

318104-03

보안 과제(), 일반 과제(O) / 공개(O), 비공개() 발간등록번호(O)
첨단생산기술개발사업 2021년도 최종보고서

발간등록번호

11-1543000-003790-01

농산물 온라인 도매시장 경매 고도화를 위한 과채류 및 과일 정보 분석용 광학 전자코센서 시스템

2021. 12. 31.

주관연구기관 / 부산대학교

농림축산식품부
(전문기관)농림식품기술기획평가원

농산물 온라인 도매시장 경매
고도화를 위한 과채류 및 과일 정보
분석용 광학 전자코센서 시스템

2021

농림식품기술기획평가원
농림축산식품부

제출문

제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “농산물 온라인 도매시장 경매 고도화를 위한 과채류 및 과일 정보 분석용 광학 전자코센서 시스템”(개발기간 : 2018. 12. ~ 2021. 09.)과제의 최종보고서로 제출합니다

2021. 12. 31.

주관연구기관명 : 부산대학교	(대표자) 최 경 민 (인)
협동연구기관명 :	(대표자) (인)
참여기관명 :	(대표자) (인)



주관연구책임자 : 오 진 우

협동연구책임자 :

참여기관책임자 :

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 보고서 열람에 동의합니다.

<첨부2> 최종보고서 표지 및 요약서(관리기준 별지 제 17호 참조)

최종보고서							보안등급			
							일반[<input checked="" type="checkbox"/>], 보안[<input type="checkbox"/>]			
중앙행정기관명	농림축산식품부			사업명	사업명		첨단생산기술개발사업			
전문기관명 (해당 시 작성)	농림식품기술기획평가원			내역사업명 (해당 시 작성)						
공고번호	농림축산식품부 공고 제 농축2018-399호			총괄연구개발 식별번호 (해당 시 작성)						
				연구개발과제번호	318014-03					
기술분류	국가과학기술 표준분류	1순위 소분류 코드명 EC0204	50 %	2순위 소분류 코드명 ED0403	30 %	3순위 소분류 코드명 ED1103	20 %			
	농림식품과학기술분류	1순위 소분류 코드명 CA0102	50 %	2순위 소분류 코드명 CA0105	30 %	3순위 소분류 코드명 CA0103	20 %			
총괄연구개발명 (해당 시 작성)	국문									
	영문									
연구개발과제명	국문	농산물 온라인 도매시장 경매 고도화를 위한 과채류 및 과일 정보 분석용 광학 전자코센서 시스템								
	영문	Optical electronic nose sensor system for fruit and vegetable information analysis for agricultural products online wholesale market auction								
주관연구개발기관	기관명	부산대학교		사업자등록번호	621-82-06530					
	주소	(46241)부산광역시 금정구 부산대학로 63번길2		법인등록번호	184771-0000478					
연구책임자	성명	오진우		직위	교수(정교수)					
	연락처	직장전화	051-5-██████████		휴대전화	010-2-██████████				
		전자우편	o.██████████@pu.ac.kr		국가연구자번호	10-██████████				
연구개발기간	전체	2018. 12. 21 - 2021. 09. 20(2년 9개월)								
	단계 (해당 시 작성)	1단계	YYYY. MM. DD - YYYY. MM. DD(년 개월)							
		n단계	YYYY. MM. DD - YYYY. MM. DD(년 개월)							
연구개발비 (단위: 천원)	정부지원 연구개발비	기관부담 연구개발비	그 외 기관 등의 지원금				합계		연구개발비 외 지원금	
	현금	현금	현물	현금	현물	현금	현물	현금		현물
총계	1,100,000							1,100,000		1,100,000
1단계	1년차									
	n년차									
n단계	1년차									
	n년차									
공동연구개발기관 등 (해당 시 작성)	기관명	책임자	직위	휴대전화	전자우편	비고				
	역할	기관유형								
공동연구개발기관										
위탁연구개발기관	한국생명공학연구원	권오석	선임급	042-8-██████████	os.██████████@ksri.re.kr	위탁	정부출연 연구			
연구개발기관 외 기관										
연구개발담당자 실무담당자	성명	김예지		직위	연구원급(학생연구원)					
	연락처	직장전화	051-5-██████████		휴대전화	010-7-██████████				
		전자우편	kh.██████████@pu.ac.kr		국가연구자번호	11-██████████				

이 최종보고서에 기재된 내용이 사실임을 확인하며, 만약 사실이 아닌 경우 관련 법령 및 규정에 따라 제재처분 등의 불이익도 감수하겠습니다.

2021년 12월 16일

연구책임자: 오진우

주관연구개발기관의 장: 최경민 (직인)
위탁연구개발기관의 장: 김장성 (직인)

농림축산식품부장관·농림식품기술기획평가원장 귀하

< 요약 문 >

※ 요약문은 5쪽 이내로 작성합니다.

사업명	첨단생산기술개발사업				총괄연구개발 식별번호 (해당 시 작성)			
내역사업명 (해당 시 작성)					연구개발과제번호		318014-03	
기술분류	국가과학기술 표준분류	1순위 소분류 코드명 EC0204	50 %	2순위 소분류 코드명 ED0403	30 %	3순위 소분류 코드명 ED1103	20%	
	농림식품 과학기술분류	1순위 소분류 코드명 CA0102	50 %	2순위 소분류 코드명 CA0105	30 %	3순위 소분류 코드명 CA0103	20%	
총괄연구개발명 (해당 시 작성)								
연구개발과제명		농산물 온라인 도매시장 경매 고도화를 위한 과채류 및 과일 정보 분석용 광학 전자코센서 시스템						
전체 연구개발기간		2018. 12. 21 - 2021. 09. 20(2년 9개월)						
총 연구개발비		총 1,100,000 천원 (정부지원연구개발비: 1,100,000 천원, 기관부담연구개발비: 0 천원, 지방자치단체: 0 천원, 그 외 지원금: 0 천원)						
연구개발단계		기초[] 응용[<input checked="" type="checkbox"/>] 개발[] 기타(위 3가지에 해당되지 않는 경우)[]		기술성숙도 (해당 시 기재)		착수시점 기준() 종료시점 목표()		
연구개발과제 유형 (해당 시 작성)								
연구개발과제 특성 (해당 시 작성)								
연구개발 목표 및 내용	최종 목표	본 연구개발의 목표는 과일 3종 및 과채류 3종 이상에 대한 과일의 품종, 신선도, 향 및 원산지를 구별할 수 있는 인공후각 핵심원천기술 개발에 있으며, 도매시장 온라인 경매 시 소비자에게 과일 과채류의 품질 및 유통정보를 확인 할 수 있는 전자코 센서 개발에 관한 연구임. 이를 위해 단계별로 1) 각 과일 및 과채류에 대한 기능성 바이오리포터 물질을 기반으로 한 리셉터 개발, 2) 향 및 신선도 판별을 위한 패턴인식형 센서 플랫폼 구축, 3) 온라인 도매 시장에 활용 가능한 휴대용 바이오나노 전자코 제조 기술 개발을 하고자 하며 최종적으로 도매시장 온라인 경매 시 소비자(경매인, 소장공인 등)에게 과일, 과채류의 품질에 관한 유용 정보를 제공하기 위한 기술 개발 및 개발 제품을 활용 경매 시장에서 실증 연구를 하고자 함						
	전체 내용	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 다중화합물 검출이 가능한 고성능 바이오센서 시스템을 기반으로 전자코 센서 플랫폼을 제시 ▶ 도매시장 온라인 경매 시 농산물의 품질에 관한 정보를 제공할 수 있는 인공 후각기술 개발 및 실증연구 <ul style="list-style-type: none"> 1. 인공후각 핵심원천기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 기존의 합성된 리포터 물질 활용 및 directed evolution screening을 통한 바이오리포터 신소재 개발 및 라이브러리 구축 - 후각 리셉터 대량 발현 기술 개발 - 후각 리셉터 환경 안정화 기술 개발 - 과일 3종, 과채류 3종 이상에 대한 향 후각 리셉터 개발 - 대면적 2D 마이크로 패턴기반 전계감응효과 검출기 제조 						

			<p>기술 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> - 2D 마이크로패턴 기능화 화합물 스크리닝 및 합성 기술 개발 - 비 특이 결합 최소화 인터페이싱 화합물 개발 - VOCs 특이적 바이오리포터 소재 개발 및 라이브러리구축 <p>2. 인공후각 시스템의 바이오센서 시작품 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> - 2D 인터페이싱 기술개발 및 후각 리셉터 부착 최적화 조건 발굴 - 후각 리셉터-2D 기반 바이오킬로 전자 코 제조 기술 개발 - 휴대용 바이오킬로 전자코 제조 기술 개발 - 패턴인식형 Multi array 바이오센서 개발 - 생체모방형 2차원 다중배열 복합분석 시스템 개발 - 광학전자코 센서의 색 변화에 따른 분석 데이터베이스 구축 <p>3. 인공후각을 활용한 현장 실증 연구</p> <ul style="list-style-type: none"> - 개발된 인공후각을 온라인 경매장에 시범 적용 및 문제점 발굴 - 시범적용 결과를 반영한 기술 개선 및 고도화
	1단계 (해당 시 작성)	목표	
		내용	
	n단계 (해당 시 작성)	목표	
	내용		

연구개발성과	<p>1. (사업화 지표)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 제품개발 1건 이상: 기술이전 1건 및 수요기업 기술인증 1건, 홍보전시 1건 - 개발된 인공후각 1건 도매시장에 실제 적용 - 지식재산권 3건 이상 출원 <p>2. (연구기반지표)</p> <ul style="list-style-type: none"> - SCI급 6편 이상 게재, 학회 발표 6건 이상 - 결과보고서 1건 																																							
	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">구분</th> <th rowspan="2">논문</th> <th rowspan="2">특허</th> <th rowspan="2">보고서 원문</th> <th rowspan="2">연구 시설 · 장비</th> <th rowspan="2">기술 요약 정보</th> <th rowspan="2">소프트 웨어</th> <th rowspan="2">화합물</th> <th colspan="2">생명자원</th> <th colspan="2">신품종</th> </tr> <tr> <th>생 명 정 보</th> <th>생 물 자 원</th> <th>정 보</th> <th>실 물</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>예상성 과 (N/Y)</td> <td>Y</td> <td>Y</td> <td>Y</td> <td></td> <td>Y</td> <td></td> <td>Y</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>												구분	논문	특허	보고서 원문	연구 시설 · 장비	기술 요약 정보	소프트 웨어	화합물	생명자원		신품종		생 명 정 보	생 물 자 원	정 보	실 물	예상성 과 (N/Y)	Y	Y	Y		Y		Y				
	구분	논문	특허	보고서 원문	연구 시설 · 장비	기술 요약 정보	소프트 웨어	화합물	생명자원		신품종																													
생 명 정 보									생 물 자 원	정 보	실 물																													
예상성 과 (N/Y)	Y	Y	Y		Y		Y																																	
<p>3. (연구 성과 응용)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 한국농촌경제연구원의 식품 소비 행태 관련 보고서 (2015년 기준)를 보면, 과일을 구입할 때 최우선으로 고려하는 사항은 신선도(27.8%)이며, 가격과 당도가 그 뒤를 이음 - 기존의 향기에 대한 분석은 주로 Mass, GC, LC 등에 의존하였으며, 특히 고도의 훈련을 받은 사람(조향사)에 의해서 구분되어져 왔으나 비전문가의 경우 향 구분에 어려움을 겪었고, 신선도 측정 관련 제품의 경우 초기 설치 비용이 일반 농가에서 사용 																																								

	<p>하기에 부담스러운 가격으로 실제 적용하기에는 부적합</p> <ul style="list-style-type: none"> - 인공 후각 센서 관련 연구가 활발히 진행되고 있으나 실제 향기를 검출할 수 있는 센서 기술은 개발된 사례가 없음 - 따라서 사람의 눈으로 인지할 수 없는 특성을 가시화 할 수 있는 전자코(E-nose)를 개발하여 농산물 품질에 대한 신뢰 확보에 기여 <ul style="list-style-type: none"> - 시각화 가능한 전자코 센서를 이용하여 원격으로 농산물의 화학 물질 정보를 가시화할 수 있어 맛의 예측 가능 - 후각센서는 공기 중의 휘발성 성분, 액체성분을 분석하기 때문에 농산물의 신선도, 발효과정 및 품질검사 등에 매우 중요함 ◦ 농산물의 이력확인 및 품질 상태를 실시간으로 확인 가능한 기술개발이 요구되고 있어 과일의 향 측정을 통해 신선도의 결과가 등급 또는 점수를 나타낼 수 있도록 소프트웨어 프로그램 개발과 도매시장의 환경에 맞는 신속하고 휴대가 쉬운 하드웨어 기기를 제작 <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p>❖ 과일, 채소 등 신선식품에 대한 온라인 소비가 본격화됨에 따라 원거리에서도 신선도 측정이 가능한 센서의 개발의 중요성이 증가 → 현장 적용 등의 한계를 극복한 통합적인 검출 시스템 및 전자코 (E-nose) 개발</p> </div>
<p>연구개발성과 활용계획 및 기대 효과</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 과일향 바이오마커 물질에 대한 기능성 바이오리포터 물질 라이브리리를 구축하여, 패턴인식형 인공 후각 센서 기술에 접목, 이를 통해 품질 및 유통정보를 실시간 현장 분석이 가능한 센서 플랫폼 개발 <ul style="list-style-type: none"> -도매시장 온라인 경매 시 소비자에게 과일·채소류의 품질에 관한 유용 정보 제공 가능 - 경매시장 활성화를 위한 품질 빅데이터 제공 - 경매시장에서의 품질에 대한 공인된 가격 정보 제공 ▶ 바이오리포터 플랫폼 확장을 통한 활용범위 극대화 가능 <ul style="list-style-type: none"> - 소형화 및 대량생산이 가능한 제품 실용화를 통해 식품 유통분야 현장 분석센서의 신시장 개척 기대. - 나노바이오기술 기반의 초 고감도 농산물 분석 센서 원천기술 확보를 통한 바이오화학센서 시장 선점 <p>[기술적 측면]</p> <ul style="list-style-type: none"> - 실시간 초고감도 특성과 더불어 소형화 및 저가화를 이루어 식품유통분야 현장진단 (POCT; point of care test)의 신시장 개척 기대 - 초분자 및 기능성 박테리오파지를 기반으로 한 계열선택형 농산물 판별기술을 이용하여, 기존의 농산물을 눈으로 판별할 수 밖에 없었던 한계를 극복하여 센서를 이용한 신선도와 향 정도를 판별할 수 있음 - 나노바이오기술 기반의 초고감도 농산물 판별기의 독자적인 기술 개발 및 상품화로 전 세계의 바이오화학센서 부품 및 시스템 시장에서의 경쟁력 확보가 가능함 - 아직은 패치형태의 분석용 바이오센서 디바이스의 상용화에는 시간이 걸리지만, 지속적인 바이오리포터 물질 개발과 센서 어레이 기술의 발전 그리고 농식품 등 다양한 향을 구별할 수 있는 반응에 관련한 연구를 통해 간단하고 편리한 농식품 분석 필름 형태의 센서 기술로 발전될 것으로 전망됨 - 식품 및 농산물 안전 시장에서 실시간(in-situ) 현장분석 기술이 필요함. 따라서, 새

로운 형식의 실시간 현장분석기술 개발이 요구되며, 신뢰성 높은 자가검진 기술 개발이 요구됨

[사회적 측면]

- 농산물 및 식품 안정성은 생산자와 판매자에 대한 신뢰도를 높여 소비자들로 하여금 안전한 소비를 유도하며, 국내 고부가가치 유기농 농산물 소비를 촉진함
- 수입 농산물의 검역 및 안전유통체계를 구축하여, 국민건강 사회 구현에 기여함
- 국민 먹거리안전 뿐만 아니라, 휴대용 초고감도 화학센서는 대형 공공시설의 폭발물 테러 검색·방지 및 마약검출차단에 이용되어 사회안전망 확보에 기여함
- 안전한 먹거리에 대한 국민적 관심과 요구가 지속적으로 높아지고 있고, 이에 농식품의 신선도를 측정하는 것은 소비자들에게 안전에 대한 욕구를 충족시켜 상품의 고급화 전략에 이바지 할 수 있으며, 대한민국의 발전된 BT/IT 융합기술을 식품 및 농산물 안전검출기 세계시장 상품의 고급전략에 기여할 수 있을 것으로 사료됨

연구개발성과의 비공개여부 및 사유

연구개발성과의 등록·기탁 건수	논문	특허	보고서 원문	연구 시설·장비	기술 요약 정보	소프트웨어	표준	생명자원		화합물	신품종	
								생명 정보	생물 자원		정보	실물
	13	12			3					2		
연구시설·장비 종합정보시스템 등록 현황	구입 기관	연구시설·장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	ZEUS 등록번호			
국문핵심어 (5개 이내)	기능성 바이오포터		FET센서			비색검출센서	패턴인식형 전자코센서	온라인경매				
영문핵심어 (5개 이내)	Functional Bio-repotors		Field-effect transistor			Colorimetric sensors	Pattern recognition e-nose	Online auction				

〈 목 차 〉

1. 연구개발과제의 개요.....	8
2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용.....	14
3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도.....	22
4. 목표 미달 시 원인분석(해당 시 작성).....	70
5. 연구개발성과 및 관련 분야에 대한 기여 정도.....	70
6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획.....	70

별첨 자료 (참고 문헌 등)

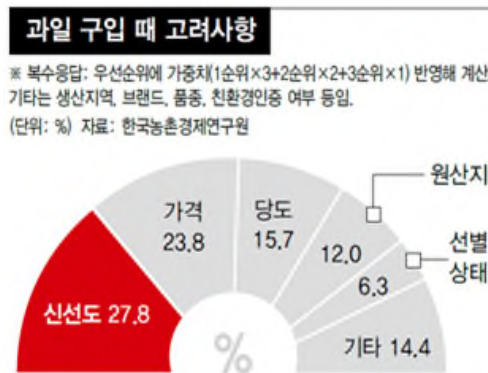
1. 연구개발과제의 개요

■ 주관연구기관 (부산대)

가. 연구개발의 필요성

(1). 실시간 현장 검증이 가능한 농산물 품질 관리 센서개발 연구의 필요성

한국농촌경제연구원이 펴낸 식품 소비 행태 관련 보고서 (2015년 기준)를 보면, 과일을 구입할 때 최우선으로 고려하는 사항은 신선도 (27.8%)였고, 가격과 당도가 그 뒤를 이음. 기존의 향기에 대한 분석은 주로 Mass, GC, LC등에 의존하였으며, 특히 고도의 훈련을 받은 사람(조향사)에 의해서 구분되어져 왔음. 이것은 비전문가의 경우 향 구분에 어려움을 겪었고, 신선도 측정 관련 제품의 경우 초기 설치 비용이 일반 농가에서 사용하기에 부담스러운 가격으로 실제 적용하기에는 부적합 했음. 또한, 인공 후각 센서 관련 연구가 활발히 진행되고 있으나 실제 향기를 검출할 수 있는 센서 기술은 개발된 사례가 없음 과일, 채소 등 신선 식품에 대한 온라인 소비가 본격화됨에 따라 원거리에서도 신선도 측정이 가능한 센서의 개발의 중요성이 증가하고 있으며, 현장 적용 등의 한계를 극복할 수 있는 통합적인 검출 시스템의 개발이 시급함



[그림.1] 과일 구매 시 고려사항 순위

(2). 후각, 미각 인지형 농산물 센서 개발의 필요성

센서를 통해 농업은 인간이 주도해 나가는 능동형 산업으로 바뀌어 가고 있다. 원격탐사 기법으로 광범위한 지역의 농사 현황을 한 눈에 파악할 수 있고, 센서를 이용한 무인 자동화로 생력작업이 가능해지며, 재배환경을 최적으로 제어하여 공장에서처럼 농작물도 계획적으로 생산하고 최적으로 저장할 수 있게 되었다. 생산된 농산물에 대해서도 사람이 알 수 없던 특성들을 가시화할 수 있고, 바코드나 QR코드, 전자태그(RFID)를 이용하면 농산물의 이력을 한 번에 알 수 있어 소비자의 신뢰 확보와 함께 농산물의 안전성과 경쟁력 향상에 기여한다

고속성장 중인 센서 분야는 (1) 새로운 시장을 창출하는 원천기술임을 인식해야 한다. 센서 기술 없이는 자동제어, 무인 설비, 로봇 분야의 성장이 불가능하며, 센서 자체만이 아니라 센서가 들어간 제품들의 시장 규모까지 고려하여 대응해야 한다

미래에 대비하여 우리 농촌의 인력 문제를 완화하고 농업 생산성 향상과 소비자의 신뢰를

확보하기 위해 (2) 기반산업 육성 차원에서 생산, 유통, 소비의 전 과정을 관리할 수 있는 센서와 무인자동화에 대한 연구개발이 필요하다. 이제는 (3) 국가 차원의 협력연구를 통해 센서 등 정밀농업을 지원하는 기술들을 개발하여 생산성을 향상시키고 농업만이 아니라 농산업을 육성해야 할 시점이다 (출처: **센스 있는 농업 - 무인 자동화의 키워드, 센서 ; 농촌진흥청**)

○ 농업기계와 농작업의 무인자동화에 필수적인 많은 핵심부품 중 고성능·고감도 센서는 수입에 의존해야 하는 상황

- 핵심 센서의 품질에 의해 전체 농기계나 농작업 시설의 구매 여부가 결정되므로 품질 좋은 센서를 생산하는 기술이 중요

* 전 세계 센서시장의 규모는 120억 달러 정도이나, 무인자동화, 정밀검사 장비 등을 포함하면 10배 이상의 시장으로서 치열한 경쟁이 예상

- 센서의 원리, 제어기술 같은 기초연구·개발이 이루어져야 기술 종속에서 벗어나는 것이 가능

□ 후각센서는 공기 중의 휘발성 성분, 액체성분을 분석하기 때문에 농산물의 신선도, 발효과정 및 품질검사 등에 매우 중요함

○ 발효과정에서의 성분분석, 와인 등 음료의 품질분석, 생산공정 중 유해물질 검출, 미생물로 인한 오염분석 등에 활용

* 현재 휘발성물질 분석에는 가스크로마토그래피라는 정밀기기가 사용되고 있으나, 이를 대신할 수 있는 전자코(E-nose)가 개발 중

(3). 눈으로 확인하는 안전,품질 관리 센서 개발의 필요성

□ 센서를 이용하면 사람의 눈으로 인지할 수 없는 특성을 가시화 할 수 있어 농산물 품질에 대한 신뢰 확보에 기여

○ 특수한 소자로 만들어진 카메라를 통해 농산물 형상은 물론, 색택과 크기, 속도, 결함까지 눈으로 파악이 가능

○ 시각화 가능한 전자코 센서를 이용하면 원격으로 농산물의 화학 물질 정보를 가시화할 수 있어 맛의 예측도 가능

○ 단맛, 짠맛, 신맛, 쓴맛, 매운맛등 다양한 감각측정이 가능한 시각화 전자코 센서개발을 통해 원격으로 농산물의 품질 규명 가능

○ 기술의 발전을 통한 시대의 요구에 따라 전자코 센서기술 고도화가 요구되고 있으며, 농산물의 이력확인 및 품질 상태를 실시간으로 확인 가능한 기술개발이 요구되고 있음

(4). 선진 농업기술 시장에 대비한 고성능 인공후각 전자코 센서 모델 기술개발의 전망

○ 센서와 이를 이용한 제어기술은 생산성 향상과 위험도 감소로 이어지는 산업 고도화에 영향을 미침

○ 편리함과 정확성 향상을 위해 사용되는 센서 개발을 통해 사람의 감각영역을 넘는 영역의 정보까지 입수가 가능함

○ 현재 농업기계와 농작업의 무인자동화 흐름에 따라 이에 걸맞는 고성능의 센서 기술개발은 필수적으로 요구됨

->무인자동화를 위한 R&D 투자가 시급함

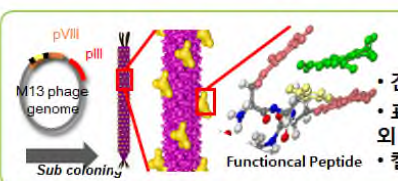
○ 실시간 원격 감지센서기술개발을 통해 생산, 유통, 소비 단계의 전 과정을 관리하는 무인관리 시스템 구축이 가능함

(5). 바이오리포터 소재 개발의 필요성

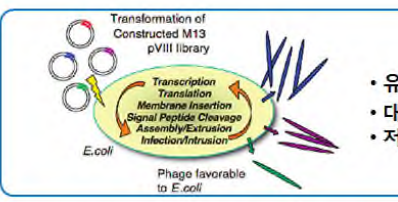
- 환경오염, 식품안전, 화학물질 사고, 검역 통관 등 유해 물질에 대한 현장신속 검출이 가능한 초고감도 센서 시스템 개발의 필요성이 증대
- 극미량의 유해물질 검출이 가능한 초고감도 바이오센서 개발에 있어, 분석 감도 및 정확도를 혁신적으로 향상시킬 수 있는 펩타이드 기반의 기능성 바이오리포터 개발 및 라이브러리 구축이 필요
- 바이오마커 기반의 전기·화학적 센서의 경우 측정 감도 및 정확도에 한계를 가지거나 분석시간 지연, 제작비용 등의 문제를 지니고 있음. 따라서 제작비용이 저렴하고 신속하며 고감도 고 선택성의 특성을 지니는 신개념의 센서 시스템 개발이 요구됨
- 기존의 스크리닝 기술을 벗어나 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 효율적으로 특이적 결합한 펩타이드 서열을 발굴하고, 유전공학 기술을 활용하여 생체 발현물질에 접목

(6). 기능성 바이오리포터 소재로써의 박테리오파지 개발연구의 필요성

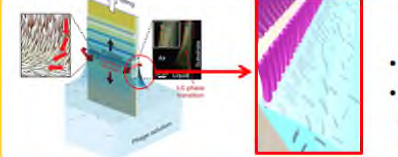
M13파지의 신규성 및 참신성; 혁신적인 생체재료



다기능성 재료



저비용, 고순도 대량생산 가능



우수한 자가조립능 및 컬러센서링 가능

- 간단한 유전자조작을 통한 효율적 Subcloning
- 표면의 약2700쌍의 단백질(pVIII), 말단의 5~6쌍의 단백질(pIII)의 다양한 부위에 기능성 펩타이드서열을 선택적 발현가능
- 컬러센싱 가능한 생체 재료
- 유전정보(DNA)에 의한 동종(homogeneous)의 재료 생산
- 대장균 타겟의 비용해성 파지로써 시간,비용,노동적 측면우수
- 저비용 고효율의 고순도-대량생산 체제 구축 가능
- M13 파지 물질의 신규성: 자기복제, 자기조립, 컬러 센서링
- 자체적으로 개발한 새로운 형태의 자기조립법인 Pulling Method를 통해 낮은 공정비용으로 효율적인 광학 나노 구조체 제조 및 컬러 센서링 가능.

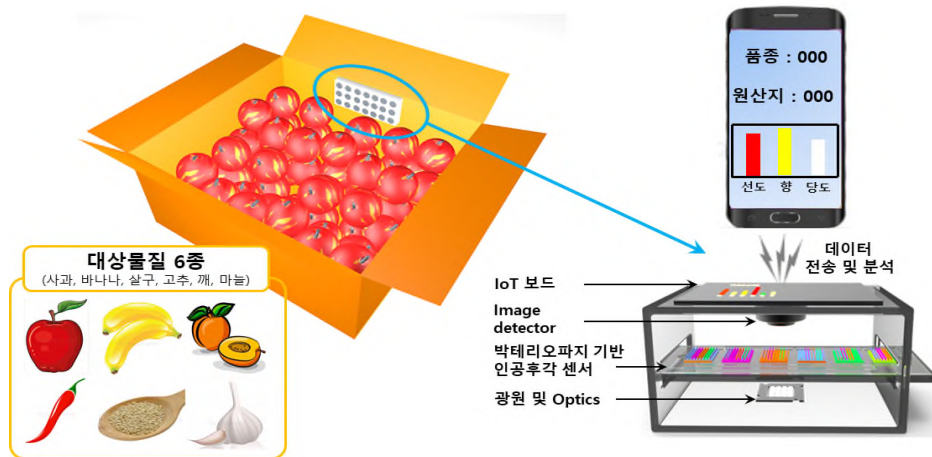
[그림] 새로운 생물학적 나노소재로써의 기능성 M13박테리오파지 재료의 우수성

○ M13박테리오파지를 기본 단위체로 사용함으로써, 특수한 대상(Specific target) 물질을 감지(detection) 할 수 있는 수용체(Reporter)를 도입 할 수 있음

- Highthroughput screening 기술 혹은 시뮬레이션 기반의 peptide landscaping 기술을 통하여 다양한 대상체(병원균, 바이러스, 독성단백체, VOCs 분자 등) 바이오마커 물질에 대한 특이적 펩타이드 라이브러리를 구축 가능함
- M13 박테리오파지라는 생물학적 나노소재를 접목함으로써 기초조립블록으로 사용하고자 함.
- 박테리오파지 자기진화(self-evolution), 자기복제(self-replication), 자기조립(self-assembly)이 가능하며 기존의 어떤 재료로서도 볼 수 없는 특성을 지니고 있음.
- 기존 합성된 물질과 다른 모든 batch에서 고순도(high purity), 고특이성(high specific activity)을 가지는 동일한 크기의 기본 유닛의 대량 생산이 가능함
- 자기 복제 능력이 있어 물질 생산시 시간과 노동력이 들지 않음(저비용)
- 자기 조립을 통해 지금까지 보고되지 않은 새로운 구조체 개발 가능 -> 다양한 기능성 펩타이드 라이브러리를 기반으로 M13 박테리오파지 표면단백질 다양한 부위에 발현시켜 다기능성 나노소재로 활용하고자 함

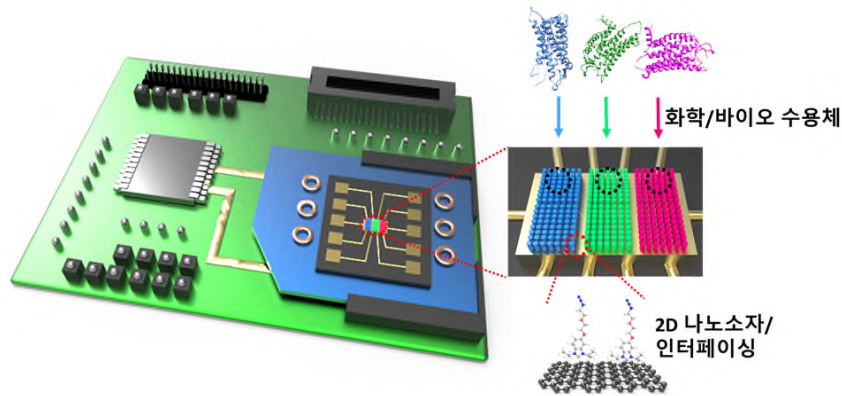
나. 연구개발 대상 및 기술·제품의 개요

- 연구개발 개요 : 과일 3종 및 과채류 3종의 품종, 신선도, 향 정도를 선택적으로 분별할 수 있는 기능성 바이오리포터 물질을 기반으로 한 센서를 개발하고, 추후 분석 시그널 데이터베이스를 기반으로 실제 과일 및 과채류에 구분에 적용함으로써 농산물 검출용 인공후각 개발



[그림] 농산물 검출용 인공후각 개발 모식도

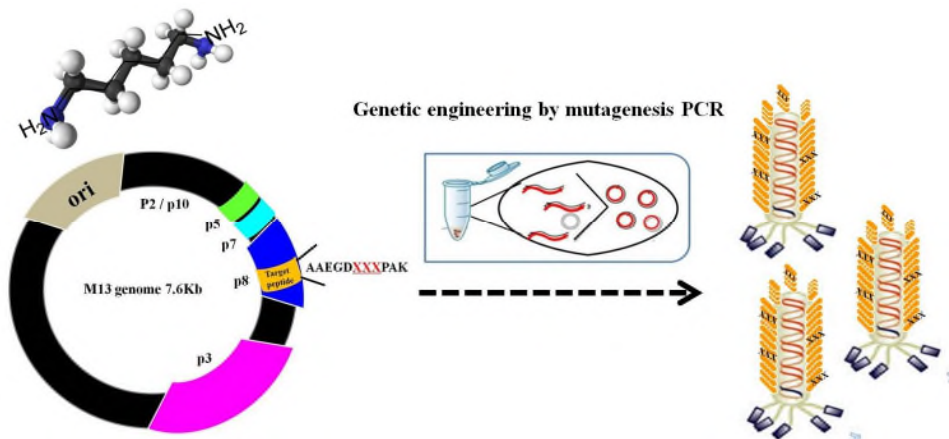
◎ 핵심기술 1 : 과일 향 검출용 바이오나노(BNT) 전자코 개발 (1분 이내 반응 및 검출한계 1ppm)



[그림] 향 후각 리셉터 모형도

- ※ 특정 대상 물질(과일 3종, 과채류 3종 이상)에 대한 향 후각 리셉터 개발
 - 후각 리셉터 대량 발현 기술 개발
 - 후각 리셉터 환경 안정화 기술 개발
- ※ 특정 대상 물질(과일 3종, 과채류 3종 이상)에 대한 2D 기반의 과일 향 검출 플랫폼 개발
- ※ 2D 마이크로 패터닝 기반 전계감응효과 검출기 제조 기술 개발
 - 대 면적 2D 나노 구조체 개발 및 MEMS 기반 마이크로 패터닝 기술 개발
 - 비 특이 결합 최소화 인터페이스 화합물 개발
- ※ 과일 향 검출용 바이오나노 전자 코 기술 개발
 - 2D 인터페이스 기술개발 및 후각 리셉터 부착 최적화 조건 발굴
 - 후각 리셉터 2D 기반 바이오 나노 전자 코 제조 기술 개발
- ※ 동시 검출용 인터페이스 및 통합형 인공후각 모듈화 기술 개발

◎ 핵심기술 2 : 과일 특이 VOCs 검출용 전자코 개발 (1분 이내 반응 및 검출한계 1ppm)



[그림] 농산물 검출을 위한 선택적 박테리오파지의 엔지니어링 과정

- ※ 패턴 인식형 전자 코 개발
 - Target specific 바이오포터를 활용한 구조색 기반의 광분석 바이오센서 개발
 - 기능성 바이오포터를 단위체로 한 구조색 기반의 컬러센서 플랫폼 개발

※ 분자진화 스크리닝(Directed evolution screening) 기술 및 시뮬레이션을 통한 펩타이드 렌더링(Peptide rendering) 을 통한 특정 유해 성분물질 특이결합 펩타이드(specific binding peptide) 서열 발굴

- 농산물 관련 바이오마커 물질 발굴 연구

※ 서브클로닝(Subcloning) 기술을 통하여, 기능성 펩타이드를 발현하는 다기능성 (Multifunctional) 박테리오파지(Bacteriophage) 물질 개발

※ 유전자 조작을 통해 원하는 작용기를 가지는 펩타이드 서열을(peptide sequence) 표면에 발현시켜 반응성이 큰 바이오리포터 개발

※ 광학 전자코 시스템 구축용 시뮬레이션 기반의 기능성 펩타이드 라이브러리 구축 및 다기능성 파지 신소재물질(**bio-reportor**)개발

- 시뮬레이션을 통한 특정 바이오마커 분자에 특이적으로 반응하는 기능성 펩타이드를 발굴하고 기능성 파지 신소재물질로 제작함.

