

(옆면)

821042
-3

인공지능 영상분석 기술을 적용한 토양 및 식물체 현장 신속

화학분석 디지털 공유시스템의 상용화

2024

농림축산식품부

농림식품기술기획평가원

(앞면)

보안 과제(), 일반 과제(O) / 공개(O), 비공개(), 발간등록번호(O)
기술사업화지원사업 2023년도 최종보고서

발간등록번호
11-1543000-004767-01

인공지능 영상분석 기술을 적용한 토양 및 식물체 현장 신속 화학분석 디지털 공유시스템의 상용화

2024.07.29

(주)테크넬 /
충북대학교 산학협력단

농림축산식품부
(전문기관)농림식품기술기획평가원

제출문

제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “인공지능 영상분석 기술을 적용한 토양 및 식물체 현장 신속 화학분석 디지털 공유시스템의 상용화”(개발기간 : 2021. 04. 01 ~ 2023. 12. 31)과제의 최종보고서로 제출합니다.

2024. 07. 29.

주관연구기관명 : (주)테크넬 (대표자) 박지원 (인)

공동연구기관명 : 충북대학교 산학협력단 (대표자) 조영철 (인)

주관연구책임자 : 박지원

공동연구책임자 : 한광현



국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 보고서 열람에 동의합니다.

< 요약 문 >

※ 요약문은 5쪽 이내로 작성합니다.

사업명		기술사업화지원			총괄연구개발 식별번호 (해당 시 작성)		821042-3
내역사업명 (해당 시 작성)		[민간중심 R&D 사업화 지원] 지원분야 농산			연구개발과제번호		821042-03-1-SB010
기술 분류	국가과학기술 표준분류	1순위 LB0403	50%	2순위 LBO806	30%	3순위 LB0104	20%
	농림식품 과학기술분류	1순위 RA0202	50%	2순위 CA0399	30%	3순위 AA0103	20%
총괄연구개발명 (해당 시 작성)		인공지능 영상분석 기술을 적용한 토양 및 식물체 현장 신속 화학분석 디지털 공유시스템의 상용화					
연구개발과제명		인공지능 영상분석 및 디지털 공유 기술 기반 토양-식물체 신속 화학분석 시 스템 상용화 기술개발					
전체 연구기간		2021. 04. 01 - 2023. 12. 31(2년 9개월)					
해당 단계		2023. 01. 01 - 2023. 12. 31(1년)					
총 연구개발비		총 765,000 천원 (정부지원연구개발비: 671,000 천원, 기관부담연구개발비: 94,000 천원)					
해당 단계		총 275,000 천원 (정부지원연구개발비: 244,000 천원, 기관부담연구개발비: 31,000 천원)					
연구개발단계		기초[] 응용[] 개발[<input checked="" type="checkbox"/>] 기타(위 3가지에 해당되지 않는 경우)[]		기술성숙도 (해당 시 작성)		착수시점 기준(3) 종료시점 목표(7)	
연구개발과제 유형 (해당 시 작성)							
연구개발과제 특성 (해당 시 작성)							
연구개발 목표 및 내용		최종 목표		인공지능 영상분석 기술을 적용한 토양 및 식물체 현장 신속 화학분석 디지털 공유시스템의 상용화			
		전체 내용		<ul style="list-style-type: none"> ○ 인공지능 영상분석 기술을 적용한 양분농도-측정디바이스 시작기 설계, 제작 및 작동 성능 평가 ○ 영상 기반 양분농도 결정 최적 알고리즘 개발 및 관련 촬영조건 설정을 위한 관리자 프로그램 개발 ○ 토양 및 식물체 주요 양이온(Na⁺, Mg²⁺, Ca²⁺, NH₄⁺, K⁺)의 선택적 신속 현장분석 키트 개발 및 화학분석법 최적화 ○ 영상 기반 다성분 동시분석 양분농도-측정디바이스 시제품 설계, 제작 및 작동 성능 평가 ○ 토양 및 식물체 주요 음이온(Cl⁻, SO₄²⁻, NO₃⁻, H₂PO₄⁻, NO₂⁻)의 선택적 신속 현장분석키트 개발 및 화학분석법 최적화 ○ 토양 및 식물체 신속 현장분석을 위한 화학분석 전처리 분석-플랫폼 개발 ○ 진단, 평가, 처방 프로그램 및 데이터베이스와 연동할 수 있는 무선통신 기반 화학분석 시스템의 디지털 공유 기술 개발 ○ 인공지능 영상분석 기술과 표준 화학분석법 간의 오차 보정 모델 개발 및 최적화 ○ 현장 신속분석 키트 및 분석-플랫폼 시스템의 영농형태 및 재배 작물에 따른 적용성 검증 및 보완 			
		1단계 [2021 ~ 2022]	목표	양분농도-측정디바이스 시작기 제작 및 토양-식물체 주요 양이온의 화학분석법 최적화와 양분농도-측정디바이스 시제품 제작 및 토양-식물체 주요 음이온의 화학분석법 최적화와 전처리 분석-플랫폼 개발			

연구개발 목표 및 내용	1단계 [2021 ~ 2022]	내용	<ul style="list-style-type: none"> ○ 인공지능 영상분석 기술을 적용한 양분농도-측정디바이스 시작기 설계, 제작 및 작동 성능 평가 ○ 영상 기반 양분농도 결정 최적 알고리즘 개발 및 관련 촬영조건 설정을 위한 관리자 프로그램 개발 ○ 토양 및 식물체 주요 양이온(Na^+, Mg^{2+}, Ca^{2+}, NH_4^+, K^+)의 선택적 신속 현장분석 키트 개발 및 화학분석법 최적화 ○ 영상 기반 다성분 동시분석 양분농도-측정디바이스 시제품 설계, 제작 및 작동 성능 평가 ○ 토양 및 식물체 주요 음이온(Cl^-, SO_4^{2-}, NO_3^-, H_2PO_4^-, NO_2^-)의 선택적 신속 현장분석키트 개발 및 화학분석법 최적화 ○ 토양 및 식물체 신속 현장분석을 위한 화학분석 전처리 분석-플랫폼 개발
	2단계 [2023]	<p>목표</p> <p>내용</p>	<p>디지털 공유시스템이 적용된 시제품 평가 및 보완</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 진단, 평가, 처방 프로그램 및 데이터베이스와 연동할 수 있는 무선통신 기반 화학분석 시스템의 디지털 공유 기술 개발 ○ 인공지능 영상분석 기술과 표준 화학분석법 간의 오차 보정 모델 개발 및 최적화 ○ 현장 신속분석 키트 및 분석-플랫폼 시스템의 영농형태 및 재배 작물에 따른 적용성 검증 및 보완

연구개발성과	<ul style="list-style-type: none"> ○ 논문 (비 SCI) 2건 <ul style="list-style-type: none"> • Compositional Characteristics of Major Inorganic Anions in Soil and Plant Water Extracts from Various Farmlands • 흡광도 대리 변수 정량화를 위한 영상처리기반 다중분석시스템 개발 ○ 특허 출원 4건 <ul style="list-style-type: none"> • 마커 및 카메라를 구비한 정량분석장치 및 그를 이용한 정량분석 시스템 • 분광광도법을 이용한 토양 pH의 측정방법 • 습윤 토양의 유효부피 측정 기구 및 이를 이용한 질량기준 토양 수분함량 간편 측정 방법 • 영상 분석을 위한 대리 흡광도 측정 시스템 ○ 사업화 4건 <ul style="list-style-type: none"> • 칼슘이온 분석키트(Ca-01-P) • 마그네슘이온 분석키트(Mg-01-P) • 암모늄이온 분석키트(NH4-01-P) • 나트륨이온 분석키트(Na-01-P) ○ 학술 발표 12건 <ul style="list-style-type: none"> • 무선 멀티 센서 노드 구현을 위한 BLE 5.0 기반 저전력 데이터 전송 기법 연구 • 저전력기반 슬립모드를 이용한 Chipset 전력 관리 성능 평가 • 토양내 이온 농도 정량화 영상처리 알고리즘 설계 • 표준 시약의 가시영역 반응 영상 취득 시작기 설계 • 다양한 작물과 영농형태에 따른 수용성 칼슘(Ca^{2+}), 마그네슘 이온(Mg^{2+}) 농도 분포 • A Rapid Spectroscopic Determination of Soil Organic Matter for Soil Quality Assessment by Alkaline Extraction and Modelling in Common Mineral and Volcanic Ash Soils • 다양한 작물에서 토양 전기전도도 및 토양 중 수용성 황산이온(SO_4^{2-}), 질산이온(NO_3^-), 염소이온(Cl^-)의 농도 분포 • 토양 다중 이온 동시 분석을 위한 RGB 영상 취득 시스템 설계
--------	--

연구개발성과	<ul style="list-style-type: none"> 표준시약 및 다량의 시료 동시 분석이 가능한 영상 취득 시스템 제작 분광광도법에 의한 토양 추출액 pH의 측정 Assessing the Major Ionic Compositions in Soil and Plant Water Extracts from Three Different Farmlands and Crop Species 광특성에 따른 대응이 가능한 다중분석시스템 개발 <p>○ 기술실시 1건</p> <ul style="list-style-type: none"> 광각렌즈 스파셜 광감도 보정을 위한 셔터 스피드 조작 기술 <p>○ 고용창출 1명</p>
--------	--

연구개발성과 활용계획 및 기대 효과	<p>○ 활용계획</p> <ul style="list-style-type: none"> 인공지능 기술에 필요한 양분 DB를 제공할 수 있는 분석시스템의 개발로 스마트농업 관련 업체 및 학계와 스마트농업 생태계 구축에 활용함 농가 및 일반인도 사용 가능한 제품으로, 접근 가능한 시장 확대에 따른 매출 증가 본사업의 평가결과를 신뢰성 자료로 활용함 수질분석 및 처방제 분야 신사업 진출에 활용함 Total solution 제공 가능한 제품으로, 해외 수출에 활용함 <p>○ 기대효과</p> <ul style="list-style-type: none"> 축적된 양분 데이터를 기반으로 농업의 디지털 생태계 구축 나아가 농업의 4차 산업화를 촉진하여 국내 농업 경쟁력 확보에 기여함 분석시스템의 활용으로 양분관리 의사결정 지원시스템이 구축되면, 농가는 적시·적량의 비료를 사용하게 되고 이를 통하여 환경오염 방지 효과가 발생하고, 농산물 소비자는 안전농산물을 소비할 수 있게 됨 분석결과를 바탕으로 한 농자재 회사의 새로운 농자재 개발에 의한 시장 확대 및 고용 창출에 기여함 분석시스템을 활용한 농가 컨설팅 시장 확대 및 고용창출에 기여함
---------------------------	--

연구개발성과의
비공개여부 및 사유

연구개발성과의 등록·기탁 건수	논문	특허	보고서 원문	연구 시설 ·장비	기술 요약 정보	소프트 웨어	표준	생명자원		화합물	신제품	
								생명 정보	생물 자원		정보	실물
	2	4										
연구시설·장비 종합정보시스템 등록 현황	구입관	연구시설 ·장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입액 (천원)	구입처 (전화)	비고 (실처장소)	ZEUS 등록번호			
국문핵심어 (5개 이내)	토양-식물체 화학분석			신속 현장분석		스마트농업		인공지능 영상 분석		디지털 공유시스템		
영문핵심어 (5개 이내)	Soil-plant chemical analysis			Rapid on-site testing		Smart agriculture		AI image analysis		Digital sharing system		

〈 목 차 〉

1. 연구개발과제의 개요	7
2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행내용	10
1). 주관연구기관 (테크넬) 1차년도	10
2). 주관연구기관 (테크넬) 2차년도	23
3). 주관연구기관 (테크넬) 3차년도	32
4). 공동연구기관 (충북대학교 산학협력단) 1차년도	41
5). 공동연구기관 (충북대학교 산학협력단) 2차년도	68
6). 공동연구기관 (충북대학교 산학협력단) 3차년도	102
3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도	123
1). 연구수행 결과	123
2). 목표 달성 수준	134
4. 목표 미달 시 원인분석	135
5. 연구개발성과 및 관련 분야에 대한 기여	136
6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획	138

최종보고서										보안등급	
										일반[v], 보안[]	
중앙행정기관명		농림축산식품부			사업명		기술사업화지원				
전문기관명 (해당 시 작성)		농림식품기술기획평가원			내역사업명		[민간중심 R&D 사업화 지원] 지원분야 농산				
공고번호		농축2021-41호			총괄연구개발 식별번호		821042-3				
					연구개발과제번호		821042-03-3-SB010				
기술분류	국가과학기술 표준분류	1순위 LB0403	50%	2순위 LBO806	30%	3순위 LB0104	20%				
	농림식품과학기술분류	1순위 RA0202	50%	2순위 CA0399	30%	3순위 AA0103	20%				
총괄연구개발명		국문	인공지능 영상분석 기술을 적용한 토양 및 식물체 현장 신속 화학분석 디지털 공유시스템의 상용화								
		영문	Commercialization of a digital sharing system for rapid chemical analysis of soils and plants using artificial intelligence image analysis technology								
연구개발과제명		국문	인공지능 영상분석 및 디지털 공유 기술 기반 토양-식물체 신속 화학분석 시스템 상용화 기술개발								
		영문	Development of technology for commercialization of rapid soil-plant chemical analysis system based on artificial intelligence image analysis and digital sharing technology								
주관연구개발기관		기관명	(주)테크넬			사업자등록번호	220-87-85695				
		주소				법인등록번호	110111-4157859				
연구책임자		성명	박지원			직위	대표이사				
		연락처	직장전화			휴대전화					
			전자우편				국가연구자번호				
연구개발기간		전체	2021. 04. 01 - 2023. 12. 31(2년 9개월)								
		단계	1단계	2021.04. 01 - 2022. 12. 31(1년 9개월)							
			2단계	2023. 01. 01 - 2023. 12. 31(1년)							
연구개발비 (단위: 천원)		정부지원 연구개발비	기관부담 연구개발비		그 외 기관 등의 지원금 지방자치단체 기타()				합계		연구개발비 외 지원금
		현금	현금	현물	현금	현물	현금	현물	현금	현물	
총계		671,000	3,100	90,900				674,100	90,900	765,000	
1단계	1년차	183,000		32,000				183,000	32,000	215,000	
	2년차	244,000		31,000				244,000	31,000	275,000	
2단계	1년차	244,000	3,100	27,900				247,100	27,900	275,000	
공동연구개발기관 등 (해당 시 작성)		기관명	책임자		직위	휴대전화	전자우편	비고			
			역할		기관유형						
공동연구개발기관		충북대학교 산학협력단	한광현		교수			공동	대학		
연구개발담당자 실무담당자		성명	이예훈			직위		대리			
		연락처	직장전화			휴대전화					
			전자우편				국가연구자번호				

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

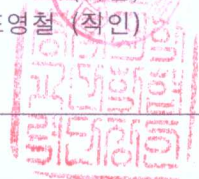
2024년 7월 29일

연구책임자: 박지원



주관연구개발기관의 장: (주)테크넬 박지원

공동연구개발기관의 장: 충북대학교 산학협력단 조영철



농림축산식품부장관·농림식품기술기획평가원장 귀하

1. 연구개발과제의 개요

가. 토양 및 식물체 양분의 신속 현장 분석: 농업의 4차 산업화 선도를 위한 기술적 최우선 당면 과제

- 인구 증가와 고령화, 환경오염에 대한 우려, 안전농산물에 대한 사회적 요구 등은 현대농업의 4차 산업화를 강요하고 있어, 스마트농업은 선택사항이 아닌 필수사항이며, 우리나라도 농업의 4차 산업화를 선도하기 위해 관련 기술의 개발과 상용화가 절실함
- 스마트농업은 환경과 양분의 효율적인 관리기술에 기반하며, 환경 모니터링 결과와 양분 모니터링 결과를 in-input으로 하고 작물생육정보 모니터링 결과를 out-output으로 하여 이들 사이의 인과관계 또는 상관관계를 찾아 목적에 맞게 최적화하는 과정이라 할 수 있음
- 최근, 발전된 인공지능 및 빅데이터 분석기술의 발달로 일련의 최적화 과정이 더욱 빠르고 정확해져 농업의 4차 산업화에 큰 기대를 갖게 하고 있음. 하지만, 환경요인들에 대한 데이터와 양분요인들에 대한 데이터 그리고 작물생육정보에 대한 데이터 등의 신뢰성 있는 Full Data Set의 축적이 반드시 필요함
- 한편, 작물생육에 관여하는 환경요인들을 모니터링 하기 위한 다양한 센서들은 이미 개발 및 상용화되어 있으나, 스마트농업에 적합한 신뢰성 및 내구성 확보가 관건임. 아울러, 작물생육정보는 아직 완전하지는 않지만 영상처리 기술의 빠른 발달과 최근 데이터댐 사업을 통하여 어느 정도 확보가 가능할 것으로 기대하고 있음
- 그러나, 양분을 모니터링 하기 위한 분석기술 및 관련 제품은 다양한 개발 시도에도 불구하고 신뢰성 있고, 사용하기 편리하여 스마트농업에 적용할 수 있는 상용화된 제품은 없는 실정임(자세한 사항은 후술한 국내외 기술동향 참조). 이에, 본 사업을 통하여 스마트농업에 적합한 분석시스템을 개발하고자 하며, 스마트농업에 적합한 분석시스템이 갖추어야 할 제품의 속성은 아래와 같음
- 이러한 제품 개발이 먼저 선행되어야만, 또 다른 연구자들이 인공지능 및 빅데이터 분석기술을 적용하여 진단, 평가, 처방까지 연결된 「양분관리 의사결정 지원시스템」을 구축할 수 있는 디지털 생태계를 창조하게 되어, 진정한 농업의 4차 산업화를 기대할 수 있음

▪ 신속, 정밀, 간편, 신뢰성 있는 현장 화학분석 방법에 근거한 제품

▪ 토양 및 식물체 주요 양분 모두를 분석할 수 있는 제품

▪ 많은 양의 데이터를 얻을 수 있는 제품

- ▶ 비전문가도 사용할 수 있을 만큼 사용하기 편한 제품
- ▶ 농민들이 구매할 수 있을 만큼 적절한 가격의 제품
- ▶ 현장에서 신속하게 사용할 수 있는 제품

▪ 농업의 디지털 생태계를 창출할 수 있는 제품

<스마트농업에 적합한 화학분석 시스템에 요구되는 속성>

나. 스마트농업에 적합한 분석시스템 구현을 위해 본 사업에서 적용하고자 하는 화학분석법의 장단점

- 화학분석에 기반한 분석기술을 적용하면, 분석결과의 신뢰성을 확보할 수 있고, 작물 생육에 영향을 주는 토양 및 식물체의 주요 양분 모두를 분석할 수 있어 이를 기반으로 한 분석시스템을 개발하고자 함
- 직접 화학분석에 의한 측정방법은 아래와 같은 장점이 있음.
 - 직접 화학분석만이 토양 및 식물체의 주요 양분(양이온 및 음이온) 모두를 분석할 수 있음
 - ▶ 선행연구에서 Na를 제외하고 필요한 모든 화학분석법에 대한 기술 기 확보됨
 - ▶ 타 분석기술로 주요 양분 모두를 분석할 수 있는 상용화 제품이 없음
 - 화학분석은 간접적인 센서 측정법보다 신뢰성 있는 분석결과를 제공함
 - ▶ 타 분석기술은 아직 신뢰성 있는 분석결과를 제공하지 못하는 연구개발 단계임
- 그러나, 선택적 직접 화학분석법은 아래와 같은 단점도 있음
 - 일반인 혹은 비전문가가 사용하기 어렵거나 준비과정이 번거로움
 - 분광광도계 등 고가의 화학분석기가 필요함
 - 센서 기반 측정법에 비해 실시간 모니터링이 어려움
- 이에 본 사업은 화학분석의 장점을 극대화하면서 단점을 극복하는 기술을 적용하여, 현장에서 신속하게 분석할 수 있는 화학분석시스템의 상용화 기술을 개발하고자 함

다. 화학분석법의 단점을 극복하기 위해 본 사업에서 개발하고자 하는 상용화 기술의 개요

1) 선택적 직접 화학분석에 기반한 분석키트 개발

- >> 현장에서 신속하게 분석하기 위하여, 일회 사용분의 분석시약이 미리 분주되어 있는 토양 및 식물체 주요 양분 모두에 대한 일회용 분석키트 및 다성분 분석 어레이 개발
- 주관기관은 선행연구를 통해 필요한 화학분석법 및 키트화에 대한 기본 기술이 대부분 확보됨. 또한, 토양 분석키트를 사업화한 경험이 있음
- 본 사업은 아래 양분농도-측정디바이스에 적합하게 화학분석법을 적용하는 상용화 기술개발을 통해, 일반인도 현장에서 편리하게 사용할 수 있게 하고자 함

2) 인공지능 영상분석 기술을 적용한 양분농도-측정디바이스 개발

- >> 고가의 분광광도계가 필요 없는 저가의 양분농도 측정 장치 개발
- 분광광도계를 대신하는 영상 촬영기반 양분농도 측정 디바이스 개발.
 - 다성분 동시분석을 위한 디바이스 내 어레이 구조 포함
- 인공지능 영상분석 기술을 적용한 농도측정법의 적용으로 저가의 신뢰성 있는 신속 분석장비를 농민, 일반인도 구매 가능하게 하고자 함

3) 현장분석 적용을 위한 작업 표준화 및 분석-플랫폼 개발

>> 모든 분석 작업과정을 표준화하고, 관련 부가 분석기구들을 작업순서에 따라 배치할 수 있는 분석-플랫폼 개발

- 시료 채취, 전처리를 포함한 모든 작업과정을 표준화한 작업표준서 개발.
- 농민, 일반인도 현장에서 편리하고 신속하게 화학분석을 수행할 수 있게 하고자 함.

