

실시간 고감도 냄새 감지 및 구별이 가능한 다차원 멀티모달 후각지능 기술(요약)

성과Track	기초·미래선도	산업육성	국가·사회문제해결						
		○		탄소중립여부					
협약(세부)과제명	Sub-ppb급 가스성분 감지를 위한 후각지능 기술 개발								
과제번호	협약(세부) 과제번호		NTIS 과제번호						
	23HR3800(23HR38100)		2020-0-01106						
성과목표	[5-4] 의료 지능화 솔루션								
총 연구기간	2020년 4월 1일~ 2023년 12월 31일								
총 연구비	총 7,572 백만원		정부: 7,500 백만원						
			민간: 72 백만원						
연구책임자	연구자 성명	직할부서	연구본부/연구실	직위/직급					
	안창근	디지털융합연구소	디지털융합기획팀	팀장/책임					
기선정 등 (해당 시)	기선정자		기선정 과제		다과제				
	()		()		()				
성과 정보									
성과 내용	<ul style="list-style-type: none"> • 세계 최고 64개/4종 센서 어레이를 탑재한 후각지능 시스템 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 64개/4종의 센서를 탑재한 인간의 후각 수용체를 모사한 세계 최고 성능의 다차원 멀티 모달 후각지능 시스템 구축 - 세계 최초 실제 마약류(필포폰, 대마) 가스를 포함한 센서 기준 120만개 이상의 후각지능 학습 DB 구축. 임상시험을 통한 300명 이상의 폐암 환자(대조군 포함)의 호흡기 가스 후각지능 학습 DB 구축 • 세계 최고의 정확도를 갖는 냄새 감지 후각지능 알고리즘 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 세계 최초 극미량/극소수 목표가스 탐지를 위한 Deep Nose AI 엔진 개발 - 멀티모달 조건부 앙상블 후각지능 딥러닝 기술을 통한 세계 최고의 탐지 정확도 96% 달성 • 원천특허 확보 및 기업 기술이전을 통한 후각지능 기반 신산업 경쟁력 향상 <ul style="list-style-type: none"> - 당해 핵심 원천기술 특허 1건 등록 및 7개의 주변기술 특허 등록 및 출원, 4건의 프로그램 등록을 통한 지재권 확보 - 기술이전 2건 완료 및 기술출자를 통한 연구소 기업 설립 1건 진행(12월 예정) 								
정량성과	기본지표	논문		특허				기술이전	
		SCI(건)	비SCI(건)	해외(건)		국내(건)		건수	금액 (백만원)
	1	1	출원 1	등록	출원 3	등록 4			
2	100								
심화지표	표준화된 IF 상위 20% SCI 논문(건)		특허활용률 (기술이전건수/ 특허등록보유건수)		국제표준승인표준 기고서(건)		3급 특허(건)	연구비 대비 기술료 수입(%)	
1							10%		
대표성과 1	<ul style="list-style-type: none"> • 대표논문(상위 0.8%): A selective feature optimized multi-sensor based e-nose system detecting illegal drugs validated in diverse laboratory conditions, Sensors and Actuators B: Chemical. 390 (2023) 133965 • 기술투자를 통한 연구소기업 설립 진행: 다차원 멀티모달 후각지능 기술, (주)일리아스AI, 기술투자액: 102백만원 								
대표성과 2	<ul style="list-style-type: none"> • 프로그램: 등록 4건 								

2023년도 ETRI 대표성과 요약서(상세)

1. 성과명

실시간 고감도 냄새 감지 및 구별이 가능한 다차원 멀티모달 후각지능 기술

2. 성과내용

기술개발 목표달성도

기술적 선점이 필요한 분야

- 의료(질병): 인공지능을 활용한 호흡기 가스 기반 질병 조기 진단
- 세관(마약): 마약류, 폭발물류와 같은 위험물 검출을 위한 특송화물 전수조사
- 검역(육가공품): 감염성 질환의 유입원이 되는 육가공품 전수조사