※ 자가조립(Self-assembly) 기술을 이용하여 생체모방형 구조색 성질의 나노구조체의 **센서 개발**

※ 기능성 박테리오파지 기반의 생체모방형 2차원 다중배열 복합분석 검출센서 소자개발 및 분석 데이터베이스구축 및 패턴인식 광학알고리즘 제작 : 과일(사과, 바나나, 살구 등)에 포함된 과일향 분석

- 기능성 M13박테리오파지를 단위체로한 자가조립형 컬러 나노구조체 제작

- 다양한 지표물질 특이성 파지 컬러센서 소자를 **2차원 다중배열(2D-multiaarray) 하여 다기능성 복합검출센서** 소자 개발

※ BIT융복합 기술의 IOT 클라우드 시스템 구축(**시제품 제작**)

- 농산물 분석데이터를 기반으로 한 데이터베이스 구축 및 패턴인식 알고리즘 개발

- 농산물 검출용 센서 시제품을 기반으로 IT기술을 접목하여 네트워크 클라우드 구축을 통한 IOT 디바이스 add-on 개발

◎ 핵심기술 3 과일 향 및 특이 VOCs 동시 검출용 인공후각 모듈 제작 및 성능평가 (1종 이상)

※ 통합형 인공후각 모듈 및 시제품 제작

- 동시 검출용 인터페이싱 및 통합형 인공후각 모듈화 기술 개발

- 통합형 인공후각 시제품 현장 검증 및 기술 보완

2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용

가. 최종목표

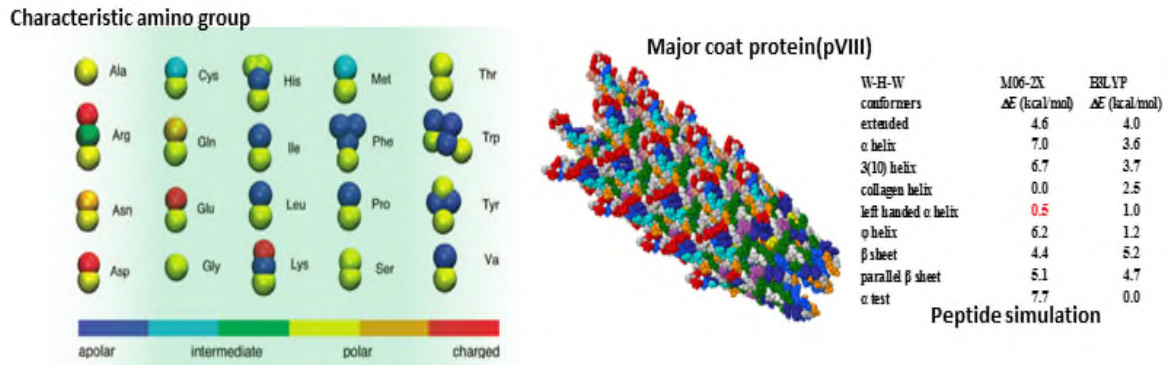
- 본 연구개발목표는 1) 바이오 수용체와 미세전자기계시스템(MEMS) 기반 그래핀 마이크로패턴 전계 감응효과 어레이 검출 센서 플랫폼 개발 및 인터페이싱 화합물로 결합된 다중 검출이 가능한 바이오나노 전자코 개발, 2) 이를 이용하여 도매시장 온라인 경매 시 소비자(경매인, 소상공인 등)에게 과일, 과채류의 품질에 관한 유용 정보를 제공할 수 있는 인공후각 기술 개발, 3) 개발 제품을 활용하여 온라인 경매 시장에서 실질적으로 응용 가능한 시제품 제작 및 실증연구를 목표로 함

나. 세부목표

※ 주관 연구기관

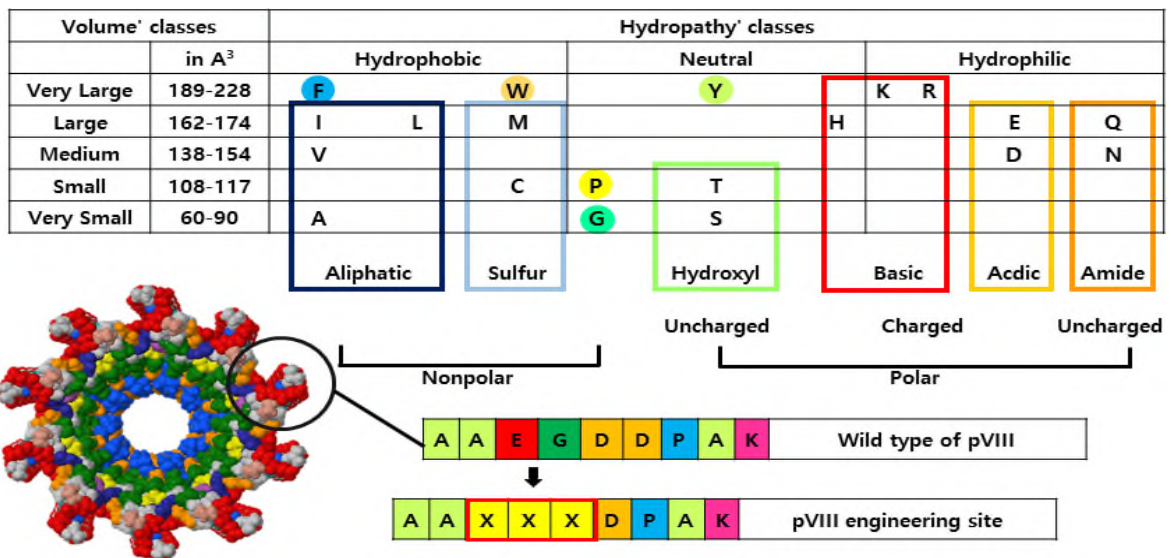
- 인공후각 핵심원천기술 개발
 - 기존의 합성된 리포터 물질 활용 및 directed evolution screening을 통한 바이オリ포터 신소재 개발 및 라이브러리 구축
 - 후각 리셉터 대량 발현 기술 개발
 - 후각 리셉터 환경 안정화 기술 개발
 - 과일 3종, 과채류 3종 이상에 대한 후각 리셉터 개발
 - 대 면적 2D 마이크로패턴기반 전계감응효과 검출기 제조 기술 개발
 - 2D 마이크로패턴 기능화 화합물 스크리닝 및 합성 기술 개발
 - 비 특이 결합 최소화 인터페이싱 화합물 개발
 - VOCs 특이적 바이オリ포터 소재 개발 및 라이브러리구축
- 인공후각 시스템의 바이오센서 시제품 개발
 - 2D 인터페이싱 기술개발 및 후각 리셉터 부착 최적화 조건 발굴
 - 후각 리셉터-2D 기반 바이오나노 전자 코 제조 기술 개발
 - 휴대용 바이오나노 전자코 제조 기술 개발
 - 패턴인식형 Multi array 바이오센서 개발
 - 생체모방형 2차원 다중배열 복합분석 시스템 개발
 - 광학전자코 센서의 색 변화에 따른 분석 데이터베이스 구축
 - 과일 향 3종에 대한 리셉터 발현 및 정제 기술 개발 및 전문가 지문 요청 (한국식품연구원 김민정 박사)
- 인공후각을 활용한 현장 실증 연구
 - 개발된 인공후각을 온라인 경매장에 시범 적용 및 문제점 발굴
 - 시범적용 결과를 반영한 기술 개선 및 고도화
 - 기업참여를 통한 MOU 체결

● 광학전자코 시스템 구축용 시뮬레이션 기반 기능성 펩타이드 라이브러리 구축



[그림] 20가지 다양한 특성의 아미노산을 기반으로한 시뮬레이션을 통해 기능성 펩타이드 발굴

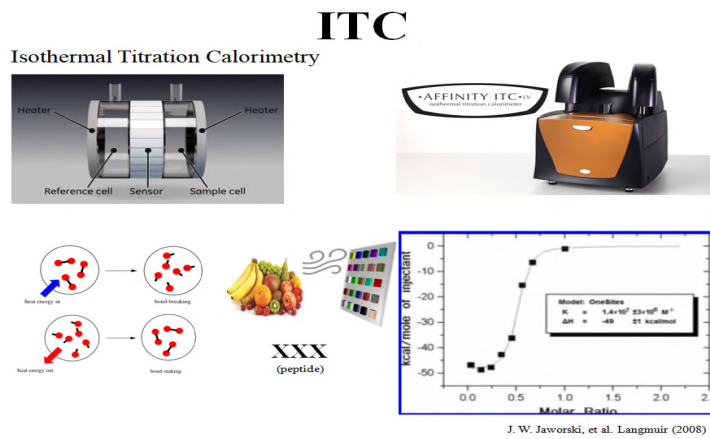
- 분자진화 스크리닝(Directed evolution screening) 기술 및 시뮬레이션을 통한 펩타이드 렌더링(Peptide rendering) 을 통한 특정 유해 성분물질 특이결합 펩타이드(specific binding peptide) 서열 발굴
- 시뮬레이션을 통해 발굴된 target specific peptide 물질을 Viral material에 접목하여, 자기진화(self-evolution), 자기복제(self-replication), 자기조립(self-assembly)이 가능한 stable bio-nano material 개발
- 서브클로닝(Subcloning) 기술을 통하여, 기능성 펩타이드를 발현하는 다기능성(Multifunctional) 박테리오파지(Bacteriophage) 물질 개발.
- M13 박테리오파지의 표면단백질 중 하나인 pIII 부분에 랜덤으로 발현된 염기서열 종류가 10⁶개 이상인 키트를 이용하여 과일·채소류 구성성분과 반응성이 높은 펩타이드 서열 검색
- 타겟과 높은 친화도를 가진 박테리오파지들만 선별될 수 있도록 친화도가 낮은 박테리오파지는 세척 단계에서 제거 및 자연적 도태가 되도록 유도



[그림] 20가지 분류의 다양한 특성의 아미노산 조합을 발현하는 기능성 박테리오파지 발현

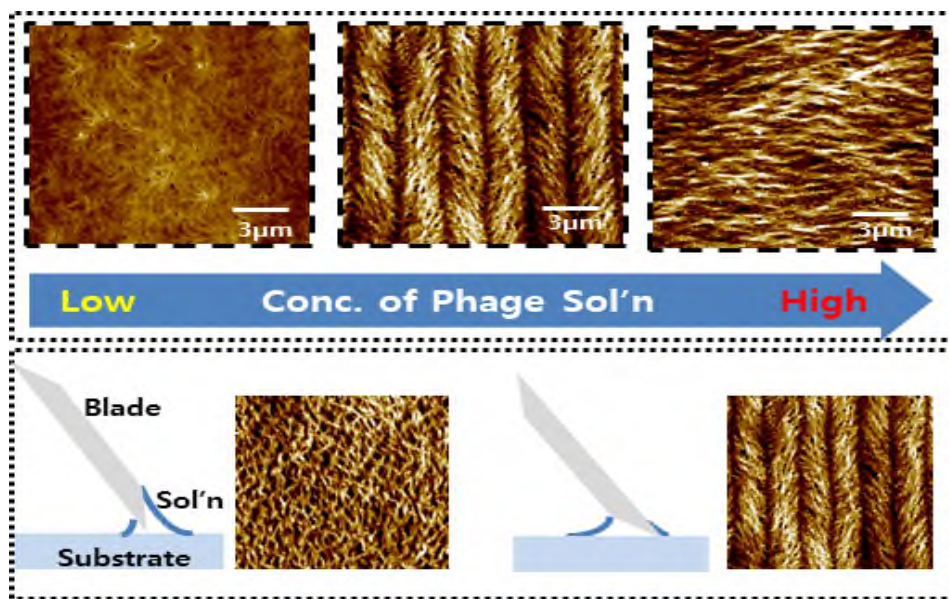
- Protein pVIII 혹은 protein pIII부분에 은 나노입자를 부착 할 수 있는 리셉터를 도입하여 선택된 잔류 유해물질 신호 증폭 최대화

- 화학 구조적 공통성을 가지는 과일·채소류를 계열로 분리하여, 검출 가능한 과일·채소류 수를 확대하는 방향 마련
- 박테리오파지의 선택 특성 평가



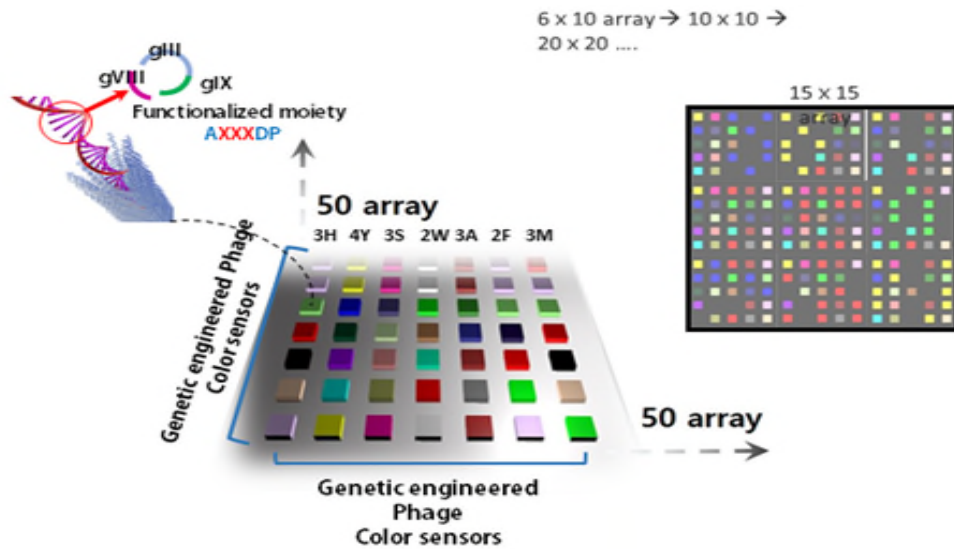
[그림] 등온적정열량계 (ITC)을 활용한 기능성 바이오포터의 반응특이성 검증

- 등온적정열량계 (ITC, Isothermal Titration Calorimetry)를 통해 M13 박테리오파지와 과일, 과채류의 두 물질이 상호작용 할 때 발생하는 열량의 변화과정을 측정하여 분자 간의 결합 특이성을 분석



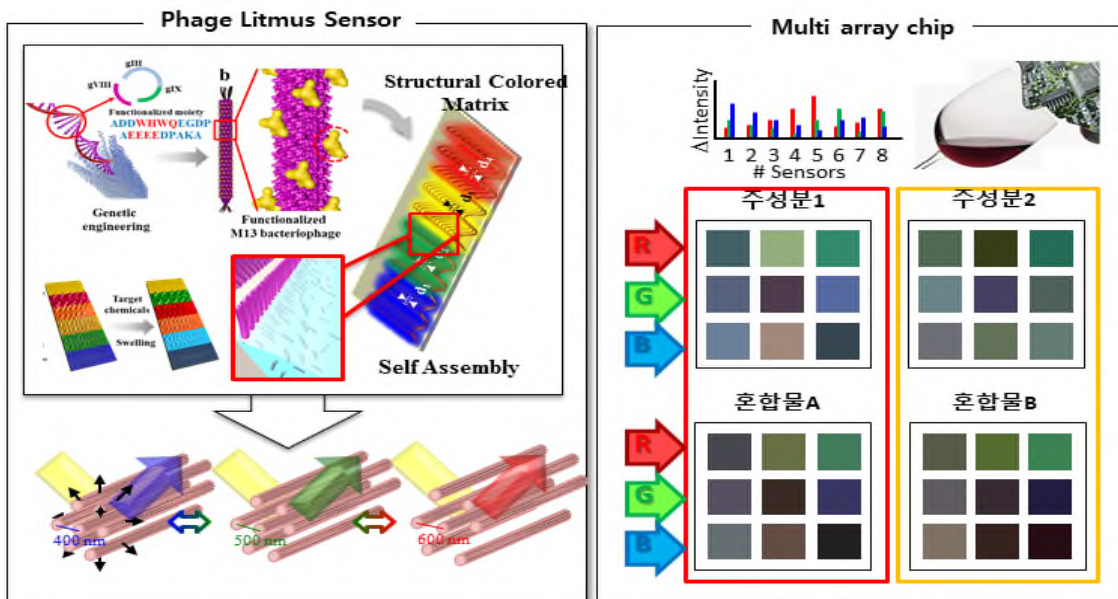
[그림] 박테리오파지의 자기 조립 통해 다양한 형태의 센서용 나노구조체 개발

- 휘발성 유기용매(VOCs; Volatile Organic Compounds) 및 과일·채소류 대한 고성능 비색센서(Colorimetric sensor) 소자 개발
- 자가조립(Self-assembly)을 이용한 생체모방형 구조색 성질의 나노구조체 개발
- 기능성 박테리오파지 바이오포터 물질의 바이오포터 반응특이성 검증
- Target specific 바이오포터를 활용한 구조색 기반의 광분석 바이오센서 개발



[그림] 다양한 종류의 기능성 박테리오파지 센서를 통한 다중물질 복합분석 시스템

- 기능성 박테리오파지 기반의 생체모방형 2차원 다중배열 복합분석(2D-Multi-array) 검출 센서소자 제작
 - 기능성 바이오포터를 단위체로 한 구조색 기반의 컬러센서 플랫폼 개발
 - 다중배열체(Multi-array) 칩 형태의 파지 광학분석 센서 플랫폼 구축



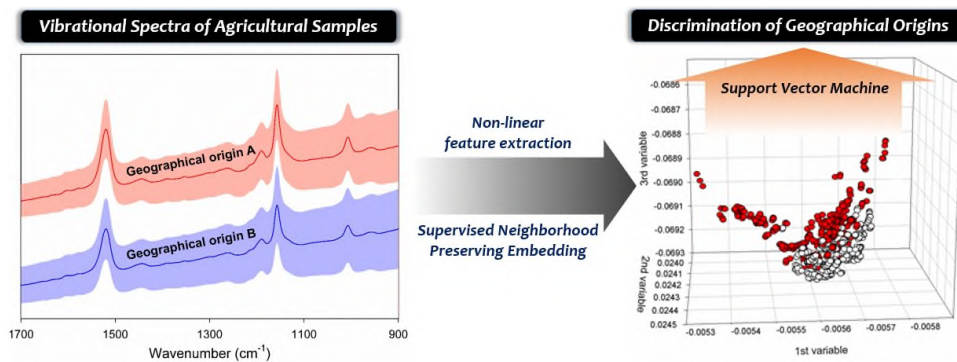
[그림] 기능성 박테리오파지 기반의 생체모방형 컬러센서를 개발하고 이를 적용한 다중배열 복합분석 검출센서 소자 제작

- 생체모방형 2차원 다중배열 복합분석 시스템 개발
- 후각 시스템에서 착안한 Pattern recognition Multi-array 센서 플랫폼 개발
- 다양한 VOCs가 혼합된 시료분석에서 패턴분석을 통한 성분분석 시스템 구축
- 다양한 기능성 박테리오파지로 이루어진 2차원 다중배열(2D-Multi array) 센서 개발
- 다중 동시 분석을 위한 통계기반 정량분석 알고리즘 개발
- 스펙트럼 내 최적의 변수를 선택하는 Feature Selection 알고리즘 평가

- 동시 분석을 위한 비선형 다변량 (Nonlinear Multivariate) 정량분석법 개발
- 측정된 모든 스펙트럼들의 데이터베이스 구축 및 그들의 동질성/이질성 확인
- 스펙트럼들 사이에 이질성 존재 시 분석정확도를 위하여 이를 보정 해 줄 수 있는 표준화 기법 개발
- 개발된 모든 분석 알고리즘들이 시제품에 구동될 수 있도록 최적화 및 필드 테스트
- SNPE의 잠재력을 평가하기 위하여 기존에 널리 쓰이는 주성분분석 (Principal component analysis, PCA), 부분최소제곱법 (Partial least square, PLS)과 비교하여 복잡하고 스펙트럼 정보가 많이 중첩된 물질분석에 대한 데이터 신뢰도 확보

● 과일 향에 대한 데이터베이스 구축

: 농산물 관련 특정 바이오마커 분자(특정 냄새, 향 분자)에 특이적으로 반응하여 매우 강한 선택적 결합을 하는 화학반응으로 그에 따른 컬러센서의 색변화량에 대한 데이터베이스(DB) 구축

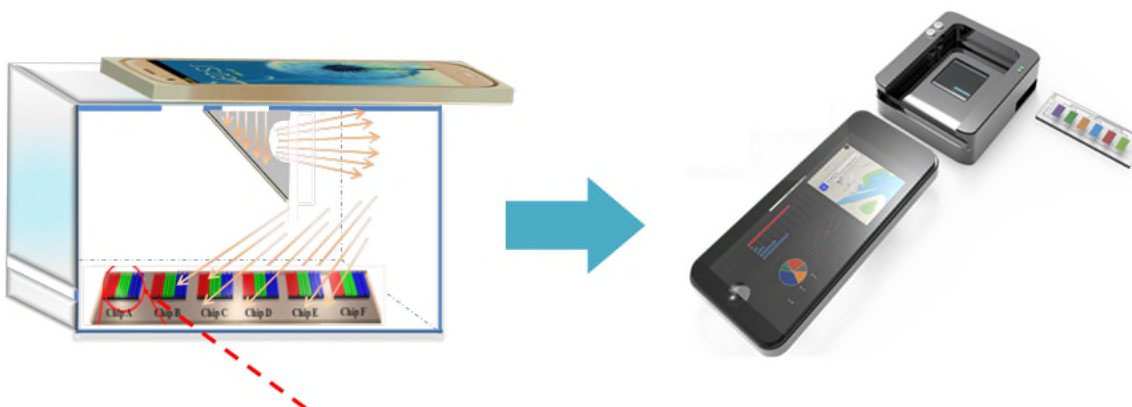


[그림] 비선형적 차원축소방법을 이용한 데이터 처리

● 검출데이터베이스 기반의 패턴인식형 광학분석 알고리즘 제작

: 비선형 차원 축소 방법을 이용한 분석 데이터 통계 처리, 데이터의 특징을 표현하기 위해 비선형 차원 축소 방법 중 하나인 지도인접보전사상(Supervised neighborhood preserving embedding, SNPE)을 사용

인접관계를 보존하면서 각 계급의 매우 작은 스펙트럼의 차이를 인지하는 SNPE의 잠재력을 평가하기 위하여 기존에 널리 쓰이는 주성분분석 (Principal component analysis, PCA), 부분최소제곱법 (Partial least square, PLS)과 비교하여 복잡하고 스펙트럼 정보가 많이 중첩된 물질분석에 대한 데이터 신뢰도 확보



[그림] 통합형 인공후각 모듈 시작품 및 시제품 모식도

- 통합형 인공후각 모듈 및 시제품 제작 (시제품 개발)
- 대상물질 감지 및 검출이 가능한 다기능 시제품을 기반으로 IT기술을 접목하여 네트워크 클라우드 구축을 통한 IOT 디바이스 add-on 개발
- 민감도 및 특이성 평가에 따른 검체수집 및 전처리시스템 확립
- 시제품 승인신청을 위한 제품프로토콜 확립
- 동시 검출용 인터페이싱 및 통합형 인공후각 모듈화 기술 개발
- 통합형 인공후각 시제품 현장 검증 및 기술 보완
- 개발된 인공후각을 온라인 경매장에 시범 적용 및 문제점 발굴
- 시범적용 결과를 반영한 기술 개선 및 고도화
- 1개소 이상 도매시장에 적용 본격 운영
 - (과일 특이 VOCs 검출기술 1분 이내 반응, 1<ppm)

■ 위탁연구기관

- 본 연구개발목표는 바이오 수용체 개발 및 미세전자기계시스템(MEMS) 기반 그래핀 마이크로패턴 전계감응효과 어레이 검출 센서 플랫폼을 개발하고 인터페이싱 화합물로 결합함으로써 과일 향 다중 검출이 가능한 바이오나노 전자코 개발에 있음

● 세부 목표

- 실시간 과일향 다중 검출용 전기적 플랫폼 개발
 - 대면적 2D 기능성 나노소재(그래핀) 기반 전계감응효과 어레이 기판 개발 (4인치 웨이퍼 크기)
 - 미세전자기계 시스템(MEMS) 기반 전계감응효과 검출기 플랫폼 1종 개발
 - 현장 실시간 과일향 검출 전계감응효과 센서 시제품 1종 개발
- 과일 향 3종에 대한 리셉터 발현 및 정제 기술 개발 및 전문가 자문 요청 (한국식품연구원 김민정 박사)
- 신규 인터페이싱 화합물 2건 개발
- 과일 향 검출용 바이오나노 전자 코 실증화
- 바이오나노 전자 코 실증화
- 온라인 도매시장 경매시스템 적용가능한 시제품을 기반으로 전자코 센서 기술성능 검증
- 실제 제품 적용에 관련하여 과일향 검출용 전자코 제조기술 1분이내 반응 1<ppm
- 지정 과일 품종에 관련한 데이터베이스 구축
- 실제 제품화를 위한 Durablity 및 운용기술 개발
- 시제품 사용 프로토콜 확립 및 시험개발 평가

● 연차별 개발목표 및 내용

<1차연도>

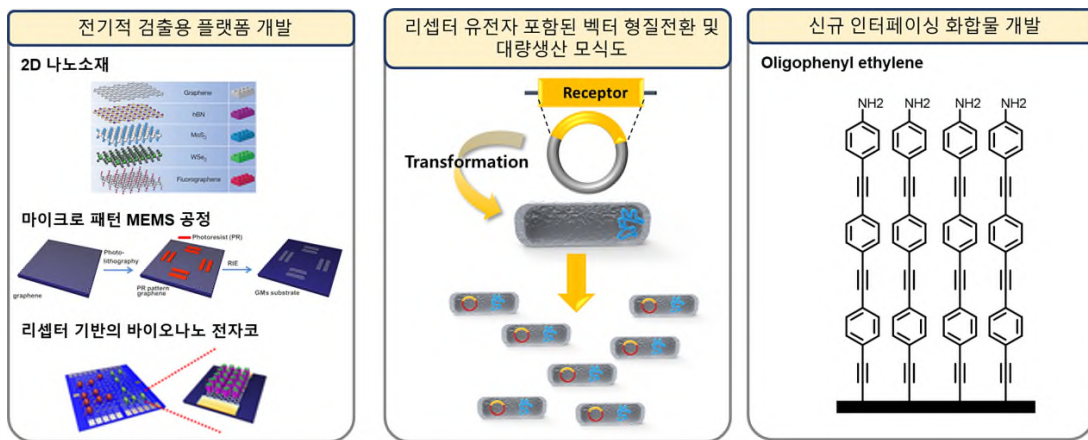
- 연구개발 목표
 - 위탁연구기관 :
 - 2D 나노소재(그래핀)의 대면적 제조 기술 개발
 - 대면적 2D 나노소재 마이크로 패터닝 기술 개발

- 대면적 2D 나노소재 기반 트랜지스터 제조 기술 개발
- 리셉터(OR2AG1) 유전자 확보 및 제조 핵심 기술 개발
- 신규 인터페이싱 화합물 1종 개발

○ 개발 내용 및 범위

- 위탁연구기관:

- 바이오나노 전자코 제작
 - a) 기상증착법 기반 대면적 그래핀 나노소재 (웨이퍼 규모) 제조
 - b) MEMS 공정을 통하여 대면적의 그래핀을 마이크로 단위로 패터닝
 - c) MEMS 공정으로 제작된 2D 그래핀 트랜지스터에 인공후각 리셉터 부착함으로써 바이오나노 전자코 개발



- 유전자 재조합 기술을 이용하여 리셉터 유전자 라이브러리 제작
- 확보된 과일향 바이오 리셉터 유전자를 배양이 가능한 대장균에 도입하여 대량 생산
- 과일향 바이오 리셉터 유전자를 단백질 발현 균주인 대장균에 도입하여 리셉터 대량 생산
- 신규 인터페이싱 화합물 합성 1종 혹은 기 개발된 carbene 화합물 기능화 1종
ex) oligophenyl ethylene 화합물 합성

<2차연도>

○ 연구개발 목표

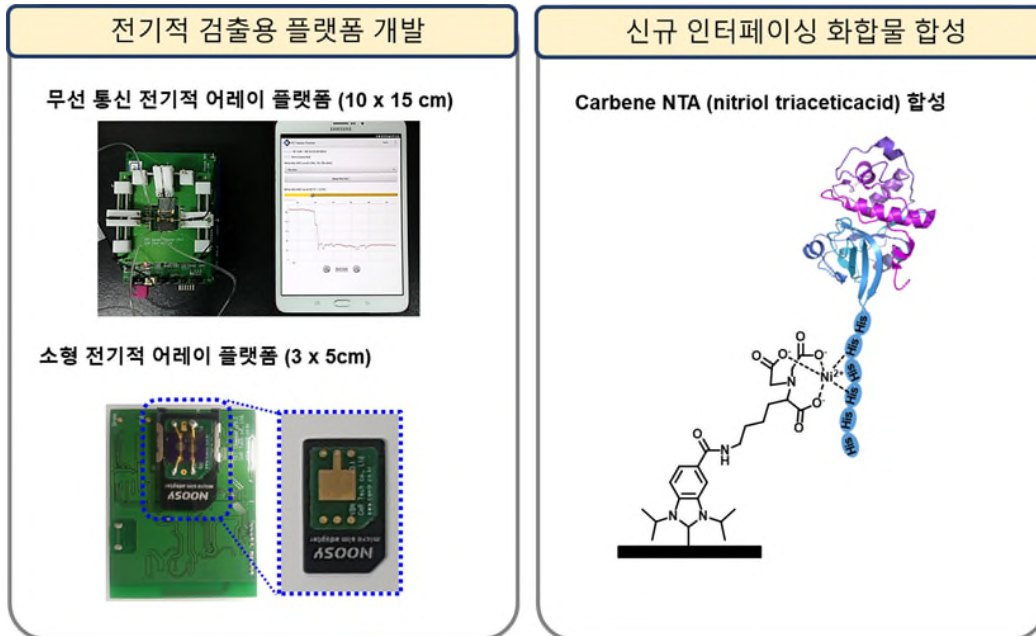
- 위탁연구기관 :

- 2D 트랜지스터 기반의 어레이 센서 (바이오나노 전자코) 제작 및 성능 최적화 (검출 한계: < 1 ppm, 검출 시간: < 1 분)
- 실험실 내 어레이 센서 작동 테스트
- 바이오나노 전자코 성능 테스트 및 결과 데이터 확보
- 선택적 과일향 바이오 리셉터(OR3A1 외 1종) 유전자 확보 및 제조 핵심 기술 개발
- 신규 인터페이싱 화합물 합성 1종 혹은 1차년도 oligophenyl ethylene 화합물 합성 1종

○ 개발 내용 및 범위

- 위탁연구기관 :

- 바이오나노 전자코 안정성 최적화 및 어레이 센서 개발
 - a) 표면 개질화된 트랜지스터의 인공후각 리셉터 부착 조건 최적화
 - b) 어레이 센서 개발



- 바이오나노 전자코 제작 및 성능 테스트
 - a) 전기적 어레이 플랫폼 개발
- 확보된 과일향 바이오 리셉터 유전자를 배양이 가능한 대장균에 도입하여 대량 생산
- 후각 리셉터 대량 생산을 위해 배양 조건 및 정제 조건 최적화 작업
- 신규 인터페이싱 화합물 합성
 - a) Carbene NTA(nitrilo triacetic acid) 혹은 1차년도 oilgophenyl ethylene 화합물 합성

<3차년도>

○ 연구개발 목표

- 위탁연구기관 :

- 현장형 실시간 전계감응효과 센서 시제품 작동 테스트
- 선택적 과일향 바이오 리셉터 (OR4E2) 유전자 확보 및 제조 핵심 기술 개발 및 최적화
- 신규 인터페이싱 화합물 고정화 기술 최적화
- 검출 모듈 및 소자의 구조, 제조 공정, 패키징 등에 의한 주요 기능/성능 안정성 평가 분석 및 안정화 방안 도출
- 다중 채널 어레이를 통한 과일향 동시 기상 검출 플랫폼 개발

○ 개발 내용 및 범위

- 위탁연구기관 :



- 표면 개질화된 트랜지스터 기상 안정성 테스트
- 다중 채널 도입을 통한 기상 검출용 어레이 센서 개발
- 휴대가 용이한 소형 전기적 어레이 플랫폼 개발
- 소형화 소자 대량 제작 및 특성 평가/분석
- 과일향 기상 검출 플랫폼 구조 설계 및 시작품 개발
- 과일향 바이오 리셉터(OR4E2) 유전자 확보 및 제조 핵심 기술 최적화
- 현장형 과일향 검출 센서 시작품 작동 및 구동 안정성 테스트