4) 디지털 데이터 공유시스템 개발

>> 무선통신을 기반으로 분석결과를 저장하고 데이터베이스화 할 수 있고, 향후, 진단, 평가, 처방으로 연동될 수 있는 App. 및 서버 개발

- 촬영 이미지로부터 양분농도를 구할 수 있는 알고리즘 및 관련 촬영조건 설정을 위한 관리자용 프로그램 개발
- 분석결과를 저장할 수 있고, 목적에 맞게 사용할 수 있는 데이터베이스 및 서버 개발.
- 이를 통하여, 학계, 산업계 나아가 농민, 일반인까지 연결될 수 있는 디지털 생태계 창출이 가능한 디지털 공유시스템을 개발하고자 함

라. 본 사업의 정부정책 연관성

- 정부는 현재 스마트농업 혹은 디지털농업을 통하여 국내 농업의 4차 산업화를 선도하고자, 디지털담사업 등을 추진하고 있으며, 이는 인공지능 기술에 적용할 작물생육에 관련된 빅데이터를 확보하고자 하는 노력의 일환임
- 인공지능 기술을 적용하여 올바른 양분관리 의사결정 지원시스템을 만들기 위해선 작물생육 환경에 관련된 신뢰성 있는 DB와 토양 및 식물체 양분 DB, 그리고 작물생육정보 DB 구축이 필요함
- 본 사업을 통하여 개발하고자 하는 제품은 양분 DB 구축을 위한 분석시스템의 상용화 기술을 개발하고자 하는 것으로, 농업의 4차 산업화 및 디지털 생태계 창출이 가능할 것으로 기대됨



<본 지원 사업의 기술 개발 개념>

2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용

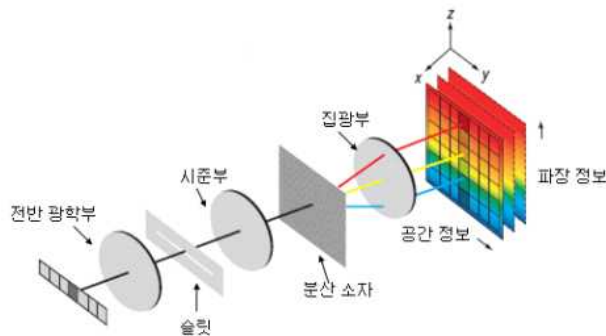
가. 주관연구기관(테크넬) 1차년도(2021)

- 연차목표 : 인공지능 영상분석 기술을 적용한 양분농도-측정디바이스 시작기 설계, 제작 및 작동 성능 평가

1) 인공지능 영상분석 기술을 위한 시작기의 설계요인 분석 및 설계

① 영상분석용 이미지 취득 장치 시작기 설계요인 분석

- 토양 및 식물체 양분농도별 이미지 취득 장치 시작기 구조 설계를 위해 선행 연구를 통해 개발된 Rapid-d 분석키트의 광학부 구조의 촬영 원리 및 특성 등 설계 고려 요인을 분석함
- 분석 결과 및 상용 큐벳 홀더를 이용하여 예상되는 시작기 형태로 최소 기능설계를 수행함
- 영상분석을 위한 주요 시작기 설계요인으로 이미지 취득을 위한 이미지 센서의 해상도, 화각, 초점거리가 있으며, 기구적으로 이미지 촬영 거리를 조절 기능 등이 포함된 구조적 설계가 필요함
- 광원의 경우 외부에서 들어오는 빛으로 환경 조건에 따라 변화가 있으며 항상 일정한 광원이 아니기 때문에 이미지 품질 저하로 이어질 수 있음
- 따라서 내부적으로 균일한 광원을 조건으로 이미지 수집이 필요함
- 상용 이미지 센서를 중심으로 각 센서별 화각, 해상도 등 시작기 설계를 위한 제조사별 센서 데이터 시트 분석을 수행함
- 초기 선정된 이미지 센서 모델은 RPI CAM 5MP, ESP32-CAM 2MP으로 저가형 제품군에서 해상도 영역이 다른 2개의 모델을 사용하여 이미지 비교를 목적으로 함
- 특히 ESP32-CAM의 경우 내장된 LED 사용이 용이하고 SD 미디어 슬롯을 포함하고 있어 이미지 품질 및 저장이 가능할 것으로 판단, 향후 소형화 및 부가 기능의 추가 가능성을 고려하여 선정하게 됨



<초분광 분해기 광학부 구조 Reference>



<상용 임베디드 이미지 센서>



<큐벳 홀더 고정>



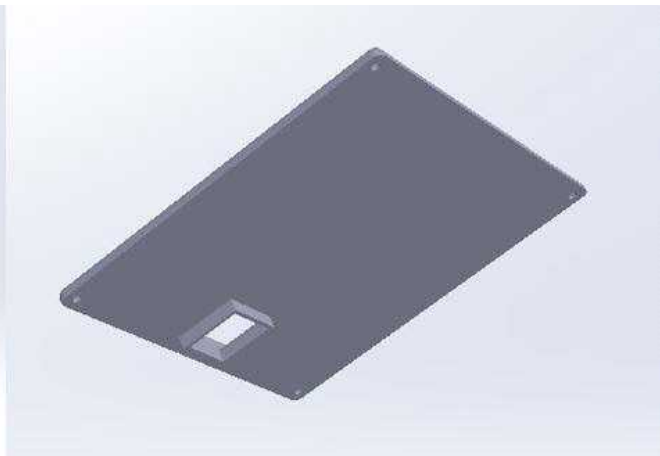
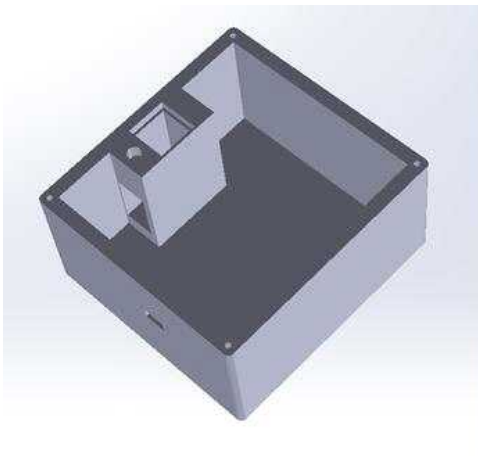
<외부 빛 요소 차단>



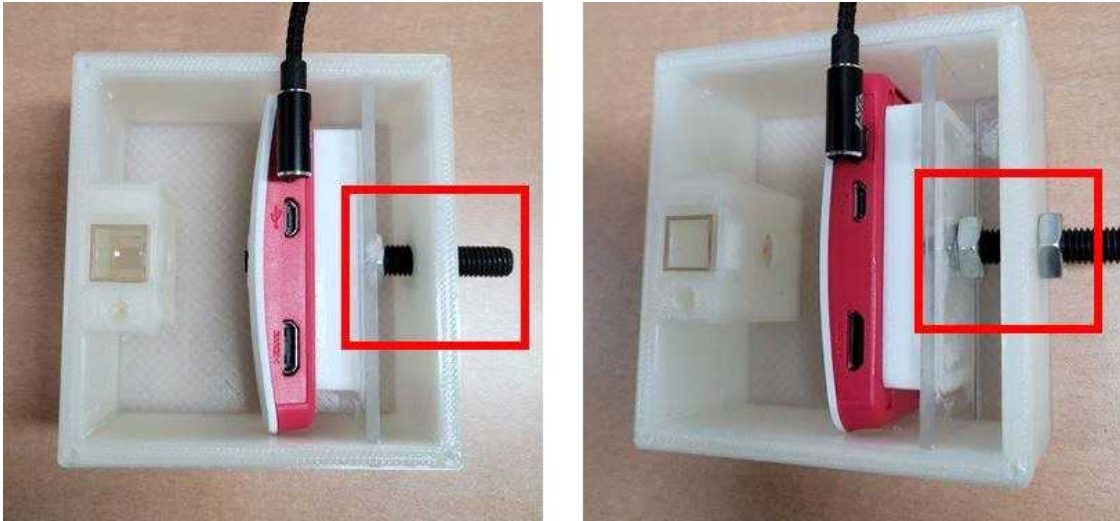
<내부 광원 필요>

② 이미지 취득 장치 시작기 설계

- 양분농도 측정을 위한 용기(Cuvette)와 호환되는 거치대(Cuvette holder)의 3차원 모델을 설계하기 위해 3D CAD 설계 소프트웨어(SolidWorks 2016, Dassault Systemes, US)를 사용하였음
- 시작기 모델은 1개의 홀더부를 포함하고 있으며 영상취득부 및 촬영거리 조절부 그리고 외부의 빛 영향을 최소화하기 위한 뚜껑부로 구성되어 설계함
- 설계 요인 분석 결과를 기반으로 시작기 모델을 제작하여 테스트를 수행하고자 초기 모델을 이용하여 3D 프린터로 출력함
- 촬영 시 외부 환경 및 빛 반사에 의한 영향을 최소화하기 위해 불투명 색상의 PLA(Poly Lactic Acid) 소재 필라멘트를 사용하였음
- 사용된 3D 프린터는 FFF(Fused Filament Fabrication)의 출력 방식을 지원하는 M220P(Moment, Korea) 모델임
- 시작기 모델은 영상 취득 장치 테스트를 위한 상용 임베디드 카메라(RPI zero W CAM)를 사용하였으며, 볼트-너트를 이용한 촬영 거리 조절 기능을 구현함
- 시작기 모델을 통해 취득한 영상을 확인하여 촬영 거리 조절을 통해 분석 가능한 형태의 이미지 수집이 가능한 것으로 판단함
- 해당 모델의 경우 외장 케이스를 불투명 소재로 활용하였고, 해당 장비의 작동여부를 확인하기 위한 테스트로 광원을 추가하지 않고 테스트를 수행함



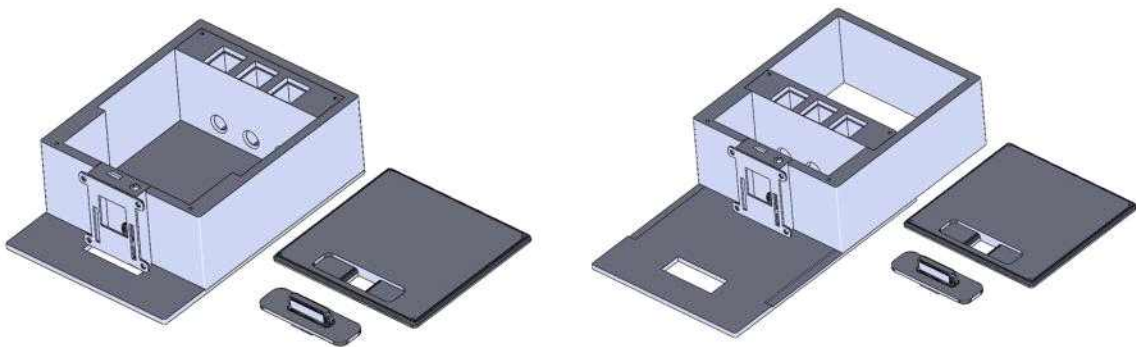
<양분농도별 영상 취득을 위한 촬영 장치 3D 모델 설계>



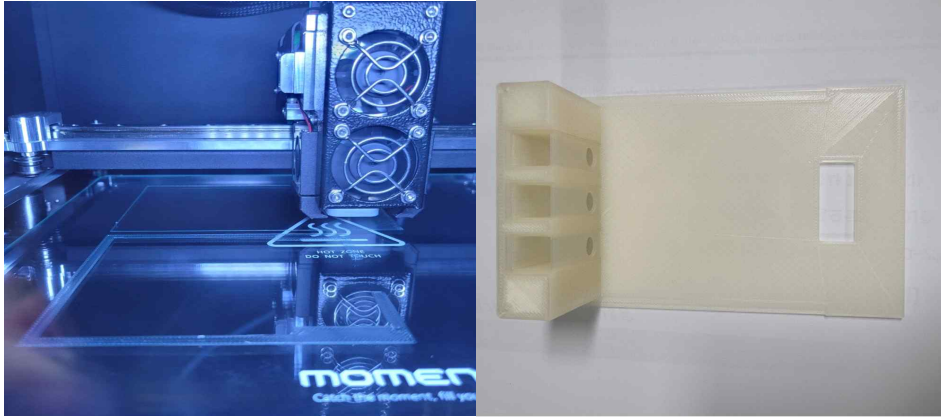
<시작기 모델 볼트-너트 이용 영상 취득 장치 초점 조절>

③ 이미지 취득 장치 시작기 설계

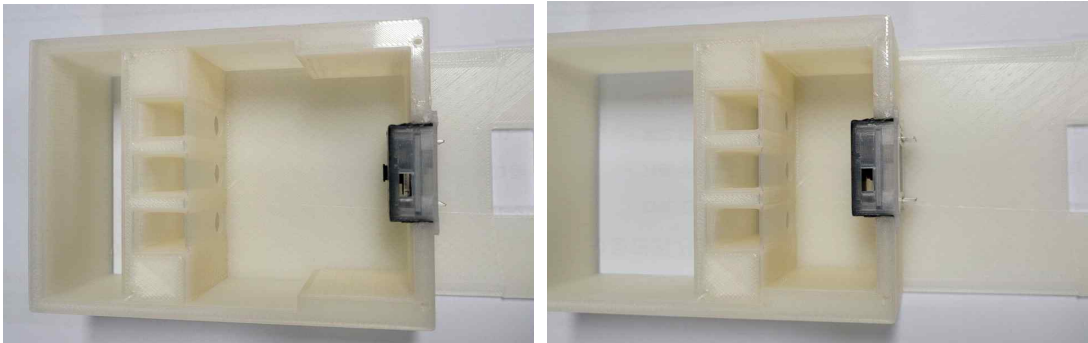
- 토양조사 현장에서 필요시 다중 시료를 동시에 분석 가능한 형태로 개발이 필요하여, 큐벳 홀더의 개수를 3개로 추가함
- 사용되는 이미지 센서의 촬영 거리에 따른 초점 거리를 분석하여 거리별 최적 초점 거리를 확인함
- 한편, 상용 카메라의 초점거리를 조절하기 위해 렌즈에 직접 작업을 하는 경우, 초점 거리의 신뢰성 확보에 어려움이 있음
- 해당 모델1은 큐벳 홀더부, 슬라이딩부, 뚜껑으로 구분되어있으며 기구적으로 설계한 슬라이딩 방식을 기반으로 촬영 거리 조절이 가능함



<양분농도별 영상 취득 시작기 3D 모델1>



<양분농도별 영상 취득 시작기 모델1 3D 프린팅 출력 및 결과>



<양분농도별 영상 취득 시작기 모델1 촬영거리 조절 가능>

2) 인공지능 영상분석 기술 적용을 위한 디바이스 부품 비교 테스트 및 선정

① 영상 취득 장치 개발을 위한 임베디드 보드 데이터 시트 비교

- 내장 통신 모듈인 ESP32-wroom 임베디드 칩은 저전력 기반 프로세서를 사용하며, CPU 클럭 주파수는 80MHz에서 240MHz까지 조절이 가능함
- ESP32에는 SD 카드 미디어 인터페이스, 고속 SPI, UART, I2C 등이 포함됨
- ESP32 모듈은 블루투스, BLE, WIFI의 통합 모듈이며, WIFI 사용시 물리적으로 넓은 범위와 인터넷 연결이 가능하고, BLE의 경우 저전력 기반의 무선 통신 구현이 가능한 것으로 확인함
- 또한 ESP32 칩의 슬립모드 진입시 5 μ A미만으로 배터리 전원 및 웨어러블 장비에 적합하다고 판단
- 통신 모듈은 최대 150Mbps의 데이터 전송 속도와 안테나에서 20dBm의 출력 전력을 지원하며, 넓은 물리적 범위 포함
- ESP32용으로 사용 가능한 운영 체제는 LwIP를 사용하는 freeRTOS이며 하드웨어 가속 기능이 있는 TLS 1.2도 내장되어 있음



Table 7: Wi-Fi Radio Characteristics

Parameter	Condition	Min	Typical	Max	Unit
Operating frequency range ^{note 1}	-	2412	-	2484	MHz
Output impedance ^{note 2}	-	-	note 2	-	Ω
TX power ^{note 3}	11n, MCS7	12	13	14	dBm
	11b mode	17.5	18.5	20	dBm
Sensitivity	11b, 1 Mbps	-	-98	-	dBm
	11b, 11 Mbps	-	-89	-	dBm
	11g, 6 Mbps	-	-92	-	dBm
	11g, 54 Mbps	-	-74	-	dBm
	11n, HT20, MCS0	-	-91	-	dBm
	11n, HT20, MCS7	-	-71	-	dBm
	11n, HT40, MCS0	-	-89	-	dBm
	11n, HT40, MCS7	-	-69	-	dBm
Adjacent channel rejection	11g, 6 Mbps	-	31	-	dB
	11g, 54 Mbps	-	14	-	dB
	11n, HT20, MCS0	-	31	-	dB
	11n, HT20, MCS7	-	13	-	dB

1. Device should operate in the frequency range allocated by regional regulatory authorities. Target operating frequency range is configurable by software.
2. For the modules that use IPEX antennas, the output impedance is 50 Ω . For other modules without IPEX antennas, users do not need to concern about the output impedance.
3. Target TX power is configurable based on device or certification requirements.

<ESP32-wroom 통신 모듈 Reference>

ESP32 supports multiple external QSPI flash and SRAM chips. More details can be found in Chapter SPI in the [ESP32 Technical Reference Manual](#). ESP32 also supports hardware encryption/decryption based on AES to protect developers' programs and data in flash.

ESP32 can access the external QSPI flash and SRAM through high-speed caches.

- The external flash can be mapped into CPU instruction memory space and read-only memory space simultaneously.
 - When external flash is mapped into CPU instruction memory space, up to 11 MB + 248 KB can be mapped at a time. Note that if more than 3 MB + 248 KB are mapped, cache performance will be reduced due to speculative reads by the CPU.
 - When external flash is mapped into read-only data memory space, up to 4 MB can be mapped at a time. 8-bit, 16-bit and 32-bit reads are supported.
- External SRAM can be mapped into CPU data memory space. Up to 4 MB can be mapped at a time. 8-bit, 16-bit and 32-bit reads and writes are supported.

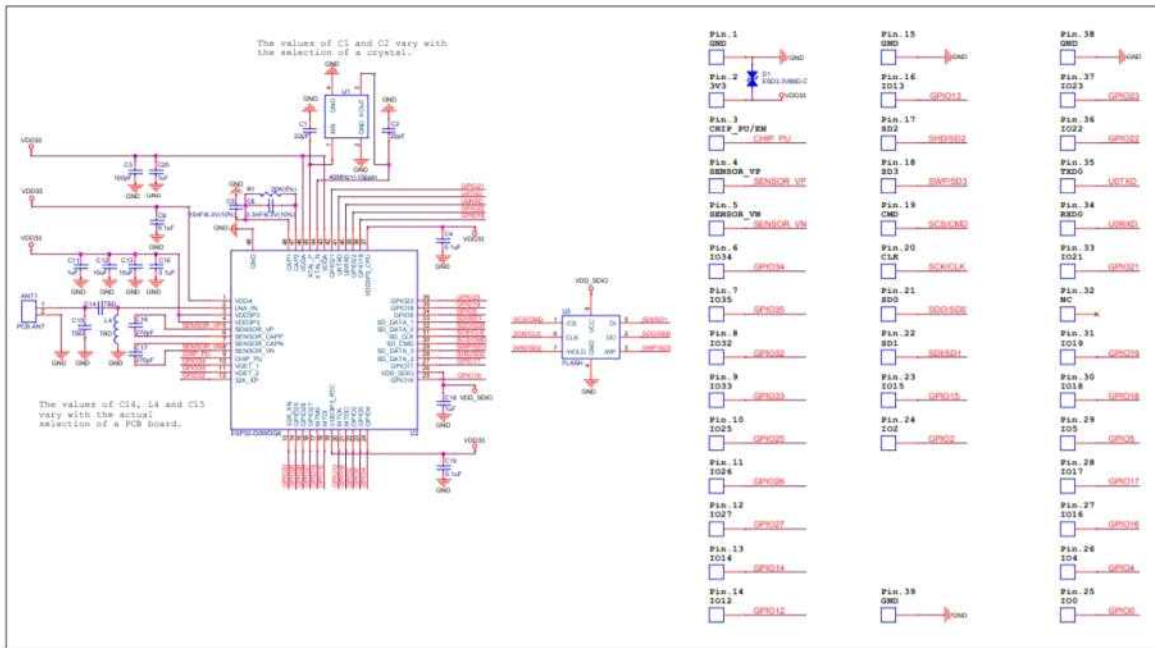
ESP32-WROOM-32 integrates a 4 MB SPI flash, which is connected to GPIO6, GPIO7, GPIO8, GPIO9, GPIO10 and GPIO11. These six pins cannot be used as regular GPIOs.

<External Flash and SRAM Reference>

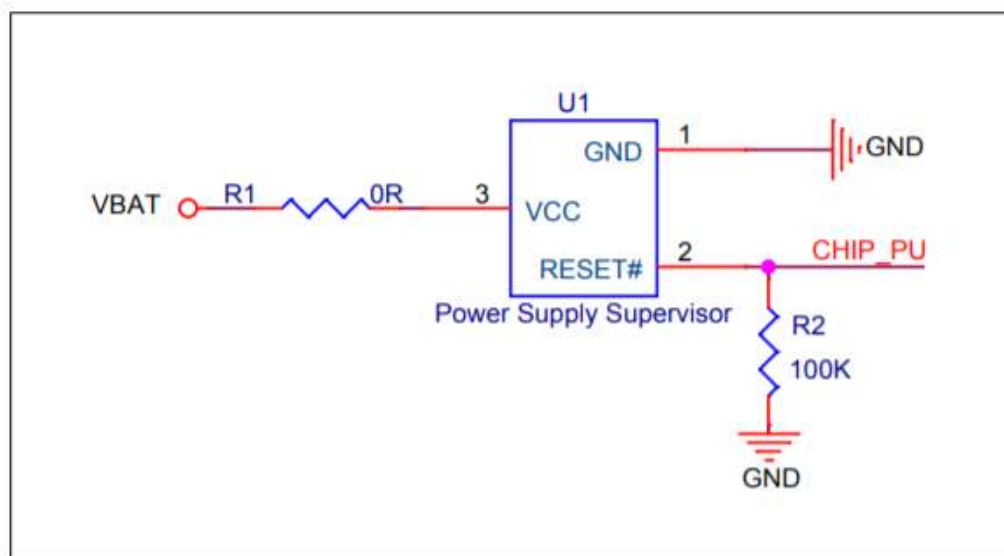
ESP32-D0WDQ6 contains two low-power Xtensa® 32-bit LX6 microprocessors. The internal memory includes:

- 448 KB of ROM for booting and core functions.
- 520 KB of on-chip SRAM for data and instructions.
- 8 KB of SRAM in RTC, which is called RTC FAST Memory and can be used for data storage; it is accessed by the main CPU during RTC Boot from the Deep-sleep mode.
- 8 KB of SRAM in RTC, which is called RTC SLOW Memory and can be accessed by the co-processor during the Deep-sleep mode.
- 1 Kbit of eFuse: 256 bits are used for the system (MAC address and chip configuration) and the remaining 768 bits are reserved for customer applications, including flash-encryption and chip-ID.