기술개발 목표

- 다차원 데이터를 인공지능으로 학습하여 미세한 냄새를 감지 및 구별할 수 있는 세계 최고 성능의 다차원 멀티모달 후각지능 기술 개발
(목표 ①) 64개/4종 센서 어레이를 탑재한 세계 최고 수준의 멀티모달 후각지능 시스템 개발 (100%)
(목표 ②) 멀티모달 조건부 앙상블 딥러닝 기술 기반의 세계 최초 극미량/극소수 목표가스 탐지를 위한 Deep Nose AI 엔진 개발 (100%)
(목표 ③) 호흡기 가스 기반 폐암 검출을 위한 선별된 폐암 환자 임상시험을 통한 후각지능 학습 DB, 의료 데이터 구축 및 폐암 조기진단 검증 (95%)

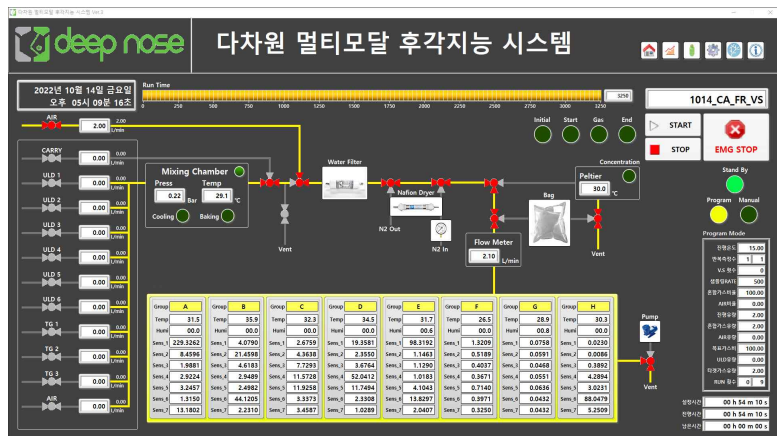
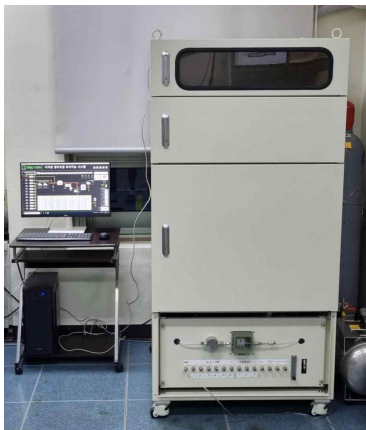


<다차원 멀티모달 후각지능 개념도>

□ 기술개발 목표의 달성 성과 및 핵심기술 확보

[개발목표 ①] 세계 최고 수준의 멀티모달 후각지능 시스템 구현

- ➔ (달성성과) 세계최초 64개/4종 센서 어레이를 탑재한 후각수용체를 모사한 다차원 멀티모달 후각지능 시스템 개발
- ➔ (핵심기술 확보)
 - 가스센서 4종, 총 64개 센서가 8개 챔버에 탑재된 세계 최대 멀티모달 냄새 감지 후각지능 시스템 구현
 - Effective sensing unit 수를 증가시키는 **Virtual Sensing 기술 기반으로 인간의 후각수용체를 모사한** 냄새 감지 모듈 구현
 - 유체 흐름 정밀 균등 제어 위한 대칭구조 기반 챔버(2층 구조) 최적화 설계
 - 수분제거 및 가스 성분 농축이 가능한 고도화된 전처리(고분자 수분필터, Napion dryer, 펠티어소자) 시스템 구현
 - 연구용 7종 마약류 확보 및 세계 최초 마약류 가스 자동 포집 시스템 구축
 - 마약류(필로폰, 대마), 담배류, 및 육가공품류 등에 대한 센서 기준 **총 백만개 이상의 냄새 학습데이터 확보**
 - **현장(택배차량 내 적재물) 실증을 통한 실시간 고감도 마약류 가스 감지 여부 검증**을 통한 신뢰성 평가

