출원 2건 이상

나. 연구개발 결과 평가항목

항 목	목 표 성 능
1. 어레이센서	<ul style="list-style-type: none"> ○ 어레이센서 3종 기술적용 시험시제 제작 (총 3셋) <ul style="list-style-type: none"> - 3종 기술: Chemiresistor, Chemicapacitor 및 SAW 화학센서 <ul style="list-style-type: none"> * SAW(surface acoustic wave) ○ 각 어레이센서의 단위센서 수: 4종 이상(단위센서별 상이한 리셉터 적용 필수) ○ 단위센서 표면적용 센서물질(리셉터) <ul style="list-style-type: none"> - 유기/고분자, 기능화 CNT/그래핀 및 복합물질 등 (무기 금속성 센서 제외) - 단 Siloxane-fluoroalcohol계 리셉터 2종 이상 반드시 포함
2. 탐지 대상물질	<ul style="list-style-type: none"> ○ 신경작용제 3종, 수포성작용제 1종, 혈액작용제 1종 <ul style="list-style-type: none"> - 시험시 유사작용제(DMMP, DFP, CK, CEES 등) 대체 결과도출 - 실작용제 3종 공인시험기관 의뢰 ○ TIC 6종(시클로헥산, 암모니아, 이산화질소 등) 이상
3. 탐지 감도 (가스상)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 실작용제 및 DMMP: 0.1 mg/m³이상(상온 기준 오차: ±10%) (최종 년도 실작용제 공인기관 감도시험 의뢰) ○ CEES: 1 mg/m³ 이상 ○ CK: 10 mg/m³ 이상 ○ 시클로헥산: 688 mg/m³ 이상 ○ 암모니아: 20 mg/m³ 이상 ○ 이산화질소: 64 mg/m³ 이상
4. 탐지/식별시간 및 복구 시간	<ul style="list-style-type: none"> ○ 탐지/식별 시간: 30초 이내(S/N>3, 상온 기준) ○ 복구시간: 10분(상온 기준)
5. 작동온도	<ul style="list-style-type: none"> ○ -10~43 ℃
6. 센서수명	<ul style="list-style-type: none"> ○ 30일 이상
7. 복합 작용제 탐지/식별 능력	<ul style="list-style-type: none"> ○ (유사)화학작용제 3종 혼합시 식별 ○ TIC 3종 혼합시 식별 ○ 유사화학작용제 2종 및 TIC 2종 교차 혼합시 식별
8. 인공지능	<ul style="list-style-type: none"> ○ 단위센서별 유사작용제 4종 및 TIC 5종 이상 획득정보 식별 (단위센서 4종x(유사작용제4종+TIC5종)=36종 이상 종합식별정보 탑재) ○ 딥러닝 기반 능동 적응형 디지털 필터 학습 알고리즘 ○ 고도화 복합작용제 검출분석 적응형 자가 수렴형 엔진(<10,000건) ○ 야전적용 자가수렴 학습 전후 98% 이상 상관관계 및 신뢰도 ○ 실시간 Web API기반 Mobile Form Factor 분석 검출시스템(1분 이내 센서 연동)
9. 제원(탐지모듈)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 10x10x2cm 이하

6. 참여 요건

가. 추진 체계 요건

- 주관연구기관 및 참여기관: 민·군기술협력사업 촉진법 제7조 제2항 및 동법 시행령 제14조 제2항 각호에 해당하는 기관 또는 단체(고등교육법 제2조 각호에 따른 학교 포함)

나. 연구책임자의 자격 및 과제 신청요건

- 연구책임자의 자격: 관련 분야의 연구 경험이 풍부한 중견 연구자를 책임자로 선임하여 연구의 최종목표를 달성할 수 있도록 계획, 업무프로세스 정립, 원활한 추진 및 조정과 과제관리를 수행할 수 있어야 한다.
- 과제 신청요건: 주관연구기관은 제안한 연구개발 목표를 충분히 달성할 수 있는 연구팀을 구성하여야 하며, 필요시 컨소시엄을 구성할 수 있다.

다. 기타

- 해당 없음.

7. 참고문헌

- Teradal et al. “Porous graphene oxide chemi-capacitor vapor sensor array” , Journal of Materials Chemistry C 5 (5), 1128-1135 (2017)
- Liu et al. “Deep convolutional neural networks for Raman spectrum recognition: a unified solution” , Analyst 142 (21), 4067-4074 (2017)
- Fonollosa et al. “Reservoir computing compensates slow response of chemosensor arrays exposed to fast varying gas concentrations in continuous monitoring” , Sensors and Actuators B-Chemical 215, 618-629 (2015)
- Fan et al. “Deep learning-based component identification for the Raman spectra of mixtures” , Analyst 144 (5), 1789-1798 (2019)
- Chatzidakis and Botton “Towards calibration-invariant spectroscopy using deep learning” , Sci Rep 9 (1), 2126 (2019)
- Chen et al. “Research on a mixed gas recognition and concentration detection algorithm based on a metal oxide semiconductor olfactory system sensor array” , Sensors 18 (10), 3264 (2018)
- Uzarski et al. “Graphene nanoplatelet-polymer chemiresistive sensor arrays for the detection and discrimination of chemical warfare agent simulants” , ACS Sensors 2 (11), 1669-1678 (2017)

8. 과제 문의사항 연락처

소속	성명	연락처
민군협력진흥원	서병일	042-607-6048