<CPU and Internal Memory Reference>



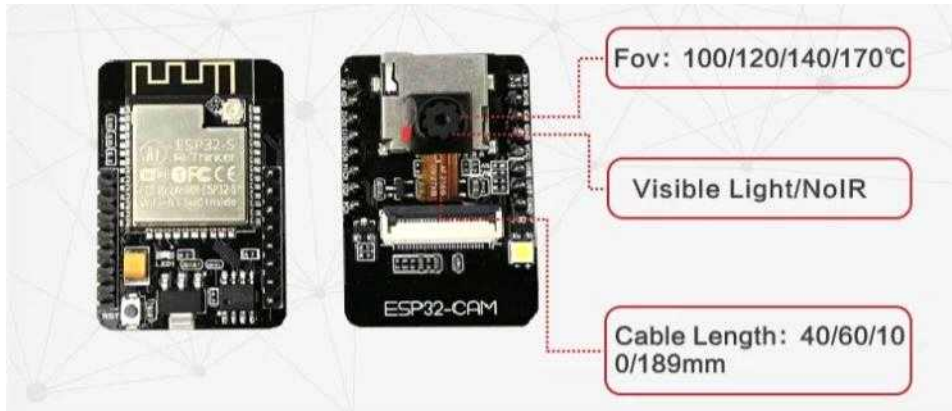
<ESP32-WROOM-32 Schematics Reference>



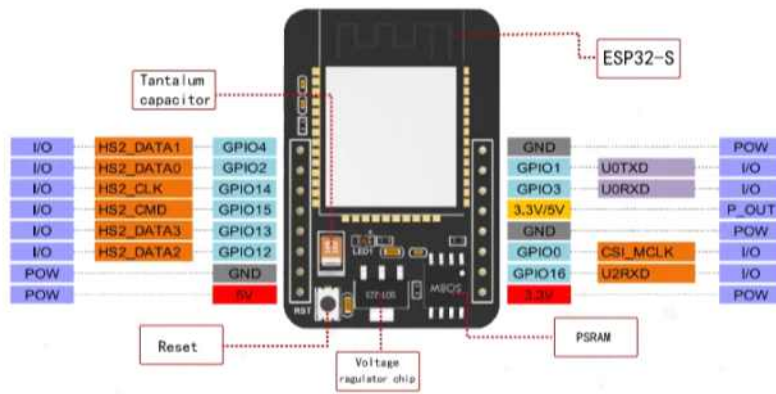
<ESP32-WROOM-32 Reset Circuit Reference>

② 영상 취득 장치 개발을 위한 상용 임베디드 카메라 모듈 성능 비교

- 초기 단계에서 PC 프로그램과 연동하여 영상을 촬영 및 수집이 목적임으로 보드 자체에 성능은 의미가 없으므로 개발 및 조립이 상대적으로 편한 ESP32-CAM 모델을 선정함
- 해당 제품(ESP32-CAM)은 LED 광원을 포함하고 있으며, PWM 핀이 내장되어, 이를 이용한 PWM 제어를 기반으로 빛의 세기 조절이 가능하다고 판단됨
- 또한 다양한 호환성을 가지고 있어 필요에 따라 광각 렌즈 또는 가시광, NoIR 등 센서 적용이 가능함
- 이미지 센서는 OV2640이며 이미지 어레이는 1632*1232 배열로 수집되며, 수집된 컬러 필터는 바이어 패턴으로 배열되며 기본 색상 BG/GR 배열은 라인 교대로 배열을 이룸



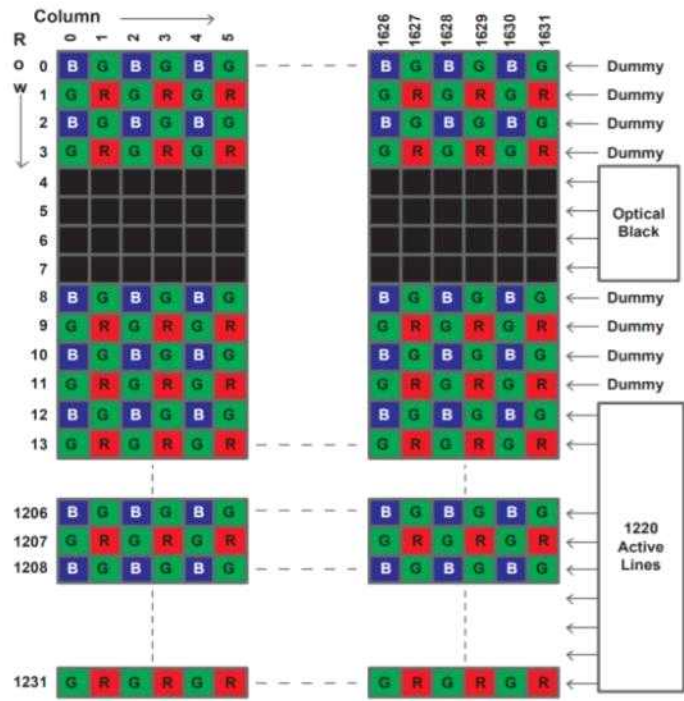
<ESP32-CAM 개발 보드 호환성 Reference>



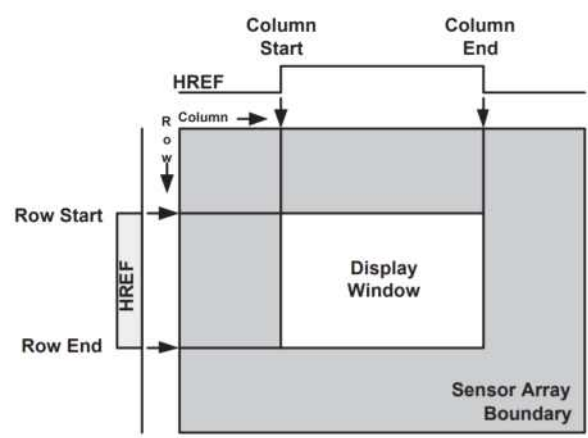
<ESP32-CAM 개발 보드 pinout Reference>



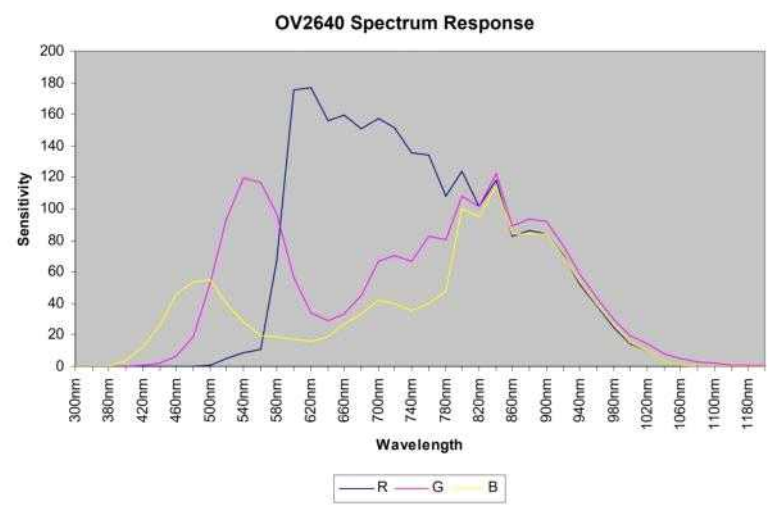
<ESP32-CAM 호환 광각 160 렌즈>



<Sensor array region color filter layout Reference>



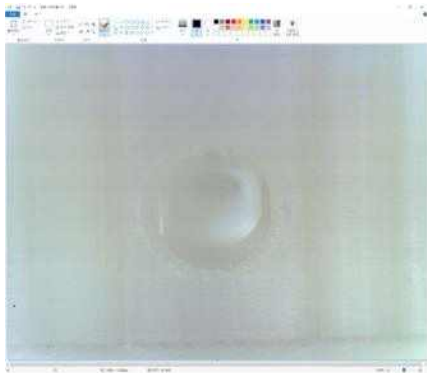
<Windowing Reference>



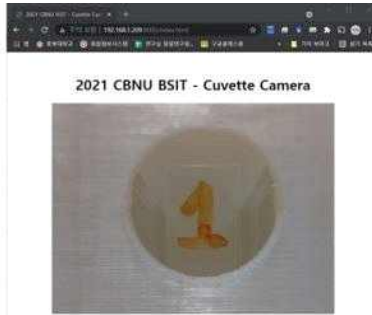
<OV2640 light response Reference>

③ 선정된 이미지 센서 기반 영상 취득 장치 홈페이지 연동 테스트

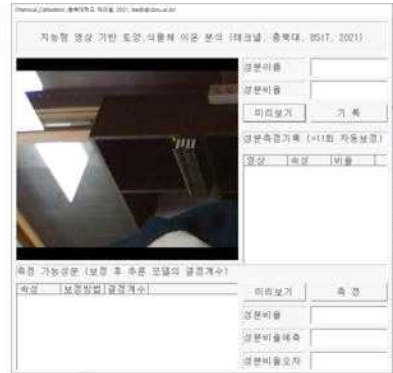
- ESP32-CAM에서 수집된 이미지를 분석하기 위해 파일 형태로 저장하거나 분석용 서버로 전송이 요구됨
- 따라서 http 프로토콜 기반 홈페이지 연동을 통해 취득 영상을 확인 가능하며, 활용이 가능한 형태로 연동함
- 영상 취득 장치 자체 AP 모드를 활성화 하여 장치에서 제공하는 WIFI 연결 후 제공되는 AP 기반 홈페이지 접속을 통한 영상을 실시간 확인이 가능함 또한 해당 홈페이지 연동을 통한 촬영 조건 설정 가능
- 초기 분석용 프로그램은 프로그램 자체적으로 구현 도구를 통해 http 프로토콜 기반 영상 촬영, 촬영 영상 확인 및 이미지 파일 저장기능 구현 완료됨
- 구현 기능을 기반으로 시작기 개발 과정에 필요한 설계요인 적정성 여부 확인



<이미지 파일 저장>



<홈페이지 연동>



<분석용 프로그램 연동>

<http 프로토콜 기반 영상 취득 및 프로그램 연동 과정>



<지능형 영상 기반 이온 분석 도구 초기 버전>

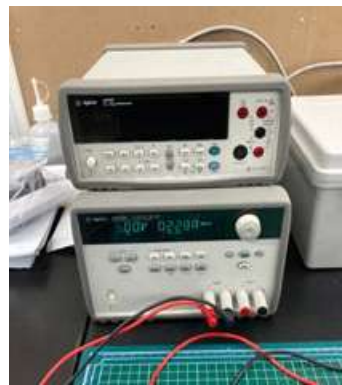
3) 인공지능 영상분석 기술을 적용한 디바이스 시작기 제작

① 양분농도 영상 취득 시작기 조건실험

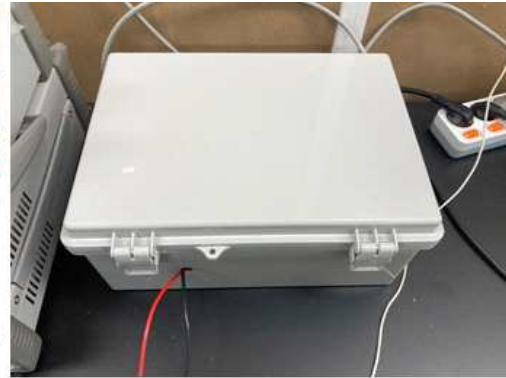
- 프로토 버전으로 출력된 큐벳 홀더의 경우 큐벳 셀의 높이와 동일하여 시약을 넣고 빼는데 번거로움이 발생 아래 부분 고무 패킹을 통하여 작업이 용이하도록 제작
- Cell A의 경우는 시판되는 형태로 사용하였으며, Cell B의 경우 홀더의 촬영 부분이 매끄럽지 않고 반사가 일어날 수 있어, 시료 촬영할 때 색에 영향이 있을 것 같아 하얀색 배경을 만들어서 테스트를 수행함
- 테스트 수행시 외부 요인을 차단시키기 위해 엔클로징 밀폐 용기를 사용하였고, 시약 교체 및 촬영시 기기 움직임을 최소화하기 위해 테이프로 고정시킨 후 초점거리를 맞추고 촬영하였음



<좌: Cell A, 우: Cell B>



<카메라 전원 공급 장치>

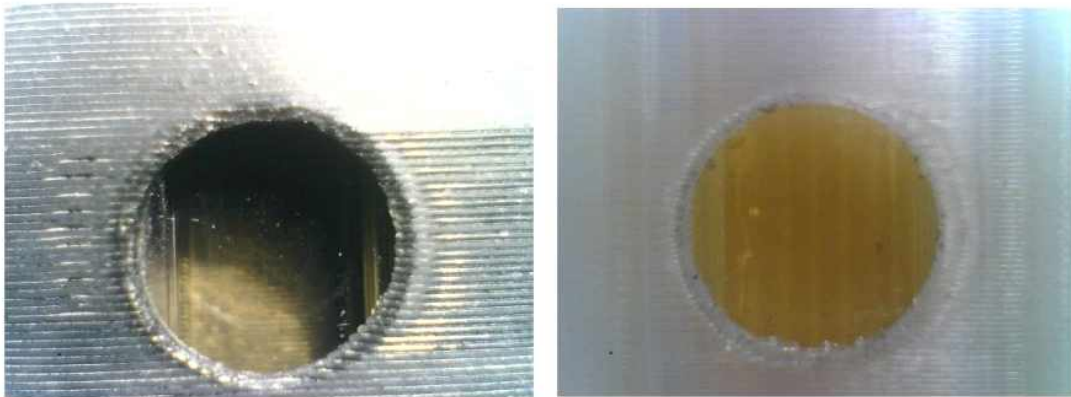


<좌: 기기 내부, 우: 기기 외부>

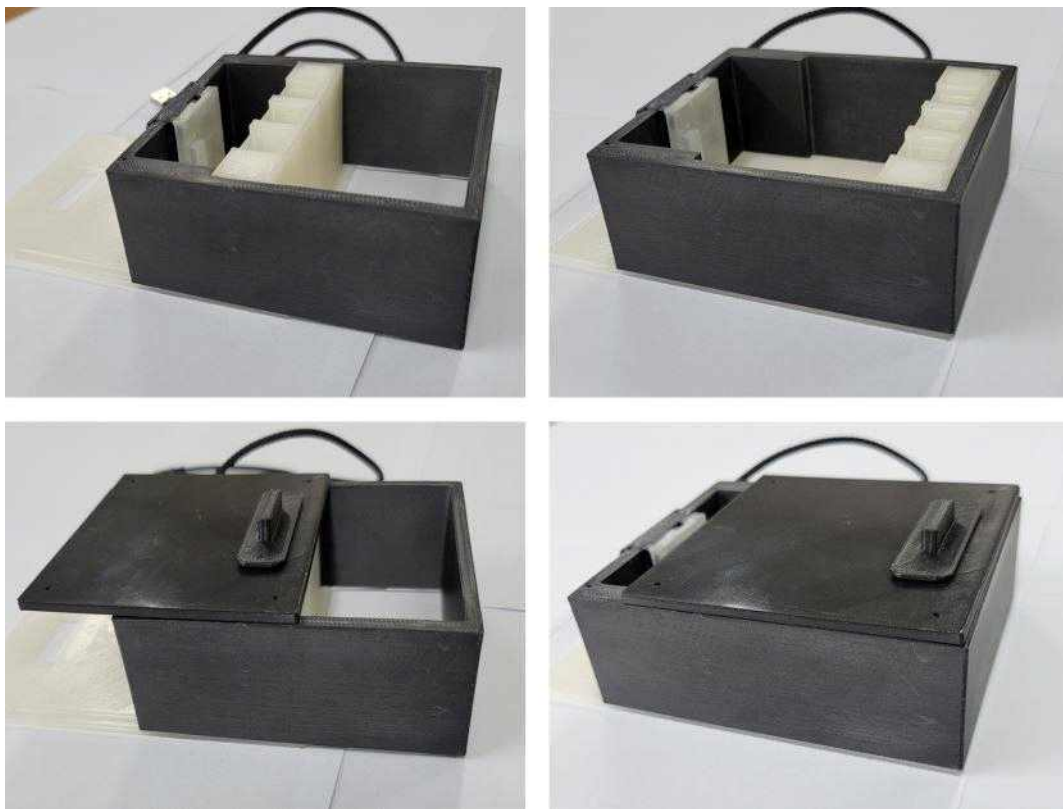
② 양분농도 영상 취득 시작기 개발

- 케이스는 외부 광원으로 인한 간섭을 차단하기 위해 검은색으로 선정하였으며, 측면부와 상부 모두 외부 광원을 차단하도록 설계함 또한 내부 광원이 고르게 분산되도록 사포질을 통해 내부 표면을 다듬는 과정을 수행함
- 큐벳 홀더부는 검은색으로 사용하였을 때 내부 광원이 투과하지 못하거나 시약 이미지에 음영이 나타나는 등 변수들이 발생하여 추후 다양한 방법을 시도해 볼 필요가 있고 현재, 큐벳 홀더부는 내부 광원을 고려하여 빛이 고르게 분산되는 불투명색으로 선정

- 광원부에 내장된 LED를 본연의 상태로 사용하게 되면 광원이 한 방향으로 밀집되어 그림자가 지거나 빛에 의해 반사되는 부분이 발생하게 됨 이를 개선하기 위해 실리콘 재질 마개를 세로 방향으로 부착하여 광원이 고르게 분산되도록 설계함



<재질 및 색상에 따라 큐벳 홀더부에 미치는 영향 비교>



<양분농도 영상 취득 시작기>

③ 지능형 영상 기반 이온 분석 도구

- Http 프로토콜 기반 이미지 취득 및 저장 기능을 구현하였으며 축소된 이미지로 미리보기가 가능함
- 또한 저장은 원본사이즈(1600×1200)으로 저장 가능함
- 이온 농도 분석을 위한 기본 농도 이미지 업데이트 기능 추가 및 분석 알고리즘 포팅을 위한 프로그램 UI 구성 완료

- 성분이름 및 성분비율 칸에 내용을 파일명으로 기록되며, 미리보기 버튼을 통해 저장 가능한 이미지를 확인이 가능함 또한 기록 버튼을 누르면 확인한 이미지와 기록된 성분 이름 및 비율로 파일이 생성됨
- 해당 이온 분석 도구의 분석 알고리즘을 개발하기 위해 색 음료 기반 농도에 따른 실험 수행을 진행함



<성분 기록 및 저장>



<분석 및 보정 기능>

<지능형 영상 기반 이온 분석 도구>

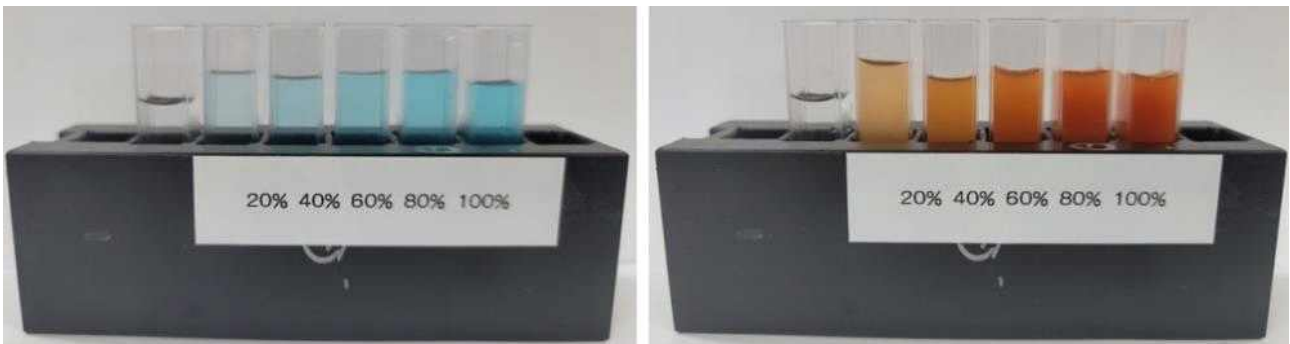
- | | | |
|--|--|--|
| <input type="checkbox"/> 성분(질산)비율(0B-3-1).bmp | <input type="checkbox"/> 성분(질산)비율(50B-3-1).bmp | <input type="checkbox"/> 성분(질산)비율(100B-3-1).bmp |
| <input type="checkbox"/> 성분(질산)비율(0B-3-2).bmp | <input type="checkbox"/> 성분(질산)비율(50B-3-2).bmp | <input type="checkbox"/> 성분(질산)비율(100B-3-2).bmp |
| <input type="checkbox"/> 성분(질산)비율(0B-3-3).bmp | <input type="checkbox"/> 성분(질산)비율(50B-3-3).bmp | <input type="checkbox"/> 성분(질산)비율(100B-3-3).bmp |
| <input type="checkbox"/> 성분(질산)비율(0B-3-4).bmp | <input type="checkbox"/> 성분(질산)비율(50B-3-4).bmp | <input type="checkbox"/> 성분(질산)비율(100B-3-4).bmp |
| <input type="checkbox"/> 성분(질산)비율(0B-3-5).bmp | <input type="checkbox"/> 성분(질산)비율(50B-3-5).bmp | <input type="checkbox"/> 성분(질산)비율(100B-3-5).bmp |
| <input type="checkbox"/> 성분(질산)비율(0B-3-6).bmp | <input type="checkbox"/> 성분(질산)비율(50B-3-6).bmp | <input type="checkbox"/> 성분(질산)비율(100B-3-6).bmp |
| <input type="checkbox"/> 성분(질산)비율(0B-3-7).bmp | <input type="checkbox"/> 성분(질산)비율(50B-3-7).bmp | <input type="checkbox"/> 성분(질산)비율(100B-3-7).bmp |
| <input type="checkbox"/> 성분(질산)비율(0B-3-8).bmp | <input type="checkbox"/> 성분(질산)비율(50B-3-8).bmp | <input type="checkbox"/> 성분(질산)비율(100B-3-8).bmp |
| <input type="checkbox"/> 성분(질산)비율(0B-3-9).bmp | <input type="checkbox"/> 성분(질산)비율(50B-3-9).bmp | <input type="checkbox"/> 성분(질산)비율(100B-3-9).bmp |
| <input type="checkbox"/> 성분(질산)비율(0B-3-10).bmp | <input type="checkbox"/> 성분(질산)비율(50B-3-10).bmp | <input type="checkbox"/> 성분(질산)비율(100B-3-10).bmp |
| <input type="checkbox"/> 성분(질산)비율(150B-2-1).bmp | <input type="checkbox"/> 성분(질산)비율(200B-3-1).bmp | <input type="checkbox"/> 성분(질산)비율(250B-3-1).bmp |
| <input type="checkbox"/> 성분(질산)비율(150B-2-2).bmp | <input type="checkbox"/> 성분(질산)비율(200B-3-2).bmp | <input type="checkbox"/> 성분(질산)비율(250B-3-2).bmp |
| <input type="checkbox"/> 성분(질산)비율(150B-2-3).bmp | <input type="checkbox"/> 성분(질산)비율(200B-3-3).bmp | <input type="checkbox"/> 성분(질산)비율(250B-3-3).bmp |
| <input type="checkbox"/> 성분(질산)비율(150B-2-4).bmp | <input type="checkbox"/> 성분(질산)비율(200B-3-4).bmp | <input type="checkbox"/> 성분(질산)비율(250B-3-4).bmp |
| <input type="checkbox"/> 성분(질산)비율(150B-2-5).bmp | <input type="checkbox"/> 성분(질산)비율(200B-3-5).bmp | <input type="checkbox"/> 성분(질산)비율(250B-3-5).bmp |
| <input type="checkbox"/> 성분(질산)비율(150B-2-6).bmp | <input type="checkbox"/> 성분(질산)비율(200B-3-6).bmp | <input type="checkbox"/> 성분(질산)비율(250B-3-6).bmp |
| <input type="checkbox"/> 성분(질산)비율(150B-2-7).bmp | <input type="checkbox"/> 성분(질산)비율(200B-3-7).bmp | <input type="checkbox"/> 성분(질산)비율(250B-3-7).bmp |
| <input type="checkbox"/> 성분(질산)비율(150B-2-8).bmp | <input type="checkbox"/> 성분(질산)비율(200B-3-8).bmp | <input type="checkbox"/> 성분(질산)비율(250B-3-8).bmp |
| <input type="checkbox"/> 성분(질산)비율(150B-2-9).bmp | <input type="checkbox"/> 성분(질산)비율(200B-3-9).bmp | <input type="checkbox"/> 성분(질산)비율(250B-3-9).bmp |
| <input type="checkbox"/> 성분(질산)비율(150B-2-10).bmp | <input type="checkbox"/> 성분(질산)비율(200B-3-10).bmp | <input type="checkbox"/> 성분(질산)비율(250B-3-10).bmp |