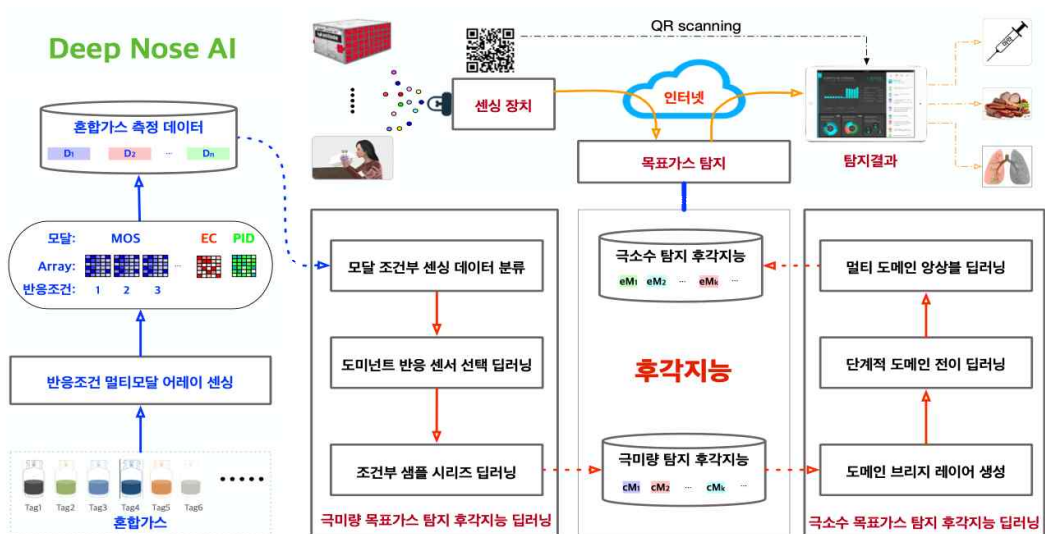


< 멀티모달 후각지능 데이터 생성 시스템 >

[개발목표 ②] 세계 최초 가스 정보 기반 마약류 검출 인공지능 알고리즘 개발

- ➔ (달성성과) 극미량 가스성분 학습용 빅데이터 기반 세계 최고의 고선택성 멀티모달 조건부 앙상블 후각지능 딥러닝 기술 확보
- ➔ (핵심기술 확보)
 - 다양한 유속과 전압에 따라 2차원 매트릭스 형태의 다중 가스 데이터 셋으로 구성하는 데이터 증강 방법을 통한 세계 최초의 극미량 혼합 가스에 대한 연속적 조건부 멀티모달 센싱 데이터 처리 기술 개발

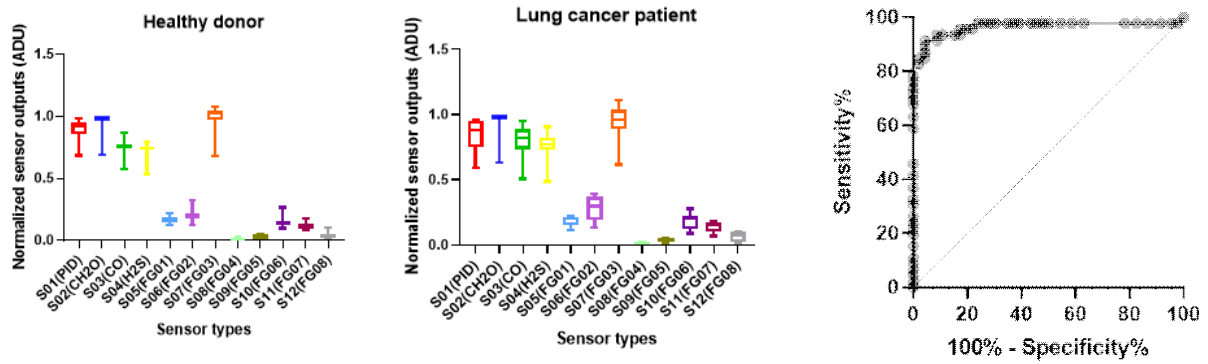
- 센서의 특성 정보 손실을 최소화한 MCGCN(Multi-Conditioned Gas Classification Network) 모델 기반 극미량 목표가스 감지를 위한 멀티모달 조건부 센싱 시리즈 후각지능 딥러닝(CSSL) 기술 개발
- 학습 데이터를 확보할 수 없는 극소수 목표가스의 도메인 확장을 위한 멀티도메인 전이 앙상블 후각지능 딥러닝(MDEL) 기술 개발
- 고도화된 앙상블 후각지능 딥러닝 엔진 구현 및 세계 최초 마약류(필로폰, 대마) 95% 탐지 정확도 확보(평균 탐지 민감도 96.11%, 평균 탐지 특이도 95.06%)
- 후각지능 딥러닝 엔진을 실제 산업 분야의 현장(택배 물류 환경)에서 채취한 필로폰 데이터에 적용하여 평균 탐지 정확도 94.94% 달성(택배 물류 환경 데이터 939개 - 트럭 1: 108개, 트럭 2: 108개, 트럭3: 110, 트럭4: 96, 트럭5: 108, 트럭6: 96개)
- 수집이 어려운 필로폰 혼합가스 센싱 데이터를 극소수 환경에 적용하여 도메인 전이 앙상블을 통한 탐지 정확도 성능 검증, 5% 학습 데이터의 학습을 통해 89% 필로폰 탐지 정확도 달성