3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

1) 연구수행 결과

(1) 정성적 연구개발성과

- ▶ 과일 및 3종의 품종, 신선도, 향 정도를 선택적으로 분별할 수 있는 기능성 바이오포터 물질을 기반으로 후각 센서 개발 및 분석 시그널 데이터베이스를 기반 진단 웹의 정립으로 실제 과일 및 과채류에 구분에 적용 가능한 현장형 농산물 검출용 인공후각 시스템 개발로 시제품 개발 완료 및 사업의 발판을 제공함

연구개발기관	주요 연구 내용
주관기관	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 시뮬레이션기법을 통한 과일 신선도 연관 VOCs 특이 결합 펩타이드 선정 및 반응특이성 검증 완료된 기능성 박테리오파지 제작 완료 ✓ 20종 기능성 아미노산 탑재 박테리오파지 기반 구조체 구축 ✓ Pattern recognition Multi-array 센서 플랫폼 개발 ✓ 센서 플랫폼을 이용한 휘발성 유기용매(VOCs; Volatile Organic Compounds)-에탄올, 메탄올, IPA, 아세트산, 아세톤 및 복숭아 향 혼합 성분 -2-Isopropyl-4-methylthiazole,γ-carprolactone 단일성분에 대한 패턴분석을 통한 성분 분석 진행

- ✓ 신선도 측정을 위한 과일 숙성 시 방출가스 특이적 VOC 문헌 조사를 통한 향 물질 선정 (Ethanol, Acetone, Ethyl Acetate, Acetaldehyde)
- ✓ 실제 과일 타겟(사과, 바나나, 복숭아)과 컬러 센서 간의 반응성 실험을 통해 데이터 수집 및 분석
- ✓ 현장에 적용 될 수 있도록 수많은 test와 데이터 수집 및 분석

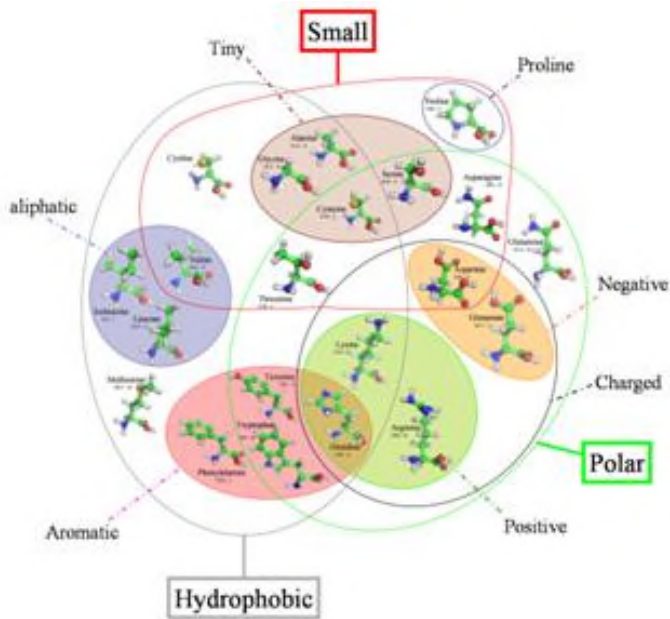
1. 1차년도(2019)

※ 세부 연구목표 :

- 생체 유사 20종 아미노산 탑재 기능성 펩타이드 발굴
- 분자적 기술 기반 서브클로닝(Subcloning)을 통한 다기능성(Multifunctional) 박테리오파지 물질 개발 및 확보
- 시뮬레이션을 통한 타겟 물질 선택적 결합 기능성 파지 라이브러리 확보

① 생체 아미노산 기반 20종 펩타이드 발굴

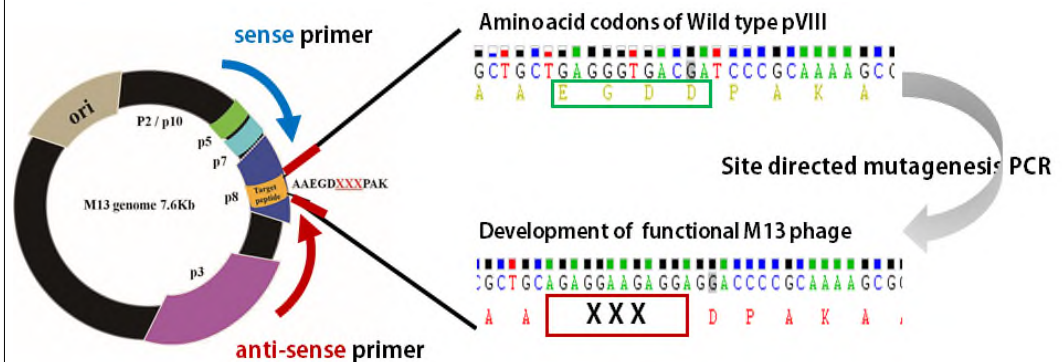
▶ 아미노산 그룹화



<20 종 아미노산 특징별 그룹화>

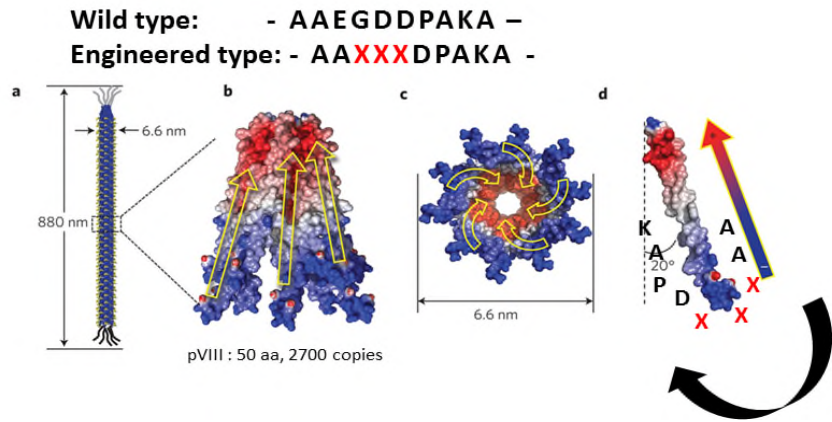
② 중합효소연쇄 반응(PCR)법을 이용한 유전자 조작을 통해 20종 아미노산 기반 기능성 M13 박테리오파지 개발

▶ 유전자 조작 개요도

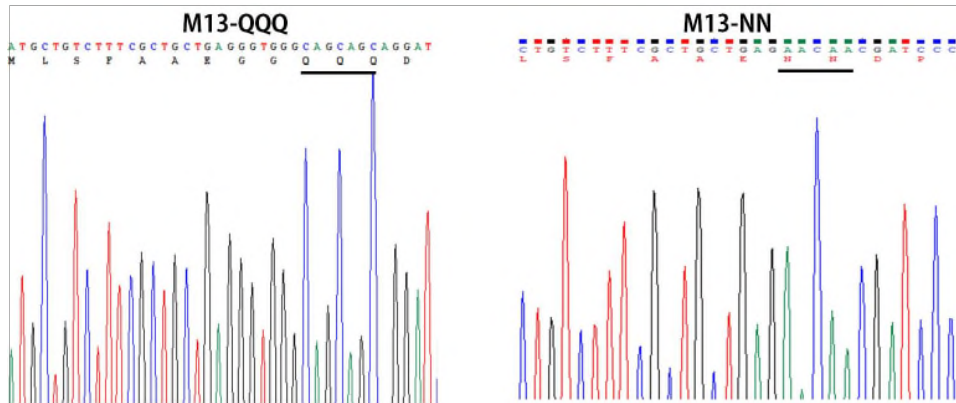


- ▶ M13 박테리오파지의 표면단백질(pVIII)의 유전자 변형을 통한 기능성 소재로서의 활용

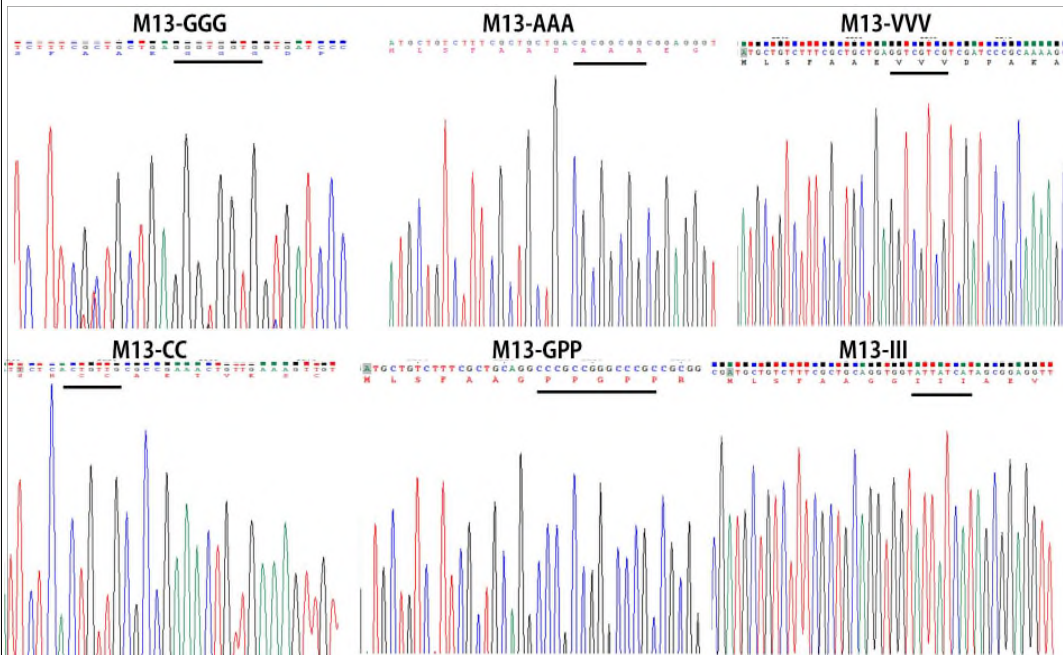
Genetic Engineering of M13 bacteriophage



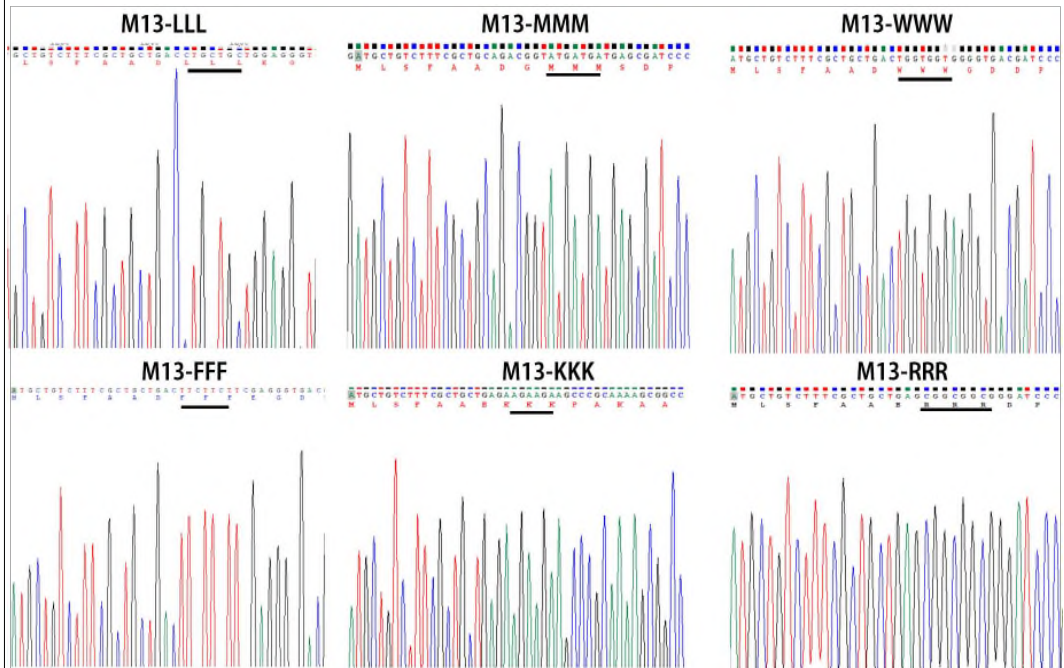
- ▶ 기능성 M13 박테리오파지 Q, N 염기서열 분석된 chromas 결과



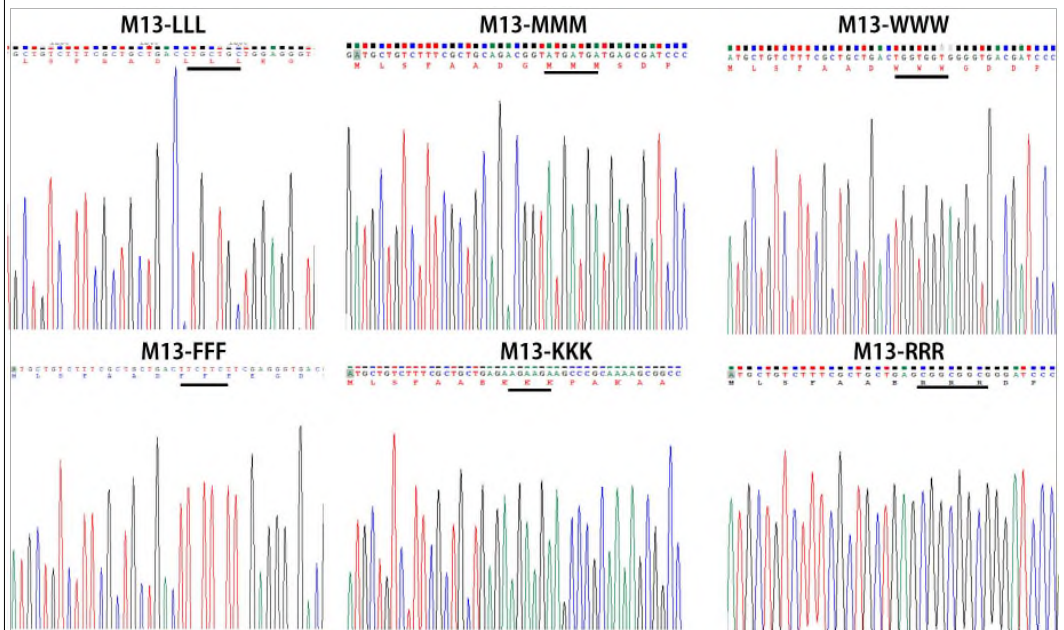
- ▶ 개발된 20종 아미노산이 발현되는 기능성 M13 박테리오파지의 염기서열 분석된 chromas 결과: G, A, V, C, P, I



▶ 기능성 M13 박테리오파지 L, M, W, F, K, R 염기서열 분석된 chromas 결과



▶ 기능성 M13 박테리오파지 G, A, V, C, P, I 염기서열 분석된 chromas 결과



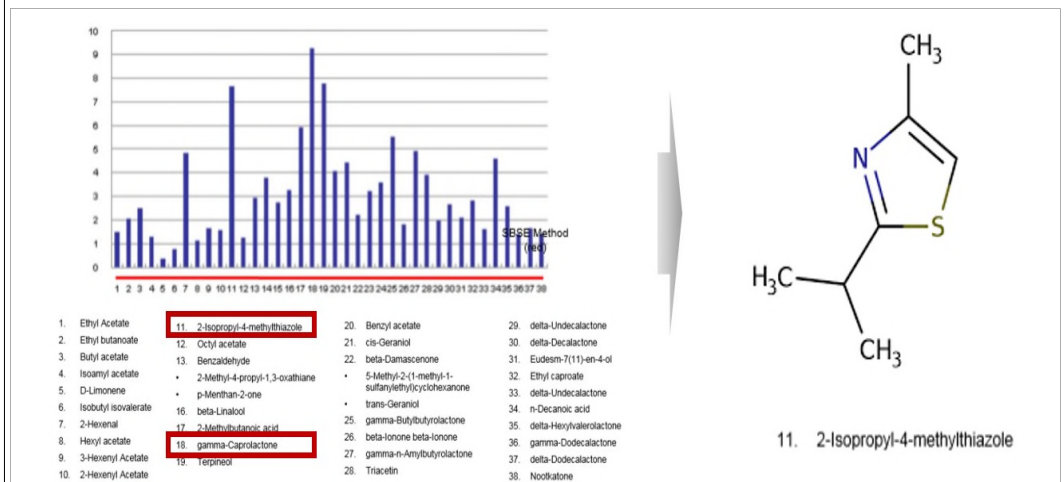
③ 개발된 기능성 M13 박테리오파지 20 종의 대량 배양을 통한 파지 확보

▶ 연구결과: 20종 아미노산 탑재 기능성 박테리오파지 3-5mg/ml의 박테리오파지 보유

GLYCINE=G	A	A	E	G	G	G	D	P	A	K	A	F	N	Non polar	
ALANINE=A	A	A	E	G	E	A	A	A	D	D	P	A	K		
VALINE=V	A	A	E	G	V	V	V	D	P	A	K	A	F		
PROLINE=P	A	A	E	G	P	P	P	D	D	P	A	K	A		
ISOLEUCINE=I	A	A	E	G	I	I	I	E	D	P	A	K	A		
LEUCINE=L	A	A	L	L	L	E	G	D	D	P	A	K	A		
METHIONINE=M	A	A	E	G	M	M	M	D	D	P	A	K	A		
TRYPTHOPHAN=W	A	A	D	W	W	W	E	G	D	D	P	A	K		
PHENYLALANINE=F	A	A	D	F	F	F	E	G	D	D	P	A	K		
CYSTEINE=p3-C	F	Y	S	H	C	C	A	E	T	V	E	S	C		
LYSINE=K	A	A	E	K	K	K	D	P	A	K	A	F	N	(+)charge	
ARGININE=R	A	A	E	R	R	R	D	P	A	K	A	F	N		
HISTIDINE=H	A	A	D	H	H	H	E	G	D	D	P	A	K	Aromatic	(-)charge
ASPARTIC ACID=D	A	A	E	G	D	D	D	P	A	K	A	F	N		
GLUTAMIC ACID=E	A	A	E	E	E	E	D	P	A	K	A	F	N	Polar	Neutral
ASPARAGINE=N	A	A	E	G	N	N	N	D	P	A	K	A	F		
GLUTAMINE=Q	A	A	E	G	D	Q	Q	Q	D	A	P	A	K		
SERINE=S	A	A	E	G	S	S	S	P	A	K	A	F	N		
THREONINE=T	A	A	E	G	T	T	T	P	A	K	A	F	N		
TYROSINE=Y	A	A	D	Y	Y	Y	E	G	D	D	P	A	K		

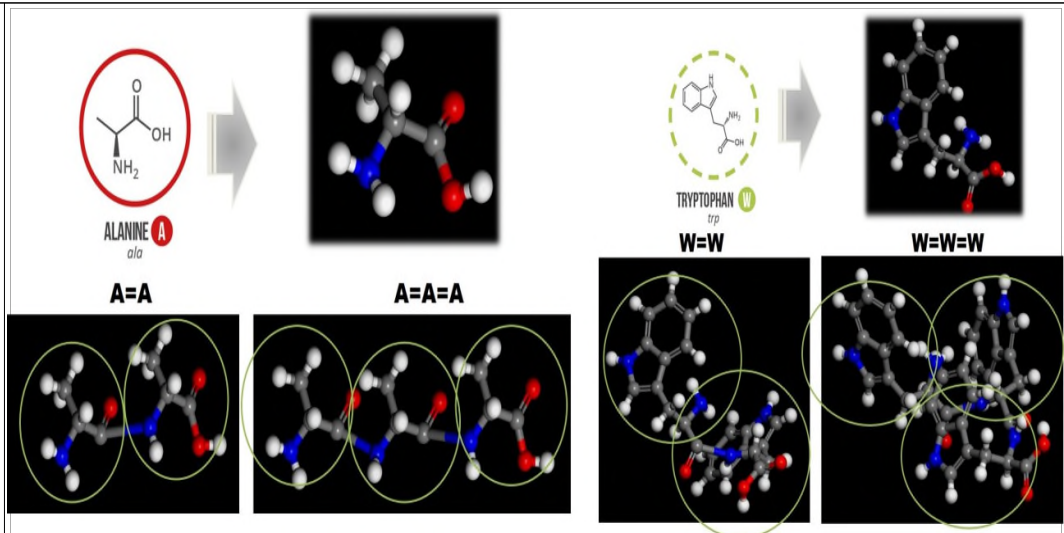
④ 과일향 특이적 VOC 문헌 조사를 통한 향물질 1차 선정

▶ 타겟 물질 선정

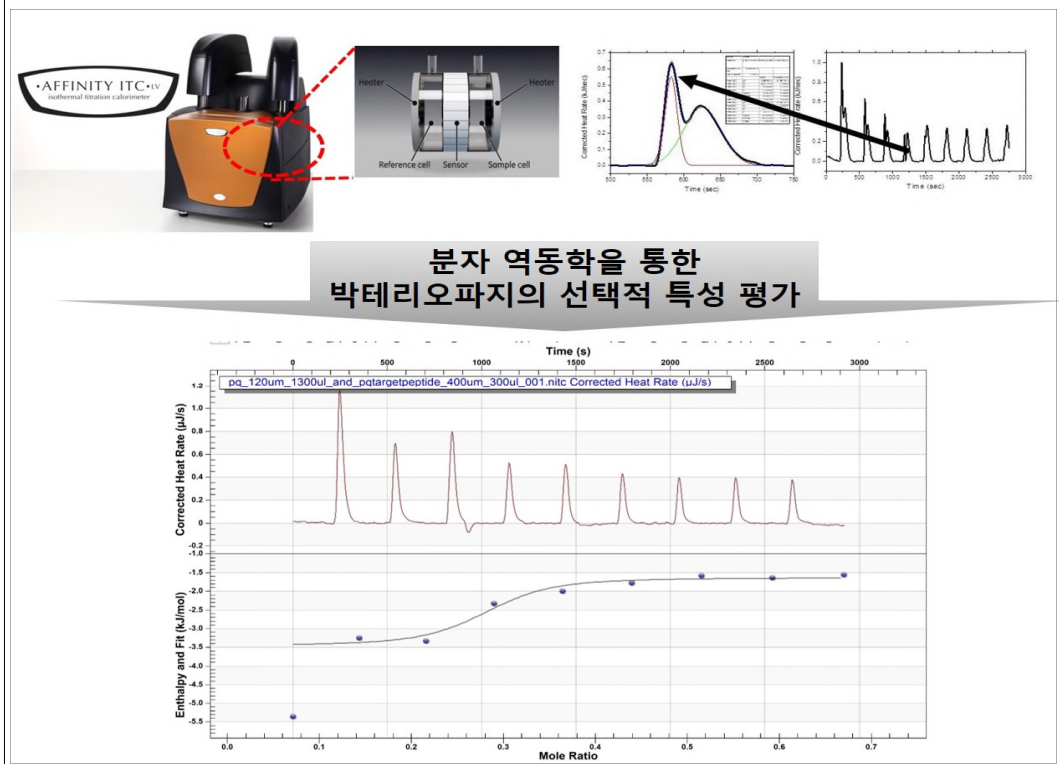


⑤ 시뮬레이션 기반 타겟물질 선택적 결합 기능성 펩타이드 서열 발굴 및 등온적정열량계 (ITC, Isothermal Titration Calorimetry)를 통해 M13 박테리오파지와 분자간의 결합 특이성을 분석을 통한 박테리오파지의 선택적 특성 평가

▶ 시뮬레이션을 통한 결합 가능 펩타이드 서열 발굴



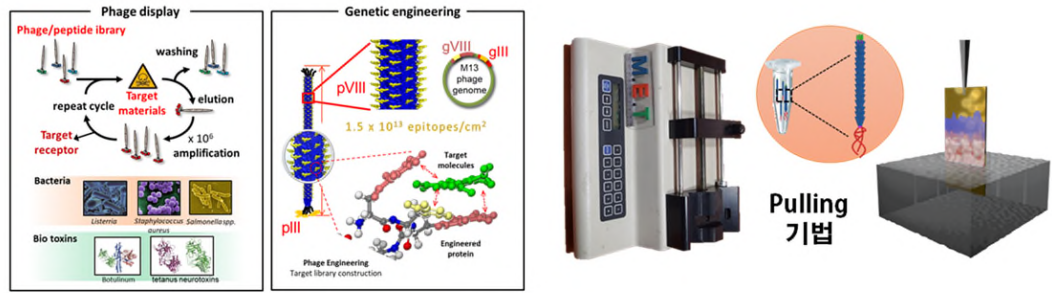
▶ 시뮬레이션을 통해 개발된 서열 기반 분자 역동학을 통한 결합력 테스트 1차 결과 결합력의 차이로 반응성이 증가하는 곡선의 형태를 보임



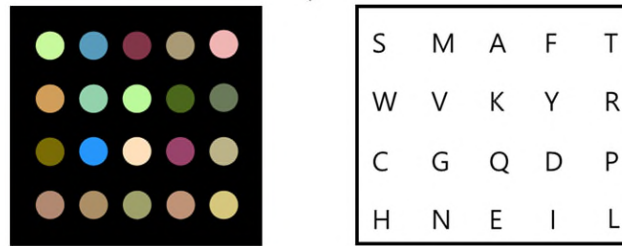
2. 2차년도(2020)

① Target specific 바이오리포터를 활용한 구조색 기반의 광분석 바이오센서 개발

- ▶ 20종 아미노산 각각의 pulling 기법을 이용한 센서 제작
 - 기능성 박테리오파지 기반의 생체모방형 2차원 다중배열 복합분석 (2D-Multi-array) 검출 센서소자 제작
 - 자가조립(Self-assembly)을 이용한 생체모방형 구조색 성질의 나노구조체 개발



실제 센서



<20 종 아미노산 실제 센서>

② 기능성 바이오포터를 단위체로 한 구조색 기반의 컬러센서 플랫폼 개발

- ▶ 생체모방형 2차원 다중배열 복합분석 시스템 개발
 - 각 시스템에서 착안한 Pattern recognition Multi-array 센서 플랫폼 개발
 - 다양한 기능성 박테리오파지로 이루어진 2차원 다중배열(2D-Multi array) 센서 개발
 - 다중 동시 분석을 위한 통계기반 정량분석 알고리즘 개발
 - 스펙트럼 내 최적의 변수를 선택하는 Feature Selection 알고리즘 평가
 - 동시 분석을 위한 비선형 다변량 (Nonlinear Multivariate) 정량분석법 개발
 - 측정된 모든 스펙트럼들의 데이터베이스 구축 및 그들의 동질성/이질성 확인

후각 시스템에서 착안한 Pattern recognition Multi-array 센서 플랫폼 개발



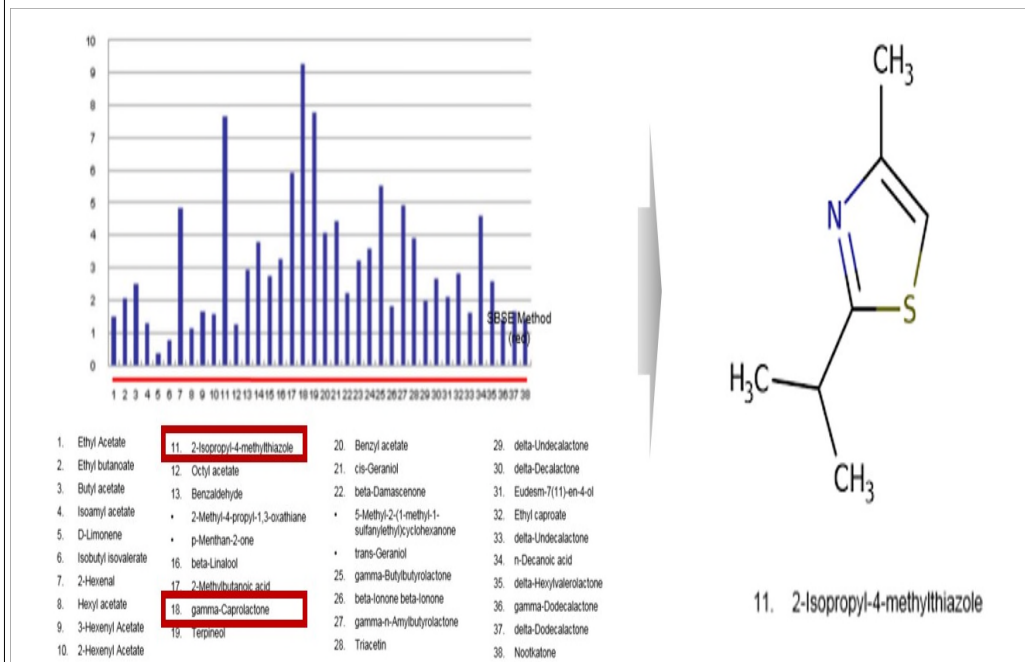
- ▶ 휘발성 유기용매(VOCs; Volatile Organic Compounds) 및 과일·채소류 대한 고성능 비색센서(Colorimetric sensor) 소자 개발
 - 다양한 VOCs가 혼합된 시료분석에서 패턴분석을 통한 성분분석 시스템 구축
 - 다중배열체(Multi-array) 칩 형태의 파지 광학분석 센서 플랫폼 구축



③ **과일향** 특이적 VOC 문헌 조사를 통한 향물질 2차 선정

▶ 문헌조사를 통한 **표준 물질**(타겟 물질) 선정

1) 복숭아(2-Isopropyl-4-methylthiazole, γ-Hexanolactone)



2) 사과(Isopentyl acetate, Butyl acetate)

Table 1
Volatile compounds in headspace gas of Fuji apple

Volatile name	Odor property	DB-WAX					DB-5				
		Kovat index	FD factor ^a	Concentration (ng/l) ^b	Threshold value-in-air (μl/l)		Kovat index	FD factor ^a	Concentration (ng/l) ^b	Threshold value-in-air (μl/l)	
					ET ^c	RT ^d				ET ^c	RT ^d
<i>Ester</i>											
Methyl acetate		815									
Ethyl acetate	short	878	2	0.84	1.03	2.63					
Methyl propanoate		901									
Methyl 2-methylpropanoate		916									
Ethyl propanoate	sweet, apple-like	950	8	0.13	0.0403	0.0912	712	34	0.26	0.0151	0.0912
Propyl acetate	apple-like	967					715	2	0.37	0.363	0.575
Methyl butanoate		980					723				
Methyl 2-methylbutanoate	sweet, apple-like	1005	312	1.12	0.00876		778	2344	1.39	0.00118	
Isobutyl acetate	sweet, apple-like	1009	164	1.41	0.0211	0.479	774	2	0.62	0.612	0.479
Ethyl butanoate	aged, apple-like	1033	124	1.16	0.0229	0.0229	801	184	2.12	0.0229	0.0229
Ethyl 2-methylbutanoate	sweet, apple-like	1049	6	0.03	0.0117		851	3336	1.62	0.000968	
Isopentyl formate	aged, apple-like						882	214	16.04	0.149	
Butyl acetate	fresh, apple-like	1069	398	26.83	0.165	0.195	815	4	3.16	1.57	0.195
Isopentyl acetate	sweet, apple-like	1114	12	9.56	1.95						
Ethyl pentanoate		1126									
Butyl isobutanoate		1137					948	30	0.09	0.00607	
Isopentyl propanoate	apple-like						971	1	0.02	0.0313	0.0331
Ethyl 2-butenate		1159									
Pentyl acetate	apple-like	1166	4	0.38	0.23	0.0309	913	30	0.16	0.0107	0.0309
Methyl hexanoate		1180					924				
Butyl butanoate		1219									
Ethyl hexanoate	fruity, apple-like	1229	14	0.16	0.0274	0.00182	997	60	0.55	0.0181	0.00182
Hexyl acetate	sweet, apple-like	1271	114	8.34	0.179	0.0316	1012	64	2.37	0.0737	0.0316
<i>Aldehyde</i>											
Butanal	green	864	1			0.00891	<700				
Methoxyacetaldehyde		923									
Hexanal	green, grassy	1077	92	3.18	0.0845	0.0138					
Octanal		1286									
<i>Alcohol</i>											
Ethanol		930									
2-Butanol		1021					<700				
Hexanol	fruity						871	112	0.69	0.0123	0.0437
Isobutanol		1091									
1-Butanol		1148									

P. Kimbong et al. / LWT 39 (2006) 472–478

475

3) 파나나(2-Pentanone, 3-Methyl-1-butanol)

Jordán et al.