<이온 농도별 촬영 영상 이미지 기록 및 저장 예시>

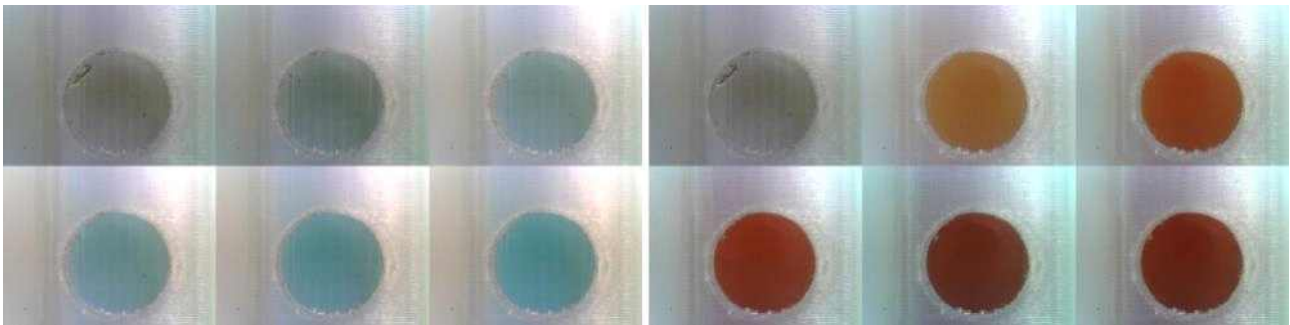
4) 인공지능 영상분석 기술을 위한 디바이스 시작기 작동 성능 평가 및 개선

① 양분농도 영상 취득 시작기 테스트

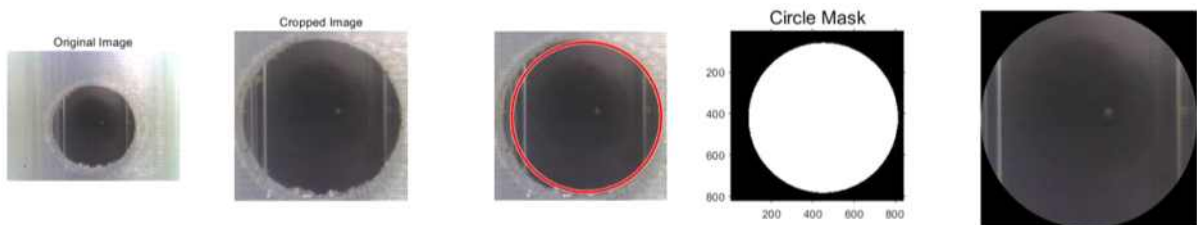
- 양분농도 영상 데이터 촬영 전에 색이 띄는 시약 2종을 선정하여 5단계 농도에 따른 색 변화를 확인 할 수 있는 이미지 데이터를 촬영함
- 수집된 이미지 데이터는 눈으로도 농도 변화를 구분할 수 있는 정도로 확인 하였으며 이 데이터를 기반으로 시약 농도에 따른 이미지 색상 농도 변화 분석이 가능함
- 시약의 농도별 상관성을 확인하기 위해 먼저 수집된 이미지의 불필요한 부분을 제거 하는 작업으로 원 내부의 부분을 확대하고 동그란 부분을 제외한 부분에 검정 마스킹 작업을 통해 필요한 부분만 따로 확인이 가능하도록 추출함
- 해당 작업에 대해 자동화 프로그램을 개발하여, 이미지 촬영 작업만 진행하고 자동화 프로그램을 실행하면 필요한 부분 이미지만 추출되어 파일로 저장됨



<시약 농도에 따른 이미지>



<시약 농도에 따른 측정 이미지>



<데이터 분석을 위한 이미지 전처리 과정>

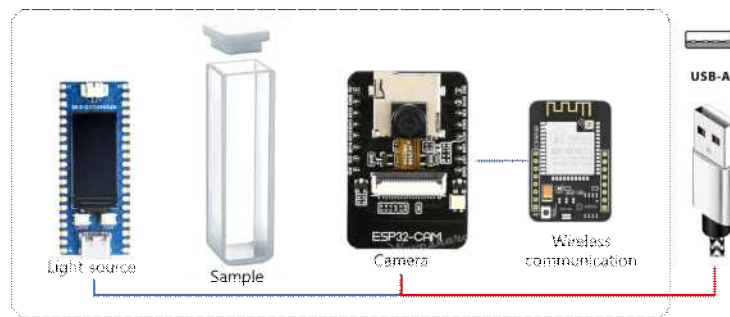
나. 주관연구기관(테크넬) 2차년도(2022)

- 연차목표 : 영상 기반 다성분 동시분석 양분농도-측정디바이스 시제품 설계, 제작 및 작동 성능 평가

1) 다항목 동시 분석을 위한 다중 분석키트를 삽입할 수 있는 어레이 구조가 포함된 디바이스 시제품 설계

① 시제품용 영상 인식 촬영 모듈 설계 (단식)

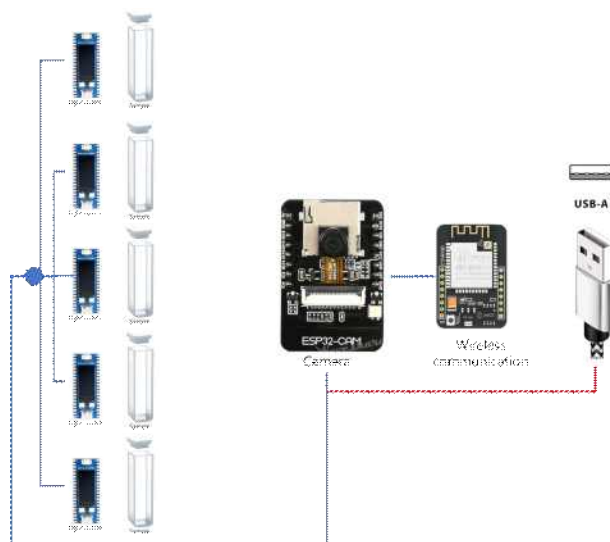
- ESP32-CAM 모듈 기반 무선 영상 취득 시스템
- 흡광도 계측을 위한 광원 드라이브 수행 가능
- RGB 특성별 흡광도 계측 위한 광원 특성 조절 수행 가능
- WIFI 무선 모듈 연동을 통한 측정 영상 실시간 전송 시스템 구현
- USB 전원을 이용한 전원 공급



<시제품용 영상 인식 촬영 모듈 개념 설계-단식>

② 시제품용 영상 인식 촬영 모듈 설계 (다항목)

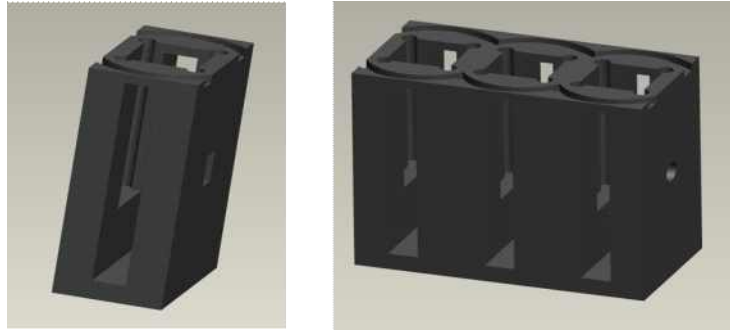
- 동시 5항목 측정 가능 (증류수 마커 미이용시)
- 동시 4항목 측정 가능 (증류수 마커 이용시)



<시제품용 영상 인식 촬영 모듈 개념 설계-다항목>

③ 분석키트 삽입 어레이 구조가 포함된 하우징 설계

- 모듈 구조로 다항목 측정 시 항목 추가 가능한 구조로 설계



<분석키트 삽입 어레이 구조 (좌) 단식, (우) 다항목>

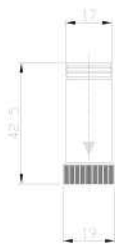
2) 인공지능 영상분석 기술에 적합한 분석키트 카트리지 제작

① 인공지능 영상분석 기술에 적합한 카트리지 재질 선정

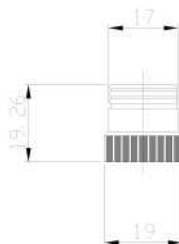
- 분석키트의 구성 시약들은 분석키트의 종류에 따라 약산성 또는 약염기성의 성질을 가지고 있어 분석키트 카트리지는 내화학성을 고려해야함
- 약산성과 약염기성에 대한 내화학성을 갖고 있는 PE, PP, PS를 후보로 선정함
- 카트리지의 기계적 가공성을 고려하여 최종적으로 HDPE 또는 LDPE로 선정함

② 최적화 화학분석법에 적합한 카트리지 설계 및 제작

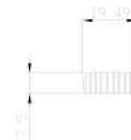
- 최적화 화학분석법에 적합한 카트리지 설계
 - 카트리지는 액체시약용, 분말시약용 및 캡 3가지로 구성함
 - 각 카트리지 간에 체결이 가능하도록 나사구조를 부여하여 다단 카트리지가 가능하도록 설계함
 - 카트리지의 용량은 공동연구기관의 결과를 반영하여 설계함



<액체시약 카트리지>



<분말시약 카트리지>



<카트리지 캡>

- 최적화 화학분석법에 적합한 카트리지 제작
 - 카트리지의 결합을 위해 카트리지 종류에 따른 LDPE와 HDPE 재질로 제작함
 - 액체시약 카트리지는 LDPE로 분말시약 카트리지 및 캡은 HDPE로 제작함



<액체시약 카트리지>

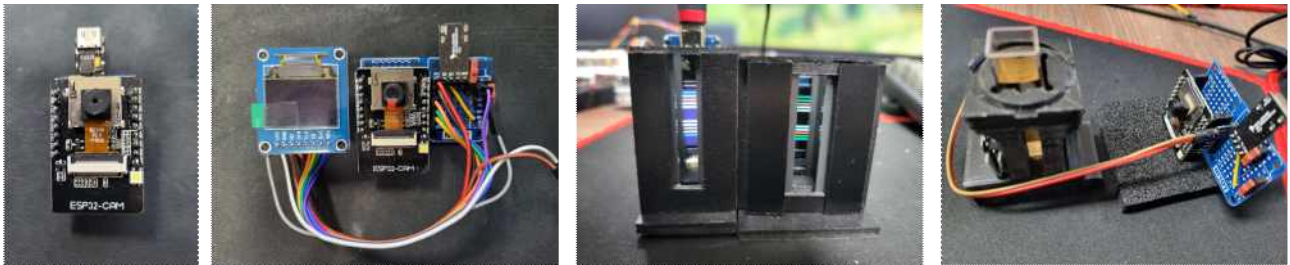


<분말시약 카트리지>



<카트리지 캡>

3) 다항목 동시 분석을 위한 다중 분석키트를 삽입할 수 있는 어레이 구조가 포함된 디바이스 시제품 제작



① 시제품용 영상인식 촬영 모듈 제작

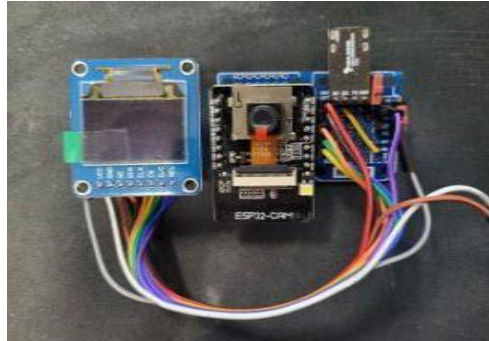
- 영상의 크기 : 1024 x 769 Pixel
- 영상의 전송 속도 : 1 Hz
- 영상의 압축방식 : JPEG
- 이미지 센서 모델 : OV2640



<영상 획득 촬영 모듈>

② 시제품용 무선통신 기능 및 신호처리가 포함된 신호처리보드 개발 및 제작

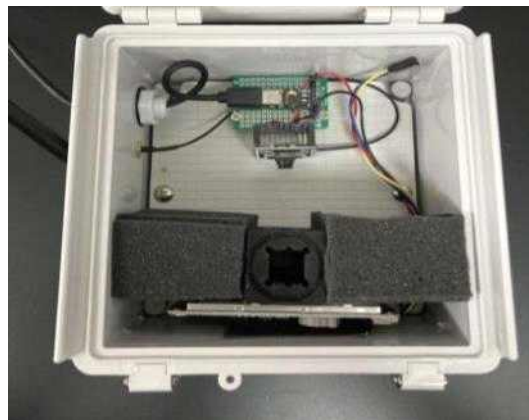
- 무선통신 지원 목록 : 802.11 b/g/n
- 광원 컨트롤 인터페이스 : I2C



<무선통신 및 광원 처리 기능 추가>

③ 시제품용 전원부 개발 및 제작

- 전원부 소요전력 : Deep-sleep: 6mA@5V, Modern-sleep: 20mA@5V, Light-sleep: 6.7mA@5V



<하우징 및 전원 연결부 제작>

④ 공동에서 설계한 분석키트 삽입 어레이 구조가 포함된 하우징 제작

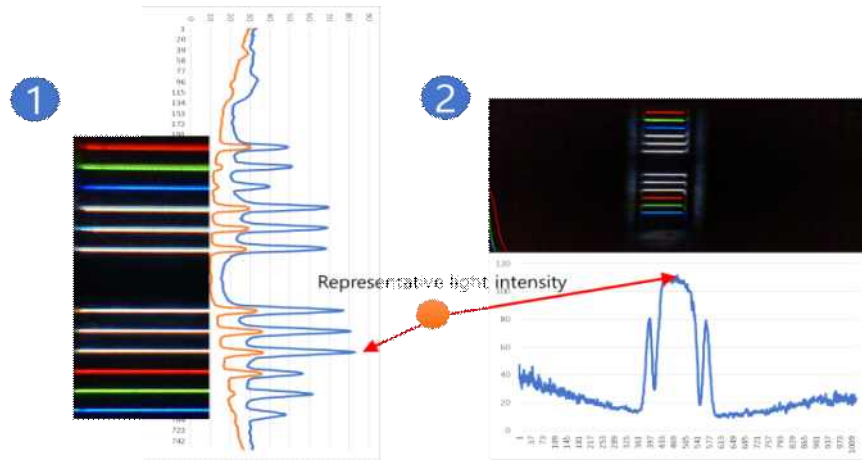
- 개별적으로 광원 모듈의 특성 변경 가능한 구조
- 동시에 조절 가능한 광원 모듈 선택 가능



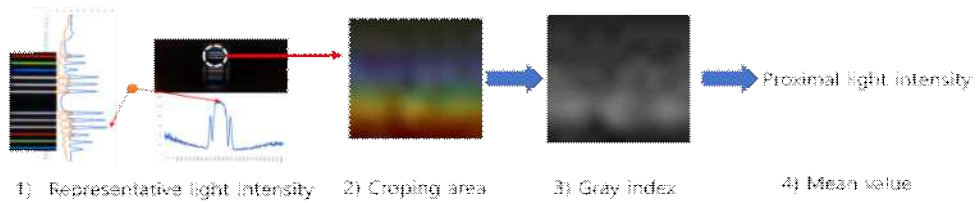
<모듈형 다항목 분석키트 모듈 제작>

⑤ 시제품 구동 프로그램 개발

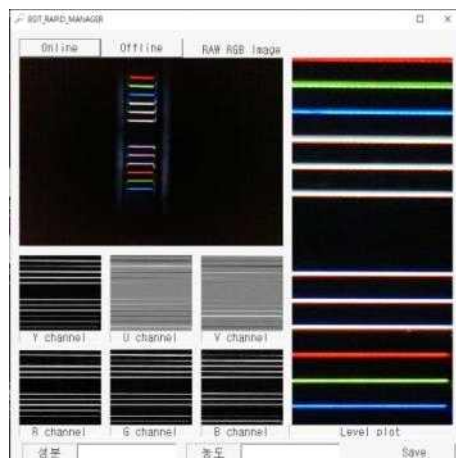
- 시제품 구동 프로그램 영상 처리 알고리즘
 - 세로/가로 방향 최대 light intensity를 대표 light intensity로 설정



- 대표 light intensity 영역의 Kernel size를 10x10으로 하는 영역 추출
- Gray scale 추출 후 평균값 산출 -> 시료의 대표 광 투과 강도

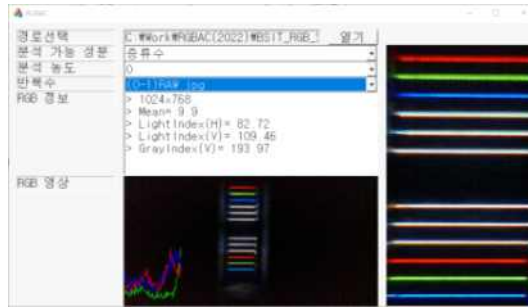


- 시제품 구동 프로그램 초기 버전 주요 기능
 - 무선 영상 획득 및 로컬 파일 시스템 저장 (저장 시점 자동 기록)
 - 획득한 영상의 채널 분리(YUB, RGB)
 - 광원 부분의 정보 Cropping 기능을 통한 분석 대상 정보량 감소



<시제품 구동프로그램 개발>

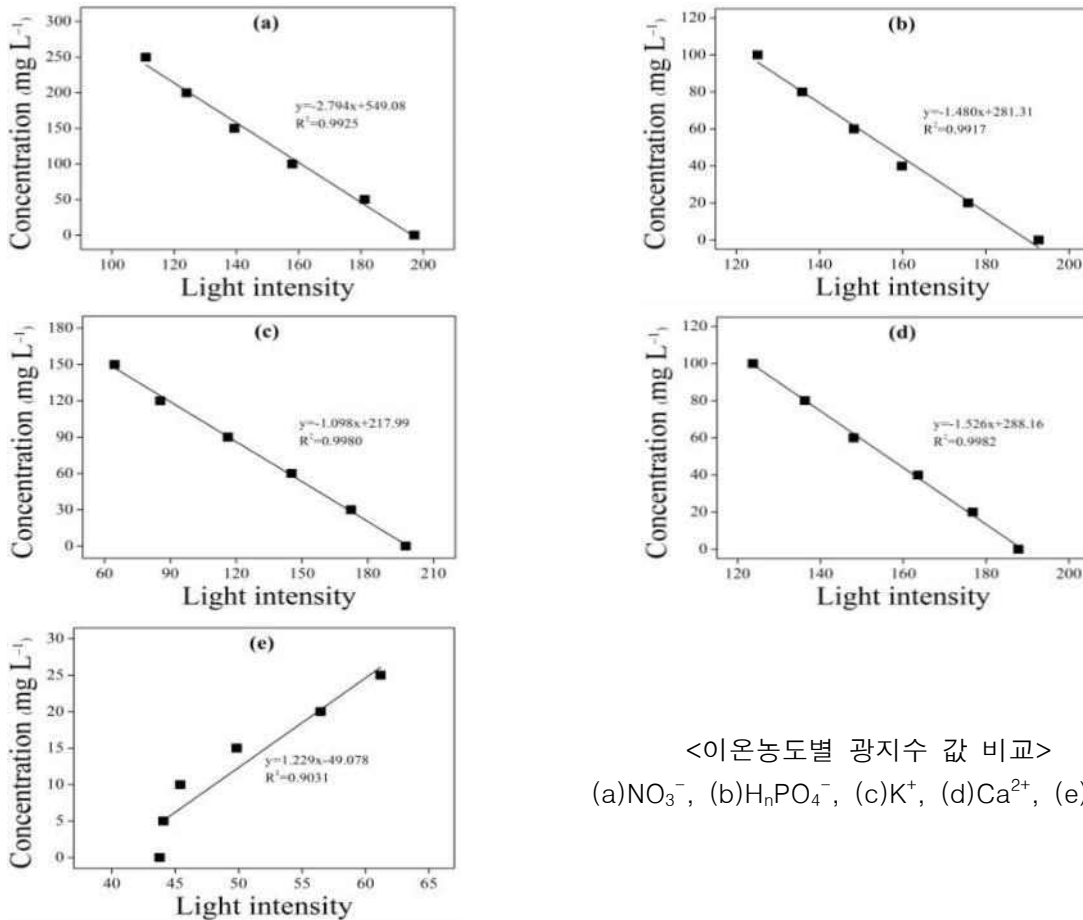
- 시제품 구동 프로그램 보완 버전 주요 기능
 - RGB 채널별 히스토그램 산출 및 도시
 - 정보 처리 대상 영역의 평균 Intensity 산출
 - 정보 처리 대상 영역의 최고 Intensity 산출 (수평방향, 수직방향)
 - 영상 처리 대상 영역의 최고 Gray level 산출(수직 방향)



<시제품 구동프로그램 보완>

4) 시제품 작동 성능 평가 및 보완

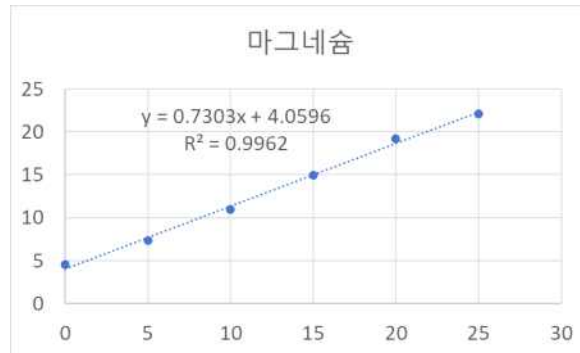
- ① 다중 분석키트 측정에 적합한 어레이 구조 성능 평가 및 보완
 - 농도별 20 Sample 영상 취득 및 Linear regression
 - Mg^{2+} 을 제외한 4가지 항목에 대하여 0.99 이상의 결정 계수를 보임