< Deep Nose AI 엔진 개념도 >

[개발목표 ③] 폐암 환자의 후각지능 학습 DB, 의료 데이터 구축 및 폐암 조기진단 검증

- ➔ (달성성과) 폐암 조기 진단 시스템 업그레이드 및 폐암 환자 임상시험을 통한 호흡기 가스 기반 학습 DB 구축 및 폐암 진단 유효성 검증
- ➔ (핵심기술 확보)
 - 폐암 환자 및 정상 대조군 300례 이상에 대한 호기가스 기반 딥러닝 학습데이터 및 의료 데이터를 확보하였으며 호흡기 가스 정량 분석(GCMS 시행 및 VoC marker 이용 분석) 진행
 - 폐암 환자 호기가스 기반 폐암환자 학습모델 정확도 94% 확보



< 폐암환자 테스트 결과 및 딥러닝 학습결과 >

3. 우수성 및 차별성

기술수준 향상 성과

- 본 성과 다차원 멀티모달 후각 데이터 생성 시스템은 최대 20개의 센서 어레이를 탑재하고 있는 세계 최고의 전자코와 비교하여 가상센서를 포함한 100개 이상의 센서 어레이를 탑재한 세계 최고 수준의 후각수용체를 모사한 기술 개발임
- 극미량 마약류 가스 감지가 가능한 고선택성 멀티모달 조건부 앙상블 후각지능 딥러닝 모델을 세계 최초 개발하고 탐지 정확도 95%로 세계적 최고 수준 성과 달성
- 세계 최초 실제 마약류(필포폰, 대마) 가스를 포함한 센서 기준 100만개 이상의 후각지능 학습 DB 구축 및 폐암 환자 및 정상대조군 300례 이상에 대한 임상시험을 통한 호흡기 가스 학습 DB 구축

세계 최고 수준 대비 연구개발 수준

- 미국 MIT 대학을 포함해 전세계적으로 전자코에 대한 연구가 많이 진행되고 있지만, 전자코는 금속산화물반도체 센서 표면에 타겟 가스와 서로 다른 표면 반응을 유도하는 선택성 물질을 코팅을 하여 가스 선택성을 높이기 때문에, 다양한 선택성 물질 코팅이 어려워 대부분 3X3 정도의 센서어레이 형태로 구성함. 개발한 후각지능은 우선 타겟가스 감지를 위해 다양한 모달리티를 갖는 센서들로 어레이를 구성하여 타겟가스의 화학적 반응특성 뿐만 아니라, 물리적, 광적 반응 특성 등을 함께 획득함으로써 정보량을 높이고, 센서의 동작조건 및 환경조건을 변화시켜 선택성을 극도로 높일 수 있는 기술을 접목하여 Effective sensing unit의 개수를 가상센서를 포함한 100개 이상의 센서 어레이를 탑재하는 후각수용체를 모사한 세계 최고 수준의 기술임
- 고선택성 멀티모달 조건부 앙상블 후각지능 딥러닝 모델은 UCI 공개데이터를 기반으로 하여 최고 수준으로 알려진 EmbraceNet과 성능 비교 테스트 결과 더 적은 수의 모달리티 수로도 90% 이상의 성능 보여 세계 최고 수준 대비 6% 가량의 성능향상을 보였으며, 다양한 극미량 가스에 적용 가능하여 확장성이 우수함