Table 1. Volatile Components Quantified in Banana Essence and Banana Fruit by GC-MS

compound	RT	concn ^a (ppm)	
		commercial banana essence	fresh banana fruit
2-methyl-1-propanol	2.16	100.53 ± 10.23	nd
3-methylbutanal	2.4	32.89 ± 5.97	nd
butanol	2.51	304.34 ± 10.2	1.06 ± 0.34
2-pentanone	2.79	474.64 ± 18.72	2.71 ± 0.29
2-pentanol	2.97	319.99 ± 11.81	14.26 ± 2.63
3-hydroxy-2-butanone	3.12	66.43 ± 5.79	20.33 ± 1.24
n-propyl acetate	3.2	10.13 ± 0.9	0.07 ± 0
methyl butyrate	3.35	1.48 ± 0.06	0.46 ± 0
acetal	3.5	19.48 ± 0.65	nd
3-methyl-1-butanol	3.75	877.55 ± 45.62	7.9 ± 1.56
pentanol	4.45	3.65 ± 0.3	nd
isobutyl acetate	4.62	266.51 ± 9.42	2.45 ± 0.36
2-hexanone	5.09	2.59 ± 0.3	nd
hexanal	5.39	31.19 ± 2.11	21.47 ± 5.73
ethyl butyrate	5.51	11.71 ± 0.18	0.15 ± 0
butyl acetate	6.08	106.54 ± 5.97	1.32 ± 0.37
ethyl crotonate	7.52	0.23 ± 0.02	nd
2-pentanol acetate	7.78	159.59 ± 15.58	4.79 ± 1.41
E-2-hexenal	7.88	nd	32.2 ± 1.01
E-2-hexen-1-ol	8.68	4.24 ± 0.99	nd
hexanol	8.87	38.29 ± 3.68	1.17 ± 0.1
E-4-hexen-1-ol	9.31	3.15 ± 0.53	nd
isoamyl acetate	9.2	229.73 ± 17.33	4.85 ± 1.38
E-4-hepten-2-ol	9.4	34.41 ± 1.91	nd
2-heptanol	10.49	19.05 ± 1.41	nd
isobutyl isobutyrate	11.24	0.68 ± 0.02	nd
3-hepten-2-one	12.48	3.82 ± 0.37	nd
isobutyl butyrate	13.7	14.92 ± 0.63	1.26 ± 0.36
ethyl 2-hydroxy-3-methyl-butyrate	14.28	3.63 ± 0.16	nd
butyl butyrate	16.17	12.6 ± 0.33	0.83 ± 0.15
Z-3-hexenyl acetate	16.8	0.32 ± 0.02	nd
isoamyl isobutyrate	17.18	1.27 ± 0.09	0.31 ± 0
hexyl acetate	17.28	2.41 ± 0.08	0.57 ± 0.1
4-hexenyl acetate	17.82	1.94 ± 0.18	nd
limonene	17.94	nd	0.94 ± 0
1-methylbutyl isobutyrate	18.02	2.05 ± 0.18	0.43 ± 0.1
Z-3-octen-1-ol	19.83	9.23 ± 0.62	nd
Z-5-octen-1-ol	20.9	6.93 ± 0.89	nd
2,3-butanediol diacetate	21.17	1.63 ± 0.33	nd
isoamyl butyrate	22.14	nd	7.13 ± 1.23
isoamyl 3-methylbutyrate	22.81	1.14 ± 0.16	1.48 ± 0.17
fenchol	23.05	10.39 ± 1.79	nd
ethyl 3-hydroxyhexanoate	24.16	2.65 ± 0.2	nd
borneol	26.14	9 ± 0.79	nd
terpinen-4-ol	26.77	1.47 ± 0.18	nd
α-terpineol	27.66	1.07 ± 0.09	nd
hexyl butyrate	27.89	nd	0.06 ± 0
hexyl isovalerate	30.74	nd	0.06 ± 0
eugenol	37.19	nd	2.65 ± 0.29

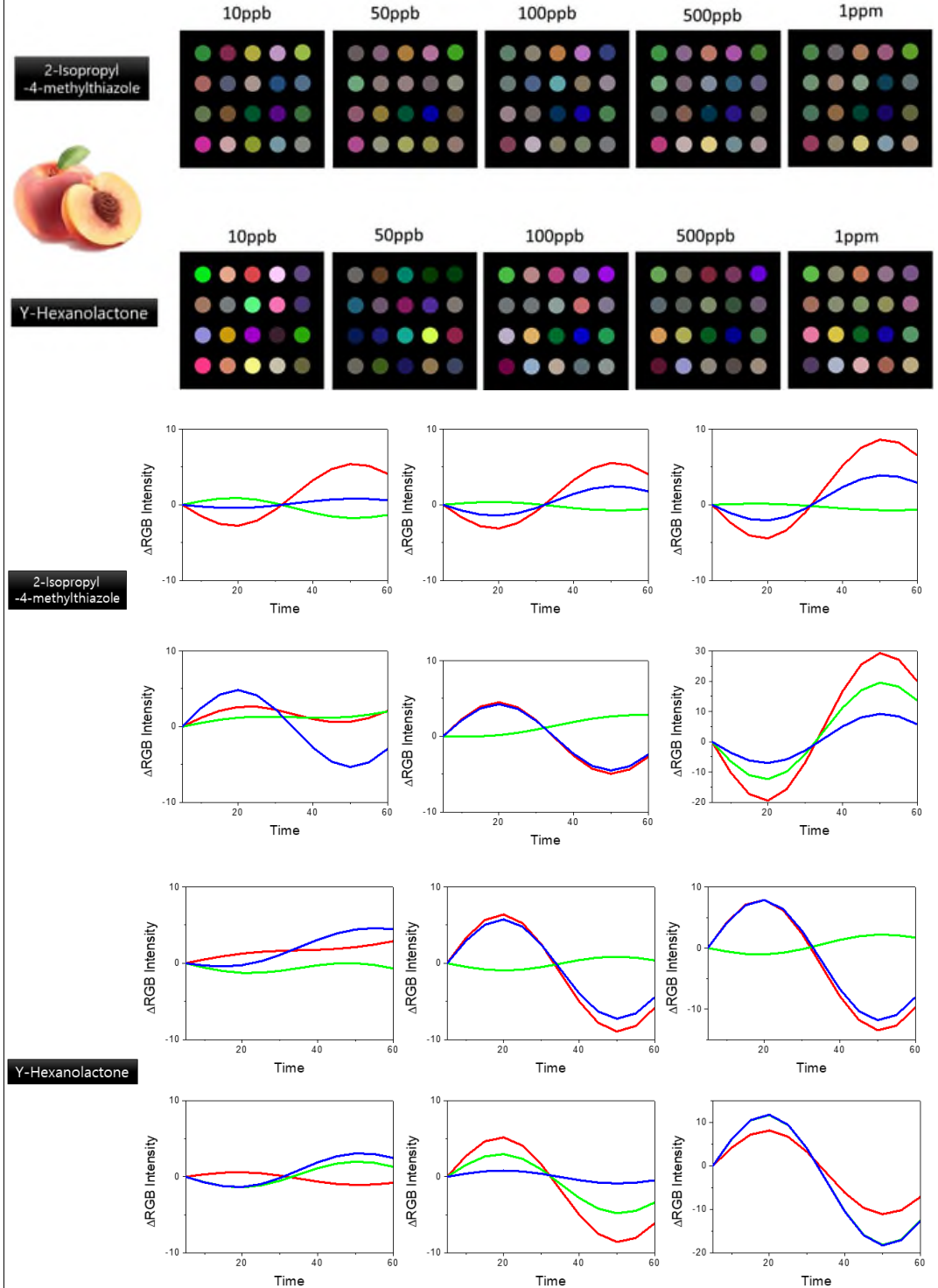
^a Concentration ± standard deviation. nd, not detected.

ometry runs. Data were collected using the Turbochrom data system (PE Nelson, San Jose, CA).

④ 다양한 VOCs가 혼합된 시료분석에서 패턴분석을 통한 성분분석 시스템 구축

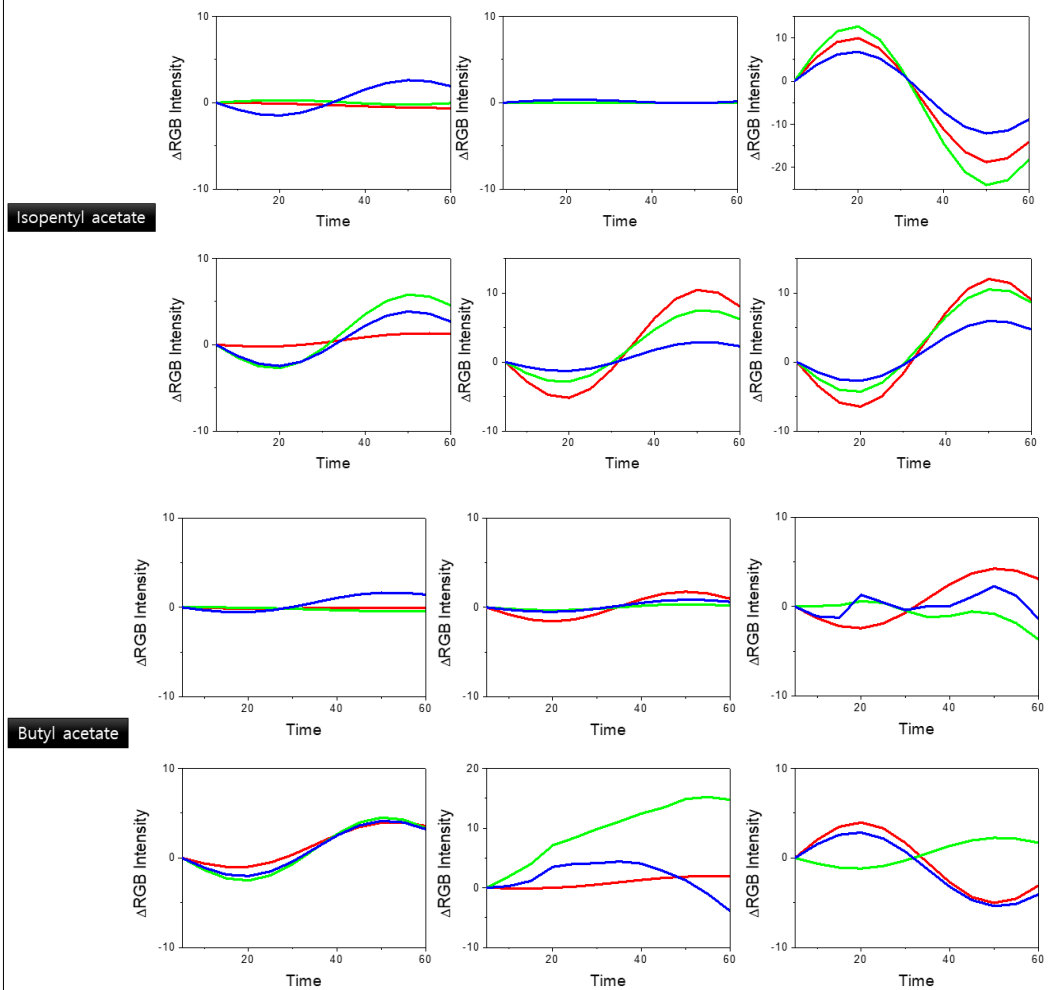
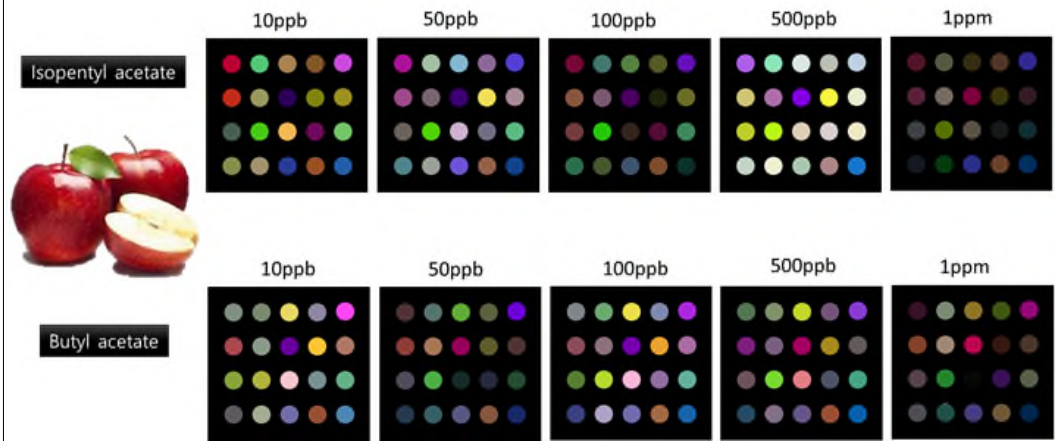
- ▶ 타겟물질로 선정된 과일향 VOCs 농도별 측정
- ▶ 과일 구별을 위한 반응 후 색변화 패턴 확인

복숭아



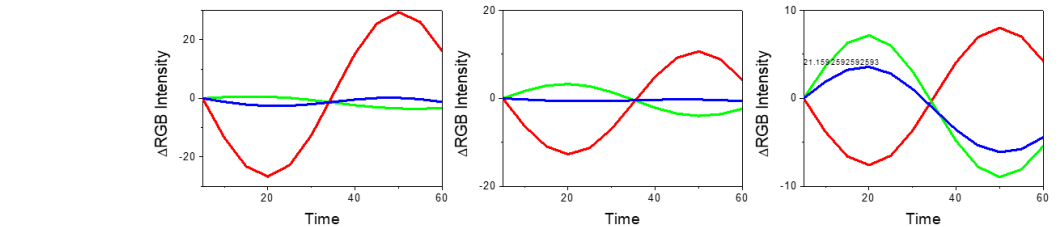
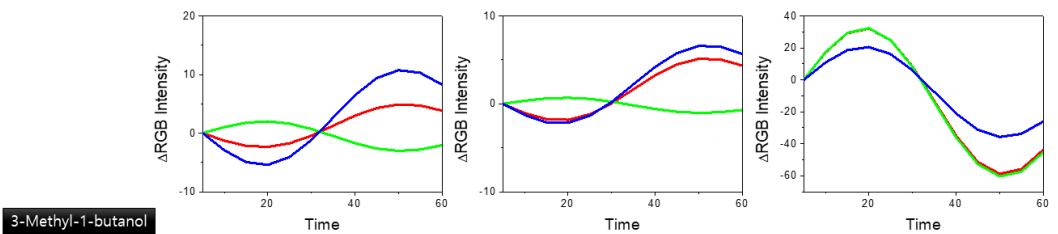
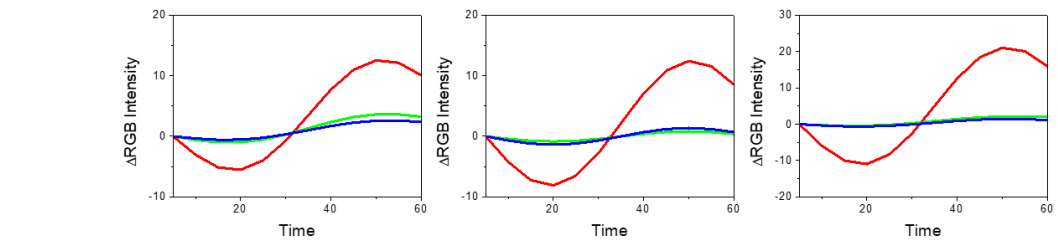
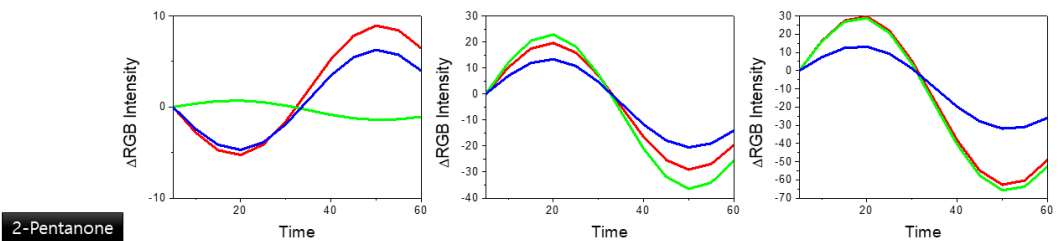
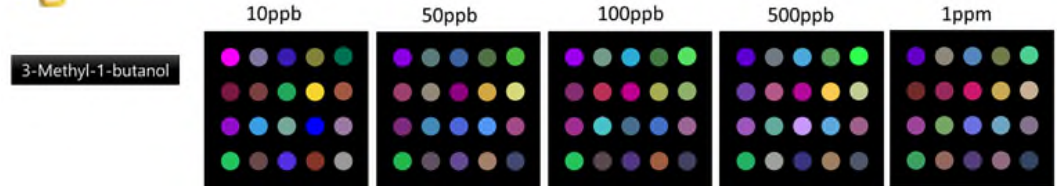
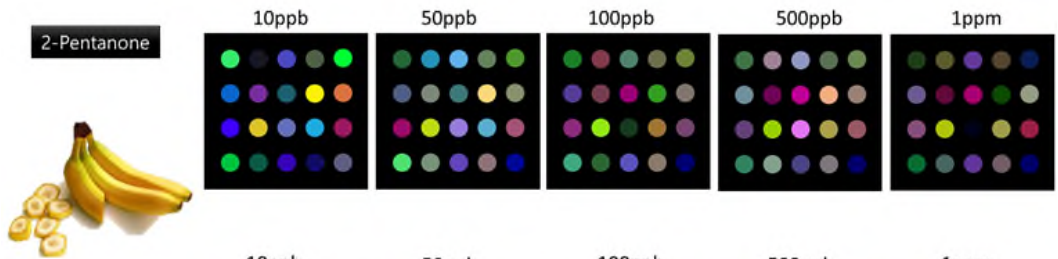
- 복숭아 향의 표준물질을 10ppb, 50ppb, 100ppb, 500ppb, 1ppm의 5가지 농도로 측정을 진행함
- 복숭아 향의 표준물질을 농도별로 측정된 결과, 10ppb까지 미량의 물질도 센서가 반응하는 것을 확인할 수 있었음. 미량의 물질도 센서로 감지할 수 있는 센서의 **민감도**를 확인함

사과



- 사과 향의 표준물질을 **10ppb, 50ppb, 100ppb, 500ppb, 1ppm** 의 5가지 농도로 측정을 진행함
- 측정된 데이터는 텍스트 파일로 저장하며 실시간 rgb의 차이를 그래프로 표시함
- 각 농도별 RGB 값의 차이를 기반으로 신선도 및 부패도의 기준 마련을 위한 SOP개발에 이용됨
- 사과 향의 표준물질을 농도별로 측정된 결과, 10ppb 까지의 미량의 물질도 센서가 반응하는 것을 확인할 수 있었음. 미량의 물질도 센서로 감지할 수 있는 센서의 **민감도**를 확인함

바나나



- 바나나 향의 표준물질을 10ppb, 50ppb, 100ppb, 500ppb, 1ppm 의 5가지 농도로 측정을 진행함
- 측정된 데이터는 텍스트 파일로 저장하며 실시간 rgb의 차이를 그래프로 표시함
- 각 농도별 RGB 값의 차이를 기반으로 신선도 및 부패도의 기준 마련을 위한 SOP개발에 이용됨
- 바나나 향의 표준물질을 농도별로 측정한 결과, 10ppb 까지의 미량의 물질도 센서가 반응하는 것을 확인할 수 있었음. 미량의 물질도 센서로 감지할 수 있

는 센서의 민감도를 확인함

⑤ 신선도 측정을 위한 과일 숙성 시 방출가스 특이적 VOC 문헌 조사를 통한 향물질 선정

- 문헌조사를 통한 표준 물질(타겟 물질) 선정
- 문헌조사 결과를 바탕으로 과일 숙성 시 방출하는 가스인 Ethanol, Acetone, Ethyl Acetate, Acetaldehyde 네가지 물질을 측정할 표준물질로 선정함



Analytical Methods

Non-destructive monitoring of apple ripeness using an aldehyde sensitive colorimetric sensor



Yong Hoon Kim^{a,*}, Yun Jae Yang^b, Jin Se Kim^a, Dong Soo Choi^a, Seok Ho Park^a, So Yeon Jin^c, Jung Su Park^b

^a Department of Agricultural Engineering, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, 310 Nongsaengmyeong-ro, Wausan-gu, Jeonju, Republic of Korea

^b Sookmyung Women's University, Department of Chemistry, Cheongpa-ro 47-gil 100, Yongsan-gu, Seoul, Republic of Korea

^c Sookmyung Women's University, Graduate School of Professional Studies Traditional Culture and Arts, Cheongpa-ro 47-gil 100, Yongsan-gu, Seoul, Republic of Korea

ARTICLE INFO

Keywords:

Apple
Aldehyde
Ripeness
Colorimetric sensor

ABSTRACT

We developed an on-packaging colorimetric sensor label that can detect the aldehyde emission of apples based on Methyl Red. The sensor label was constructed using printable inks on paper medium and relied on the change in basicity caused by the nucleophilic addition reaction between aldehyde and hydroxide via the Cannizzaro reaction. The sensor can be used to detect aldehyde in solution and vapor. Sensitivity and stability toward changes in humidity were achieved by altering the concentration of OH⁻. Under exposure to ripening apples, the label changed color from yellow to orange, and then to red. The degree of ripeness was estimated by a sensory test and texture analysis. The color change of sensor label had showed a similar tendency to the changes in the parameters of the sensory test, soluble solid content, and hardness. Therefore, the sensor label can be used for real time on-package ripeness monitoring of apples during their shelf life.

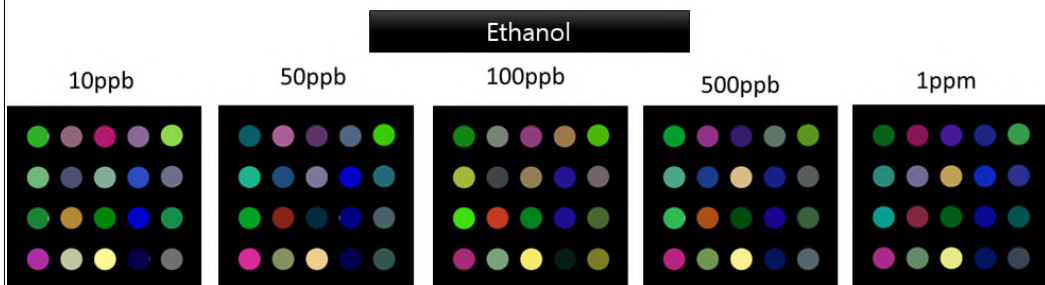
1. Introduction

Apples (*Malus domestica*), a perennial of the Rosaceae family, are representative climatic fruit. The skin surrounding the fleshy parenchyma tissue comprises cuticles, the epidermal layer, and the hypodermal layer. Gas diffusion occurs across its skin at lenticels. During respiration for maturation and ripening, apples emit various organic flavor compounds, including aldehydes, esters, alcohols, ethylene, and ketones (Komthong, Hayakawa, Katoh, Igura, & Shimoda, 2006; Song, Gardner, Holland, & Beaudry, 1997; Zou & Zhao, 2008). These flavors

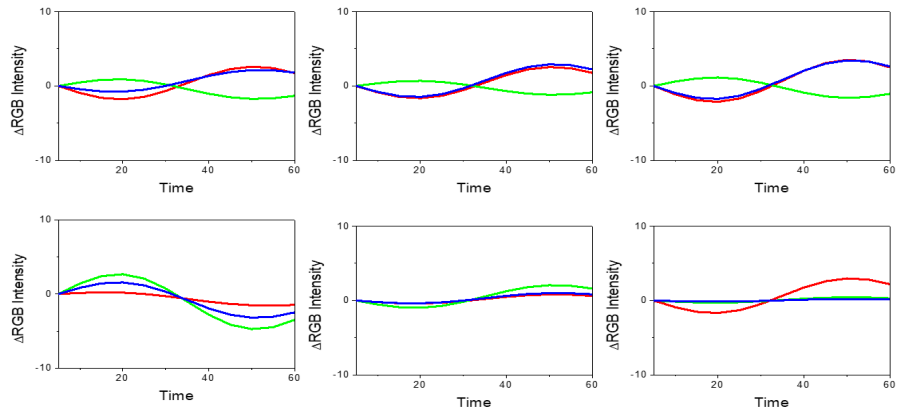
and kiwi ripeness have been developed for a long time (Cabanillas-Galan et al., 2008; Hu, Li, Park, Kim, & Yang, 2016; Klein, Riley, DeCanne, & Srinavakul, 2006; Lang & Hubert, 2012). However, this method has limited application for apple ripeness sensors, because of its cost and low stability against humidity and UV light.

A pH indicator would be an alternative material for on-packaging colorimetric indicators with respect to cost, sensitivity, and ease of preparation. In addition, aldehyde-sensitive colorimetric sensors using pH indicators have been reported. Vo, Murray, Scott, and Attar (2007) designed a sensor to detect glutaraldehyde in the liquid phase. They

⑥ 신선도 측정을 위한 과일 숙성 시 방출가스 측정



Ethanol



- 표준물질 선정을 통한 **10ppb, 50ppb, 100ppb, 500ppb, 1ppm** 의 5가지 농도를 실시간 측정을 진행함
- 측정된 데이터는 텍스트 파일로 저장하며 실시간 rgb의 차이를 그래프로 표시함
- 각 농도별 RGB 값의 차이를 기반으로 신선도 및 부패도의 기준 마련을 위한 SOP개발에 이용됨
- 표준물질을 농도별로 측정한 결과, 10ppb 까지의 미량의 물질도 센서가 반응하는 것을 확인할 수 있었음. 미량의 물질도 센서로 감지할 수 있는 센서의 **민감도**를 확인함

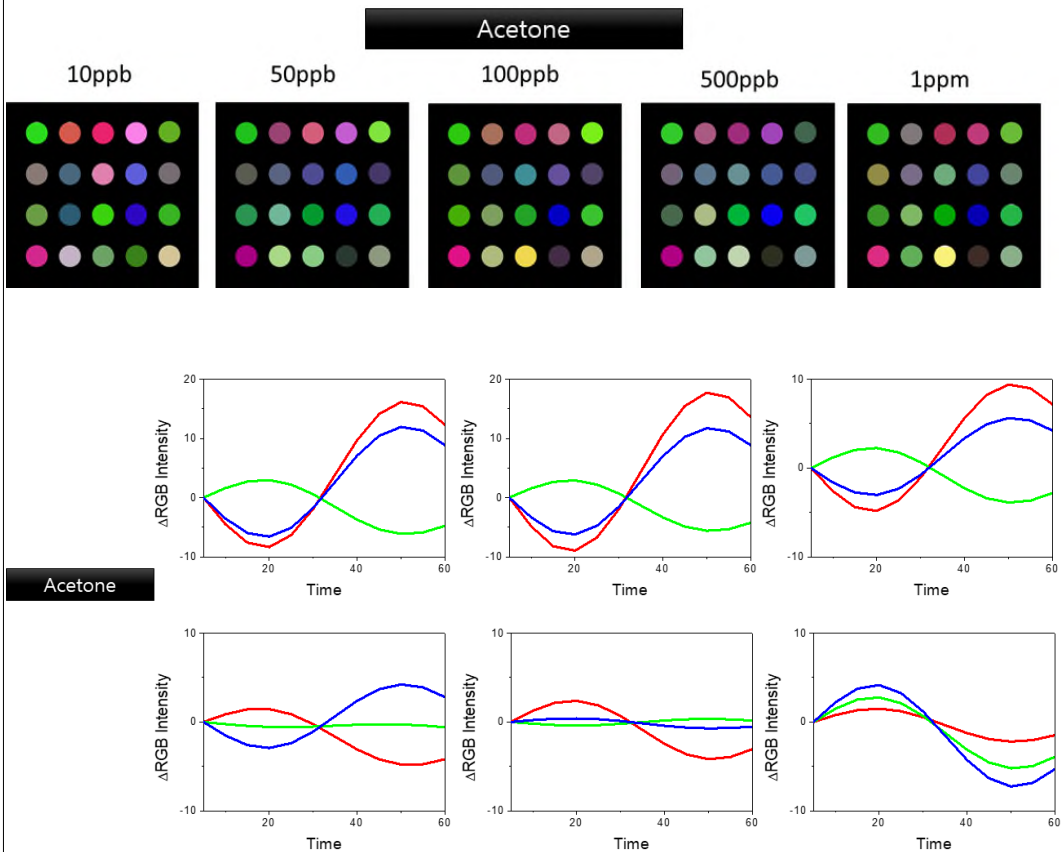
▶ 매회 150회 반복 측정 RAW DATA

Time	No.	Δ R	Δ G	Δ B
5	1	-0.4489	0.23106	-0.0701
5	2	-1.1336	0.21457	-0.5789
5	3	0.62698	-0.4511	1.05952
5	4	-0.3889	-0.0707	0.10606
5	5	0.20588	0.37815	2.07143
5	6	-0.7614	0.37908	-0.4477
5	7	0.16667	0	-0.4815
5	8	0.05042	0.07843	-1.5686
5	9	1.04293	0.18182	-0.0429
5	10	0.59216	0.50196	-0.4196
5	11	-0.3944	-0.1	-0.2861
5	12	0.98901	-0.6667	1.01832
5	13	-1.5318	0.25682	0.375
5	14	-1.3992	-0.2332	0.37945
5	15	-0.0178	-0.1052	-0.1881
5	16	-0.654	0.49242	-1.3737
5	17	0.65602	0.04699	0.08271
5	18	0.95062	0.45679	0.23457
5	19	1.27864	-0.3406	-0.0526
5	20	0.51059	-0.0518	0.24235
5	21	1.025	-0.7125	0.0325
5	22	-0.1	0.43077	0.23077
5	23	0.22667	-0.48	-0.1822
5	24	0.51556	-0.6044	-1.2578
5	25	0.02344	-0.4883	1.07813
5	26	-0.2182	-0.1318	-0.6727
5	27	1.54135	-1.1955	-0.4586
5	28	-0.7215	0.11842	1.05921
5	29	-0.1008	0.493	0.80392
5	30	0.40702	-0.0316	0.45263
5	31	0.63636	0.00909	0.97273
5	32	-0.441	0.12308	-1.2359
5	33	0.79216	0.34118	-0.3059
5	34	-1.6173	0.20408	-0.0459
5	35	-0.1768	0.14646	0.88131
5	36	0.22917	0.24167	0.175
5	37	0.6125	-0.1	-0.7542
5	38	1.74815	0.45185	0.05185
5	39	1.38889	0.92361	0.28472
5	40	0.29206	-0.1365	0.68571
5	41	-1.6157	0.21901	-0.0207
5	1	1.83908	0.189655	0.810345
5	2	-0.43077	0.171154	-0.82885
5	3	-0.25054	0.165591	0.894624
5	4	-1.46111	0.994444	0.483333
5	5	0.724265	0.205882	1.5625
5	6	-1.10526	-0.36184	1.154605
5	7	-1.32967	-0.15934	-1.10989
5	8	-0.72778	0.172222	-0.41667
5	9	0.313725	0.803922	1.655462
5	10	-0.35606	-0.16667	0.363636
5	11	-1.23246	0.442982	-0.26754
5	12	-0.9913	0.647826	0.734783
5	13	-2.35294	0.235294	-0.21176
5	14	-2.07738	-0.15476	1.860119
5	15	-0.7971	0.184783	1.213768
5	16	-0.35417	0.434028	0.045139
5	17	-1.10131	0.722222	0.98366
5	18	0.673913	-0.06522	0.706522
5	19	-0.85759	0.513932	0.260062
5	20	-0.88	0.893333	-1.41333
5	21	-0.38034	0.367521	-0.33761
5	22	-0.92361	-0.46528	-0.86806
5	23	-0.70462	-0.09231	-1.92923
5	24	-0.18519	-0.13889	1.018519
5	25	-2.20879	0.307692	-1.08242
5	26	-0.70909	-0.37576	1.375758
5	27	-1.0362	-0.55204	0.778281
5	28	-0.12821	-0.31197	1.34188
5	29	-1.88718	0.34359	-1.40513
5	30	-0.74	0.415	-0.425
5	31	-0.19898	0.22449	-1.0051
5	32	-0.62567	-0.08556	-0.50802
5	33	-2.84896	0.364583	1.645833
5	34	1.212121	0.810606	-3.32576
5	35	-0.89524	1.314286	1.695238

▶ 아세톤 측정데이터의 반복성 및 재연성 확인

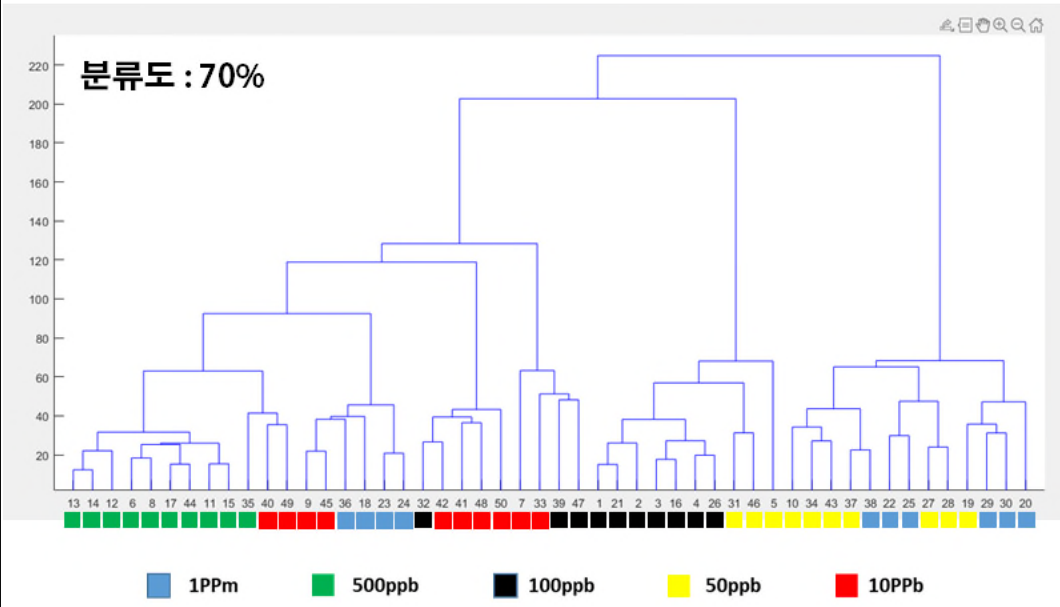
샘플 #	Bit	Image 50 (6분30초)	Image 75 (9분45초)	Image 100(13분20초)	Image 115(15분)	Image 130(17분)	Image 150(20분)	REAL TIME
샘플-1 #3	3 BIT							15분30초
	4 BIT							
샘플-2 #3	3 BIT							13분49초
	4 BIT							

[n=3, triple study를 통한 반복성 및 재연성 평가 수행결과]

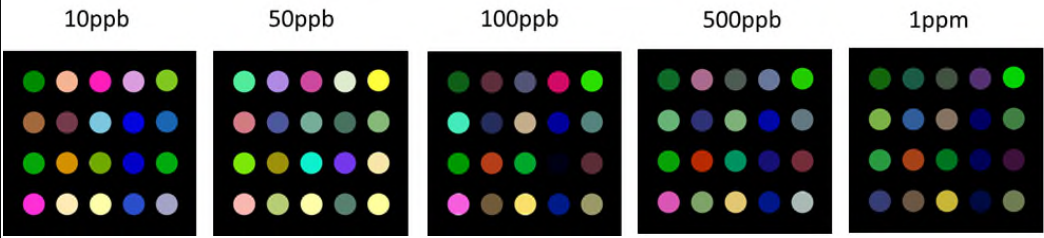


- 표준물질 선정을 통한 10ppb, 50ppb, 100ppb, 500ppb, 1ppm 의 5가지 농도를 실시간 측정을 진행함
- 측정된 데이터는 텍스트 파일로 저장하며 실시간 rgb의 차이를 그래프로 표시함
- 실시간 측정된 농도별 Δ RGB 기반 0<10, 10<20, >40으로 기준점 검토를 통한 신선도와의 correlation 확인 진행 중