<이온농도별 광지수 값 비교>

(a) NO_3^- , (b) $H_nPO_4^-$, (c) K^+ , (d) Ca^{2+} , (e) Mg^{2+}

- Mg^{2+} 의 광투과 특성상 RGB 영역별로 다른 회귀 특성을 보임에 착안하여 Gray scale 변환이전의 RGB 정보에 대하여 다중 선형 회귀 분석 추가 수행
- 최대 밝기 영역에서 R,G,B에 대한 다중선형회귀 적용
- R 계수 = 0.1728, G 계수 = -0.1166, B 계수 = 0.0383 시 0.99 의 결정 계수



② 신호처리보드 성능 평가 및 보완

- 신호처리보드 데이터 저장 및 실시간 채널 분리 결과

- NO_3^-



- $H_nPO_4^-$



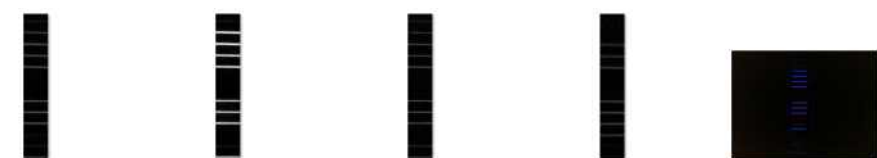
- K^+



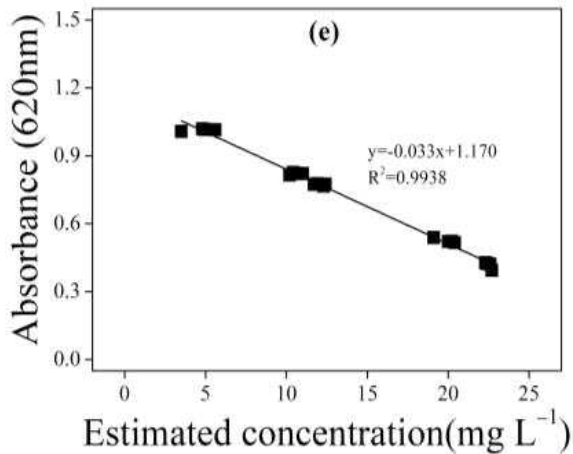
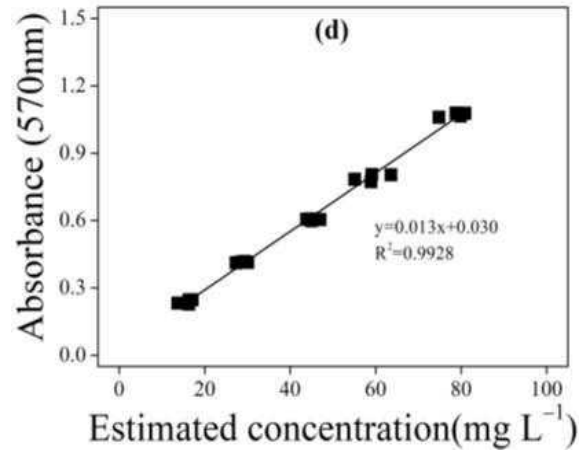
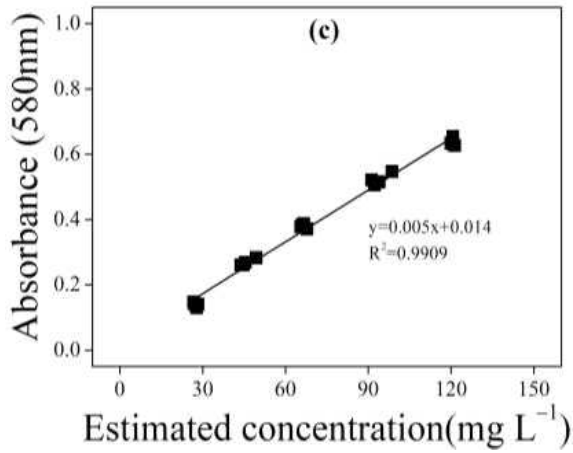
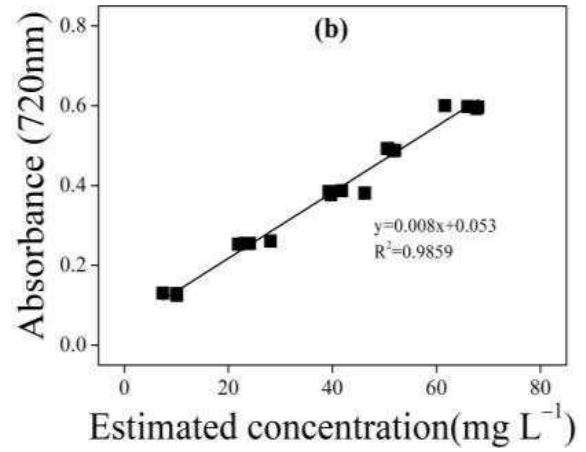
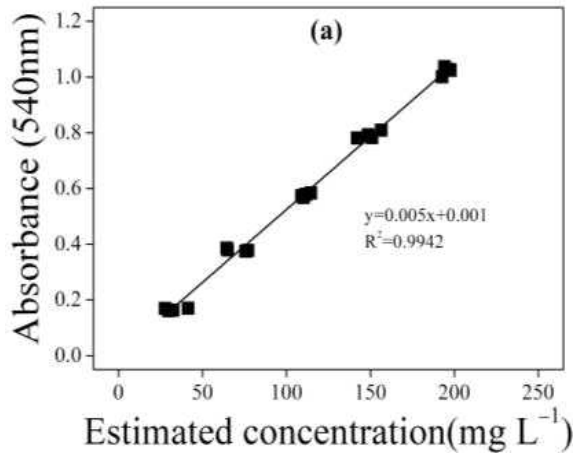
- Ca^{2+}



- Mg^{2+}



- 미지 시료에 대한 validation test 결과 : 대부분 항목에서 0.99 이상의 결정계수 (성분별 25시료, 10회 반복/시료당)

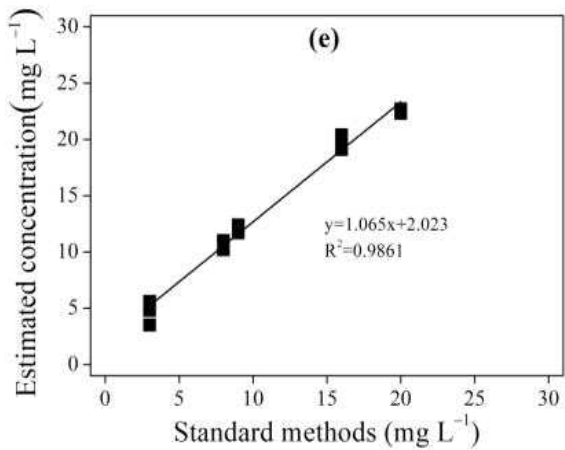
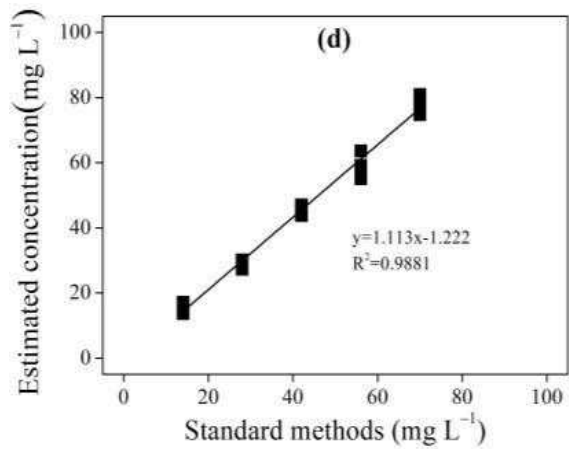
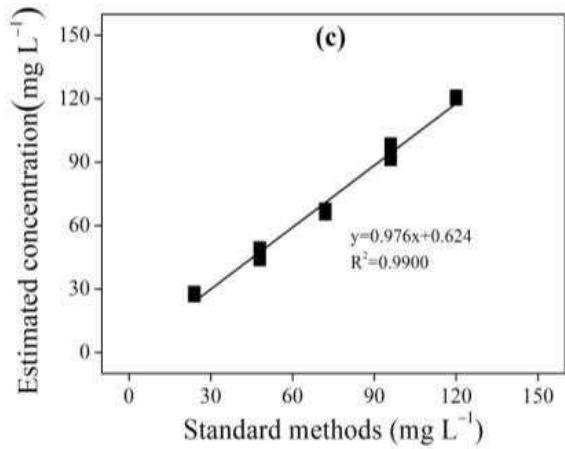
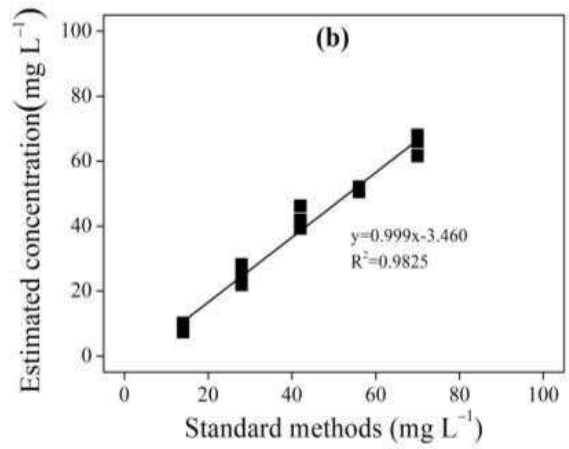
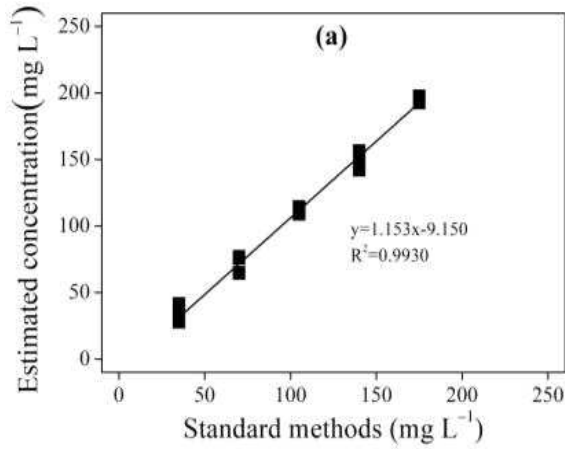


<미지시료 validation test 결과>

(a)NO₃⁻, (b)H_nPO₄⁻, (c)K⁺, (d)Ca²⁺, (e)Mg²⁺

③ 구동 프로그램 성능 평가 및 보완

- 표준 흡광도 측정 장치와 비교 결과 : 전 항목에서 0.98 이상의 결정계수



<표준 흡광도 측정 장치와 비교>

(a)NO₃⁻, (b)H_nPO₄⁻, (c)K⁺, (d)Ca²⁺, (e)Mg²⁺

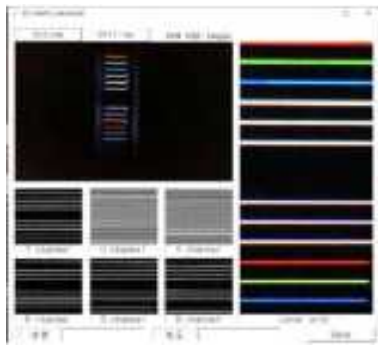
다. 주관연구기관(테크넬) 3차년도(2023)

- 연차목표 : 진단, 평가, 처방 프로그램 및 데이터베이스와 연동할 수 있는 무선통신 기반 화학분석 시스템의 디지털 공유 기술개발

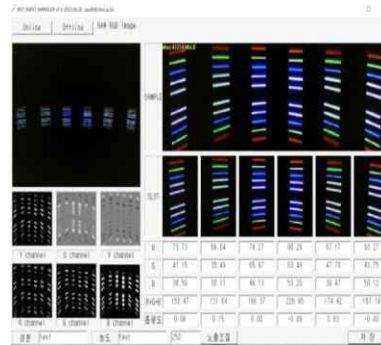
1) 시제품과 연동하는 디지털 공유시스템 개발

① 인공지능 영상분석 농도 보정 알고리즘을 적용한 관리자 프로그램 개발

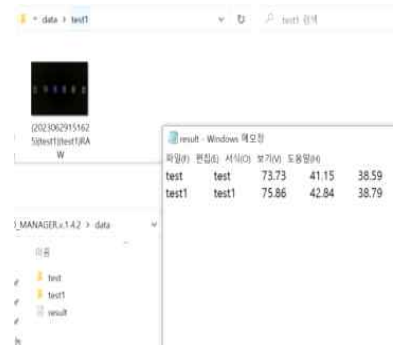
- 실시간, 배치처리 수행 기능 구현
- 기존(1단계)에서 1세트 분석이 가능한 프로그램에서 6세트 동시 분석이 가능하도록 개별이미지 및 다중 이미 동시 처리 기능 구현
- 영상의 SLOT 별 분할 기능 구현
- SLOT 내의 대표 RGB 산출 및 인공지능 모델 입력 변수 도출 기능 구현
- 각 SLOT cropping 기능으로 다량의 데이터 처리 과정에서 발생하는 데이터 크기를 감소시켜 프로그램 구동 간 발생할 수 있는 정보처리 시간 지연 감소
- 정보 처리 영역의 RGB 합산 값 및 흡광도 산출 및 수치 시각화 구현
- 정보 저장 시 raw data(image) 저장 및 각 채널 및 주요 분석영역에 대한 txt 파일 저장 기능을 구현
- 다수의 시료 및 반복실험 간 발생하는 정보처리의 자동화 구현으로 데이터 관리의 편의성 및 효율성 확보
- 3년차 공동연구기관이 개발한 색 보정 알고리즘 적용
- 분석 데이터 저장 기능 확대
- 개발 도구 : Visual studio 2022 (C++ 프로그램언어)



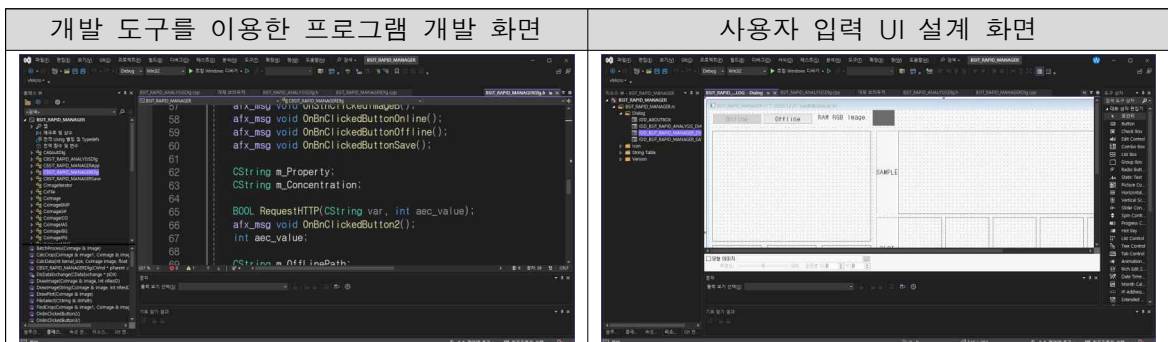
기존(1단계) 프로그램



개선(2단계) 시제품의
분석 프로그램



분석 데이터 저장 기능 확대

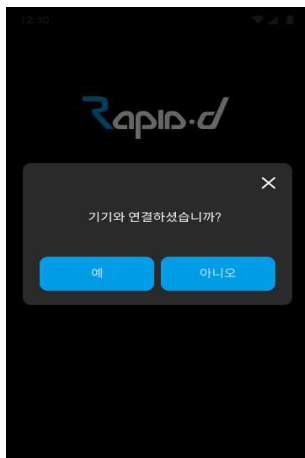


개발 도구를 이용한 프로그램 개발 화면

사용자 입력 UI 설계 화면

④ 사용자 친화형 UI를 포함한 사용자용 App. 개발

- 사용자의 편의성을 고려한 사용자 인터페이스 구성 및 외부 현장에서 사용시 시인성을 고려한 디자인 적용
- App.에서 기기의 전원 on/off 화면 및 기능 구현
- 부팅화면에서 LCD 광원 안정화 시간 포함 기본적인 자가 진단 화면 및 기능 적용
- 개별이온분석모드에서 각 이온별 색 보정 알고리즘으로부터 대리 흡광도 측정 화면 및 기능 구현
- 내장된 검량식에 의해 대리흡광도로부터 농도로 전환되는 화면 및 기능 부여
- 토양현장진단모드에서 해당 이온농도 측정 및 외부장비의 측정값 입력 시 농촌진흥청 DB(흙토람의 현장진단)와 연동하여 현장진단처방이 가능하도록 연계 화면 및 기능 부여
- 데이터 저장 화면 및 기능 구현



기기와 연결 화면



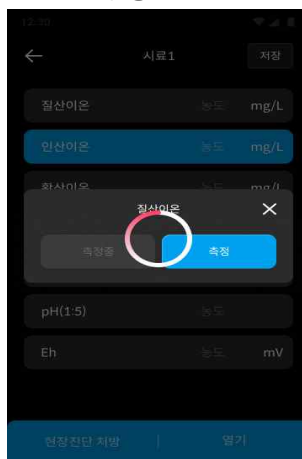
부팅 화면



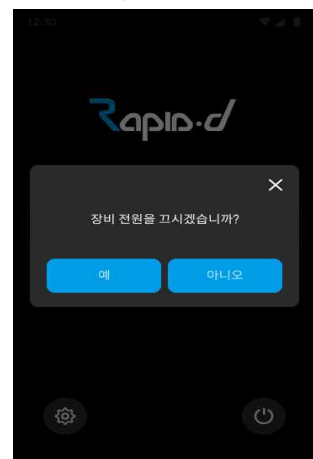
메인 화면



분석모드 화면



측정 화면



종료 화면

2) 디지털 공유시스템 평가

① 농도 분석 프로그램의 구동 테스트 및 평가

- 농도 분석 소프트웨어 구동 테스트 (실시간 영상, 오프라인 영상 분석 가능)
- Open API 연결을 통한 농도 분석 결과 평가

단일 영상 보정 관리자 프로그램 화면	인공지능 영상 분석 입력 변수 산출 화면
Open API 연동 결과 (PC 운영)	Open API 연동 결과 (모바일 운영)

② 시스템 운용에 따른 서버 안정성 평가

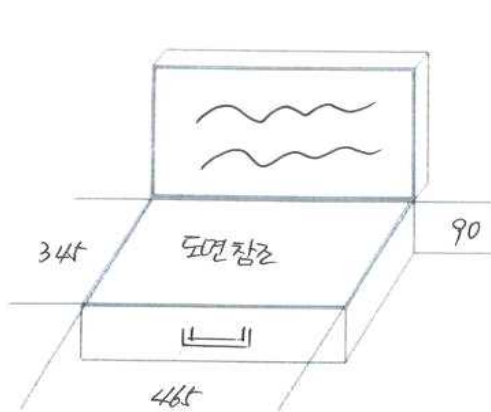
- 디지털 공유 시스템 사용 전후 CPU, 메모리 점유율 산출
- htop 앱 (<https://github.com/htop-dev/htop>)을 이용한 서버 Stress 평가
- 초당 1회의 요청이 오는 상황을 가정한 stress test에서 부하율 73% 유지

시스템 운용 전 서버 자원 산출	시스템 운용 후 서버 자원 산출
- CPU 점유율 : 1.3% / 16 - 메모리 점유율 : 1.31 Gb / 31.4 Gb - 부하율 : 0%	- CPU 점유율 : 101.4% / 16 - 메모리 점유율 : 1.31 Gb / 31.4 Gb - 부하율 : 73%

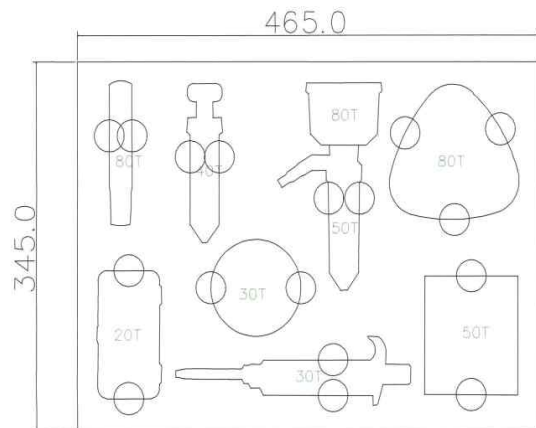
3) 전처리 과정 현장 운영을 위한 현장 분석-플랫폼 제작

① 현장 운영을 위한 현장 분석-플랫폼 설계 수정

- 현장 분석-플랫폼 설계
 - 공동연구기관에서 제안한 전처리 표준화에 적합한 현장 분석-플랫폼 설계
 - 현장 운영을 위한 시료 전처리 단계별 배치
 - 현장 운영에 맞는 이동 편의성을 위한 알루미늄 가방 형태 및 크기로 설계
 - 전처리 도구 크기에 맞게 금형 쿠션 설계



현장 분석 플랫폼 설계도면



현장 분석 플랫폼 내부 설계도면

② 현장 운영을 위한 현장 분석-플랫폼 제작

- 알루미늄 가방 형태의 케이스 제작
- 전처리 도구의 충격 완화 및 고정을 위한 고경도 쿠션으로 제작



현장 분석-플랫폼 외부



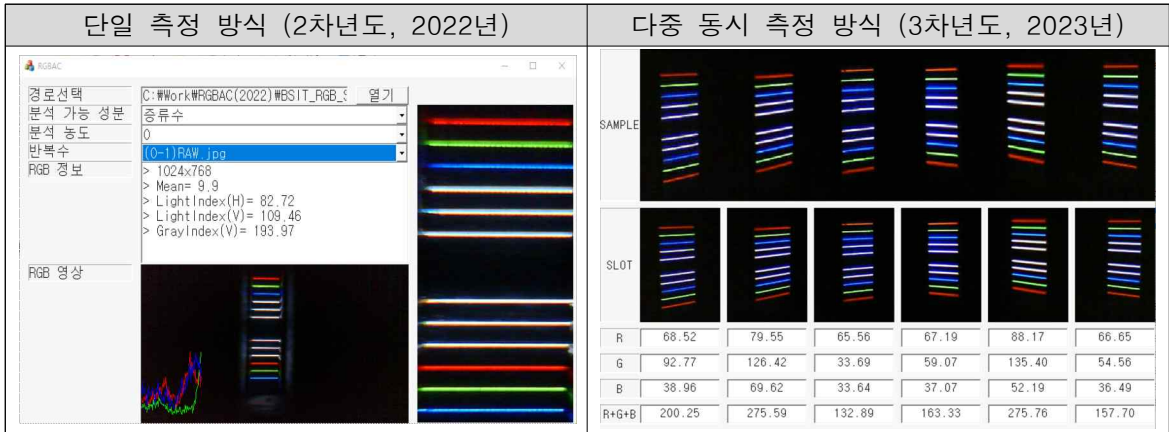
현장 분석-플랫폼 내부

- ㉑ 식물체시료 디스크 절편 채취를 위한 펀치, ㉒ 식물체 시료 디스크의 균질화를 위한 핸드 티슈 그라인더, ㉓ 토양/식물체시료의 여과를 위한 0.45uM 필터가 포함된 감압 여과장치, ㉔ 토양/식물체 시료의 추출을 위한 휴대용 볼텍서, ㉕ 휴대용 저울
- ㉖ 현장 사용 편의성을 구현하기 위한 시료용기의 거치대, ㉗ 정량 주입을 위한 피펫맨, ㉘ 이온별 분석키트 장착을 위한 분석키트용 키트랙