- 현재 냄새 센싱 데이터는 UCI 공개 데이터가 유일하며, VoC 가스 10종에 대해 120개의 조건변화(5가지 전압 조건 x 3가지 유속 x 8개의 센서 활용)에 따른 데이터를 제공하고 있으나, 본 성과는 **총 576개의 조건변화에 따른 학습용 데이터를 확보**했을 뿐만 아니라, **세계 최초로 실제 마약류(필로폰, 대마) 가스에 대한 학습용 DB를 구축**(현재 전무)하여 향후 공개데이터로 활용도가 매우 높음. 또한, 폐암 환자 및 정상 대조군 300례 이상에 대한 호기가스 기반 딥러닝 학습데이터 및 의료 데이터를 구축하고 **94%의 진단 정확도를 갖는 세계 최고 수준의 호흡기 기반 폐암 조기진단 검증**

기술수준 공인 성과

- 기술이전: 완료 2건(100백만원), 진행 1건(50백만원)
 - (1) 다차원 후각지능 데이터 생성 시스템 기술, 대상기업:(주)태성환경연구원, 기술료: 50백만원, 계약일: 2022-12-31
 - (2) 다차원 후각지능 데이터 생성 시스템 기술, (주)일리아스AI, 기술료:50백만원, 계약일: 2023-08-28
- 기술투자: 연구소기업 설립 1건 진행
 - (1) 다차원 멀티모달 후각지능 기술, (주)일리아스AI, 기술투자액: 102백만원, 12월 완료 예정
- 논문: SCIE 논문 1편, 비SCIE 1편 게재 (SCIE 논문 2편 투고 예정)
 - (1) A selective feature optimized multi-sensor based e-nose system detecting illegal drugs validated in diverse laboratory conditions, Sensors and Actuators B: Chemical. 390 (2023) 133965 (**상위 0.7%**)
 - (2) Deep Nose project: A Study of Multidimensional Multimodal Olfactory Intelligence System for Ultra-Trace Gas Component Detection, 2023 35th IEEE SENSORS, Vienna, Austria, 2023
- 특허: 국내특허 등록 4건, 국제특허 1건 출원(3건 예정), 국내특허 3건 출원(2건 예정)
 - (1) 가스 탐지 지능 학습 시스템 및 그의 동작 방법, 등록번호: 2575032, 등록일: 2023.08.31.
 - (2) 기체 센서의 이상 감지 장치 및 방법, 등록번호: 2501286, 등록일: 2023.02.14.
 - (3) 위험물을 감지하는 위험 관리 서버, 등록번호: 10-2524497, 등록일: 2023.04.18.
 - (4) 후각 정보를 활용하는 이미지 추천 시스템, 등록번호: 10-2581502, 등록일: 2023.09.18.
 - (5) ARTIFICIAL INTELLIGENCE LEARNING METHOD AND APPARATUS FOR TARGET GAS DETECTION IN A SMALL SAMPLE DOMAIN, 출원번호: 미확인(출원완료 보고)
 - (6) 더블 사이클링 측정 기반 센서 드리프트 보정 피쳐 획득 및 조합을 통한 피쳐 안정성 및 신뢰성 향상 기법, 출원번호:2023-0144131, 출원일:2023.10.25.
 - (7) 샘플이 적은 도메인에서 목표가스를 탐지하기 위한 인공지능 장치 및 그 동작 방법, 출원번호:2023-0039845, 출원일:2023.03.27.
 - (8) 가스누출 위치검출과 확산예측 시스템 및 방법, 출원번호: 10-2023-0150944, 출원일: 2023.11.03.
- 프로그램: 등록 4건
 - (1) 멀티모달 조건부 센싱 시리즈 후각지능 딥러닝 프로그램, 등록번호: C-2023-006074, 등록일: 2023.01.13.
 - (2) 극소수 목표가스 탐색을 위한 도메인 전이 후각지능 딥러닝 프로그램, 등록번호: C-2023-006076, 등록일: 2023.01.27.
 - (3) 다차원 멀티모달 후각지능 시스템 데이터 획득 및 생성, 등록번호: C-2023-026307, 등록일: 2023.06.23.
 - (4) 전향적 특징 선택 기반 딥노즈 센서 선별 코드, 등록번호: C-2023-031485, 등록일: 2023.07.25.