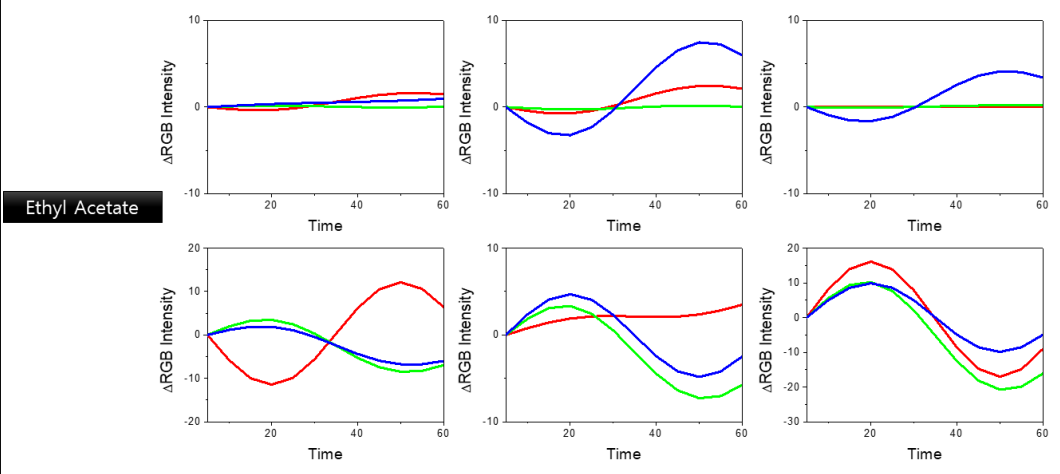
Acetone 민감도 수준별로 정확성 분류



Ethyl Acetate

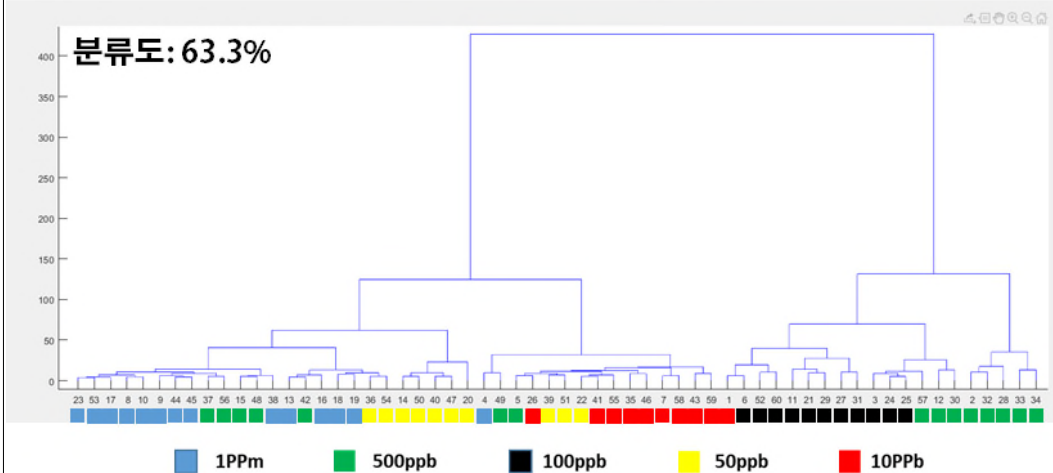


- 표준물질 선정을 통한 10ppb, 50ppb, 100ppb, 500ppb, 1ppm 의 5가지 농도를 실시간 측정을 진행함
- 측정된 데이터는 텍스트 파일로 저장하며 실시간 rgb의 차이를 그래프로 표시함

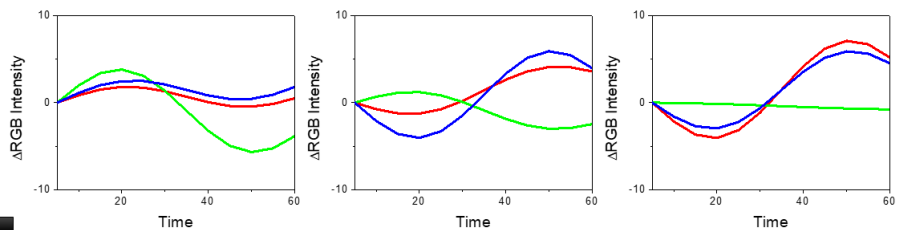
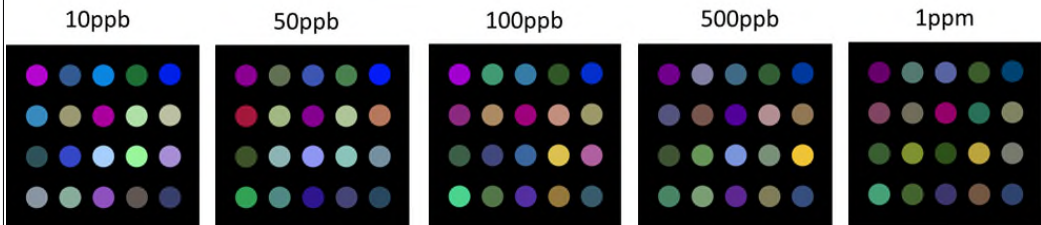


- 실시간 측정된 농도별 Δ RGB 기반 $0 < 10, 10 < 20, > 40$ 으로 기준점 검토를 통한 신선도와의 correlation 확인 진행 중

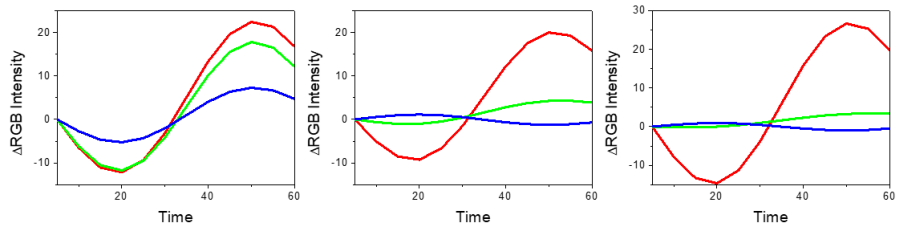
Ethlyacetate 민감도 수준별로 정확성 분류



Acetaldehyde



Acetaldehyde



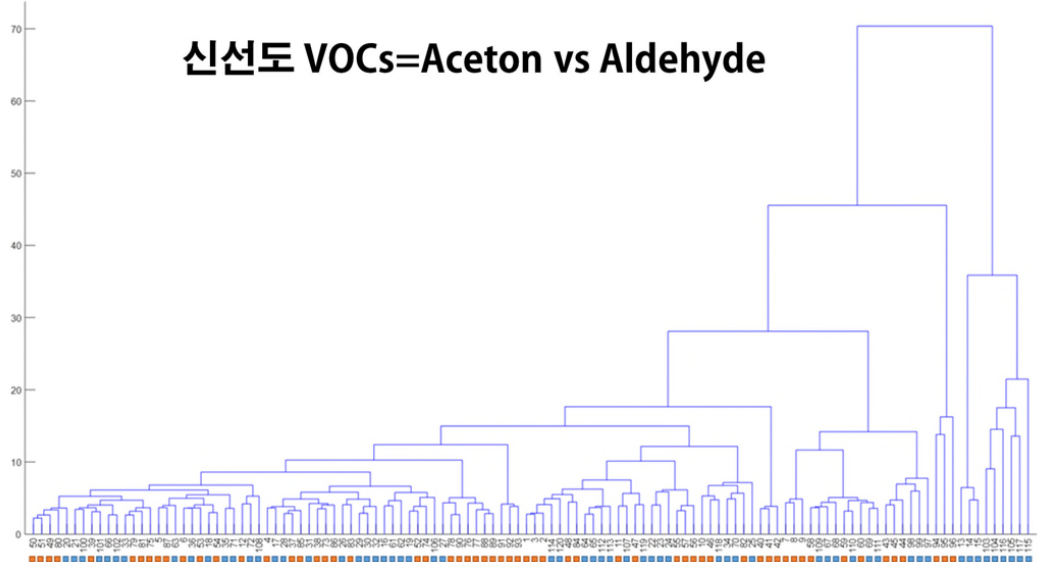
표준물질 선정을 통한 10ppb, 50ppb, 100ppb, 500ppb, 1ppm 의 5가지 농도를 실시간 측정을 진행함

- 측정된 데이터는 텍스트 파일로 저장하며 실시간 rgb의 차이를 그래프로 표시함
- 실시간 측정된 농도별 Δ RGB 기반 $0 < 10$, $10 < 20$, > 40 으로 기준점 검토를 통한 신선도와 correlation 확인 진행 중

▶ 빅데이터 기반 자체 개발 양상블 마이닝 기법 기반 분류도 및 신뢰도 검증

- 과일 숙성 시 방출 가스인 Ethanol, Acetone, Ethyl Acetate, Acetaldehyde

신선도 VOCs=Aceton vs Aldehyde



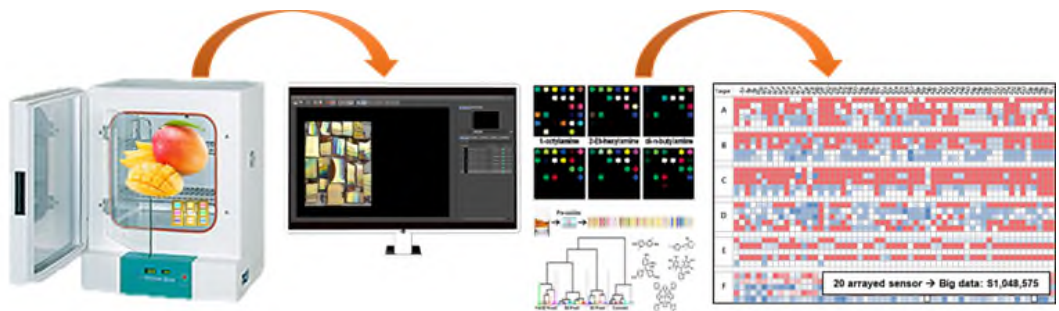
네가지 물질을 측정할 표준물질로 선정함

- 과일 숙성 시 방출가스를 **10ppb, 50ppb, 100ppb, 500ppb, 1ppm** 의 5가지 농도로 측정을 진행함
- 과일 숙성 시 방출가스를 농도별로 측정한 결과, 10ppb 까지의 미량의 물질도 센서가 반응하는 것을 확인할 수 있었음. 미량의 물질도 센서로 감지할 수 있는 센서의 **민감도**를 확인함

3. 3차년도(2021)

① **실제 과일 타겟(사과, 바나나, 복숭아)**과 컬러 센서 간의 반응성 실험을 통해 데이터 수집 및 분석

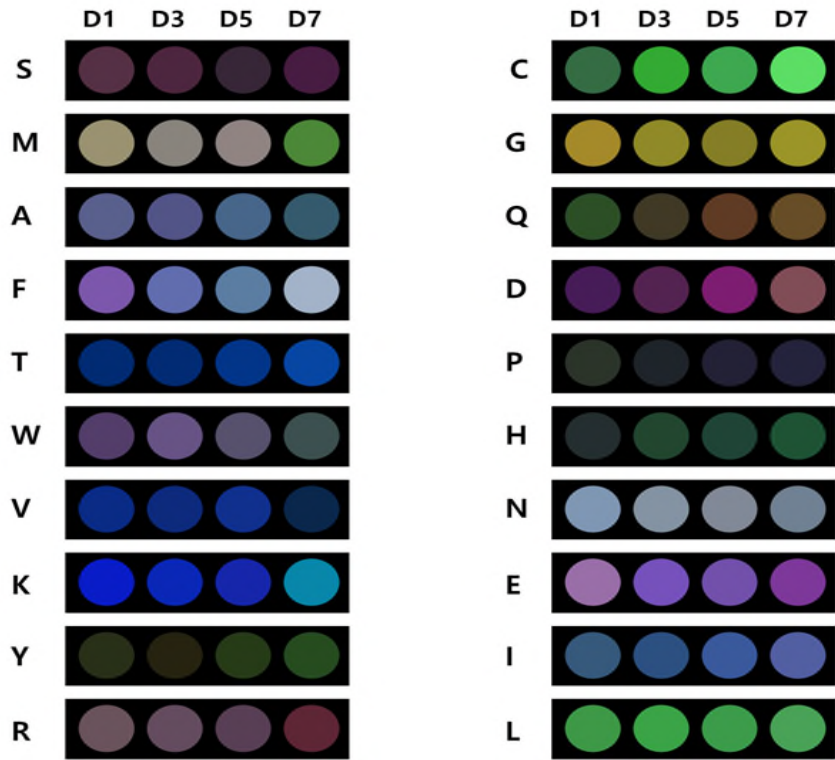
- **신선도 판별**을 위한 실제 과일을 15일 동안 밀폐된 챔버 안에서 개발한 과일 센서로 측정을 진행함
- 신선도 및 부패에 대한 향을 측정하고자 20종의 아미노산이 탑재된 기능성 차지 기반 1,3,5,7일간의 간격 동안 실시간 모니터링 및 데이터 포집



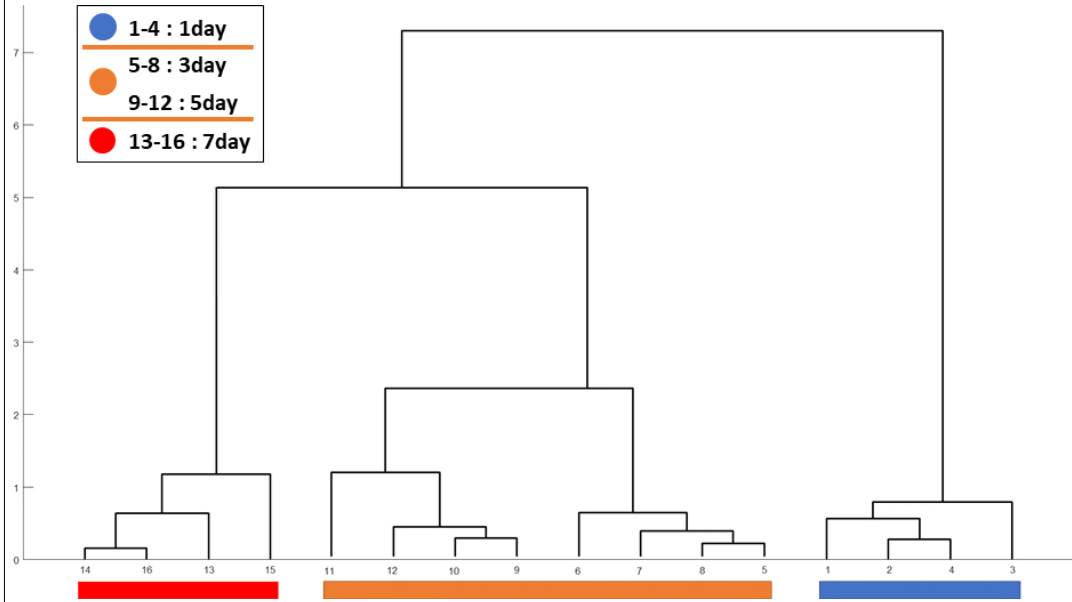
[데이터 포집에 대한 전반적인 실험 대략도]

■ 복숭아 (다른 과일보다 빨리 부패하여 7일간 측정) - (품종 : 백도)





- 밀폐용기에 실제 복숭아(백도)를 7일간 쪽 측정하였고, **0가지 아미노산이 탑재된 기능성 M13과지 기반 플랫폼 타입**의 색변화가 각각 다르게 반응하는 것을 확인할 수 있었음



- 밀폐용기에 실제 복숭아를 7일간 쪽 측정하였고, **1day/3-5day/7day** 신선도에 따라 잘 구분이 되는 결과를 확인할 수 있었음

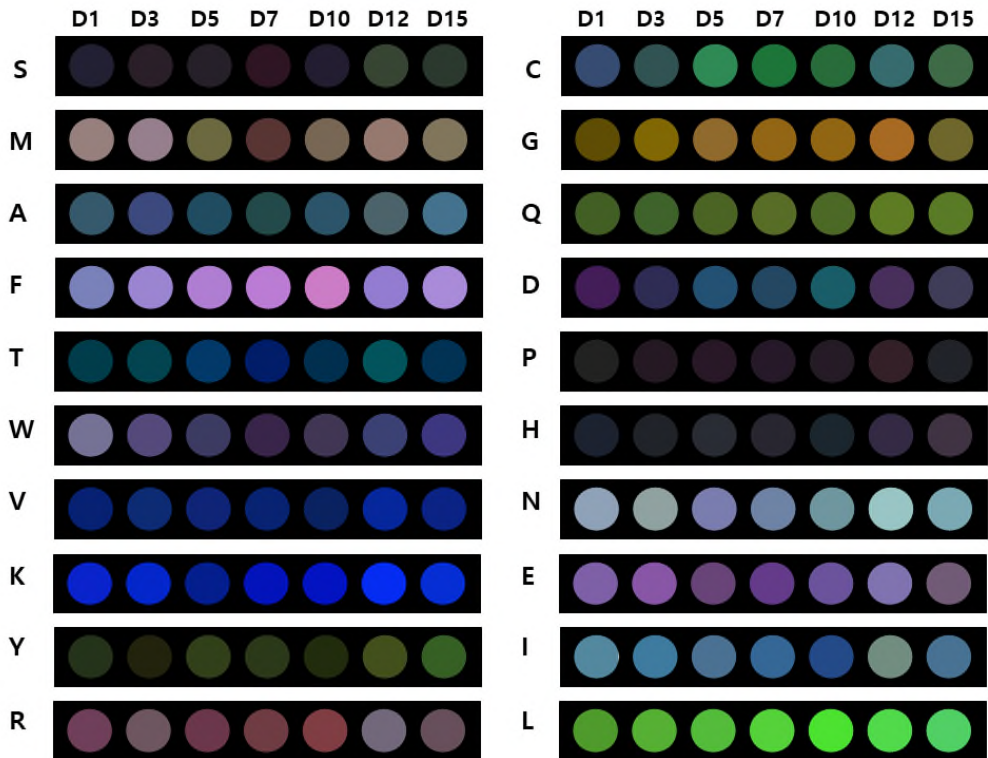
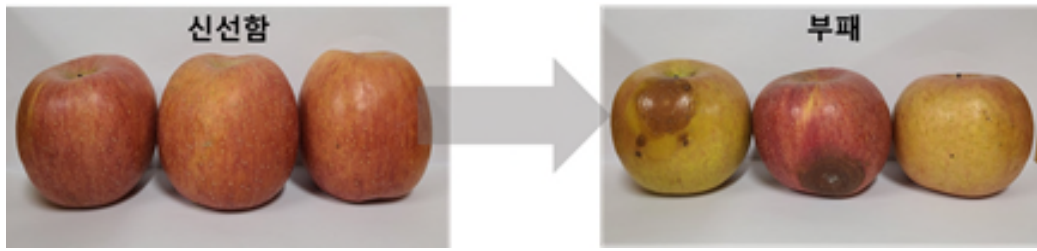
▶ **박테리아 기반 자체 개발 양상블 마이닝 기법 기반 분류도 및 신뢰도 검증**

■ **사과 (품종 : 부사)**

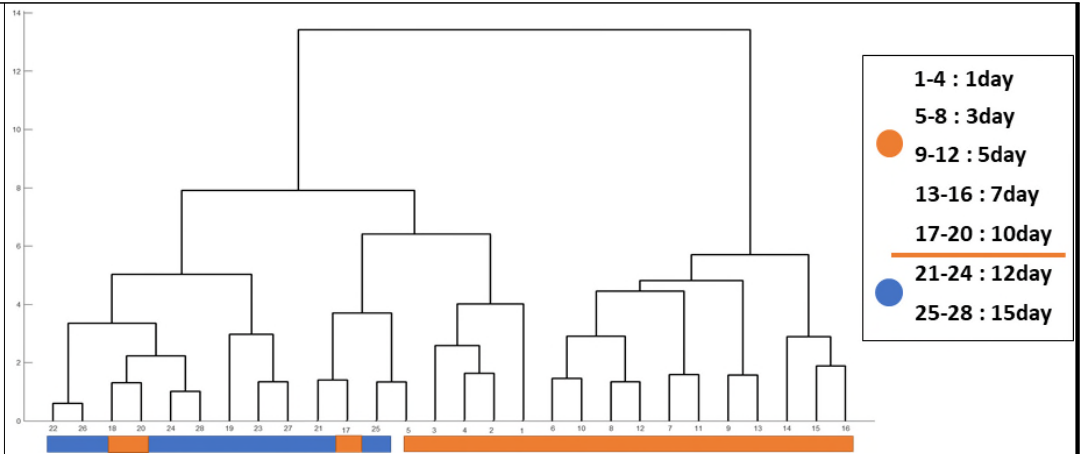
- **신선도 판별**을 위한 실제 과일을 15일 동안 밀폐된 챔버 안에서 개발한 파지 센서로 측정을 진행함

- 신선도 및 부패에 대한 향을 측정하고자 20종의 아미노산이 탑재된 기능성 차

지 기반 1,3,5,7,10,15일간의 간격 동안 실시간 모니터링 및 데이터 포집



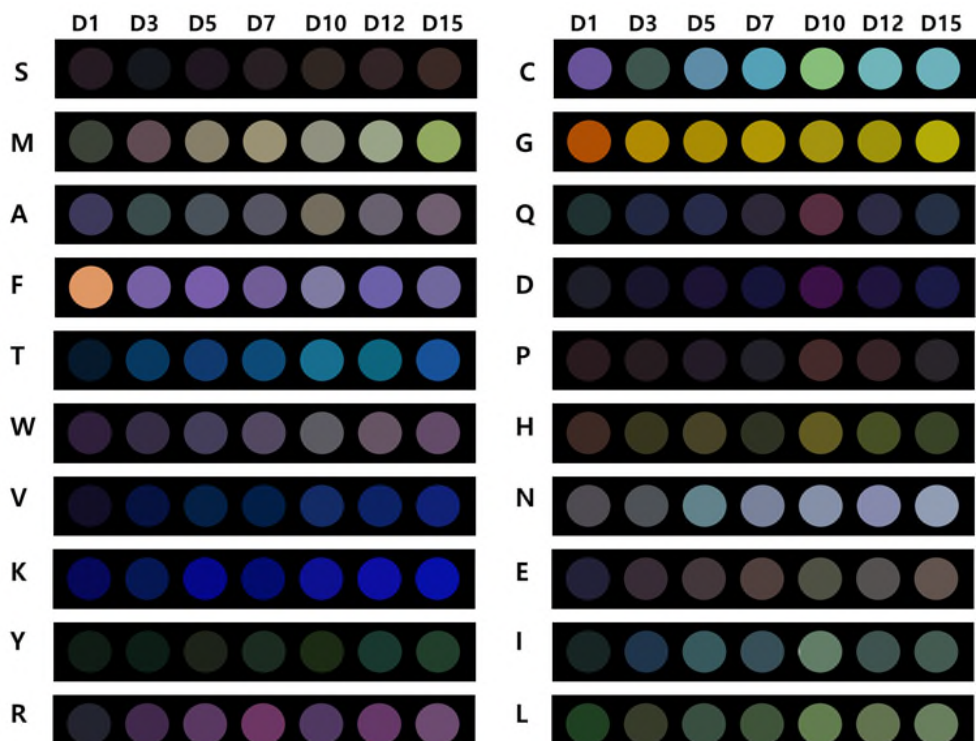
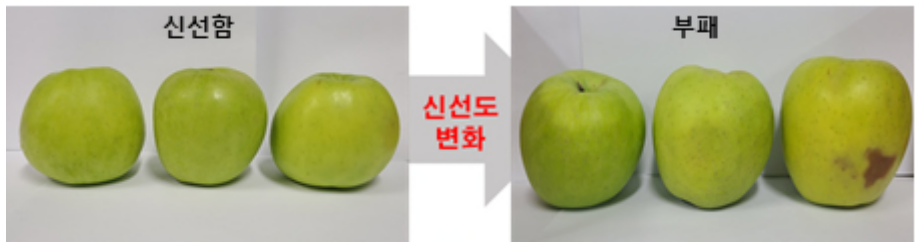
- 밀폐용기에 실제 사과(부사)를 15일간 쭉 측정하였고, 0가지 아미노산이 탑재된 기능성 M13과지 기반 플랫폼 타입의 색변화가 각각 다르게 반응하는 것을 확인할 수 있었음



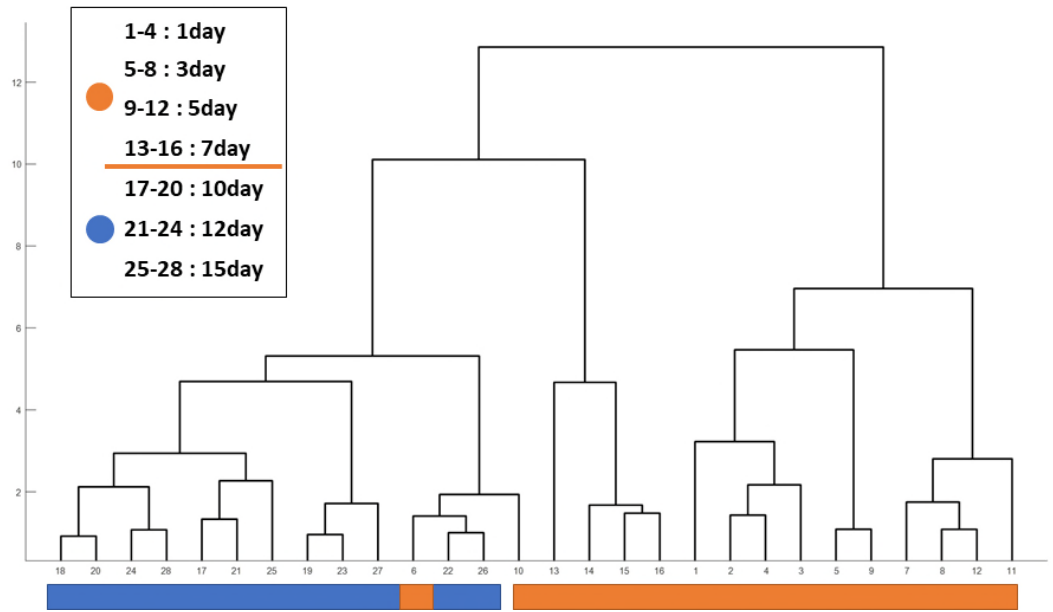
- 밀폐용기에 실제 사과를 15일동안 쪽 측정하였고, 10day/12day의 경계로 신선도에 따라 잘 구분되는 결과를 확인할 수 있었음

▶ **빅데이터 기반 자체 개발 양상블 마이닝 기법 기반 분류도 및 신뢰도 검증**

■ 사과 (품종 : 아오리 풋사과)



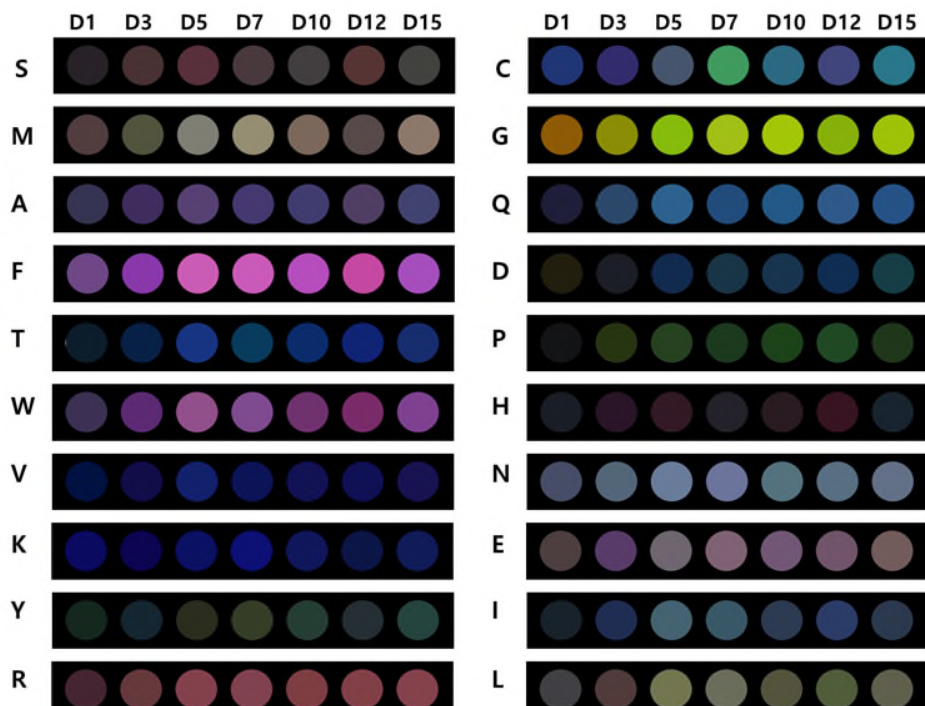
- 밀폐용기에 실제 사과(아오리 풋사과)를 15일간 쪽 측정하였고, 20가지 아미노산이 탑재된 기능성 M13파지 기반 플랫폼 타입의 색변화가 각각 다르게 반응하는 것을 확인할 수 있었음



- 밀폐용기에 실제 사과를 15일 동안 쪽 측정하였고, **7day/10day**의 경계로 신선도에 따라 잘 구분되는 결과를 확인할 수 있었음

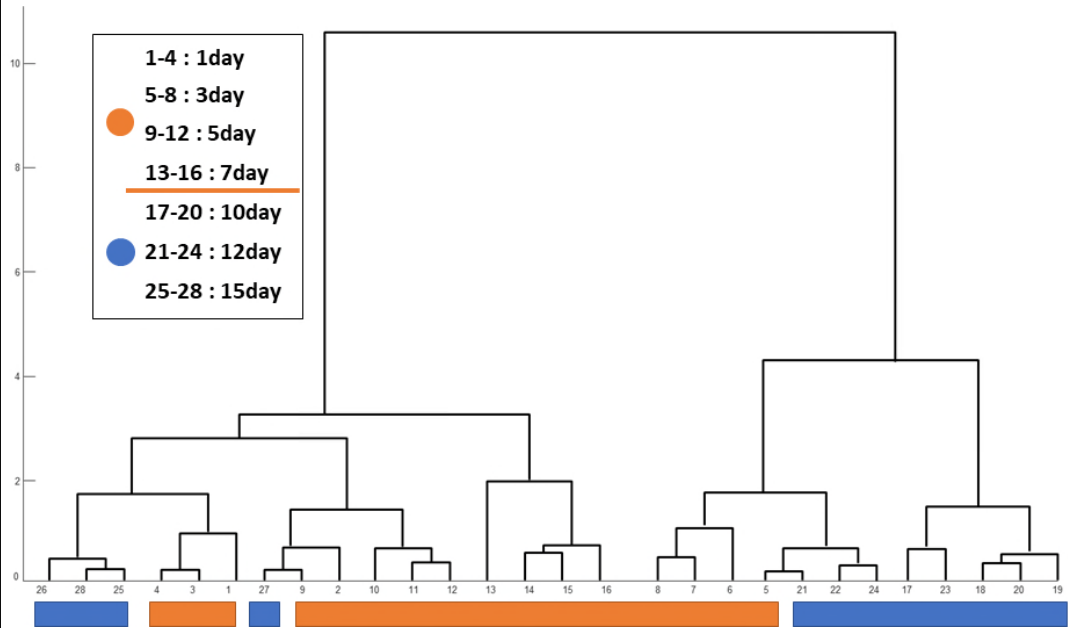
▶ **빅데이터 기반 자체 개발 양상블 마이닝 기법 기반 분류도 및 신뢰도 검증**

■ 사과 (품종 : 홍로)