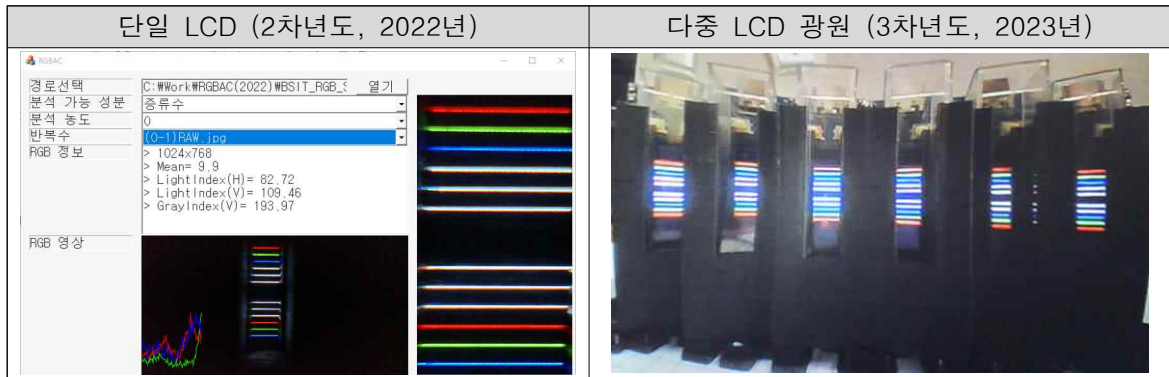
4) 디지털 공유시스템이 적용된 시제품 개선점 보완

① 시제품 적용성 개선점 보완

- 단일 측정 방식에서 다중 동시 측정 방식으로 개선

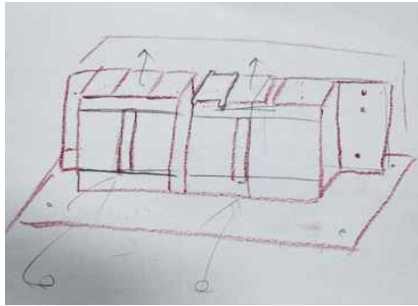


- LCD 광량 유지를 위한 다중 LCD 광원 시스템 개선



② 디지털 공유시스템 평가에서 도출된 개선점 보완

- 다중 분석기(동시 5성분 분석) 설계 및 초기 제작
 - 다수의 카트리지를 분석 가능한 구조 설계 스케치 및 목업 제작
 - LCD 보드 사이즈 측정 및 큐벳 지지대가 포함된 테스트 모듈 제작



초기 구조 스케치



테스트용 목업 제작

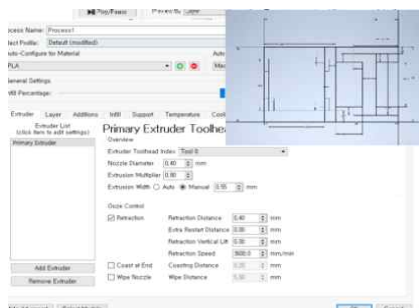


lcd 보드 조립



멀티 테스트 디바이스

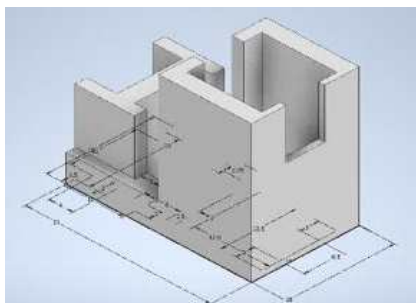
- 3D tool(Simplify3d, USA)을 활용하여 디바이스 설계 진행
- 3D 프린터(m220, Moment, Korea)를 활용한 큐벳+LCD 보드 홀더 일체형 제작
- 큐벳과 lcd 보드의 일체형 제작 시 돌출부 제거하여 여러 디바이스의 선형 배치 시 발생하는 간섭을 줄임
- 1세트 당 가로 길이 축소(4 mm), 총 가로 길이 24 mm 축소로 소형화 작업 진행
- LCD 지지대의 형상을 H빔 형태로 재설계하여 LCD 거치 공간 확보(3 mm)



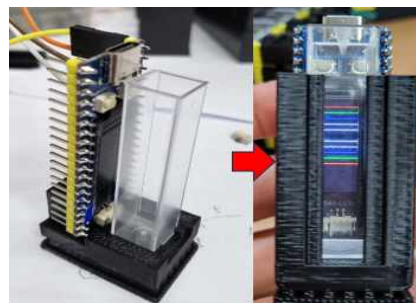
디바이스 설계



1차 디바이스 홀더 제작



디바이스 축소 설계



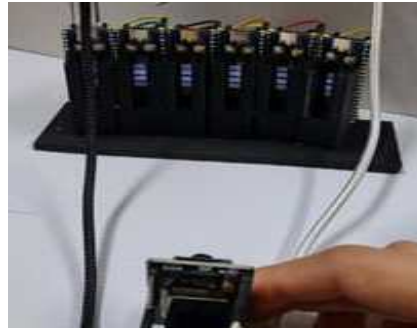
1세트 개별 제작

- 다중 분석기 제작 및 테스트
 - 개별 출력 후 LCD 보드 및 큐벳 삽입 후 촬영 테스트 진행
 - 카메라보드에 기본 장착된 렌즈 사용 시 6세트의 시료 촬영 시, 한 화면에 확보하기 위해서 약 75 mm의 거리 확보 필요

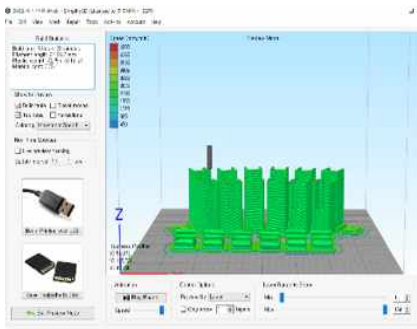
- 소형화를 위해 ov2 광각렌즈로 교체
- 광각렌즈 교체 후 촬영거리 35 mm 이내로 디바이스 소형화 구현



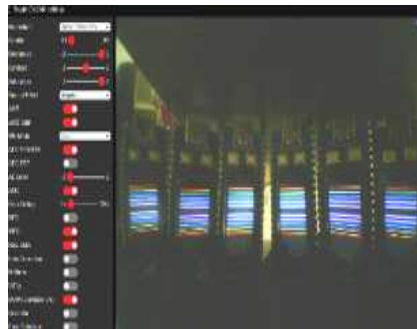
6세트 설계



제작 후 테스트



원보드 설계



테스트 촬영

- 광각에 의한 왜곡현상을 줄이기 위해 화면 중앙에 LCD 화면의 중앙이 오도록 위치 조정
- 160도의 화각을 고려, LCD가 평면으로 촬영되도록 디바이스 각도 조절
- 개별 제작한 큐벳 디바이스를 원보드로 제작
- 화각을 고려한 각 세트의 동일거리 설정 시 카메라 자체 보정으로 인해 layered 구조의 왜곡 발생
- 촬영 시 카메라 중앙과 디바이스 좌우 및 높낮이를 중앙 정렬하여 광각에 의해 발생하는 렌즈의 왜곡 현상을 물리적인 방법으로 억제



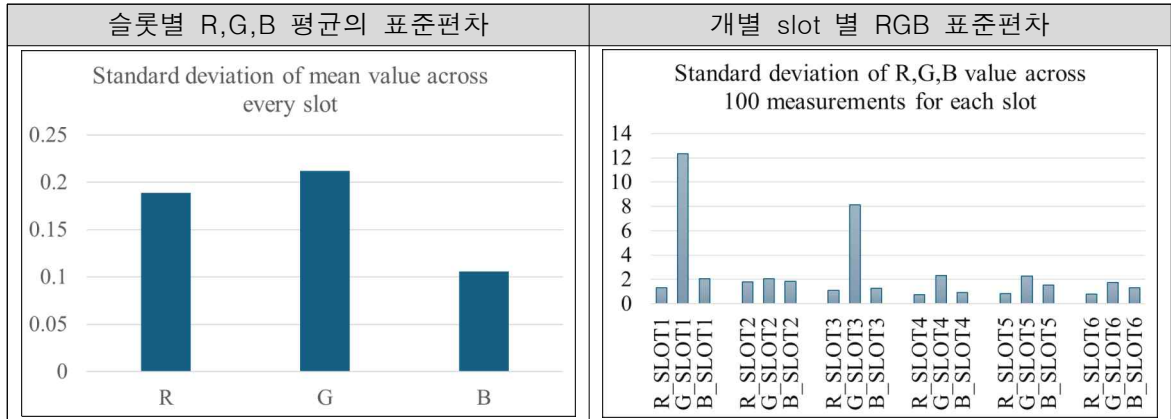
광각렌즈 교체 후 거리 축소



거리 및 높이 조정으로 물리적인 왜곡 보정 작업

③ 시제품 내구성 평가

- 내구성 평가 방법 (영상 시스템의 히스테리시스 평가)
 - 동일 시료 대상 100회 연속 측정
 - 분석 정보 편차 분석 (1) R, G, B 채널별 (2) 개별 slot 별 표준편차



- 일부 슬롯(1번, 3번)의 경우 G 채널의 값에 편차가 큼
- 추후 모델링시 G 채널 변수 값의 영향도에 따라 추가 보정 방법 필요성 발견

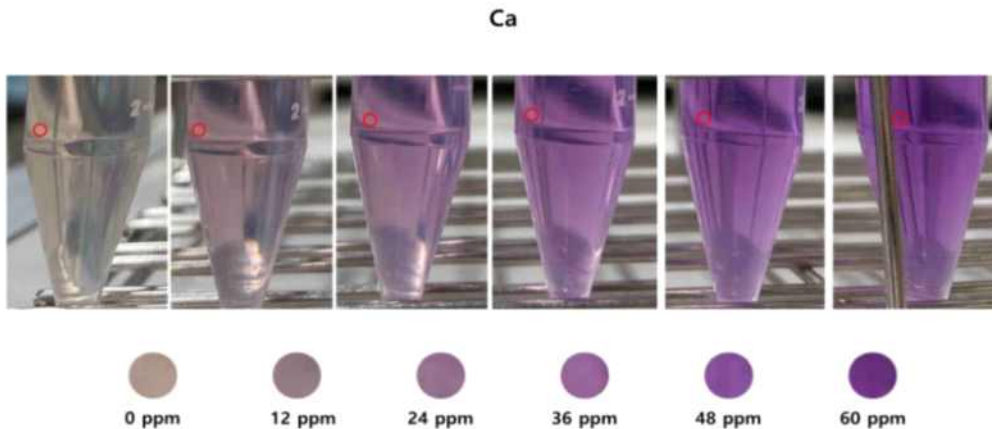
라. 공동연구기관(충북대학교 산학협력단) 1차년도(2021년)

- 연차목표 : 영상 기반 양분농도 결정 최적 알고리즘과 관련 촬영조건 설정을 위한 관리자 프로그램 개발과 토양 식물체 중 주요 양이온의 선택적 신속 현장분석 키트 개발 및 화학분석법 최적화

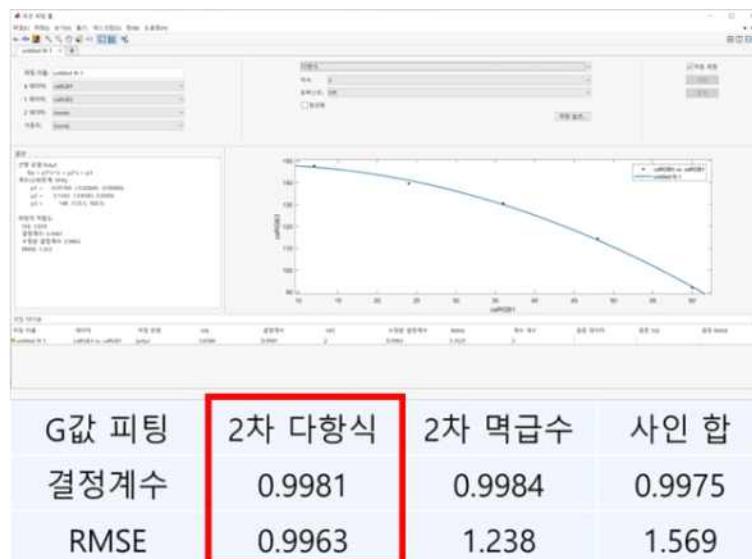
1) 영상 기반 양분농도 결정 최적 알고리즘 개발

① 인공지능 영상분석 알고리즘을 위한 입력 변수 및 사용 기법 분석

- 농도를 정확히 알고 있는 표준시료를 사용하여, 발색시킨 양분 농도별 영상을 취득하여 육안으로 색 변화가 생기는 것을 확인함
- 배경 노이즈가 없는 것으로 분석된 부분을 추출하여 입력 변수로 사용하였고, 3가지 수식(2차 다항식, 2차 멱급수, 사인 합)을 기반으로 이온 농도 분석을 진행함
- 3가지 수식을 이용한 피팅 모두 결정계수값이 0.99 이상으로 나타났으나 RMSE가 가장 낮은 2차 다항식을 알고리즘에 사용할 기법으로 선정



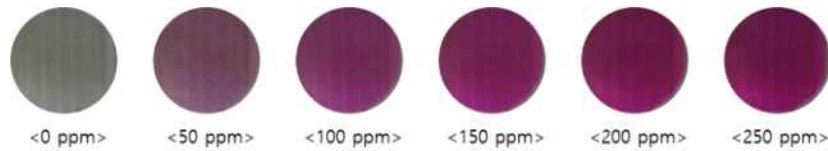
<배경 노이즈 없는 부분 추출>



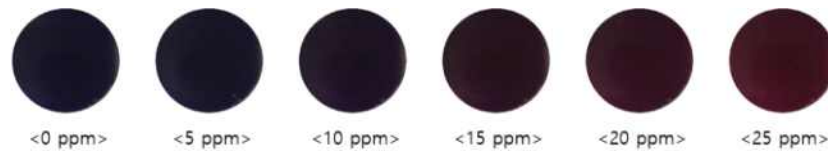
<피팅 방법에 따른 분석 결과>

② 영상 분석을 위한 분석 대상 이미지 추출

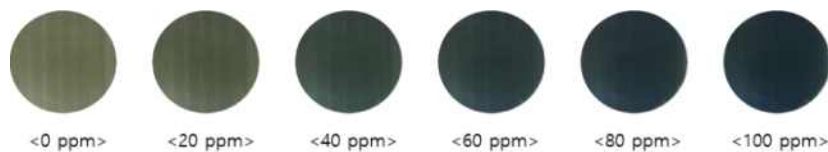
- 질산이온, 마그네슘이온, 인산이온의 이미지를 6단계(마그네슘 0, 5, 10, 15, 20, 25 mg L⁻¹, 인산 0, 20, 40, 60, 80, 100 mg L⁻¹, 질산 0, 50, 100, 150, 200, 250 mg L⁻¹)의 농도 레벨을 설정하여 각 5개의 set 준비
- 광원에 의한 노이즈를 최소화하기 위해 LED 작동 후 안정화 될 수 있는 시간 후에 영상을 취득하였고, 추가적으로 배경에 따른 분석 유무를 확인하기 위해 cell에 흰 배경을 부착하여 영상을 취득
- 취득한 영상은 분석에 활용할 수 있도록 '시료 이름 - cell 종류 - 농도 - 시료 set 번호 - 촬영 횟수' 순으로 분류 및 라벨링 작업을 수행
(ex) 마그네슘이온WCell-AW0ppmW0-1W성분(마그네슘)비율(0-1-1).bmp
- 3가지 이온 이미지를 분석하기 위해 매트랩(MATLAB, R2021a, USA) 수치해석 프로그램을 이용하여 영상 분석을 위한 전처리 작업을 진행
- 영상 취득 장치를 통해 취득한 이미지에서 표준 시약 이미지 추출을 위해 원 검출 알고리즘 중 허프 변환 알고리즘을 사용하였고, 취득한 원의 외각선을 기반으로 하여 cropping 진행



<질산이온 농도별 영상 Crop 이미지>



<마그네슘이온 농도별 영상 Crop 이미지>



<인산이온 농도별 영상 Crop 이미지>

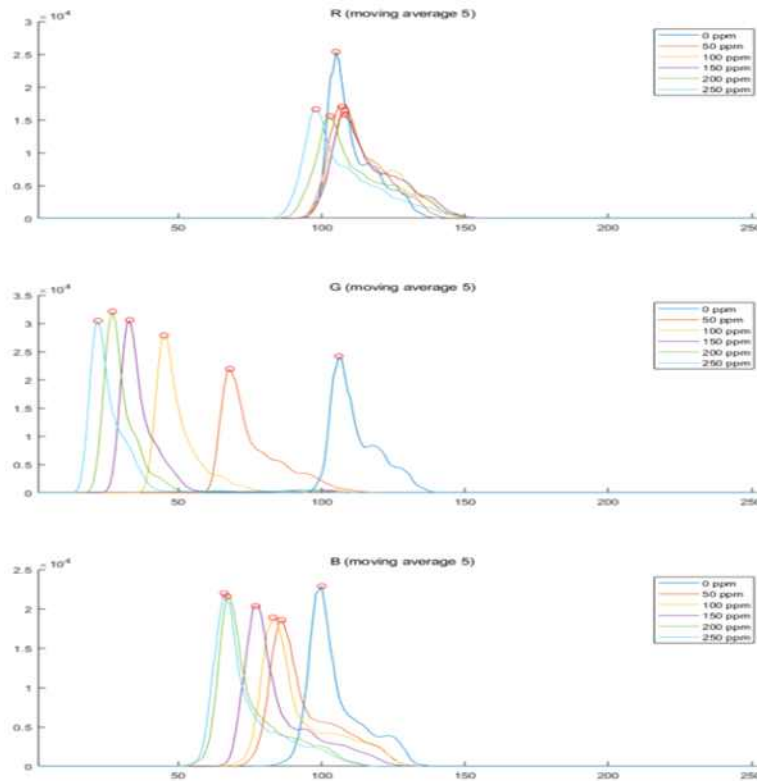
```
function maskedImage = cropROI(originalImage, mask)
    [c, r] = size(originalImage);

    if( c ~= 0 )
        % Mask the image with the circle.
        maskedImage = bsxfun(@times, originalImage, cast(mask, class(originalImage)));
        % Crop the image to the bounding box.
        props = regionprops(mask, 'BoundingBox');
        maskedImage = imcrop(maskedImage, props.BoundingBox);
        imshow(maskedImage, []);
    else
        maskedImage = originalImage;
    end
end
```

<영상분석을 위한 cropping 핵심 코드 일부>

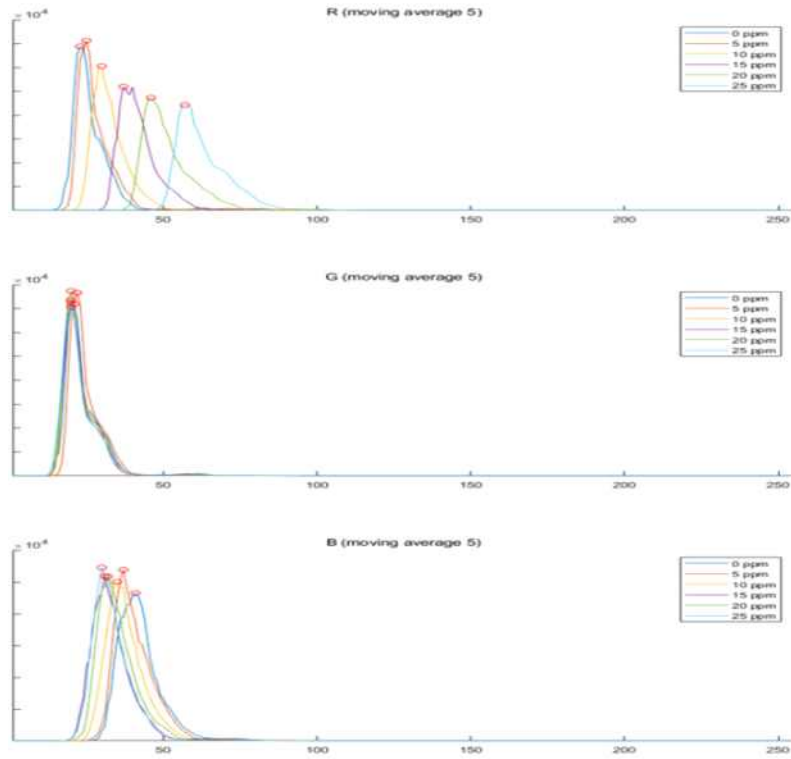
③ 영상 분석을 위한 히스토그램 분석

- Cropping 된 RGB채널 이미지를 R채널, G채널, B채널 이미지로 분리함. 분리된 이미지에 각 채널별로 히스토그램 기법 적용
- 영상 노이즈에 따라 히스토그램 또한 노이즈가 생성됨. 이를 해결하기 위해 평활화 기법 중 하나인 이동평균을 적용하여 평활화를 진행
- 각 이온별 농도에 따른 히스토그램 peak 점 추출하여 회귀분석 진행
- 질산 이온에서 추출된 히스토그램 peak 점에서 R영역은 peak 점이 집약되어 있어 농도에 따른 경향성을 확인하기 어려웠으나, B영역과 G영역에서는 농도 증가함에 따라 peak점이 왼쪽으로 이동하는 것을 확인함