4. 성과의 활용도 및 파급효과

경제 활성화 효과

기업 경쟁력 향상

- (상용화 제품 생산) 개발된 후각지능 기술을 바탕으로 어떠한 새로운 목표 가스에 대해서도 목표 가스 포집, 가스 학습 데이터 생성, 후각지능 학습을 수행하고, 이 후각지능을 가스 감지 장치에 탑재하여 현장 환경에 적합한 상용 제품 생산 가능
- (제품 생산 용이성) 상용 제품 생산을 위해 본 과제에서 생산된 5종의 극미량 목표 가스 센싱 데이터 중 가장 적절한 데이터를 수요 기업에 적합하게 선택적으로 활용함으로써 제품의 초기 완성도를 높이고 제품 개발 용이성 확보 가능

산업 경쟁력 향상

- 후각지능 기술은 단일 산업에만 적용되는 응용기술 형태가 아닌, 여러 산업분야에 걸쳐 공통적으로 적용 가능한 파급력이 높은 공통응용 혁신기술로 활용이 가능
- 융합서비스를 위한 ICT혁신기술은 초연결-초지능 인프라를 기반으로 기술·산업·사회 간 융합을 촉진하며, 국가와 국민이 당면한 문제를 서비스혁신을 통해 해결하고 새로운 가치를 창출하기 위한 기반 기술로 활용
- 현재의 기술수준은 센서의 감지능력의 한계에 부딪혀 있는 상황인데, 후각지능 플랫폼 기반의 냄새 감지 한계극복을 통해 다양한 산업에 적용, 폭발적 성장이 기대됨

경제적 파급효과

- (파급효과 전망)
 - (산업 경쟁력 제고) 의료, 환경, 국방, 안전, 식품 등 다양한 국가산업의 경쟁력을 높일 수 있는 공통응용 혁신기술로 높은 경제적 파급력과 일자리 창출 기대
 - (시장 확대) 패턴인식 후각지능 기술은 ‘18년 기준 30억 달러 시장을 형성한 가스 센서의 세계 시장 점유율 확대 기대되며, 후각지능 기반 냄새에 대한 다양한 산업 분야에서의 신시장 창출 기대
 - (비용절감) 의료, 국방, 환경, 안전에 신속 대응함으로써 건강비용, 재난/ 재해 대응 비용, 마약관리 비용 등 비용 절감 기대

국가사회적 파급효과

- 해결해야 할 국가사회문제
 - 증대되는 마약류 밀반입 및 투여로 인한 사회문제
 - 폭발물 또는 테러 등으로 인한 심각한 위협성을 초래할 수 있는 보안문제
 - 코로나 등 감염성 질환 및 만성질환에 대한 국민의 건강 문제
 - 최근 심각하게 떠오르는 미세먼지/환경오염 문제

○ 성과에서 개발된 기술적 솔루션

- 단순 성분 분석 센서가 아닌 다차원 특성 빅데이터를 AI 기반으로 분석하여 모든 냄새를 선별 감지할 수 있는 세계 최고의 후각지능 기술로 다양한 사회이슈 해결 가능
- 대기오염, 미세먼지 등을 실시간 분석함으로써 환경/오염 관리 신속 대응 가능
- 실시간 마약물 검사/검출을 통한 마약류 불법유통 차단 가능
- 지뢰/폭발물 감지 및 생화학 공격에 신속 대응
- 질환 조기 스크리닝을 통한 건강 100세 사회 구현

○ 국가·사회적 파급효과

- (100세 건강사회) 몸에서 배출되는 호흡가스 성분을 센서 어레이 패턴 반응을 통해 분석하여 폐암, 치매 및 감염성 질환을 조기 진단하여 100세 사회 구현
- (마약탐지) 광범위한 화학 물질의 후각 패턴을 인식하는 후각지능 기반의 실시간 특송화물 마약탐지 전수조사 서비스인 공항 특송화물 전수검사
- (정확성 향상) 단순 성분 분석 센서가 아닌 복합성분 분석을 통한 서비스 질을 혁신적으로 높이는 세계 최고 패턴인식 후각지능 기술 확보
- (보안성 증대) 적의 생화학물질 공격이 발생될 수 있는 야전/병영에서 신속 대응 위한 유독가스/감염원 상시 조기 탐지 기술 확보
- (깨끗한 환경) 대기, 미세먼지 등 실시간 분석 통한 환경/오염 관리 신속 대응
- (공통응용 혁신기술) 여러 산업군에 공통적으로 적용 가능한 ICT 융합서비스 중심의 혁신기술로 활용