- 밀폐용기에 실제 사과(홍로)를 15일간 쪽 측정하였고, **0가지 아미노산이 탑재**

된 기능성 M13과지 기반 플랫폼 타입의 색변화가 각각 다르게 반응하는 것을 확인할 수 있었음

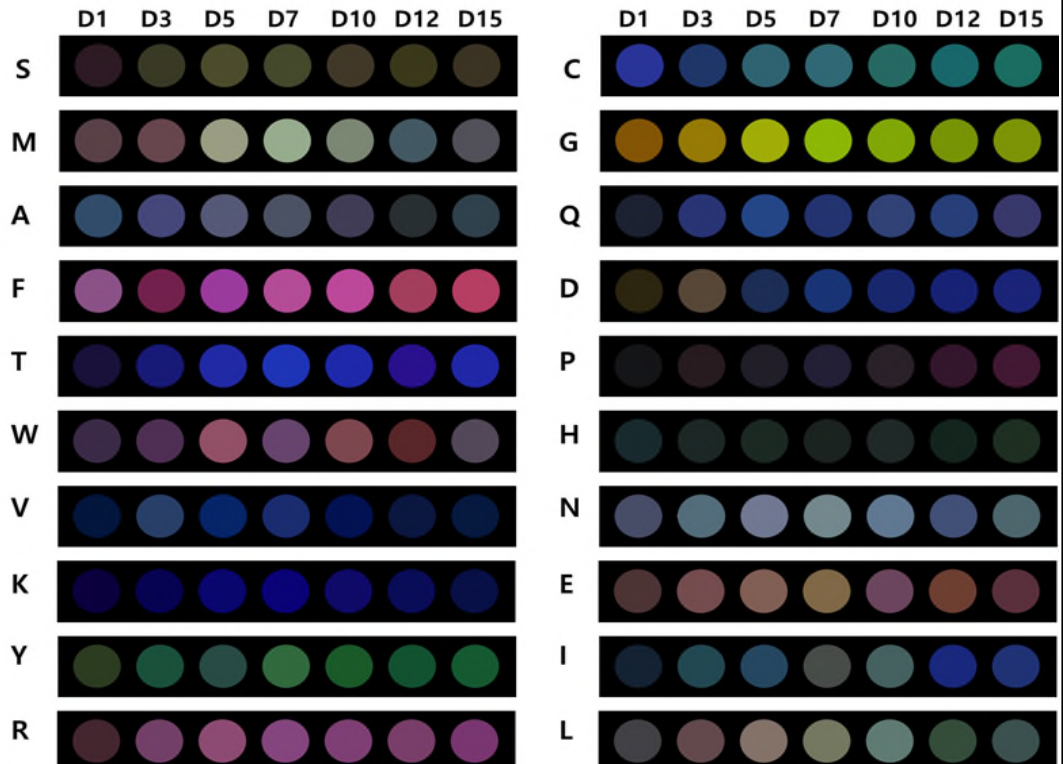


- 밀폐용기에 실제 사과를 15일 동안 쪽 측정하였고, 7day/10day의 경계로 신선도에 따라 잘 구분되는 결과를 확인할 수 있었음

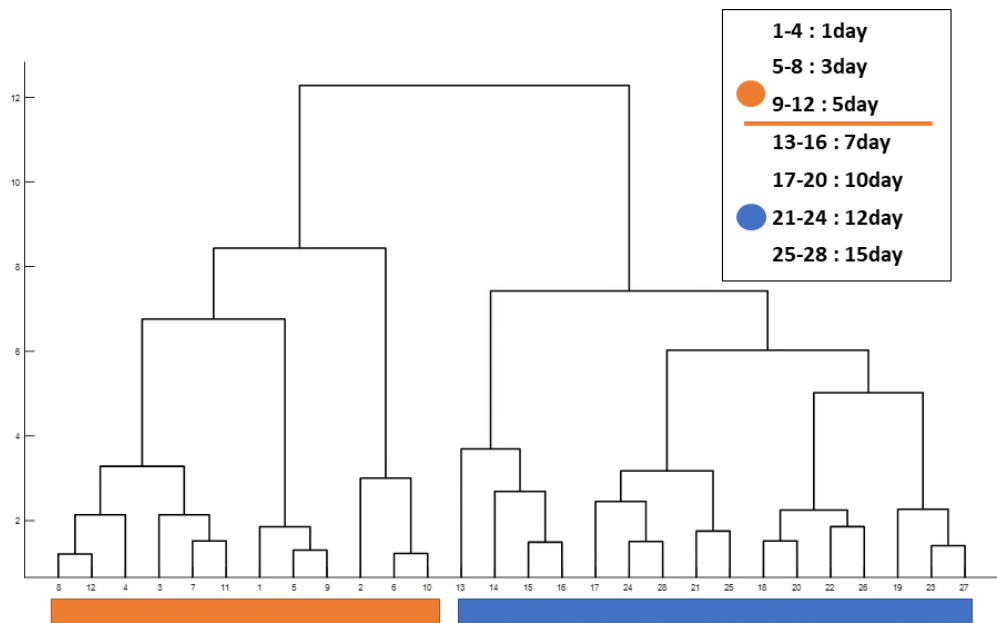
▶ 빅데이터 기반 자체 개발 양상블 마이닝 기법 기반 분류도 및 신뢰도 검증

■ 사과 (품종 : 홍옥)





- 밀폐용기에 실제 사과(홍옥)를 15일간 쪽 측정하였고, **20가지 아미노산이 탑재된 기능성 M13파지 기반 플랫폼 타입**의 색변화가 각각 다르게 반응하는 것을 확인할 수 있었음

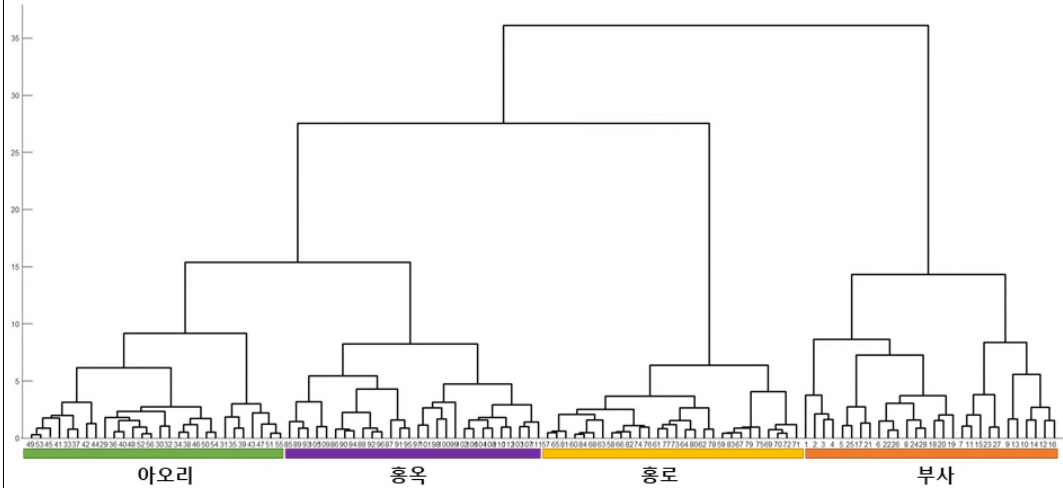


- 밀폐용기에 실제 사과를 15일 동안 쪽 측정하였고, **5day/7day**의 경계로 신선도에 따라 잘 구분되는 결과를 확인할 수 있었음

▶ **빅데이터 기반 자체 개발 양상불 마이닝 기법 기반 분류도 및 신뢰도 검증**

실제 과일 구별(-DAY15) - 부사&아오리꽃사과&홍로&홍옥

사과(부사)	아오리꽃사과	홍로	홍옥
1-4 : 1day	29-32 : 1day	57-60 : 1day	57-60 : 1day
5-8 : 3day	33-36 : 3day	61-64 : 3day	61-64 : 3day
9-12 : 5day	37-40 : 5day	65-68 : 5day	65-68 : 5day
13-16 : 7day	41-44 : 7day	69-72 : 7day	69-72 : 7day
17-20 : 10day	45-48 : 10day	73-76 : 10day	73-76 : 10day
21-24 : 12day	49-52 : 12day	77-80 : 12day	77-80 : 12day
25-28 : 15day	53-56 : 15day	81-84 : 15day	81-84 : 15day

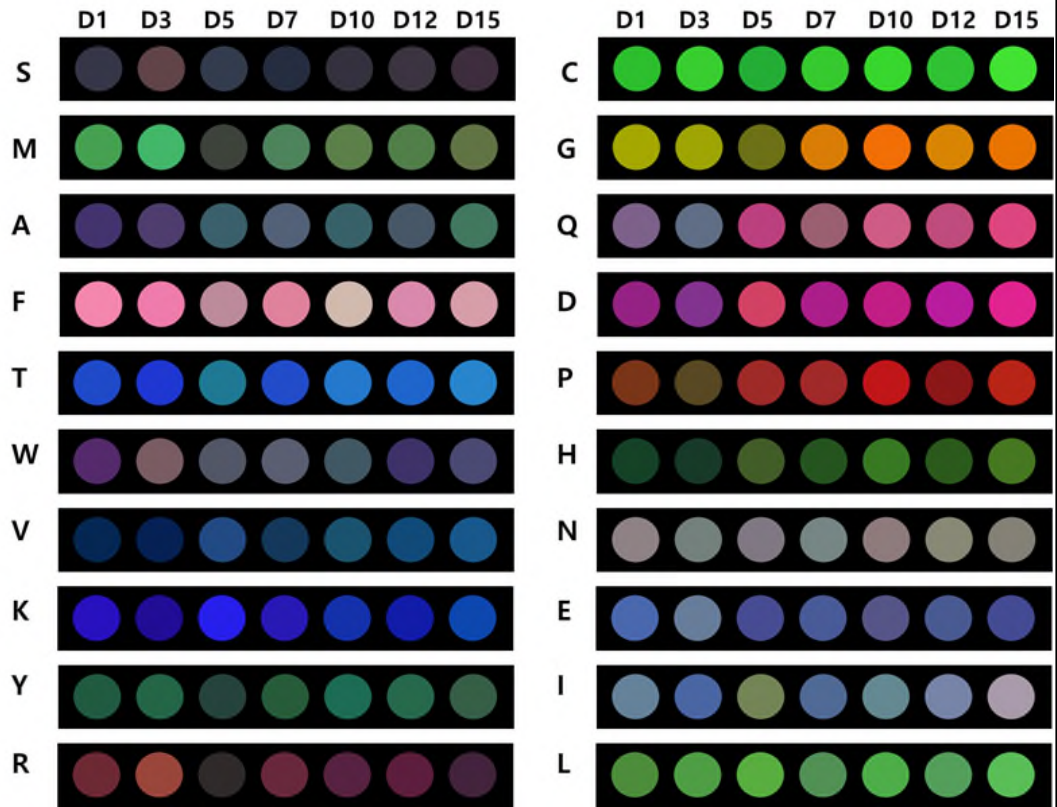


▶ 빅데이터 기반 자체 개발 양상블 마이닝 기법 기반 분류도 및 신뢰도 검증

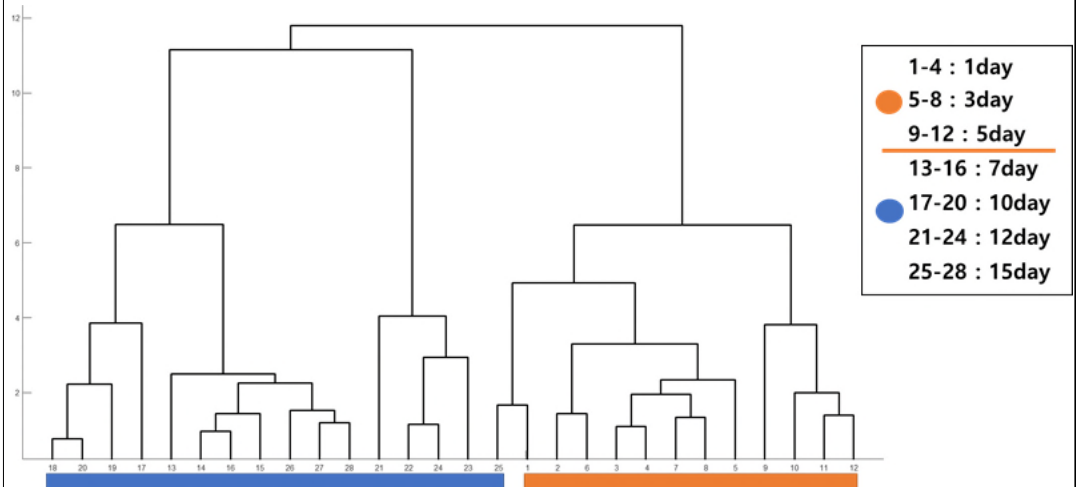
- 사과 품종별 15일 동안 똑같은 조건에서 센서로 측정된 RGB 변화값의 raw data를 기반으로 계층적 클러스터 분석(Hierarchical Cluster Analysis)법 및 양상블 마이닝을 통한 분류도 및 신뢰도를 제시함
- 향으로 사과의 신선도와 부패정도를 품종에 따라 4개의 분류로 100% 나뉘어지는 결과를 확인함
- 부패한 사과에서도 센서가 품종별로 다르게 감지하는 우수한 결과를 확인함

바나나





- 밀폐용기에 실제 바나나를 15일간 쪽 측정하였고, **20가지 아미노산 타입**의 색 변화가 각각 다르게 반응하는 것을 확인할 수 있었음



▶ **박테리아 기반 자체 개발 양상불 마이닝 기법 기반 분류도 및 신뢰도 검증**

- 밀폐용기에 실제 바나나를 15일 동안 쪽 측정하였고, **5day/7day**의 경계로 선선도에 따라 잘 구분되는 결과를 확인할 수 있었음

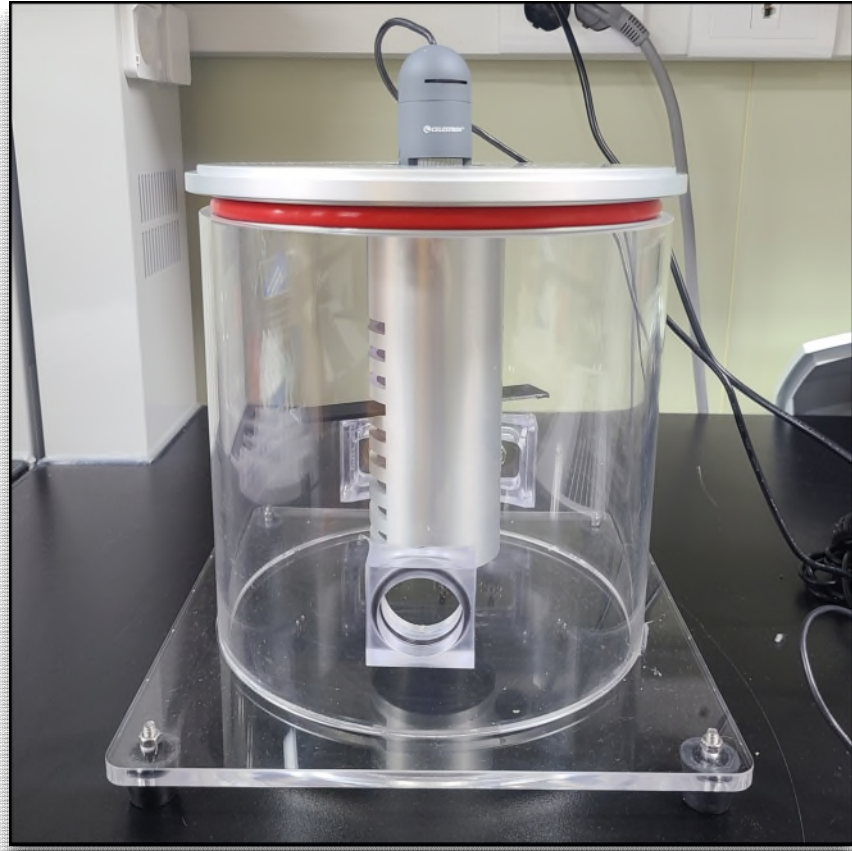
❖ **과일 신선도 측정용 장비 개발**

- ▶ 경매시장에서 사용할 수 있는 휴대용 과일 신선도 측정용 장비를 개발함
- ▶ 얻어진 데이터에서 등급 또는 점수화를 나타낼 수 있는 소프트웨어 프로그램 개발과 도매시장의 환경에 맞는 신속하고 휴대가 쉬운 하드웨어 기기 제작
- ▶ 과일박스에 꽂아서 고정할 수 있는 형태로 제작함
- ▶ 실제 도매시장에서 경매사가 구동하기 쉽고, 소비자들이 과일의 상태를 명확

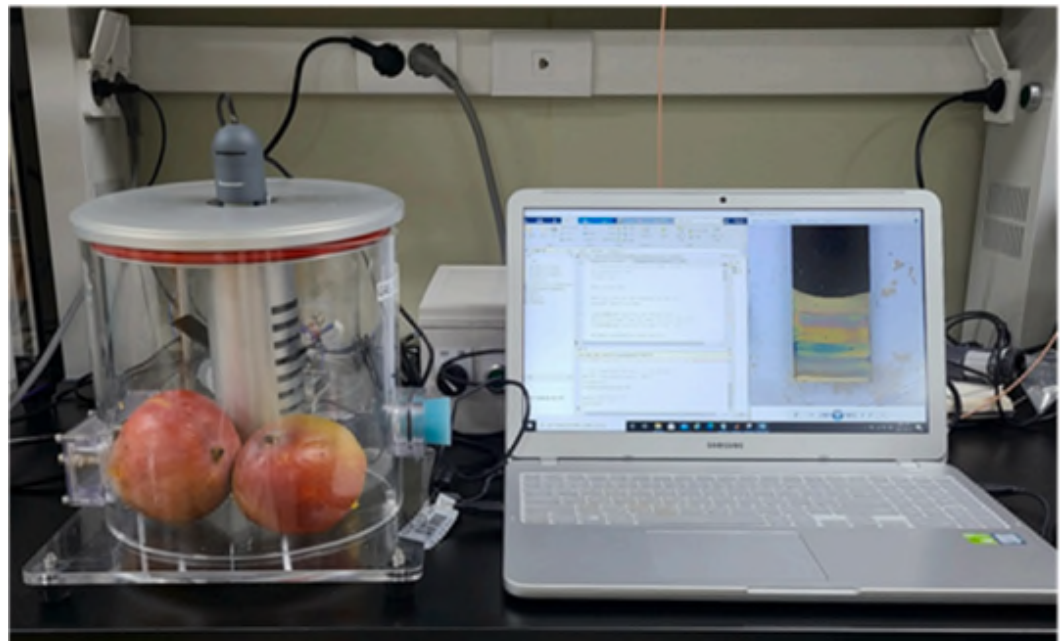
히 판단할 수 있도록 구축함

- ▶ 과일 신선도 전자코에 외부 가스가 반응할 수 있도록 구멍을 뚫고, 가스를 흡입할 수 있게 장비 내부에 Fan을 설치함

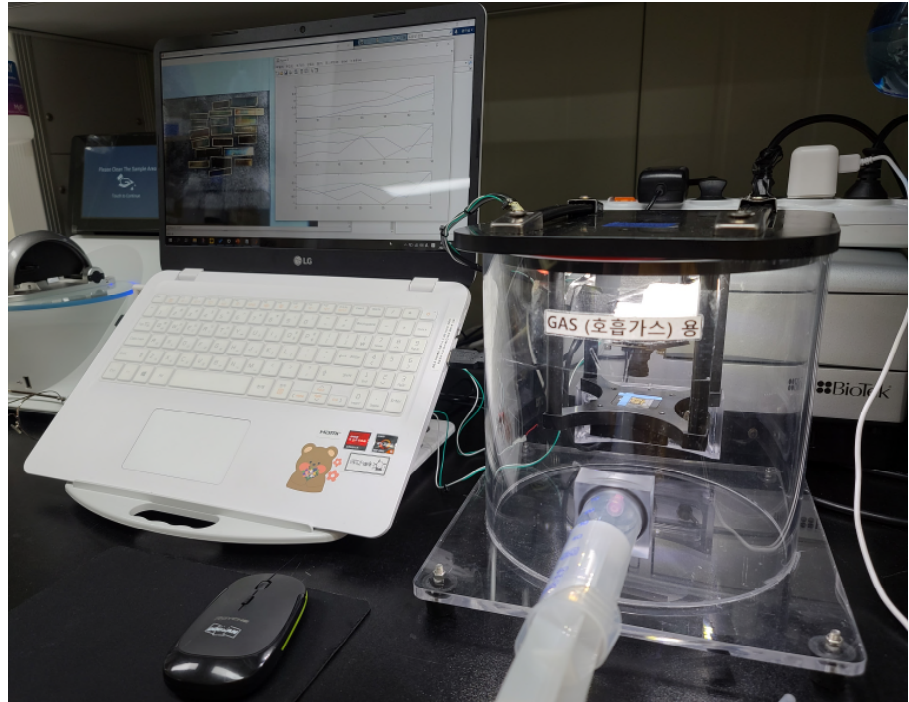
❖ 시작품 1



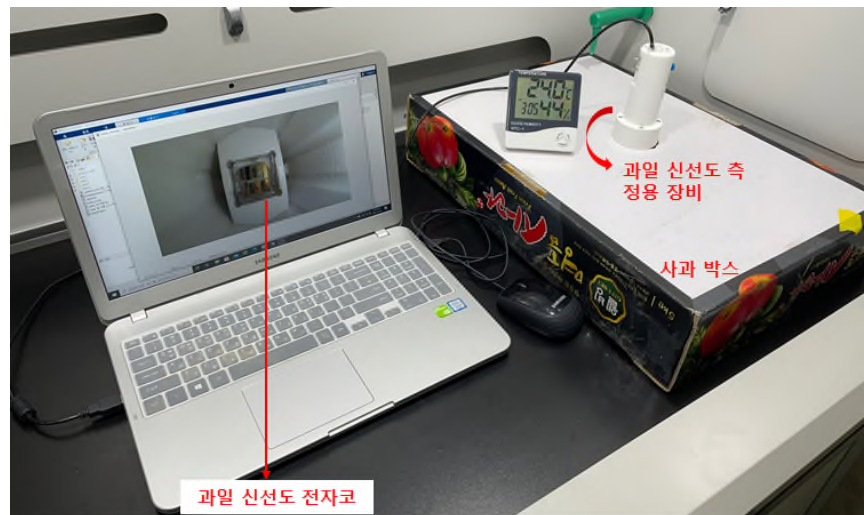
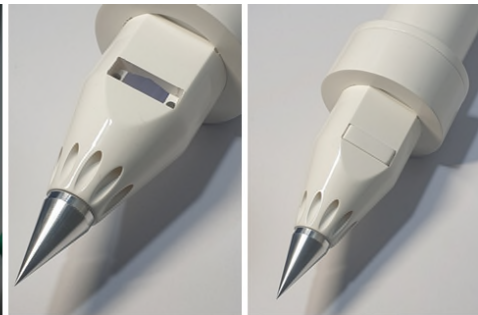
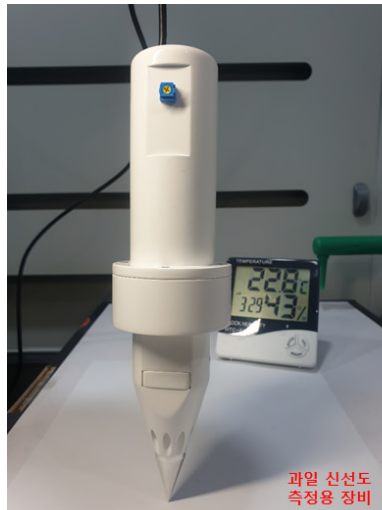
↓ - CCD 카메라를 사용한 기체 가스 측정용 시작품 1



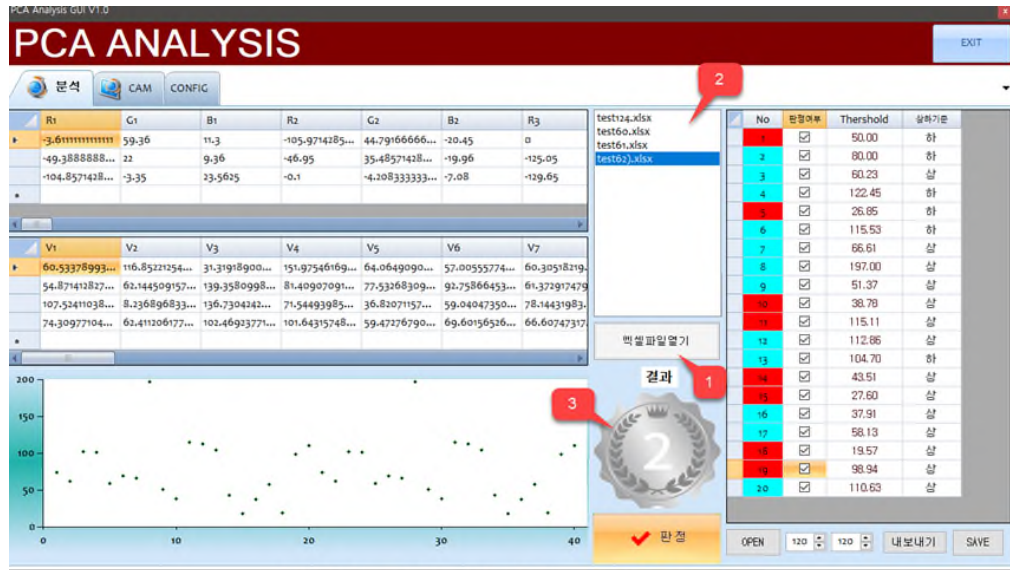
❖ 시작품 2



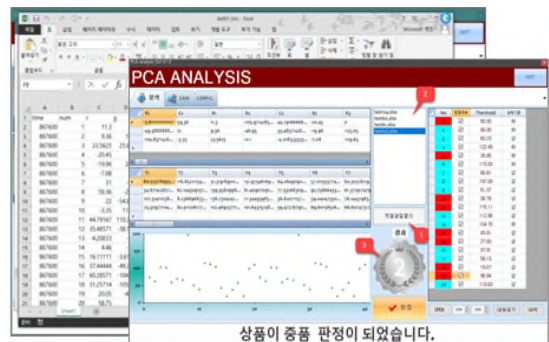
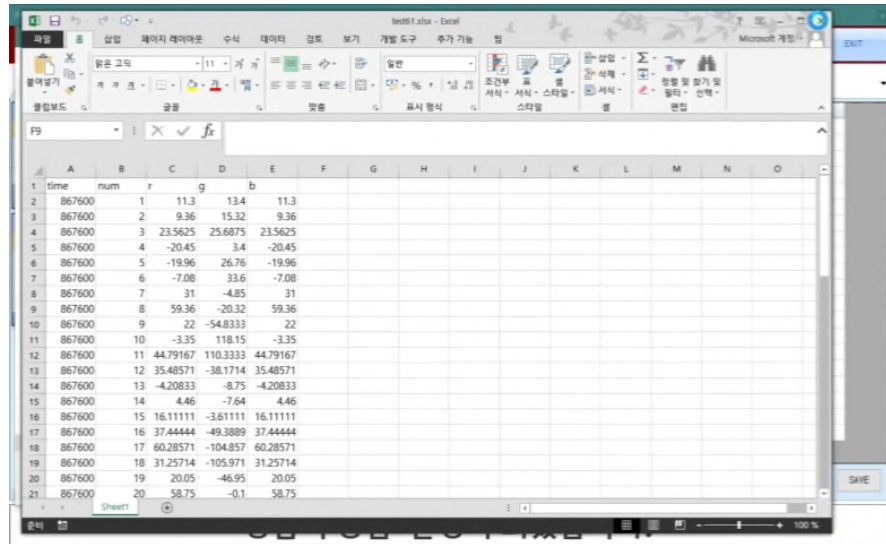
❖ 시작품 3



❖ 파일 신선도 측정용 소프트웨어 개발



상품이 중품 판정이 되었습니다.



상품이 중품 판정이 되었습니다.



실제 과일을 측정한 데이터를 기반으로 소프트웨어에 **과일의 품종 및 신선도 정도**를 포함한 raw data를 축적하여 실시간으로 과일의 신선도 등급을 판정할 수 있는 **과일 신선도 측정용 소프트웨어** 개발 및 와이파이를 이용해 등급 결과 송신이 가능한 **무선 통신 디바이스**를 개발함

- 실제 과일을 측정한 데이터들을 기반으로 소프트웨어에 과일의 품종 및 신선도 정도를 포함한 raw data를 축적하여 실시간으로 과일의 신선도 등급을 판정할 수 있는 **과일 신선도 측정용 소프트웨어**를 개발함
- 과일 상자에 적용하였을 때, 과일의 향 측정을 통해 **과일(사과, 복숭아, 마나나) 구별이 가능**하고 신선도의 결과를 더해 **등급(상품, 중품, 하품)**으로 나타내도록 소프트웨어를 개발함

❖ 시작품 4 (Ver. 5)

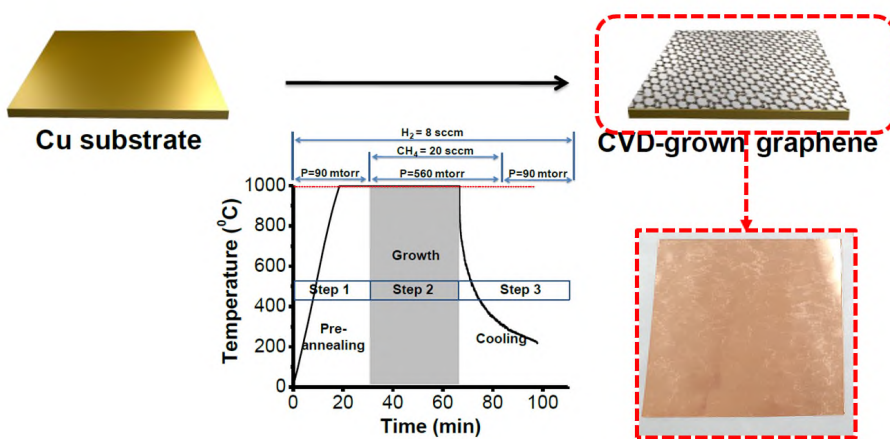
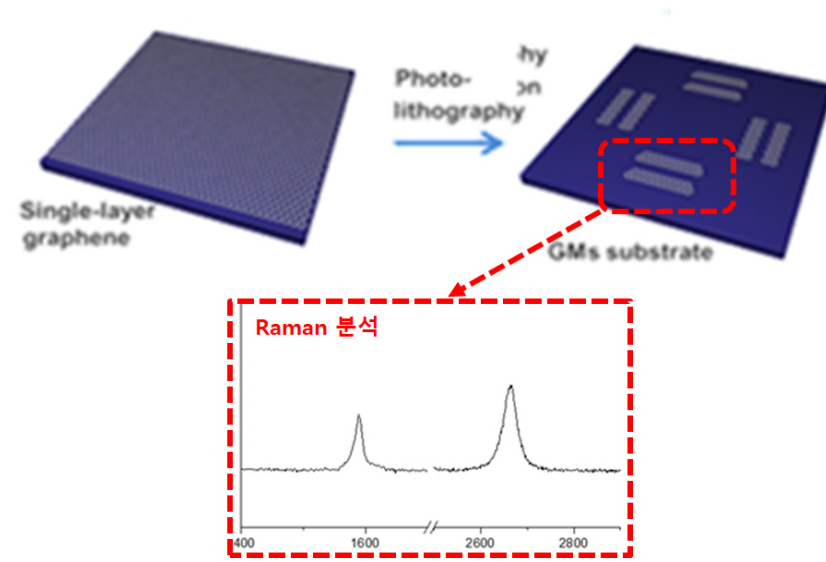
- 가스 흡입을 위한 속도 조절
- 스탠드형, 고정형으로 다양한 형태로 휴대 용이



- 실제 과일 박스에(복숭아-황도) 과일 신선도 측정용 장비를 장착하여 실제 경매시장에서 사용할 수 있도록 Test를 진행함

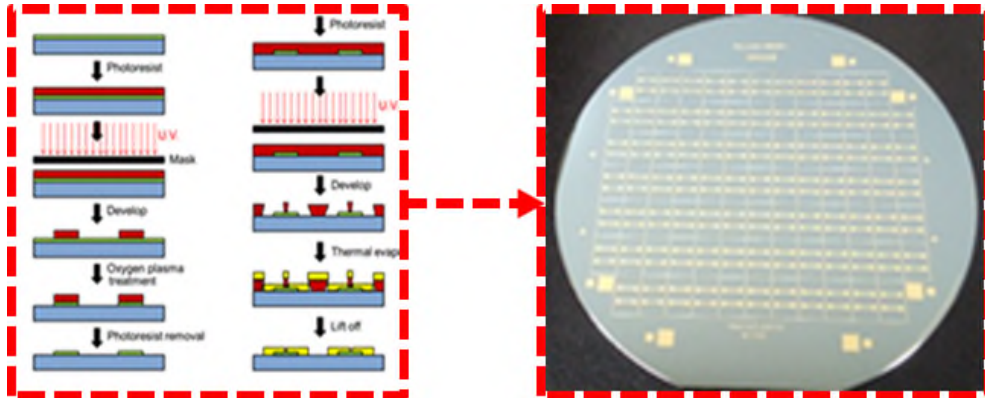
■ 위탁연구기관

- 대면적 2D 나노소재 (그래핀) 표면의 인터페이싱 화합물의 결합을 통해 과일향 리셉터를 고정화하여 전계 감응 효과 어레이 기판을 제작하였으며 이를 활용하여 현장형 실시간 과일향 다중 검출용 센서 시작품을 개발 완료함.

연구개발기관	주요 연구 내용
위탁연구	연구개발 수행내용 및 연구 결과
	<p>▶ 1차년도 (2018)</p> <p>1. 2D 나노소재(그래핀)의 대면적 제조 기술 개발</p> <p>▶ 기상증착법을 활용한 얇은 필름 상 웨이퍼 사이즈의 그래핀 제조</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p>2. 대면적 2D 나노소재 마이크로 패터닝 기술 개발</p> <p>▶ MEMS 공정을 통한 대면적 그래핀의 마이크로 패터닝</p> <div style="text-align: center;">  </div>

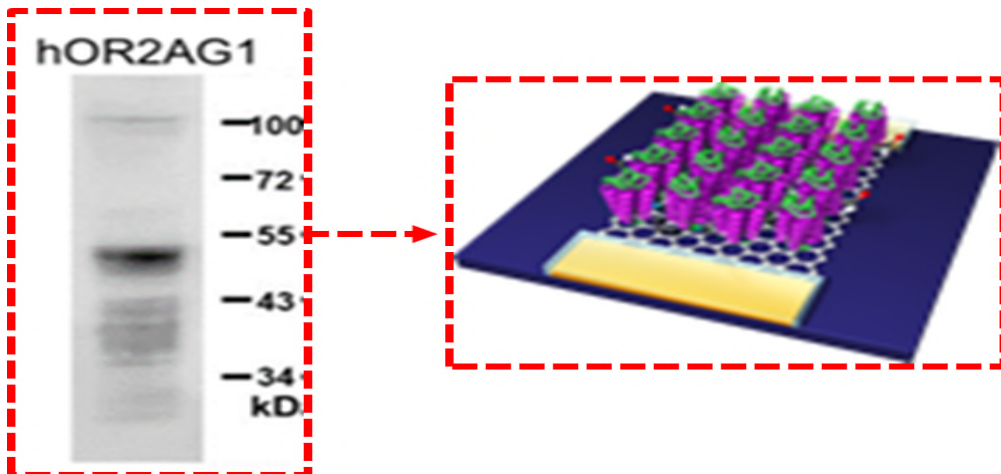
3. 대면적 2D 나노소재 기반 트랜지스터 제조 기술 개발

▶ MEMS 공정을 통한 마이크로 패터닝 그래핀 기반의 트랜지스터 제조



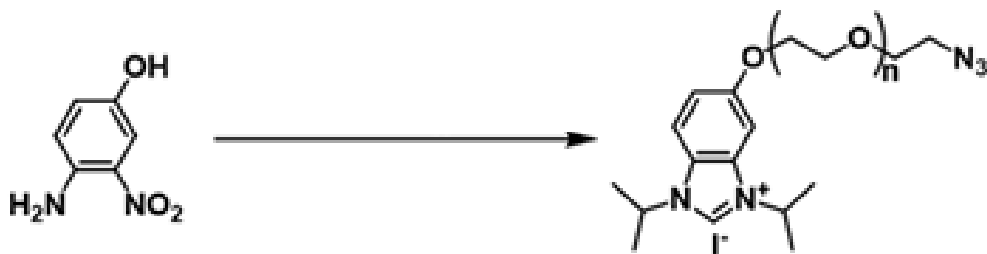
4. 리셉터(OR2AG1) 유전자 확보 및 제조 핵심 기술 개발

▶ 대장균 기반의 리셉터 발현 핵심 기술 개발, 리셉터 제조 및 트랜지스터에 리셉터 부착



5. 신규 인터페이싱 화합물 합성 1종 혹은 기 개발된 carbene 화합물 기능화 1종

▶ 기 개발된 인터페이싱 carbene 화합물의 합성을 통한 기능화



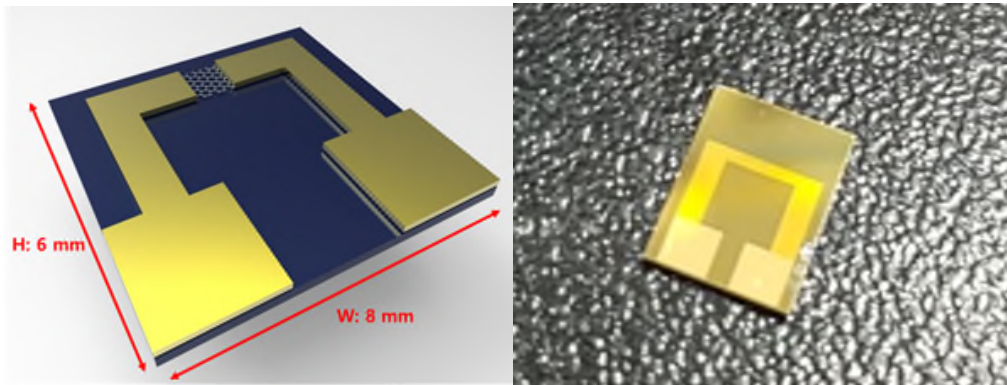
▶ 2차년도 (2020)

1. 소형화 트랜지스터 소자 제조 기술 개발

▶ 소형화 소자 개발 및 성능 검증

- 사이즈 10*10mm 이하 소형 소자 제조 기술 개발을 통한 소형화 휴대용 센서

제작을 위한 가능성 확인 및 소형화 소자의 안정적인 센서 구동 테스트를 완료함.