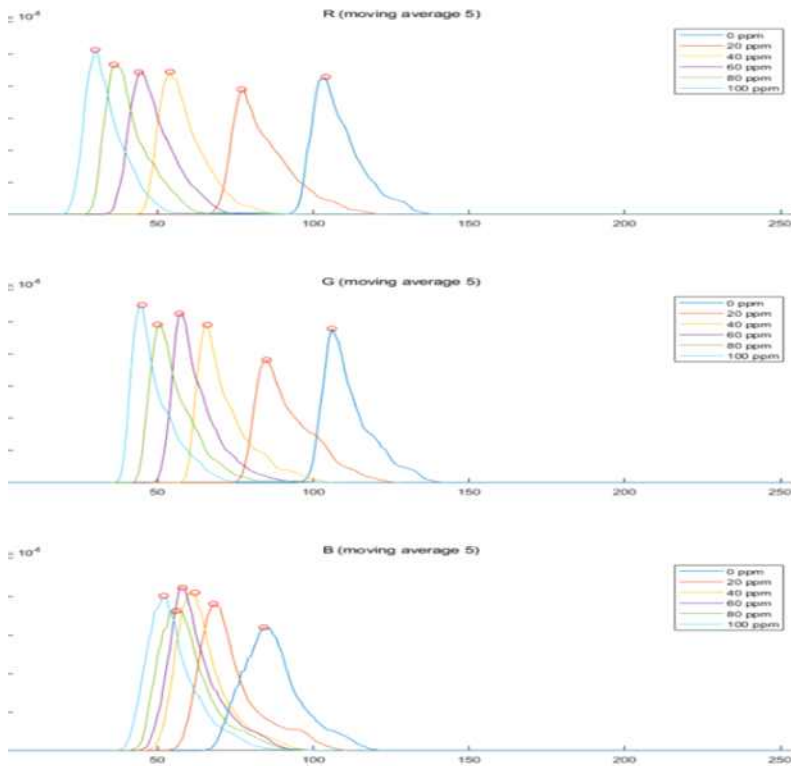
<RGB 채널 및 질산이온 농도별 히스토그램 peak 점 추출>

- 마그네슘 이온에서 추출된 히스토그램 peak 점에서 G영역과 B영역은 집약되어 있어 농도에 따른 경향성을 확인하기 어려웠으나 R영역에서는 농도가 증가함에 따라 peak 점이 오른쪽으로 이동하는 것을 확인함



<RGB 채널 및 마그네슘이온 농도별 히스토그램 peak 점 추출>

- 인산 이온에서 추출된 히스토그램 peak 점에서는 질산이온과 마그네슘이온과 달리 채널별 peak 점의 집약도가 적어 경향성을 확인할 수 있었고 농도가 증가함에 따라 peak 점이 왼쪽으로 이동하는 것을 확인함



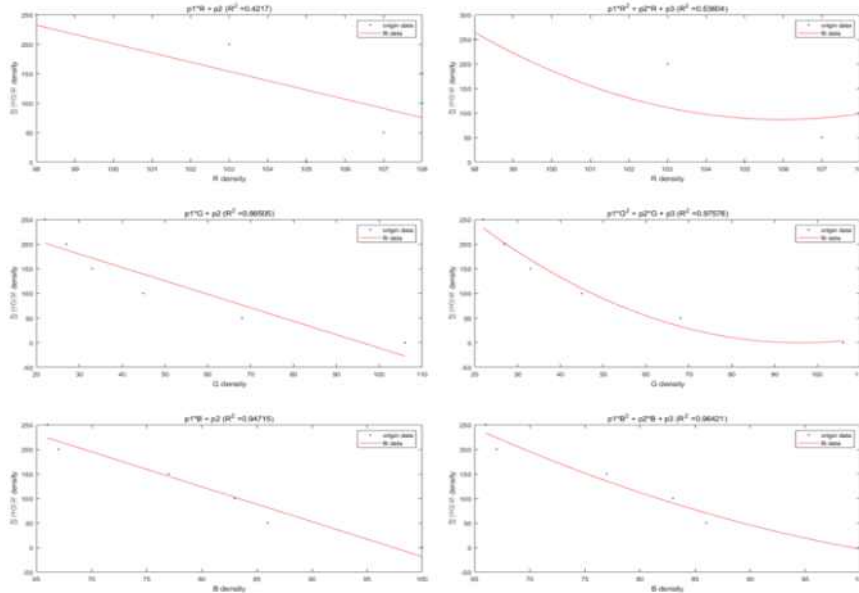
<RGB 채널 및 인산이온 농도별 히스토그램 peak 점 추출>

④ 영상분석을 위한 기법 - 1원 곡선 피팅

- 히스토그램 기법을 통해 추출된 peak 점을 이용하여 각 RGB 채널별 1차 및 2차 다항식 기반 곡선 피팅 기법 적용

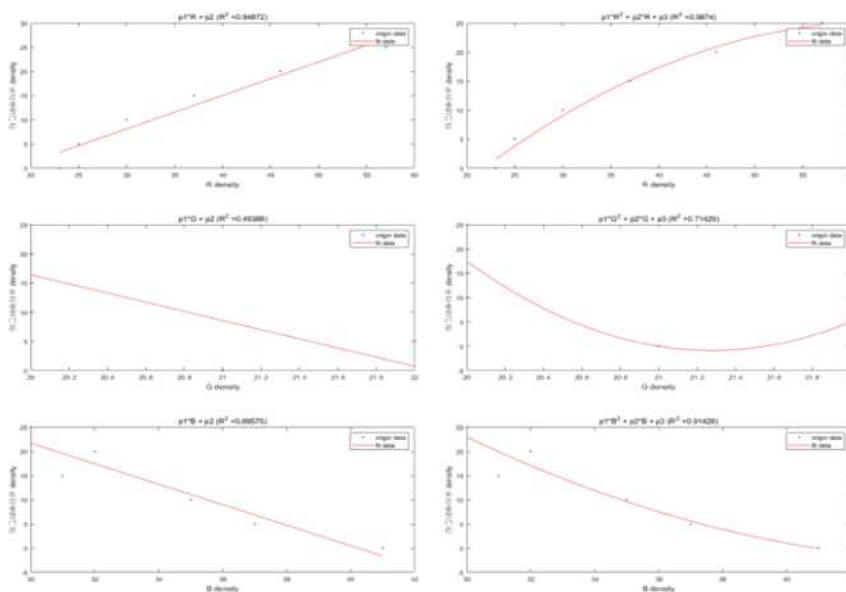
(1원 1차 다항식 : $ax + b$, 1원 2차 다항식 : $ax^2 + bx + c$)

- 질산이온 1원 곡선 피팅 결과 1차 다항식 보다는 2차 다항식에서 높은 상관성이 나타났으며 R채널에서는 비교적 상관성이 떨어지는 것으로 확인됨



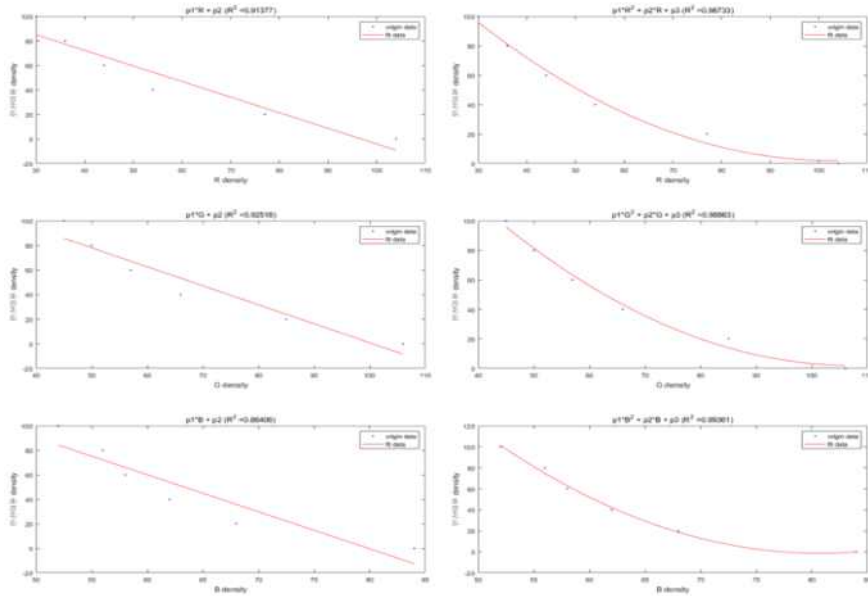
<Peak 점 기반 1원 1차, 2차식을 이용한 질산이온 농도 추정>

- 마그네슘이온 1원 곡선 피팅 결과 1차 다항식 보다는 2차 다항식에서 높은 상관성이 나타났으며 G채널에서는 비교적 상관성이 떨어지는 것으로 확인됨



<Peak 점 기반 1원 1차, 2차식을 이용한 마그네슘이온 농도 추정>

- 인산이온 1원 곡선 피팅 결과 1차 다항식 보다는 2차 다항식에서 높은 상관성이 나타나는 것으로 확인됨



<Peak 점 기반 1원 1차, 2차식을 이용한 마그네슘이온 농도 추정>

- 1원 곡선 피팅에서는 전반적으로 2차 다항식을 이용하였을 경우가 1차 다항식을 이용하였을 경우보다 상관성이 높았고, 3개의 이온 모두 B채널을 이용할 경우 상관계수가 0.9 이상이 나타나는 것으로 확인됨

⑤ 영상분석을 위한 기법 - 2원 곡선 피팅

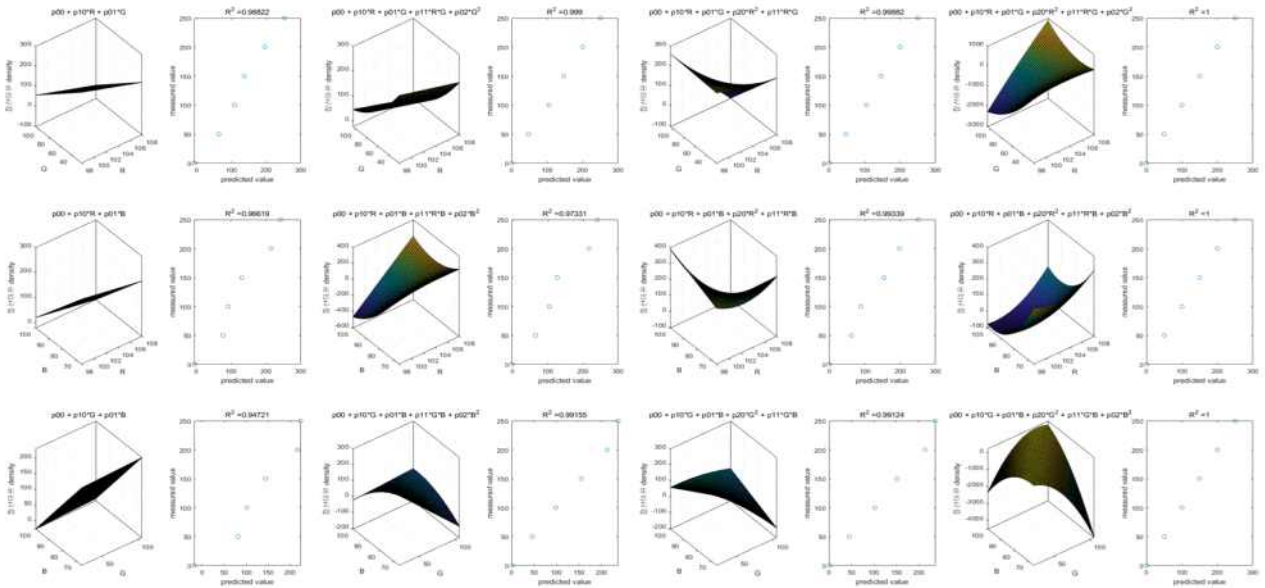
- 히스토그램 기법을 통해 추출된 peak 점을 이용하여 RGB채널 중 2개의 채널을 이용하여 1차 및 2차 다항식 기반 곡선 피팅 기법 적용

(2원 1차 다항식 : $ax + by + c$, x 의 2원 2차 다항식 : $ax^2 + bxy + cx + dy + e$,

y 의 2원 2차 다항식 $ax + bxy + cy + dy^2 + e$,

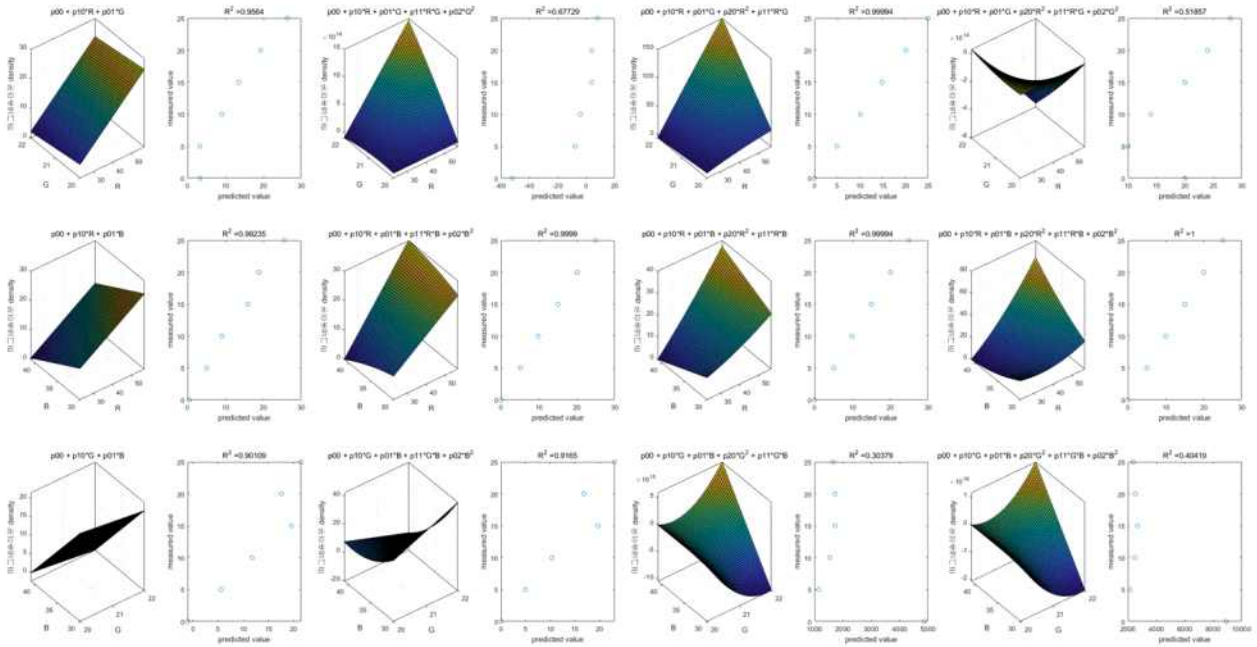
x, y 의 2원 2차 다항식 $ax^2 + bxy + cy^2 + dx + ey + f$)

- 질산이온 2원 곡선 피팅 결과 1차 다항식 보다는 2차 다항식에서 높은 상관성이 나타나는 것으로 확인됨



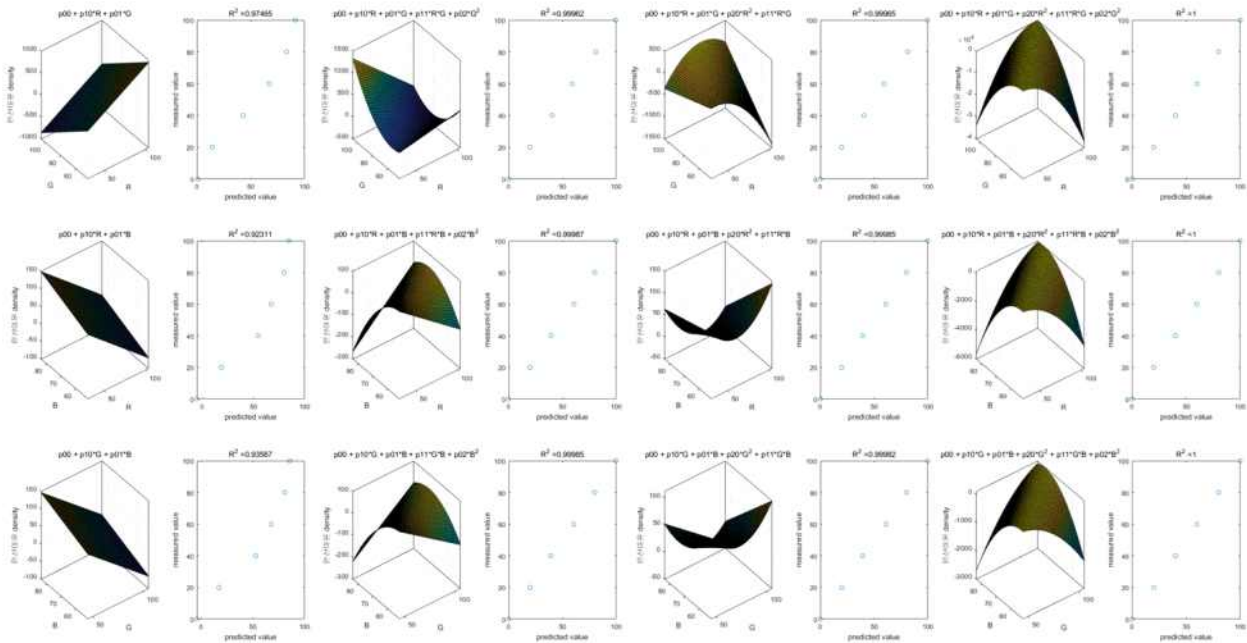
<Peak 점 기반 2원 1차, 2차식을 이용한 질산이온 농도 추정>

- 마그네슘이온 2원 곡선 피팅 결과 대부분 2원 1차 다항식 보다는 2원 2차 다항식에서 높은 상관성이 나타났으며 G채널 성분의 2원 2차 다항식에서는 상관성이 떨어지는 것으로 확인됨



<Peak 점 기반 2원 1차, 2차식을 이용한 마그네슘이온 농도 추정>

- 인산이온 2원 곡선 피팅 결과 1차 다항식 보다는 2차 다항식에서 높은 상관성이 나타나는 것으로 확인됨



<Peak 점 기반 2원 1차, 2차식을 이용한 인산이온 농도 추정>

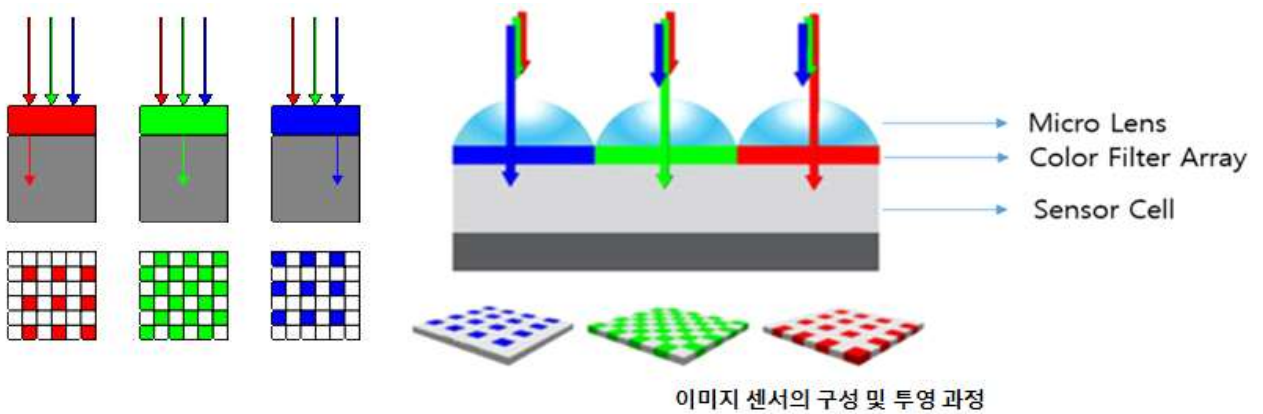
- 2원 곡선 피팅에서는 전반적으로 2차 다항식을 이용하였을 경우가 1차 다항식을 이용하였을 경우보다 상관성이 높았지만, 마그네슘이온 G채널 성분의 2원 2차 다항식에서는 상관성이 떨어지는 것으로 확인됨

2) 영상 촬영조건 설정을 위한 관리자 프로그램 개발

① 관리자 프로그램 개발을 위한 구성 요소 분석

- 데이터 시트를 통해 ESP32-CAM 카메라에서 설정할 수 있는 영상 촬영 조건에 대해 분석 및 영상 분석 알고리즘과 연동
- Resolution : 최대 UXGA(1600 X 1200) 까지 지원
- Quality : 취득 영상의 품질을 결정하며 최소 10에서 최대 63까지 설정 가능
- Brightness : 취득 영상의 밝기를 결정하며 최소 ± 2 범위에서 설정 가능
- Contrast : 취득 영상의 명암 대비값을 결정하며 ± 2 범위에서 설정 가능
- Saturation : 취득 영상의 채도를 결정하며 ± 2 범위에서 설정 가능
- Shutter speed : 영상을 취득하는데 광에 노출되는 시간을 결정하며 0.1ms 단위로 최대 1s까지 설정 가능
- Special Effect : 취득 영상에 필터 적용이 가능하며, 0 - No Effect, 1 - Negative, 2 - Grayscale, 3 - Red Tint, 4 - Green Tint, 5 - Blue Tint, 6 - Sepia 필터 적용 가능
- AWB : 취득 영상에 White Balance 알고리즘을 적용
- AWB Gain : White Balance 알고리즘을 적용할 때 사용되는 Gain 값을 기본으로 할지 WB Gain에서 선택한 값을 기준으로 할지 선택
- WB Mode : White Balance 알고리즘을 적용할 때 사용되는 Gain 값을 기존에 설정된 값(0 - Auto, 1 - Sunny, 2 - Cloudy, 3 - Office, 4 - Home) 중에서 선택 가능

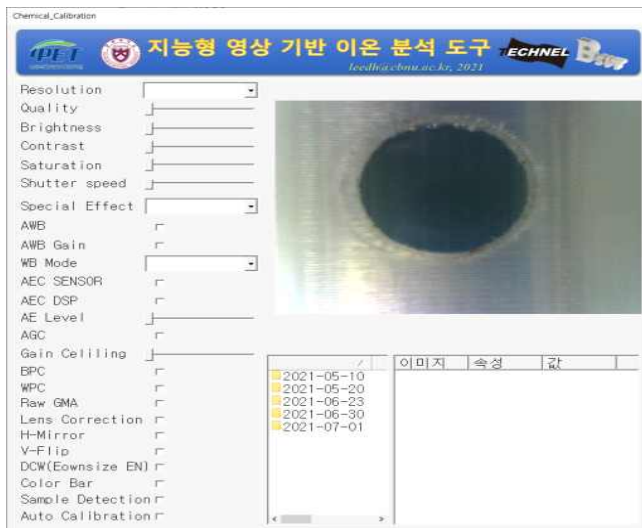
- AGC : 영상 취득 시 사용할 수 있는 기능 중 자동이득조정 기능을 말하며, 신호의 세기에 따라 자동으로 일정 레벨의 신호로 유지 가능
- Color Bar : 취득 영상의 이온의 농도에 따른 color bar 표시
- Sample Detection : 영상 분석 과정 중 허프 변환 알고리즘을 통해 검출된 원의 외각선 표시
- Auto Calibration : 취득한 이미지에 대해 실시간으로 회귀 분석을 진행하여 회귀식 보정 가능