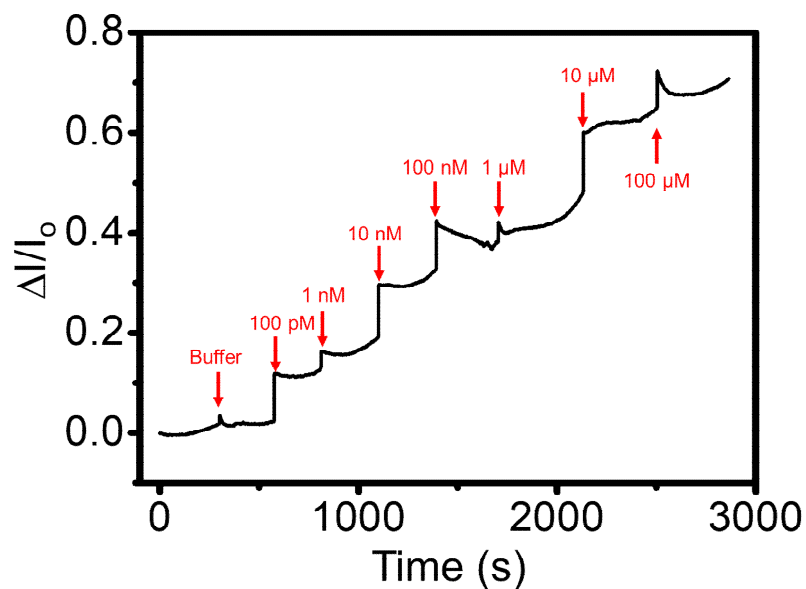
[그림] 소형화 트랜지스터 소자

2. 리셉터(hOR2AG1) 개발

- ▶ 리셉터(hOR2AG1) 유전자 확보 및 제조 핵심 기술 개발
 - Amyl butyrate 검출용 리셉터 개발

3. 리셉터 기반의 센서 작동 검증

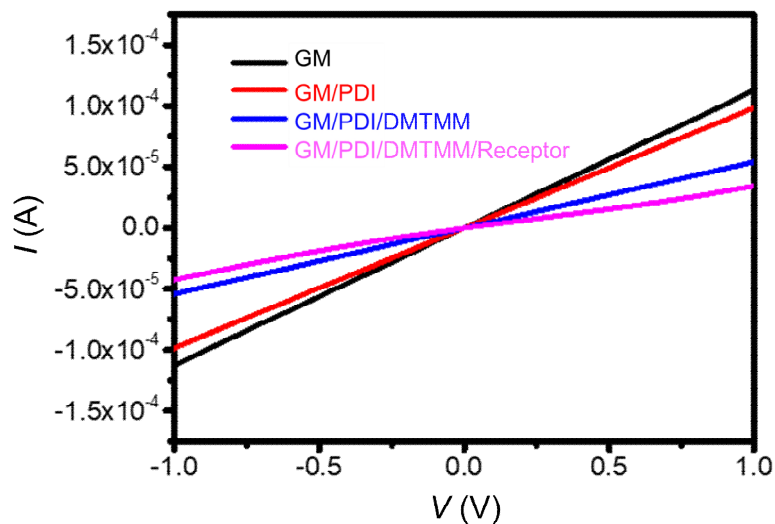
- ▶ 실험실 내 hOR2AG1 리셉터 결합된 어레이 센서 작동 테스트
 - Amyl butyrate 검출 한계: < 100pM



[그림] 리셉터 기반의 어레이 센서 Amyl butyrate 검출 결과

4. 트랜지스터 소자 표면 고정화 최적화 기술 개발

- ▶ 트랜지스터 소자 표면 고정화 최적화 기술 개발
 - 2D 나노 구조체 센서 채널에 인터페이싱 화합물을 부착하고 커플링 시약을 통하여 리셉터를 고정화하였으며 리셉터 고정화 전 후의 전압대비 전류변화를 통해 이를 확인함.

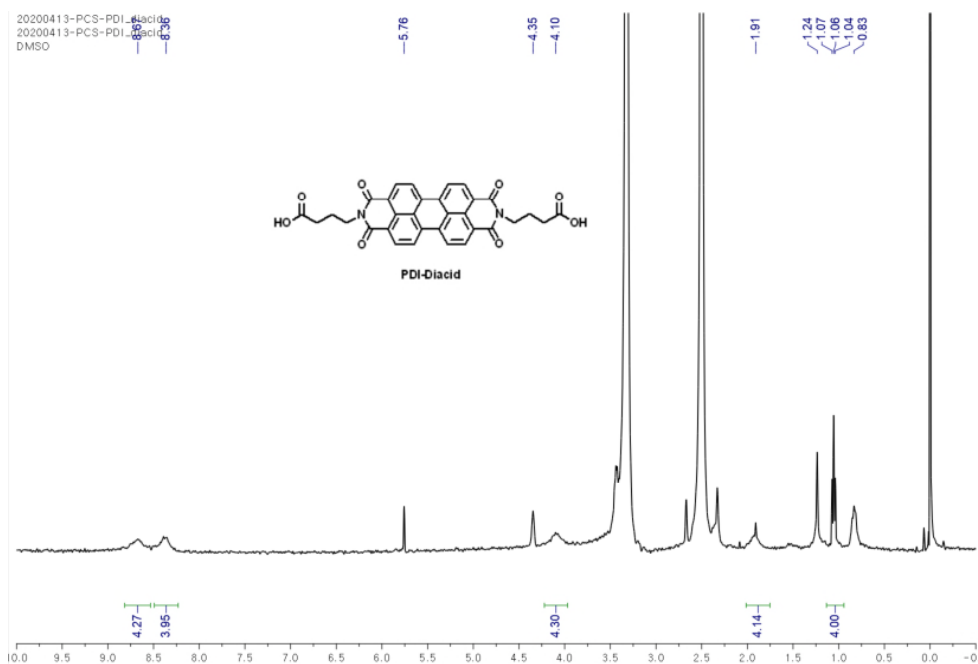


[그림] 트랜지스터 소자 표면 리셉터 고정화 전후 I - V curve 변화

5. 신규 인터페이싱 화합물 1종 합성 및 최적화된 DFT 시뮬레이션 확보

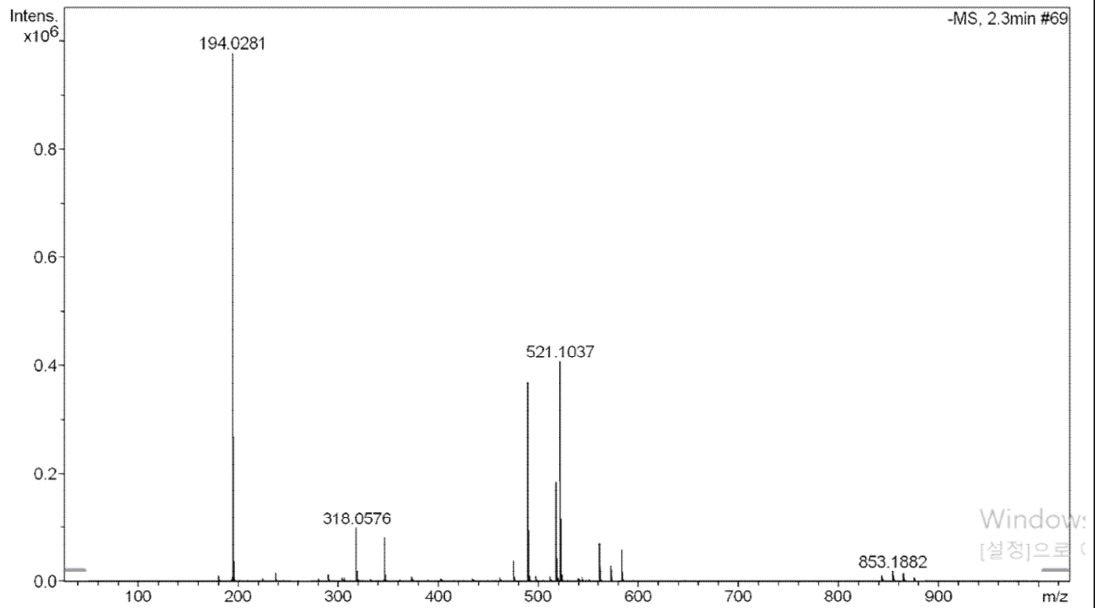
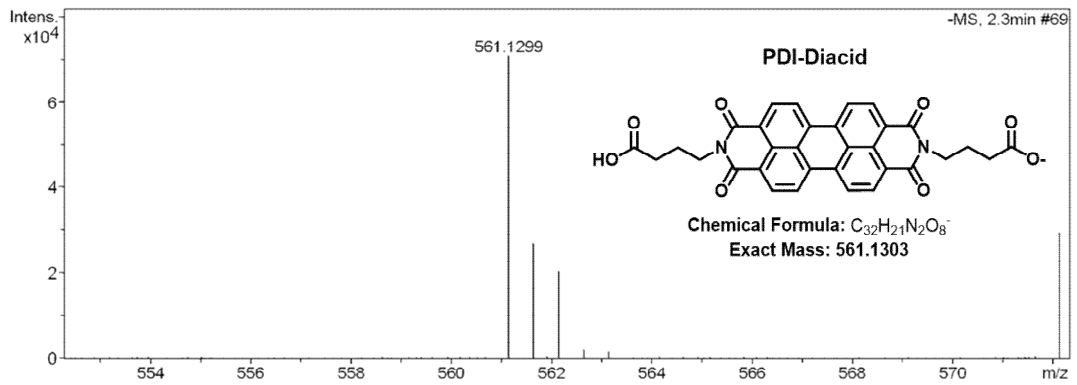
▶ 신규 인터페이싱 화합물 (PDI) 1종 합성

- PDI 화합물 NMR 데이터: ^1H NMR (400MHz, DMSO- d_6 , 20 °C): δ 8.69 (broad s, 4H), 8.36 (broad s, 4H), 1.91 (broad m, 1H), 1.07 (t, 4H, $J = 7.0$ Hz) ppm.



[그림] PDI NMR 데이터

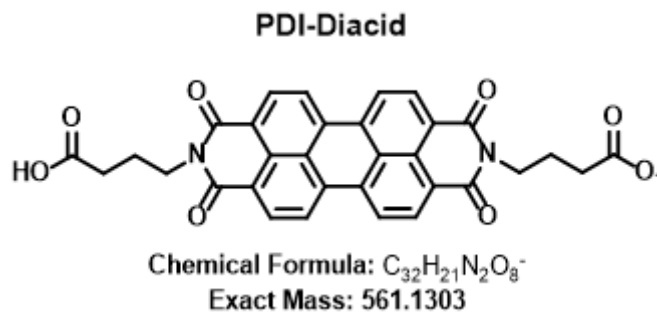
- PDI 화합물 Mass 데이터: ESI-Mass (m/z): Calcd. for $[\text{M}]^-$ 561.1303, found 561.1299.



[그림] PDI MASS 데이터

▶ PDI 화합물의 최적화된 DFT 시뮬레이션 데이터 확보

- PDI 구조 및 DFT 시뮬레이션 데이터: 새롭게 개발된 PDI 화합물은 기존에 많이 사용되고 있는 Diaminonaphthalene(DAN) 화합물보다 벤젠 구조가 두 개가 더 추가되어 있는 구조로 DAN 화합물보다 그래핀 표면에 강한 π - π 상호작용을 할 것이라 예상하고 이를 DFT 계산 시뮬레이션 결과를 얻을 수 있음.

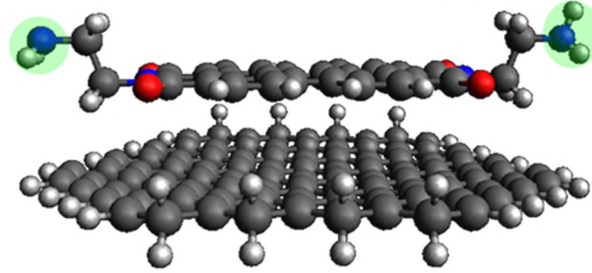


[그림] PDI-Diacid 구조

- 새롭게 개발된 PDI

Interaction Energy: -5276.89

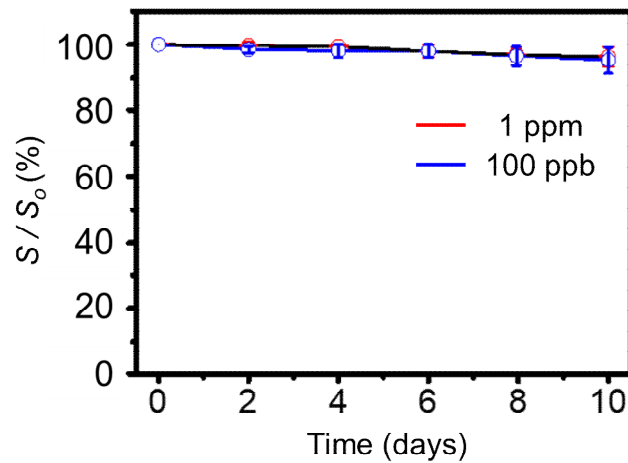
ΔE : -0.00532



[그림] PDI-Diacid DFT 시뮬레이션 데이터

▶ 3차년도 (2021)

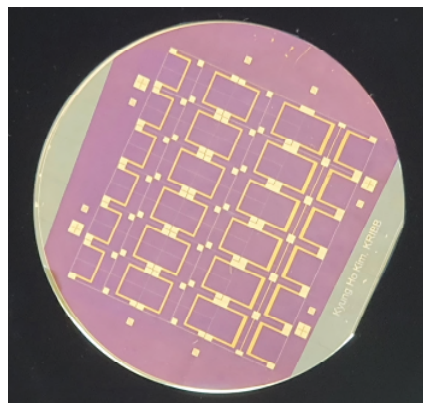
a) 표면 개질화된 트랜지스터 기상 안정성 테스트



[그림] 트랜지스터 자별 기상 안정성 테스트

- 표면 개질화된 그래핀 트랜지스터의 시간별 기상 환경에서의 분석 물질 농도에 따른 센서 민감도 변화를 확인하였으며, 0일에서 10일까지 측정된 결과 성능의 95%까지 유지되는 결과를 얻을 수 있음.

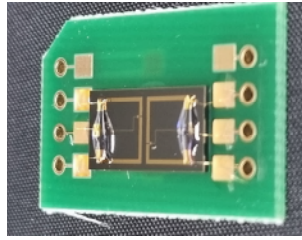
b) 다중 채널 도입을 통한 기상 검출용 어레이 센서 개발



[그림] 다중 검출용 어레이 소자 개발

- 동시 다중 과일향 검출을 위한 다중 채널이 도입된 어레이 소자 개발하였으며, 향후, 다중 검출용 센서 플랫폼에 적용 가능함.

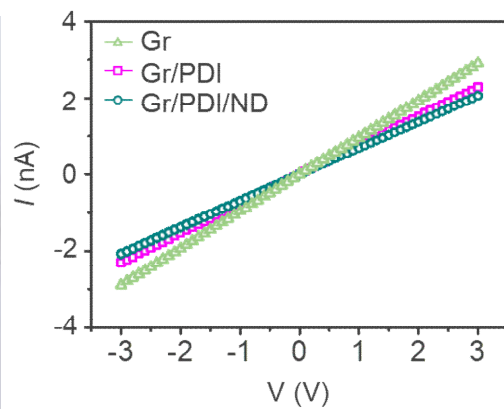
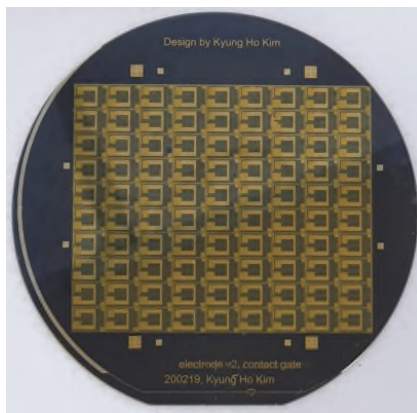
c) 휴대가 용이한 소형 전기적 어레이 플랫폼 개발



[그림] 휴대용 USIM 소자 개발

- 휴대가 용이한 소형화 USIM 센서 소자를 개발하였으며, 이를 활용한 측정을 진행할 예정이다.

d) 소형화 소자 대량 제작 및 특성 평가/분석



[그림] 대면적 소형화 소자 제작 (좌) 및 I-V curve (우)

- 소형화 소자 제작 결과 (좌) 및 소자별 전기적 특성 분석 (우, I-V curve) 결과 대면적의 안정적인 소자의 개발이 완료됨.

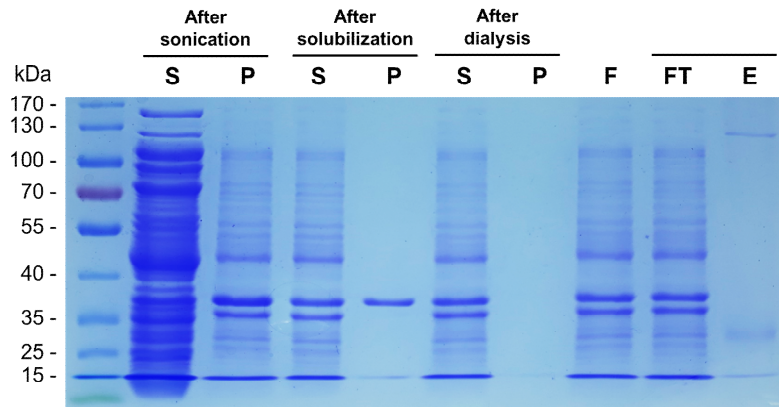
e) 과일향 기상 검출 플랫폼 구조 설계 및 시작품 개발



[그림] 휴대용 가스 센서 플랫폼

- 6 cm x 6 cm 의 소형 휴대용 가스 센서 플랫폼 개발 완료함.

f) 과일향 바이오 리셉터(OR4E2) 유전자 확보 및 제조 핵심 기술 최적화



[그림] hOR4E2 SDS-PAGE gel 결과

- 선택적 리셉터 (OR4E2) 발현 및 수용체 대량 생산 기술 확보를 통해 높은 정제도의 리셉터 개발을 완료함

g) 현장형 과일향 검출 센서 시제품 작동 및 구동 안정성 테스트



[그림] 현장형 과일향 검출 결과

- 소형 휴대용 가스 센서 플랫폼 개발을 통해 현장형 과일향 검출을 진행하였으며, 정상적인 작동을 확인하였음.

(2) 정량적 연구개발성과(해당 시 작성하며, 연구개발과제의 특성에 따라 수정이 가능합니다)

< 정량적 연구개발성과표 >

(단위 : 건, 천원)

성과지표명	연도	1단계 (YYYY~YYYY)	n단계 (YYYY~YYYY)	계	가중치 (%)
전담기관 등록·기탁 지표 ¹⁾	평균Impact Factor(IF)	목표(단계별) 5			20
		실적(누적) 9			20
보고서원문	목표(단계별)	1			5
	실적(누적)	1			5
연구개발과제 특성 반영 지표 ²⁾	기술실시(이전)	목표(단계별) 1			10
		실적(누적) 3			10
기술료	목표(단계별)	30			10
	실적(누적)	30			10
사업화(매출액)	목표(단계별)	0			10
	실적(누적)	10.000			10
기술(제품)인증	목표(단계별)	1			10
	실적(누적)	1			10
시제품 제작 및 인증	목표(단계별)	1			10
	실적(누적)	2			10
인력양성	목표(단계별)	3			10
	실적(누적)	3			10
화합물	목표(단계별)	1			15
	실적(누적)	2			15
계	목표(단계별)				100
	실적(누적)				100

- * 1」 전담기관 등록·기탁 지표: 논문[에스시아이 Expanded(SCIE), 비SCIE, 평균Impact Factor(IF)], 특허, 보고서원문, 연구시설·장비, 기술요약정보, 저작권(소프트웨어, 서적 등), 생명자원(생명정보, 생물자원), 표준화(국내, 국제), 화합물, 신제품 등을 말하며, 논문, 학술발표, 특허의 경우 목표 대비 실적은 기재하지 않아도 됩니다.
- * 2」 연구개발과제 특성 반영 지표: 기술실시(이전), 기술료, 사업화(투자실적, 제품화, 매출액, 수출액, 고용창출, 고용효과, 투자유치), 비용 절감, 기술(제품)인증, 시제품 제작 및 인증, 신기술지정, 무역수지개선, 경제적 파급효과, 산업지원(기술지도), 교육지도, 인력양성(전문 연구인력, 산업연구인력, 졸업자수, 취업, 연수프로그램 등), 법령 반영, 정책활용, 설계 기준 반영, 타 연구개발사업에의 활용, 기술무역, 홍보(전시), 국제화 협력, 포상 및 수상, 기타 연구개발 활용 중 선택하여 기재합니다 (연구개발과제 특성별로 고유한 성과지표를 추가할 수 있습니다).

< 연구개발성과 성능지표(예시) >

평가 항목 (주요성능 ¹⁾)	단위	전체 항목에서 차지하는 비중 ²⁾ (%)	세계 최고		연구개발 전 국내 성능수준	연구개발 목표치		목표설정 근거
			보유국/보유기관	성능수준	성능수준	1단계 (YYYY~YYYY)	n단계 (YYYY~YYYY)	
1								
2								

- * 1」 정밀도, 인장강도, 내충격성, 작동전압, 응답시간 등 기술적 성능판단기준이 되는 것을 의미합니다.
- * 2」 비중은 각 구성성능 사양의 최종목표에 대한 상대적 중요도를 말하며 합계는 100%이어야 합니다.

(3) 세부 정량적 연구개발성과(해당되는 항목만 선택하여 작성하되, 증빙자료를 별도 첨부해야 합니다)
[과학적 성과]

논문(국내외 전문 학술지) 게재

번호	논문명	학술지명	주저자명	호	국명	발행기관	SCIE 여부 (SCIE/비SCIE)	게재일	등록번호 (ISSN)	기여율
1	Ultrasensitive, Selective, and Highly Stable Bioelectronic Nose That Detects the Liquid and Gaseous Cadaverine	Analytical chemistry	Jungkyun Oh	19(0)	United States	ACS Publications	SCI	2019.10.01	0003-2700	20
2	Cytochrome C-decorated graphene field-effect transistor for highly sensitive hydrogen peroxide detection	Journal of industrial and engineering chemistry : JIEC	Kyung Ho Kim	83(0)	Netherlands	Elsevier	SCI	2020.03.25	1226-086X	45
3	Zero reduction luminescence of aqueous-phase alloy core/shell quantum dots via rapid ambient-condition ligand exchange	Journal of Colloid and Interface Science	Thanh-Hai Le	564(0)	Netherlands	Elsevier	SCI	2020.03.22	0021-9797	50
4	Single-photon-driven up-/down-conversion nanohybrids for in vivo mercury detection and real-time tracking	Journal of Materials Chemistry A	Sung Eun Seo	4(8)	United Kingdom	RSC Journals	SCI	2019.12.04	2050-7488	50
5	Single photomask lithography for shape modulation of micropatterns	Journal of industrial and engineering chemistry : JIEC	Sung Eun Seo	84(0)	Netherlands	Elsevier	SCI	2020.04.25	1226-086X	75
6	Analyte Quantity Detection from Lateral Flow Assay Using a Smartphone	Sensors	Foysal Kamrul H.	19(21)	Switzerland	MDPI	SCI	2019.11.05	1424-8220	65
7	High-Performance Conducting Polymer Nanotube-based Liquid-Ion Gated Field-Effect Transistor Aptasensor for Dopamine Exocytosis	Scientific Reports	Seon Joo Park, Jiyeon Lee	10(0)	United Kingdom	Nature	SCI	2020.02.28	2045-2322	16

8	Hierarchical Cluster Analysis of Medical Chemicals Detected by a Bacteriophage-Based Colorimetric Sensor Array	Nanomaterials	김춘태	10(1)	스위스	MDPI	SCIE	2020-01-09	2079-4991	34
9	High-performance portable graphene field-effect transistor device for detecting Gram-positive and -negative bacteria	Biosensors and Bioelectronics	Kyung Ho Kim	167(0)	Netherlands	Elsevier	SCI	2020.11.01	0956-5663	25
10	Real-time Monitoring of Geosmin Based on an Aptamer-conjugated Graphene Field-effect Transistor	Biosensors and Bioelectronics	Seon Joo Park	174(0)	Netherlands	Elsevier	SCI	2021.02.15	0956-5663	12
11	Investigation of colorimetric biosensor array based on programmable surface chemistry of M13 bacteriophage towards artificial nose for volatile organic compound detection: From basic properties of the biosensor to practical application	BIOSENSORS & BIOELECTRONICS	이유진	188(0)	네덜란드	Elsevier	SCIE	2021-09-15	0956-5663	70
12	A DNA-derived phage nose using machine learning and artificial neural processing for diagnosing lung cancer	BIOSENSORS & BIOELECTRONICS	이종민	194(0)	네덜란드	Elsevier	SCIE	2021-12-15	0956-5663	15
13	Programmable self-assembly of M13 bacteriophage for micro-color pattern with a tunable colorization	RSC Advances	Thanh Mien Nguyen	11(51)	영국	Royal Society of Chemistry	SCIE	2021-09-30	2046-2069	100

□ 국내 및 국제 학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표자	발표 일시	장소	국명
1	한국고분자학회 2019년도 춘계 정기총회 및 학술대회	김춘태	2019-04-11	부산컨벤션센터(BEXCO)	대한민국
2	한국고분자학회 2019년도 춘계 정기총회 및 학술대회	김원근	2019-04-11	부산컨벤션센터(BEXCO)	대한민국
3	한국고분자학회 2019년도 춘계 정기총회 및 학술대회	한지예	2019-04-12	부산컨벤션센터(BEXCO)	대한민국
4	2019 한국세라믹학회 춘계학술대회 및 총회	오진우	2019-04-11	제주라마다프라자호텔	대한민국
5	한국공업화학회	김다혜	2019.05.01	부산 백스코	대한민국
6	한국공업화학회	이지연	2019.05.01	부산 백스코	대한민국
7	한국고분자학회	김진영, 변승아	2019.04.10	부산 백스코	대한민국
8	2019 multifunctional hybrid and nanomaterials	이지연	2019.03.11	Melisa Sitges Hotel Congress Centre	스페인

9	한국진공학회	서성은	2019.02.18	홍천 대명비발디파크	대한민국
10	한국고분자학회 추계 학술대회	이유진	2019-10-11	제주국제컨벤션센터	대한민국
11	제26회 광전자 및 광통신 학술회의	이종민	2019-06-03	부산 해운대 한화리조트	대한민국
12	한국진공학회	서성은	2020.02.10	하이원리조트	대한민국
13	한국바이오칩학회	김진영	2019.11.14	제주 신화월드	대한민국
14	2020 NCC	이주호, 박철순	2020.01.17	엘리시안 강촌	대한민국
15	한국생물공학회	이지연	2020.10.22	라마다 서울	대한민국
16	한국생물공학회	박선주	2020.10.22	라마다 서울	대한민국
17	한국생물공학회	서성은, 권오석	2021.04.15	라마다 제주	대한민국
18	한국진공학회	박선주	2021.02.05	온라인	대한민국
19	한국진공학회	서성은	2021.02.05	온라인	대한민국
20	한국공업화학회	안재은	2021.05.13	부산 백스코	대한민국
21	2021 NCC	안재은, 권오석	2021.01.19	온라인	대한민국
22	2021 NCC	서성은, 권오석	2021.01.19	온라인	대한민국

□ 기술 요약 정보

연도	기술명	요약 내용	기술 완성도	등록 번호	활용 여부	미활용사유	연구개발기관 외 활용여부	허용방식

□ 보고서 원문

연도	보고서 구분	발간일	등록 번호

□ 생명자원(생물자원, 생명정보)/화합물

번호	생명자원(생물자원, 생명정보)/화합물 명	등록/기탁 번호	등록/기탁 기관	발생 연도

[기술적 성과]

□ 지식재산권(특허, 실용신안, 의장, 디자인, 상표, 규격, 신품종, 프로그램)

번호	지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재)	국명	출원				등록			기여율	활용 여부
			출원인	출원일	출원 번호	등록 번호	등록인	등록일	등록 번호		
1	카다베린 후각 수용체를 포함하는 그래핀 필름 및 이를 포함하는 센서	대한민국	한국생명 공학연구 원	2019.12 .26	10-2019 -017563 6		한국생명 공학연구 원	2021.10. 06	10-2312 299-000 0	10	✓
2	TRPA1을 포함하는 나노베지클을 포함하는 그래핀 채널 부재, 및 바이오 센서	대한민국	한국생명 공학연구 원	2020.03 .23	10-2020 -003522 4					10	
3	TRPV1 수용체 및 링커를 포함하는 그래핀 필름, 이를 포함하는 그래핀 트랜지스터 및 바이오 센서	대한민국	한국생명 공학연구 원	2019.10 .31	10-2019 -013769 6					10	✓
4	냄새 시각화 장치 및 방법	대한민국	한국생명 공학연구 원	2019.11 .15	10-2019 -014707 2					10	✓
5	화합물, 그래핀 채널 부재 및 이를 포함하는 센서	대한민국	한국생명 공학연구 원	2019.12 .26	10-2019 -017563 7					10	✓
6	γ-핵사라톤을 검출하기 위한 색센서	대한민국	부산대학 교 산학협력 단	2020-08 -11	10-2020 -010034 0					100	✓
7	2-이소프로필-4-메틸 티아졸을 검출하기 위한 색 센서	대한민국	부산대학 교 산학협력 단	2020-08 -11	10-2020 -010032 6					100	

8	발색 화합물, 발색 화합물을 포함하는 하이드로젤 및 발색 화합물을 포함하는 나노 섬유막	대한민국	한국생명공학연구원	2020.12.31	10-2020-0189829						10
9	그래핀 채널 부재, 이를 포함하는 그래핀 트랜지스터, 및 이를 포함하는 센서	대한민국	한국생명공학연구원	2021.04.22	10-2021-0052544						10
10	금속 나노입자 복합체, 이를 포함하는 항미생물제, 및 미생물의 사멸 방법	대한민국	한국생명공학연구원	2021.05.07	10-2021-0059269						10
11	식중독 유발균의 배양에 의해 유발되는 VOC 색 센서, 이를 포함하는 변색 키트 및 이를 이용한 센싱 방법	대한민국	부산대학교 산학협력단	2021-06-30	10-2021-0085281						50
12	과일 선별용 색 센서, 과일 선별용 변색 키트 및 이를 이용한 과일 선별 방법	대한민국	부산대학교 산학협력단	2021-06-30	10-2021-0085314						50

○ 지식재산권 활용 유형

※ 활용의 경우 현재 활용 유형에 √ 표시, 미활용의 경우 향후 활용 예정 유형에 √ 표시합니다(최대 3개 중복선택 가능).

번호	제품화	방어	전용실시	통상실시	무상실시	매매/양도	상호실시	담보대출	투자	기타
1										√
2										√
3										√
4										√
5										√
6										√
7										
8										√
9										√
10										√
11										√
12	√									√
13	√									√

□ 저작권(소프트웨어, 서적 등)

번호	저작권명	창작일	저작자명	등록일	등록 번호	저작권자명	기여율

□ 신기술 지정

번호	명칭	출원일	고시일	보호 기간	지정 번호

□ 기술 및 제품 인증

번호	인증 분야	인증 기관	인증 내용		인증 획득일	국가명
			인증명	인증 번호		
	기타	소마알앤디 주식회사	기술 인증	-	2021.06.15	대한민국

210mm×297mm[(백상지(80g/m²) 또는 중질지(80g/m²)]

표준화

○ 국내표준

번호	인증구분 ¹⁾	인증여부 ²⁾	표준명	표준인증기구명	제안주체	표준종류 ³⁾	제안/인증일자

- * 1) 한국산업규격(KS) 표준, 단체규격 등에서 해당하는 사항을 기재합니다.
- * 2) 제안 또는 인증 중 해당하는 사항을 기재합니다.
- * 3) 신규 또는 개정 중 해당하는 사항을 기재합니다.

○ 국제표준

번호	표준화단계구분 ¹⁾	표준명	표준기구명 ²⁾	표준분과명	의장단 활동여부	표준특허 추진여부	표준개발 방식 ³⁾	제안자	표준화 번호	제안일자

- * 1) 국제표준 단계 중 신규 작업항목 제안(NP), 국제표준초안(WD), 위원회안(CD), 국제표준안(DIS), 최종국제표준안(FDIS), 국제표준(IS) 중 해당하는 사항을 기재합니다.
- * 2) 국제표준화기구(ISO), 국제전기기술위원회(IEC), 공동기술위원회1(JTC1) 중 해당하는 사항을 기재합니다.
- * 3) 국제표준(IS), 기술시방서(TS), 기술보고서(TR), 공개활용규격(PAS), 기타 중 해당하는 사항을 기재합니다.

[경제적 성과]

시제품 제작

번호	시제품명	출시/제작일	제작 업체명	설치 장소	이용 분야	사업화 소요 기간	인증기관 (해당 시)	인증일 (해당 시)
1	JAFE-2 (꼬깔형)	~22년	(주)젠라이프	본사	가스센서	1년		
2	JAFE-2 (디스플레이형)	~22년	(주)젠라이프	본사	가스센서	1년		

기술 실시(이전)

번호	기술 이전 유형	기술 실시 계약명	기술 실시 대상 기관	기술 실시 발생일	기술료 (해당 연도 발생액)	누적 징수 현황
1	특허출원	냄새 시각화 장치 및 방법	한국생명공학 연구원	2019.11.15	12,000,000	12,000,000
2	특허출원	바이오센서 제조 기술	한국생명공학 연구원	2019.12.02	100,000,000	100,000,000
3	특허출원	바이오나노 후각 센서 제조 기술	한국생명공학 연구원	2020.10.15	13,000,000	13,000,000

- * 내부 자금, 신용 대출, 담보 대출, 투자 유치, 기타 등

사업화 투자실적

번호	추가 연구개발 투자	설비 투자	기타 투자	합계	투자 자금 성격*

사업화 현황

번호	사업화 방식 ¹⁾	사업화 형태 ²⁾	지역 ³⁾	사업화명	내용	업체명	매출액		매출 발생 연도	기술 수명
							국내 (천원)	국외 (달러)		
1	자기실시	기술보유자의 직접사업화_창업	국내	첨단생산 기술개발 (ICT융복합 시스템)	과일 박스에 JAFE-2를 장착하여 짧은 시간에 신선도를 check하여 경매사에게 품질에 대한 객관적 지표를 제공 등	주식회사 젠라이프	10,000	0	2021	단종시

- * 1) 기술이전 또는 자기실시
- * 2) 신제품 개발, 기존 제품 개선, 신공정 개발, 기존 공정 개선 등
- * 3) 국내 또는 국외

□ 매출 실적(누적)

사업화명	발생 연도	매출액		합계	산정 방법
		국내(천원)	국외(달러)		
첨단생산기술개발사업	2021	10,000		10,000	5,000 * 2건
합계		10,000		10,000	

□ 사업화 계획 및 무역 수지 개선 효과

성과					
사업화 계획	사업화 소요기간(년)				
	소요예산(천원)				
	예상 매출규모(천원)	현재까지	3년 후	5년 후	
	시장 점유율	단위(%)	현재까지	3년 후	5년 후
		국내			
	국외				
	향후 관련기술, 제품을 응용한 타 모델, 제품 개발계획				
무역 수지 개선 효과(천원)	수입대체(내수)	현재	3년 후	5년 후	
	수출				

□ 고용 창출

순번	사업화명	사업화 업체	고용창출 인원(명)		합계
			2021년	yyyy년	
1	첨단생산 기술개발 (ICT융복합시스템)	주식회사 젠라이프	1		1
합계					

□ 고용 효과

구분			고용 효과(명)
고용 효과	개발 전	연구인력	
		생산인력	
	개발 후	연구인력	
		생산인력	

비용 절감(누적)

순번	사업화명	발생연도	산정 방법	비용 절감액(천원)
합계				

경제적 파급 효과

(단위: 천원/년)

구분	사업화명	수입 대체	수출 증대	매출 증대	생산성 향상	고용 창출 (인력 양성 수)	기타
해당 연도							
기대 목표							

산업 지원(기술지도)

순번	내용	기간	참석 대상	장소	인원

기술 무역

(단위: 천원)

번호	계약 연월	계약 기술명	계약 업체명	계약업체 국가	기 징수액	총 계약액	해당 연도 징수액	향후 예정액	수출/ 수입

[사회적 성과]

법령 반영

번호	구분 (법률/시행령)	활용 구분 (제정/개정)	명 칭	해당 조항	시행일	관리 부처	제정/개정 내용

정책활용 내용

번호	구분 (제안/채택)	정책명	관련 기관 (담당 부서)	활용 연도	채택 내용

설계 기준/설명서(시방서)/지침/안내서에 반영

번호	구분 (설계 기준/설명서/지침/안내서)	활용 구분 (신규/개선)	설계 기준/설명서/ 지침/안내서 명칭	반영일	반영 내용

전문 연구 인력 양성

번호	분류	기준 연도	현황										
			학위별				성별		지역별				
			박사	석사	학사	기타	남	여	수도권	충청권	영남권	호남권	기타
1	인력 양성	2020	1	2			1	2	2		1		

산업 기술 인력 양성

번호	프로그램명	프로그램 내용	교육 기관	교육 개최 횟수	총 교육 시간	총 교육 인원

다른 국가연구개발사업에의 활용

번호	중앙행정기관명	사업명	연구개발과제명	연구책임자	연구개발비

국제화 협력성과

번호	구분 (유치/파견)	기간	국가	학위	전공	내용

홍보 실적

번호	홍보 유형	매체명	제목	홍보일
1	Internet/PC통신	전자신문	나노바이오센서 대중화 시대 열 것	2021-06-21

포상 및 수상 실적

번호	종류	포상명	포상 내용	포상 대상	포상일	포상 기관
1	수상	농식품산업을 선도하는 2020 농식품R&D 우수성과 54선	농식품산업을 선도하는 2020 농식품R&D 우수성과 54선 중 과학적 성과 우수로 선정	농식품R&D를 통해 2020년도에 창출된 우수성과	2021.10.6.	농림식품기술기획 평가원

[인프라 성과]

연구시설·장비

구축기관	연구시설/ 연구장비명	규격 (모델명)	개발여부 (○/×)	연구시설·장비 종합정보시스템* 등록여부	연구시설·장비 종합정보시스템* 등록번호	구축일자 (YY.MM.DD)	구축비용 (천원)	비고 (설치 장소)

* 「과학기술기본법 시행령」 제42조제4항제2호에 따른 연구시설·장비 종합정보시스템을 의미합니다.

[그 밖의 성과](해당 시 작성합니다)

□ 전시회 참가 실적

번호	행사명칭	주관기관	참여품목	참여기간
1	2019 대한민국 과학축제	과학기술정보통신부	바이오나노전자코	2019.04.19. - 23.
2	2019년 농산물 도매시장 워크숍	한국농수산식품유통공사	과일향 진단 센서	2019.11.18. - 19.

□ 교육 및 컨설팅 실적

번호	교육 및 컨설팅명	참석대상	내용	기간
1	농수산물 시장 현장 답사 및 경매 진행 현장 체험	부산대학교 나노과학기술대학 학부생 부산대학교	농수산물 시장 현장 답사 및 경매 진행 현장 체험	2019.12.27.
2	첨단생산기술개발사업 간담회	첨단생산기술개발사업 수행 인원, 경매사	부산대학교 연구 사례 및 실험 결과 보고, 실제 시작품 실험 시연 및 체험	2021.05.25.

(4) 계획하지 않은 성과 및 관련 분야 기여사항(해당 시 작성합니다)

성과목표 내 사업화지표

사업화-매출액 발생 (70백만원), 고용창출 (4명)

<참고 1> 연구성과 실적 증빙자료 예시

성과유형	첨부자료 예시
연구논문	논문 사본(저자, 초록, 사사표기)을 확인할 수 있는 부분 포함, 연구개발과제별 중복 첨부 불가)
지식재산권	산업재산권 등록증(또는 출원서) 사본(발명인, 발명의 명칭, 연구개발과제 출처 포함)
제품개발(시제품)	제품개발사진 등 시제품 개발 관련 증빙자료
기술이전	기술이전 계약서, 기술실시 계약서, 기술료 입금 내역서 등
사업화 (상품출시, 공정개발)	사업화된 제품사진, 매출액 증빙서류(세금계산서, 납품계약서 등 매출 확인가능 내부 회계자료) 등
품목허가	미국 식품의약국(FDA) / 식품의약품안전처(MFDS) 허가서
임상시험실시	임상시험계획(IND) 승인서

<참고 2> 국가연구개발혁신법 시행령 제33조제4항 및 별표 4에 따른 연구개발성과의 등록·기탁 대상과 범위

구분	대상	등록 및 기탁 범위
등록	논문	국내외 학술단체에서 발간하는 학술(대회)지에 수록된 학술 논문(전자원문 포함)
	특허	국내외에 출원 또는 등록된 특허정보
	보고서원문	연구개발 연차보고서, 단계보고서 및 최종보고서의 원문
	연구시설·장비	국가연구개발사업을 통하여 취득한 3천만 원 이상 (부가가치세, 부대비용 포함) 연구시설·장비 또는 공동활용이 가능한 모든 연구시설·장비
	기술요약정보	연차보고, 단계보고 및 최종보고가 완료된 연구개발성과의 기술을 요약한 정보
	생명자원 중 생명정보	서열·발현정보 등 유전체정보, 서열·구조·상호작용 등 단백질체정보, 유전자(DNA)칩·단백질칩 등 발현체 정보 및 그 밖의 생명정보
	소프트웨어	창작된 소프트웨어 및 등록에 필요한 관련 정보
기탁	표준	「국가표준기본법」 제3조에 따른 국가표준, 국제표준으로 채택된 공식 표준정보[소관 기술위원회를 포함한 공식 국제표준화기구(ISO, IEC, ITU)가 공인한 단체 또는 사실표준화기구에서 채택한 표준정보를 포함한다]
	생명자원 중 생물자원	세균, 곰팡이, 바이러스 등 미생물자원, 인간 또는 동물의 세포·수정란 등 동물자원, 식물세포·종자 등 식물자원, DNA, RNA, 플라스미드 등 유전체자원 및 그 밖의 생물자원
	화합물	합성 또는 천연물에서 추출한 유기화합물 및 관련 정보
	신품종	생물자원 중 국내외에 출원 또는 등록된 농업용 신품종 및 관련 정보

2) 목표 달성 수준

추진 목표	달성 내용	달성도(%)
1. 특정 대상물질에 선택적으로 결합(binding)하는 기능성 박테리오파지 및 냄새 분자 특이 검출을 위한 수용체 개발	생체 유사 20종 아미노산 탑재 기능성 펩타이드 발굴 / 분자적 기술 기반 서브클로닝(Subcloning)을 통한 다기능성(Multifunctional) 박테리오파지 물질 개발 및 확보	○ 100 %
2. 시뮬레이션 기법을 활용한 과일향과 특이적으로 반응하는 펩타이드 선정 및 라이브러리 구축	3종 과일향 특이적 VOC 문헌 조사를 통한 향 물질 선정 및 시뮬레이션 기반 타겟물질 선택적 결합 기능성 펩타이드 서열 발굴 / 등온적정열량계(ITC, Isothermal Titration Calorimetry)를 통해 M13 박테리오파지와 분자간의 결합 특이성 분석을 통한 박테리오파지 선택적 특성 평가	○ 100 %
3. 특정 염기서열을 가지는 과일향의 냄새 분자 검출 수용체 개발을 통한 선택적 센서 시스템 구축	다양한 VOCs가 혼합된 시료분석에서 패턴분석을 통한 성분분석 시스템 구축	○ 100 %
4. 선정한 실제 과일의 향 및 과일에서 휘발되는 VOCs들에 대한 광학 분석 및 데이터 구축	실제 과일을 측정된 데이터들을 기반으로 소프트웨어에 과일의 품종 및 신선도 정도를 포함한 raw data를 축적하여 실시간으로 과일의 신선도 등급을 판정할 수 있는 과일 신선도 측정용 소프트웨어를 개발함	○ 100 %
5. 과일 신선도 측정용 장비 개발	도매시장의 환경에 맞는 신속하고 휴대가 쉬운 하드웨어 기기 제작	○ 100 %
6. 대면적 2D 기능성 나노소재(그래핀) 기반 전계감응효과 어레이 기판 개발	신규 인터페이싱 화합물 고정화 기술 개발 완료	○ 100 %
7. 미세전자기계 시스템(MEMS) 기반 전계감응효과 검출기 플랫폼 1종 개발	플랫폼 검출기 1종 개발 완료	○ 100 %
8. 현장 실시간 과일향 검출 전계감응효과 센서 시제품 1종 개발	다중 채널 어레이를 통한 과일향 동시 기상 검출 플랫폼 개발 완료	○ 100 %
9. 과일 향 3종에 대한 리셉터 발현 및 정제 기술 개발	과일향 3종의 선택적 검출이 가능한 리셉터 발현 및 정제 기술 개발 완료	○ 100 %
10. 신규 인터페이싱 화합물 2건 개발	신규 인터페이싱 화합물 oilgophenyl ethylene 외 2종 개발 완료	○ 100 %

4. 목표 미달 시 원인분석(해당 시 작성합니다)

1) 목표 미달 원인(사유) 자체분석 내용

해당사항 없음

2) 자체 보완활동

해당사항 없음

3) 연구개발 과정의 성실성

해당사항 없음

5. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

과일의 품종, 신선도, 향 및 원산지를 구별할 수 있는 인공후각 핵심원천기술개발에 따른 시제품 개발에 따라 ①경매시장에서는 현장 적용이 가능한 신선도 모니터링, 품종 구분 및 경매시장 활성화를 위한 품질 빅데이터 제공, 품질에 대한 공인된 품질 및 가격 정보 제공에 기여하며, ②소비자에게는 과채류 품질에 관한 유용한 정보를 제공하여 개인의 선호에 따른 양질의 제품을 선택할 수 있는 기회의 폭을 넓혀줄 수 있음.

6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획

본 연구의 우수한 성과를 기반으로 임상현장응용을 위한 실질 연구에 이용 및 타 연구과제 수주에 활용하여 진보적인 결과를 얻고자 하며, 또한 기술인증을 통한 사업화 추진에 따른 매출, 수출, 고용 등의 정량적인 성과 창출에 활용하고자 함

< 연구개발성과 활용계획표 >

구분(정량 및 정성적 성과 항목)		연구개발 종료 후 5년 이내	
국외논문	SCIE	매년 목표치	
	비SCIE		
	계		
국내논문	SCIE		
	비SCIE		
	계		
특허출원	국내		
	국외		
	계		
특허등록	국내		
	국외		
	계		
인력양성	학사		
	석사		
	박사		1명
	계		1명
사업화	상품출시		
	기술이전		
	공정개발		
제품개발	시제품개발		
기술인증		1건	
비임상시험 실시			
임상시험 실시 (IND 승인)	의약품	1상	
		2상	
		3상	
	의료기기		
진료지침개발			
신의료기술개발			
성과홍보		1건	
포상 및 수상실적			
정성적 성과 주요 내용			

< 별첨 자료 >

중앙행정기관 요구사항	별첨 자료
1.	1) 자체평가의견서 2) 연구성과 활용계획서
2.	1) 2)

자체평가의견서

1. 과제현황

		과제번호		318104-03	
사업구분	농림축산식품연구개발사업				
연구분야	농림식품융복합		과제구분	단위	
사업명	첨단생산기술개발사업			주관	
총괄과제	기재하지 않음		총괄책임자	기재하지 않음	
과제명	농산물 온라인 도매시장 경매 고도화를 위한 과채류 및 과일 정보 분석용 광학 전자코센서 시스템		과제유형	응용	
연구기관	부산대학교		연구책임자	오진우	
연구기간 연구비 (천원)	연차	기간	정부	민간	계
	1차연도	2018.12.21. ~ 2019.09.20.	300,000		300,000
	2차연도	2019.09.21. ~ 2020.09.20.	400,000		400,000
	3차연도	2020.09.21. ~ 2021.09.20.	400,000		400,000
	4차연도				
	5차연도				
	계		1,100,000		1,100,000
참여기업					
상대국	상대국연구기관				

* 총 연구기간이 5차연도 이상인 경우 셀을 추가하여 작성 요망

2. 평가일 : 2021. 11. 03

3. 평가자(연구책임자) :

소속	직위	성명
부산대학교	교수	오진우

4. 평가자(연구책임자) 확인 :

본인은 평가대상 과제에 대한 연구결과에 대하여 객관적으로 기술하였으며, 공정하게 평가하였음을 확약하며, 본 자료가 전문가 및 전문기관 평가 시에 기초자료로 활용되기를 바랍니다.

확약	오진우
----	-----

I. 연구개발실적

※ 다음 각 평가항목에 따라 자체평가한 등급 및 실적을 간략하게 기술(200자 이내)

1. 연구개발결과의 우수성/창의성

■ 등급 : 우수

- 과채류의 VOCs 측정을 현장에서 실시간 실제 도매시장에서 경매사가 구동하기 쉽고, 소비자들이 과일의 상태를 명확히 판단할 수 있도록 과일 신선도 측정용 장비의 개발 및 시제품 개발 소개를 통해 우수성과 54선에 등재됨에 따라 본 연구 개발의 우수성과 창의성은 우수함

2. 연구개발결과의 파급효과

■ 등급 : 우수

- 기존의 패치형태의 분석용 바이오센서 디바이스의 상용화시기를 단축시켜 지속적인 바이오 리포터 물질 개발과 센서 어레이 기술의 발전 그리고 농식품 등 다양한 향을 구별할 수 있는 본 과제성과를 통해 간단하고 편리한 농식품 분석 필름 형태의 센서 기술로 발전을 본격화함
- 국내 분석기기산업의 경쟁력 강화

3. 연구개발결과에 대한 활용가능성

■ 등급 : 우수

- 환경적 측면 (대기 오염도 측정) 및 임상적 측면 (질환 조기 진단)을 위한 비대면 실시간 시스템 구축 기반으로 활용 가능성이 높음

4. 연구개발 수행노력의 성실도

■ 등급 : 우수

- 각 연차별 세부 목표에 따른 성실한 수행을 통해 세부 연구목표에 맞는 목표 달성을 100% 완료

5. 공개발표된 연구개발성과(논문, 지적소유권, 발표회 개최 등)

■ 등급 : 우수

- 각 정량적 목표치 대비 연구 개발 성과물을 논문-13편, 특허-12편등의 초과 성과 달성 및 우수 성과로 선정되어 2021년 10월에 발행된 '2020 농기평 우수성과 사례집'에 공개됨

II. 연구목표 달성도

세부연구목표 (연구계획서상의 목표)	비중 (%)	달성도 (%)	자체평가
<ul style="list-style-type: none"> 과일 3종 이상에 대한 후각 리셉터 개발 및 VOCs 특이적 바이오리포터 소재 개발 및 라이브러리 구축 	10	100	시뮬레이션 기법을 통한 과일 신선도 및 과일향 연관 VOCs 특이 결합 펩타이드 선정 및 반응특이성 검증 완료된 기능성 박테리오파지 제작 완료
<ul style="list-style-type: none"> 후각 리셉터-2D 기반 바이오나노 전자코 제조 기술 개발 및 패턴인식형 Multi array 바이오센서 개발 	5	100	20종의 기능성 아미노산이 유전자 조작된 박테리오파지 기반 구조체 구축 완료
<ul style="list-style-type: none"> 휴대용 바이오나노 전자코 제조 기술 개발 	10	100	경매시장에서 사용할 수 있는 휴대용 과일 신선도 측정용 장비를 개발함
<ul style="list-style-type: none"> 광학전자코 센서의 색 변화에 따른 분석 데이터베이스 구축 	10	100	센서 시스템 구축을 통한 정형화된 VOCs와 과일향에 대한 데이터 확보 및 색변화 분석 완료 / 과일향에 대한 데이터베이스 구축 완료
<ul style="list-style-type: none"> 인공후각 시스템의 바이오센서 시작품 개발 	15	100	얻어진 데이터에서 등급 또는 점수화를 나타낼 수 있는 소프트웨어 프로그램 개발과 도매시장의 환경에 맞는 신속하고 휴대가 쉬운 하드웨어 기기 제작 완료
<ul style="list-style-type: none"> 대면적 2D 기능성 나노소재(그래핀) 기반 전계감응효과 어레이 기판 개발 	5	100	어레이 기판 개발 완료
<ul style="list-style-type: none"> 미세전자기계 시스템(MEMS) 기반 전계감응효과 검출기 플랫폼 1종 개발 	10	100	플랫폼 검출기 1종 개발 완료
<ul style="list-style-type: none"> 현장 실시간 과일향 검출 전계감응효과 센서 시작품 1종 개발 	10	100	시작품 1종 개발 완료
<ul style="list-style-type: none"> 과일 향 3종에 대한 리셉터 발현 및 정제 기술 개발 	10	100	정제 기술 개발 완료
<ul style="list-style-type: none"> 신규 인터페이싱 화합물 2건 개발 	15	100	화합물 개발 완료
합계	100	100	실제 도매시장에서 경매사가 구동하기 쉽고, 소비자들이 과일의 상태를 명확히 판단할 수 있도록 과일 신선도 측정용 장비를 개발함

III. 종합의견

1. 연구개발결과에 대한 종합의견

본 연구는 ① 특정 대상물질에 선택적으로 결합 (binding)하는 기능성 박테리오파지 및 냄새 분자 특이 검출을 위한 수용체 개발을 위해, 시뮬레이션 기법을 활용 펩타이드 선정, 선정된 펩타이드의 타겟 물질과의 결합력 확인을 위해 ITC 활용으로 다수의 파지를 손쉽게 찾아 라이브러리 구축 뿐만 아니라 특정 염기서열을 가지는 과체류의 냄새 분자 검출 수용체 개발을 통한 선택적 센서 시스템 구축, ② 대면적 2D 나노소재 (그래핀) 표면의 인터페이싱 화합물의 결합을 통해 과일향 리셉터를 고정화하여 전계 감응 효과 어레이 기판을 제작하였으며 이를 활용하여 현장형 실시간 과일향 다중 검출용 센서 시작품을 개발 완료였음. 본 연구진이 선정한 과체의 향 및 일반적으로 휘발되는 VOC들에 대한 광학 분석 및 데이터 구축, 광학분석 알고리즘 개발로 순차적으로 연구 진행으로 시제품 개발 및 사업화 추진, 화합물 산출 등의 높은 정량적 목표를 달성하였으며 실제 경매 현장에서 도입되어 경매사와 소비자의 요구를 충족을 위한 기대에 한 발 다가서게 되었음.

2. 평가시 고려할 사항 또는 요구사항

성과목표 내 세부목표인 정책 활용 부분에 대한 목표 미달성하였으나 본 연구 개발 결과는 환경보건10개년 계획 및 2021년 10대 신산업에 부합되는 국민 건강 증진 및 체외진단의료 기기 개발, 국가환경 종합 계획등의 정책 활용에 충분한 기반을 제공함으로 예상되며 과제 종료 후 활용을 위해 홍보를 추가적으로 진행하겠음

3. 연구결과의 활용방안 및 향후조치에 대한 의견

1. 특정 바이오마커 물질에 대한 기능성 바이오리포터 물질 라이브러리를 구축하여, 패턴인식형 인공후각 센서 기술에 접목, 이를 통해 임상 현장에서, 공기질 개선 및 환경 취약 지역의 비대면 실시간 분석용 호기 및 가스형 세서 플랫폼개발에 활용함
2. 바이오리포터 플랫폼 확장을 통한 활용범위 극대화를 예상하며 소형화 및 대량생산이 가능한 제품 실용화를 통해 식품 유통분야 현장 분석센서의 신시장 개척 기대
3. 나노바이오기술 기반의 초 고감도 농산물 분석 센서 원천기술 확보를 통한 바이오화학센서 시장 선점

IV. 보안성 검토

○ 연구책임자의 보안성 검토의견, 연구기관 자체의 보안성 검토결과를 기재함

※ 보안성이 필요하다고 판단되는 경우 작성함.

1. 연구책임자의 의견

해당사항없음

2. 연구기관 자체의 검토결과

[별첨 3]

연구성과 활용계획서

1. 연구과제 개요

사업추진형태	<input type="checkbox"/> 자유응모과제 <input checked="" type="checkbox"/> 지정공모과제		분 야	농림식품융복합
연구과제명	농산물 온라인 도매시장 경매 고도화를 위한 과채류 및 과일 정보 분석용 광학 전자코센서 시스템			
주관연구기관	부산대학교		주관연구책임자	오진우
연구개발비	정부출연 연구개발비	기업부담금	연구기관부담금	총연구개발비
	1,100,000	0	0	1,100,000
연구개발기간	2018. 12. 21. - 2021. 09. 20 (33개월)			
주요활용유형	<input type="checkbox"/> 산업체이전 <input checked="" type="checkbox"/> 교육 및 지도 <input type="checkbox"/> 정책자료 <input checked="" type="checkbox"/> 기타(사업화) <input type="checkbox"/> 미활용 (사유:)			

2. 연구목표 대비 결과

당초목표	당초연구목표 대비 연구결과
① 각 과일 및 과채류에 대한 기능성 바이오리포터 물질을 기반으로 한 리셉터 개발 ① 대면적 2D 기능성 나노소재(그래핀) 기반 전계감응효과 어레이 기판 개발	<ul style="list-style-type: none"> • 20종의 기능성 바이오리포터가 탑재된 리셉터 구축 • 리셉터(OR2AG1) 유전자 확보 및 제조 핵심 기술 개발 및 2D 나노소재(그래핀)의 대면적 제조
② 향 및 신선도 판별을 위한 패턴인식형 센서 플랫폼 구축 ② 미세전자기계 시스템 (MEMS) 기반 전계감응효과 검출기 플랫폼 1종 개발	<ul style="list-style-type: none"> • 미세전자기계 시스템(MEMS) 기반 전계감응효과 검출기 플랫폼 1종 개발 • 후각 리셉터-2D 기반 바이오나노 전자코 제조 기술 개발 및 패턴인식형 Multi array 바이오센서 개발 • 기판 1종 개발완료 • 검출 플랫폼 1종 개발 완료
③ 온라인 도매 시장에 활용 가능한 휴대용 바이오나노 전자코 제조 기술 개발 ③ 현장 실시간 과일향 검출 전계감응효과 센서 시제품 1종 개발 ③ 현장 실시간 과일향 검출 전계감응효과 센서 시제품 1종 개발	<ul style="list-style-type: none"> • 꼬갈콘 형 및 디스플레이형의 휴대용 전자코 제작을 통한 시제품 2종 개발 • 현장 실시간 과일향 검출 전계감응효과 센서 시제품 1종 개발 • 현장 실시간 검출 센서도입 시제품 1종 개발
④ 과일향 3종에 대한 리셉터 발현 및 정제 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> • 과일향 3종에 대한 리셉터 발현 및 정제 기술 개발
⑤ 신규 인터페이싱 화합물 2건 개발	<ul style="list-style-type: none"> • 화합물 2건 개발완료

* 결과에 대한 의견 첨부 가능

3. 연구목표 대비 성과

(단위 : 건수, 백만원, 명)

성과 목표	사업화지표										연구기반지표								
	지식 재산권				기술 실시 (이전)		사업화				기술 인증	학술성과			교육 지도	인력 양성	정책 활용·홍보		기타 (타연구 활용등)
	특허 출원	특허 등록	품종 등록	S M A R T	건 수	기술 료	제 품 화	매 출 액	수 출 액	고 용 창 출		투 자 유 치	논문				학 술 발 표	정 책 활 용	
											SCI		비 SCI	논 문 평 가 I F					
단위	건	건	건	건	건	백 만 원	건	백 만 원	백 만 원	명	백 만 원	건	건	건	명	명	건	건	
가중치	15	10			15	5	10				10			10	5	5	5		5
최종 목표	3	2			1	30	1				1	6		5	6	2	3	1	1
당해 년도	목표	1	1		1	30	1				1	2		5	2	1	1	1	1
	실적	5			1		1	10		4		1	5		9	8	2		1
달성률 (%)	400	50			300	353	100	목표 외 달성	목표 외 달성		100	217		180	267	100	100	0	300

4. 핵심기술

구분	핵심기술명
①	과일 향 검출용 바이오나노(BNT) 전자코 개발 (1분 이내 반응 및 검출한계 1ppm)
②	과일 특이 VOCs 검출용 전자코 개발 (1분 이내 반응 및 검출한계 1ppm)
③	과일 향 및 특이 VOCs 동시 검출용 인공후각 모듈 제작 및 성능평가 (1종 이상)

5. 연구결과별 기술적 수준

구분	핵심기술 수준					기술의 활용유형(복수표기 가능)				
	세계 최초	국내 최초	외국기술 복제	외국기술 소화·흡수	외국기술 개선·개량	특허 출원	산업체이전 (상품화)	현장애로 해결	정책 자료	기타
①의 기술		√				√				
②의 기술		√				√				
③의 기술		√				√	√			
④의 기술						√				
⑤의 기술						√				

* 각 해당란에 v 표시

6. 각 연구결과별 구체적 활용계획

핵심기술명	핵심기술별 연구결과활용계획 및 기대효과
①의 기술	- 유통구조 개선을 통한 우리 농산품 물가안정 및 재고문제 해소, 전자 상거래 수준의 웹기반 온라인 경매시스템, 모바일기반시스템, 기존도매시장 내부시스템과 연동할 수 있는 시스템 구축. - 농수산물, 공산품 등에도 손쉽게 농산물의 신선도 정도를 검사할 수 있어 농수산에 큰 기여, 바이오센서 시장 점유에 중요한 역할을 함과 동시에 새로운 부가가치를 증대시키는 국가기반 산업의 창출 기대
②의 기술	
③의 기술	

7. 연구종료 후 성과창출 계획

성과목표	사업화지표										연구기반지표								
	지식 재산권			기술실시 (이전)		사업화					기술인증	학술성과			교육지도	인력양성	정책 활용·홍보		기타 (타 연구 활용 등)
	특허출원	특허등록	품종등록	건수	기술료	제품화	매출액	수출액	고용창출	투자유치		논문		학술발표			정책활용	홍보전시	
												SCI	비SCI						
단위	건	건	건	건	백만원	백만원	백만원	명	백만원	건	건	건	건	명					
가중치	15	10			15	5	10				10		10	5	5	5		5	
최종목표	3	2			1	30	1				1	6		5	6	2	3	1	1
연구기간내 달성실적	12	1			3	32	1	10				13		5.7	22	2	3		2
연구종료후 성과창출 계획							1	10									1		

8. 연구결과의 기술이전조건(산업체이전 및 상품화연구결과에 한함)

핵심기술명 ¹⁾	냄새 시각화 장치 및 방법		
이전형태	<input type="checkbox"/> 무상 <input checked="" type="checkbox"/> 유상	기술료 예정액	12,000천원
이전방식 ²⁾	<input type="checkbox"/> 소유권이전 <input checked="" type="checkbox"/> 전용실시권 <input type="checkbox"/> 통상실시권 <input type="checkbox"/> 협의결정 <input type="checkbox"/> 기타()		
이전소요기간	-	실용화예상시기 ³⁾	기술 개발 완료 시
기술이전시 선행조건 ⁴⁾			

핵심기술명 ¹⁾	바이오센서 제조 기술		
이전형태	<input type="checkbox"/> 무상 <input checked="" type="checkbox"/> 유상	기술료 예정액	100,000천원
이전방식 ²⁾	<input type="checkbox"/> 소유권이전 <input checked="" type="checkbox"/> 전용실시권 <input type="checkbox"/> 통상실시권 <input type="checkbox"/> 협의결정 <input type="checkbox"/> 기타()		
이전소요기간	-	실용화예상시기 ³⁾	기술 개발 완료 시
기술이전시 선행조건 ⁴⁾			

핵심기술명 ¹⁾	바이오나노 후각 센서 제조 기술		
이전형태	<input type="checkbox"/> 무상 <input checked="" type="checkbox"/> 유상	기술료 예정액	13,000천원
이전방식 ²⁾	<input type="checkbox"/> 소유권이전 <input checked="" type="checkbox"/> 전용실시권 <input type="checkbox"/> 통상실시권 <input type="checkbox"/> 협의결정 <input type="checkbox"/> 기타()		
이전소요기간	-	실용화예상시기 ³⁾	기술 개발 완료 시
기술이전시 선행조건 ⁴⁾			

- 1) 핵심기술이 2개 이상일 경우에는 각 핵심기술별로 위의 표를 별도로 작성
- 2) 전용실시 : 특허권자가 그 발명에 대해 기간·장소 및 내용을 제한하여 다른 1인에게 독점적으로 허락한 권리
통상실시 : 특허권자가 그 발명에 대해 기간·장소 및 내용을 제한하여 제3자에게 중복적으로 허락한 권리
- 3) 실용화예상시기 : 상품화인 경우 상품의 최초 출시 시기, 공정개선인 경우 공정개선 완료시기 등
- 4) 기술 이전 시 선행요건 : 기술실시계약을 체결하기 위한 제반 사전협의사항(기술지도, 설비 및 장비 등 기술 이전 전에 실시기업에서 갖추어야 할 조건을 기재)

주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부에서 시행한 첨단생산기술개발사업 도매시장 온라인 경매 고도화를 위한 인공후각 상용화 기술개발 과제 최종보고서이다.
2. 이 연구개발내용을 대외적으로 발표할 때에는 반드시 농림축산식품부(농림기술기획평가원)에서 시행한 첨단생산기술개발사업의 결과임을 밝혀야 한다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 된다.