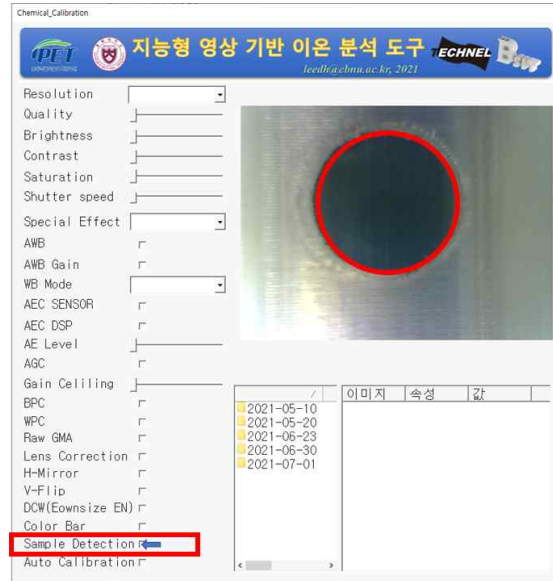
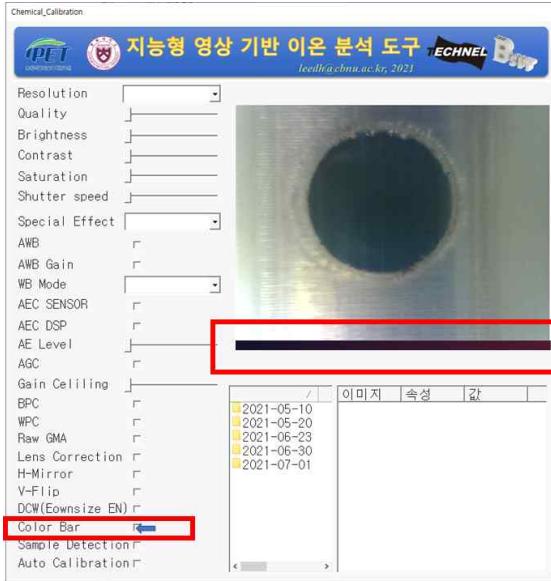
<이미지센서 컬러 필터 구성 및 원리 Reference>

② 관리자 프로그램 개발

- 분석한 14가지의 구성요소(기본 요소 11 + 영상분석 알고리즘 연동 기능 3) 이외의 ESP32-CAM에서 지원하는 기능을 추가하여 화면 UI 구성 및 기능 연동을 통해 촬영 조건을 변경하여 촬영 가능
- 취득한 이미지는 폴더별로 저장이 가능하며 저장된 이미지는 축소된 이미지 및 이미지 명칭, 촬영 조건 확인 가능
- 영상분석 알고리즘과 연동을 통해 영상 분석 과정을 실시간으로 확인 가능하며, 농도 분석 성능을 향상시키기 위해 기존 6단계로 분류한 표준 용액 외의 표준용액 영상을 추가하여 실시간 보정 가능



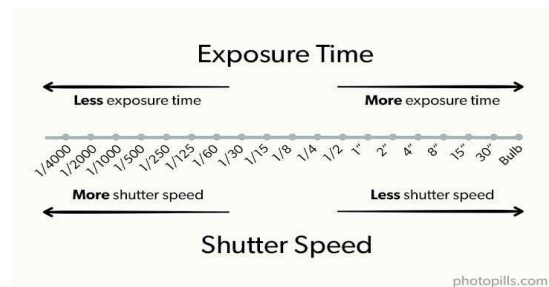
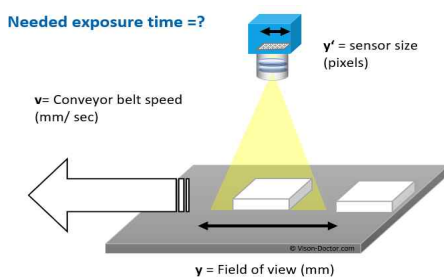
<영상 촬영 조건 설정을 위한 관리자 프로그램>



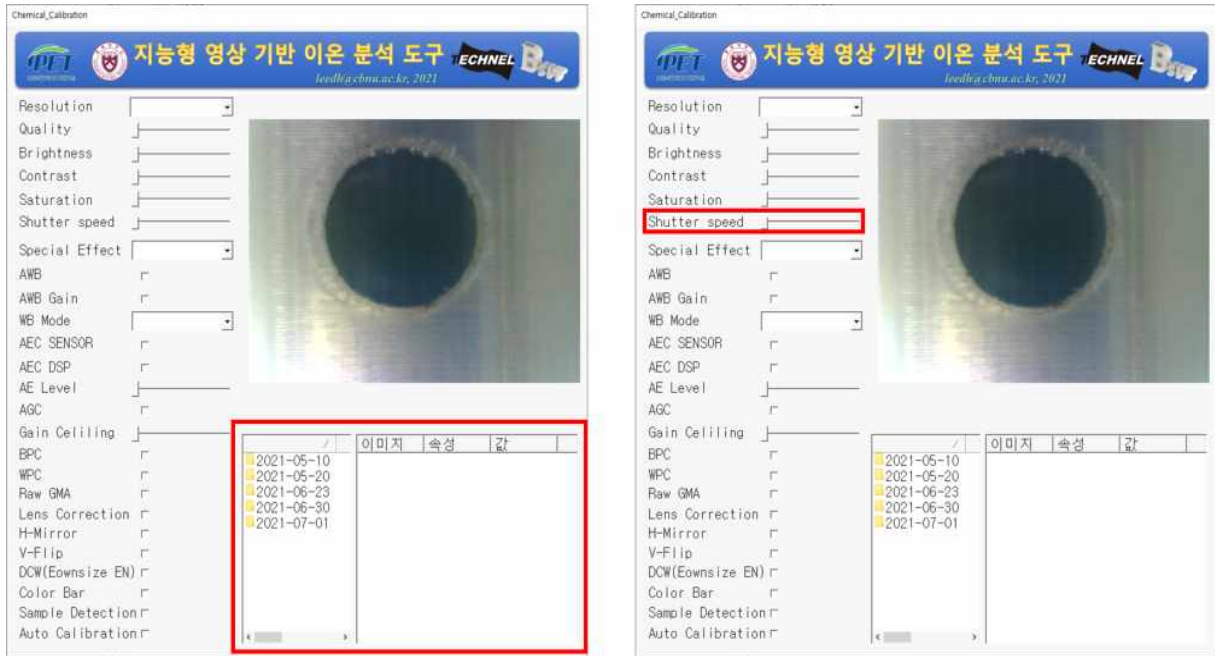
<영상 분석 알고리즘 연동(좌: color bar, 우: sample detection)>

③ Shutter speed 최적화 알고리즘 개발

- ESP32-CAM을 기반으로 하여 내장된 광원의 조건(광원의 세기, 광량, 광원의 반사, 투과, 흡수량, 투과 판의 재질, 광원의 확산 등)에 따라 영상 분석 알고리즘에 사용 되는 이미지 데이터를 취득하는데 노이즈를 줄일 수 있는 Sutter speed를 결정하는 알고리즘 분석
- Shutter speed의 값에 따른 영상을 취득하고 취득한 영상에 FFT 분석을 통한 Low/High 패스 필터, Median 필터 등의 필터링을 수행하여 개별 셔터 스피드 보정 방법 분석
- 농도별 이미지에서 Truncation 발견하게 되면 이를 제거를 위한 적정 Shutter speed 결정 알고리즘 개발을 위해서 Truncation 발견 알고리즘 분석
- Shutter speed 최적화 알고리즘 개발을 위해 실시간 Shutter speed 모니터링을 위해 관리자 프로그램에 데이터베이스 로깅 기능 연동
- Post processing 단계에서 셔터 스피드 활용을 위해 Shutter speed를 ± 1ms 범위 에서 조절할 수 있는 기능 추가 및 관리자 프로그램에 연동



<Shutter speed 최적화를 위한 reference>

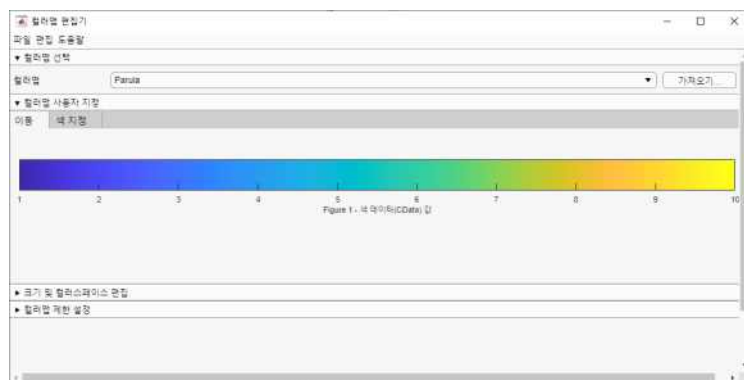


<Shutter speed 최적화를 위한 분석도구 연동(좌: 데이터 베이스 로깅 기능, 우: $\pm 1\text{ms}$ 범위지정 기능)>

3) 인공지능 영상분석 촬영조건 최적화

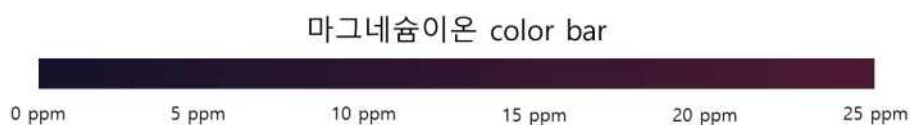
① 분석키트의 RGB 분석을 위한 color bar 제작

- 기존 각 이온 별 6단계 농도에 따라 취득한 후 cropping 한 이미지에서 색상의 평균 값을 이용하여 대푯값으로 지정
- 대푯값을 이용하여 color bar 제작을 위해 매트랩(MATLAB, R2021a, USA) 수치해석 프로그램을 이용하여 color bar 제작
- 제작된 color bar는 총 256 단계로 구성되어 있으며 6단계 농도의 이미지 대푯값을 각각 0, 43, 82, 128, 170, 213, 255 단계에 대입하여 color bar 구성



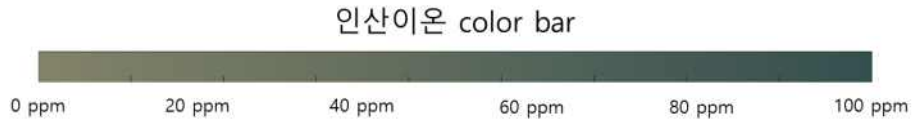
<Matlab R2021a color bar editor>

- 마그네슘이온의 대푯값을 통해 생성한 color bar의 경우 어두운 색 계열로 시작하여 점차 밝아지는 경향을 보임



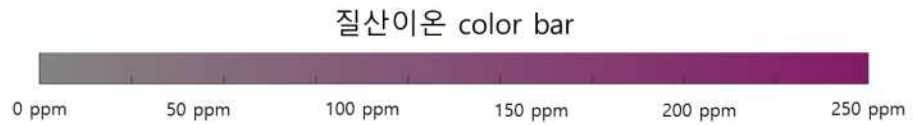
<마그네슘이온 color bar>

- 인산이온의 대꽃값을 통해 생성한 color bar의 경우 밝은 녹색 계열로 시작하여 점차 어두워지는 경향을 보임



<인산이온 color bar>

- 질산이온의 대꽃값을 통해 생성한 color bar의 경우 투명한 색 계열로 시작하여 점차 보라색 농도가 진해지는 경향을 보임



<질산이온 color bar>

4) 인공지능 영상분석에 적합한 토양 및 식물체 양이온(Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , NH_4^+ , K^+) 분석키트 개발 및 화학분석법 최적화

① 양이온(Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , NH_4^+ , K^+) 분석키트 개발

- 이온 선택적 신속 화학분석법의 정립

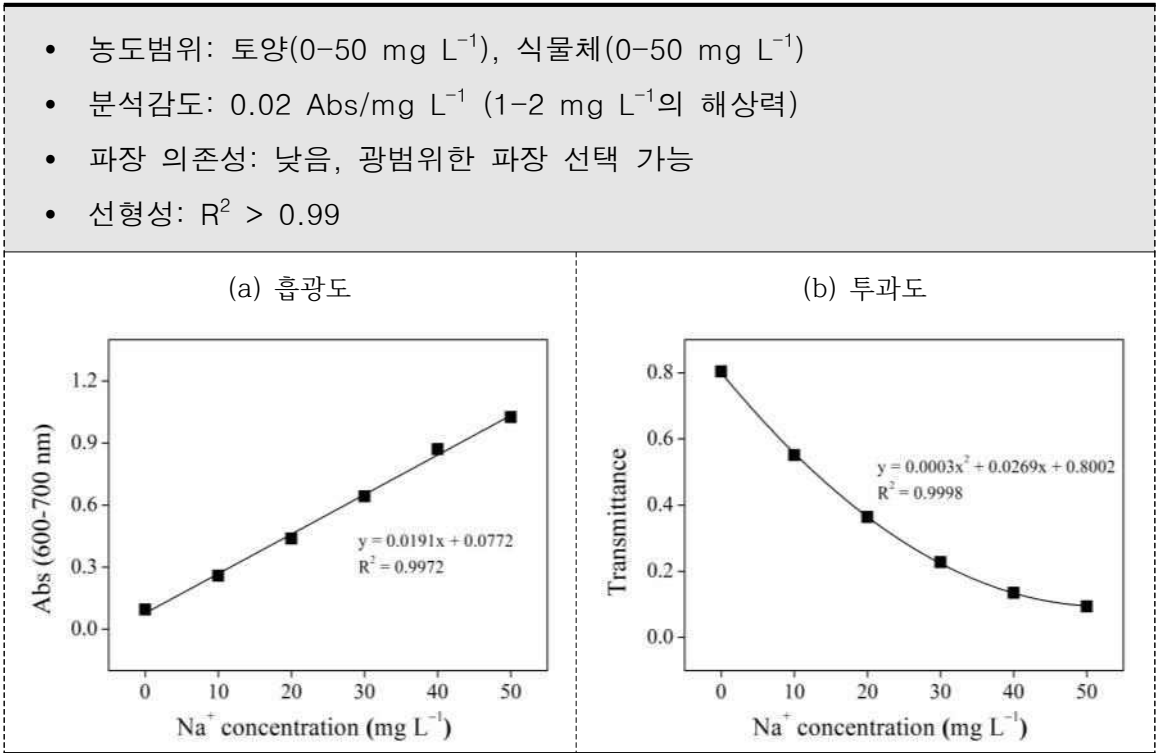
성분	화학분석 원리	파장 영역	선택성/방해이온
Na^+	<ul style="list-style-type: none"> 이온 결합의 분극화 반응 생성 결정의 용액 중 분산 	500-700 nm (흡광 / 산란도 측정)	<ul style="list-style-type: none"> K^+ 간섭 배제 NH_4^+ 간섭효과 Ca^{2+}, Mg^{2+} 간섭효과
K^+	<ul style="list-style-type: none"> 이온 결합의 분극화 반응 생성 결정의 용액 중 분산 	500-700 nm (흡광 / 산란도 측정)	<ul style="list-style-type: none"> NH_4^+ 간섭 배제 필요
Ca^{2+}	<ul style="list-style-type: none"> 선택적 루이스 산 염기 반응 pH 조절에 의한 반응성 증가 	500-600 nm (흡광도 측정)	<ul style="list-style-type: none"> Mg^{2+} 등 기타 2가 양이온에 따른 간섭효과
Mg^{2+}	<ul style="list-style-type: none"> 선택적 루이스 산 염기 반응 pH 조절에 의한 반응성 증가 	600-700 nm (흡광도 측정)	<ul style="list-style-type: none"> Ca^{2+}과 기타 2가 양이온에 따른 간섭효과
NH_4^+	<ul style="list-style-type: none"> NH_4^+ 산화 후 nitronation 염료 분자와의 축합반응 	600-700 nm (흡광도 측정)	<ul style="list-style-type: none"> 비교적 NH_4^+에 선택적, 산화제의 안정성

• 화학분석 키트화 방법 및 조작성 설계

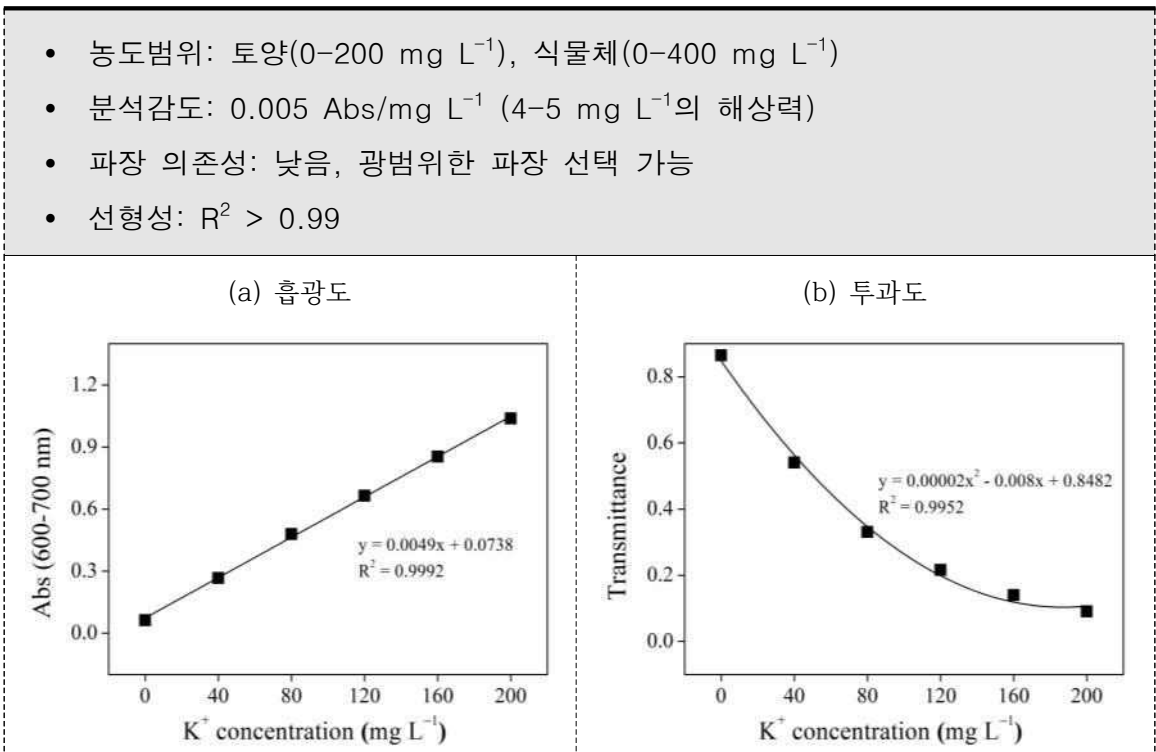
		Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺
농도 범위	토양	0-50 mg L ⁻¹	0-200 mg L ⁻¹	0-60 mg L ⁻¹	0-20 mg L ⁻¹	0-50 mg L ⁻¹
	식물	0-50 mg L ⁻¹	0-400 mg L ⁻¹	0-150 mg L ⁻¹	0-80 mg L ⁻¹	0-50 mg L ⁻¹
시료 부피	토양	2 mL	0.2 mL	0.2 mL	0.2 mL	0.1 mL
	식물	2 mL	0.1 mL	0.2 mL	0.1 mL	0.1 mL
시약 구성	MR1	*4종(액체) *상온보관 *3개월 안정	*2종(액체) *상온보관 *6개월 안정	*2종(액체) *상온보관 *6개월 안정	*2종(액체) *상온보관 *6개월 안정	*4종(액체) *냉장보관 *3개월 안정
	MR2	*2종(액체) *상온보관 *6개월 안정	*2종(고체) *상온보관 *3개월 안정	*5종(액체) *냉장보관 *3개월 안정	*5종(액체) *냉장보관 *3개월 안정	*2종(액체) *냉장보관 *3개월 안정
	MR3	*2종(액체) *상온보관 *3개월 안정	-	-	-	-
부 피 비	MR1	1	1	1	1	1
	MR2	4	-	2	2	1
	MR3	5	-	-	-	-
반응온도		상온 (15-30℃)	상온 (15-30℃)	상온 (15-30℃)	상온 (15-30℃)	상온 (15-30℃)
반응 시간	최소	5분	2분	1분	5분	5분
	적정	10분	5분	2분	10분	10분
최종 부피	최소	3 mL	2 mL	3 mL	3 mL	4 mL
	적정	4 mL	3 mL	3 mL	6 mL	4 mL

• 검량선 확립: 분석 감도 및 선형성 평가

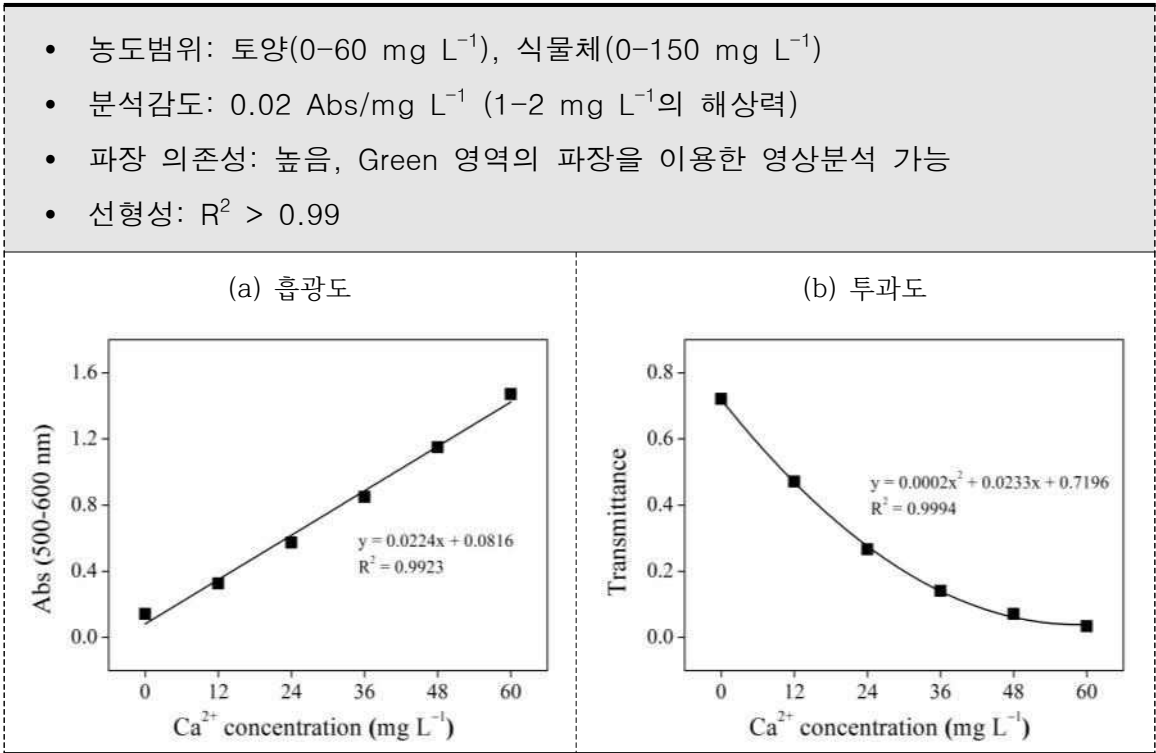
- Na⁺의 보정곡선(흡광도 및 투과도)



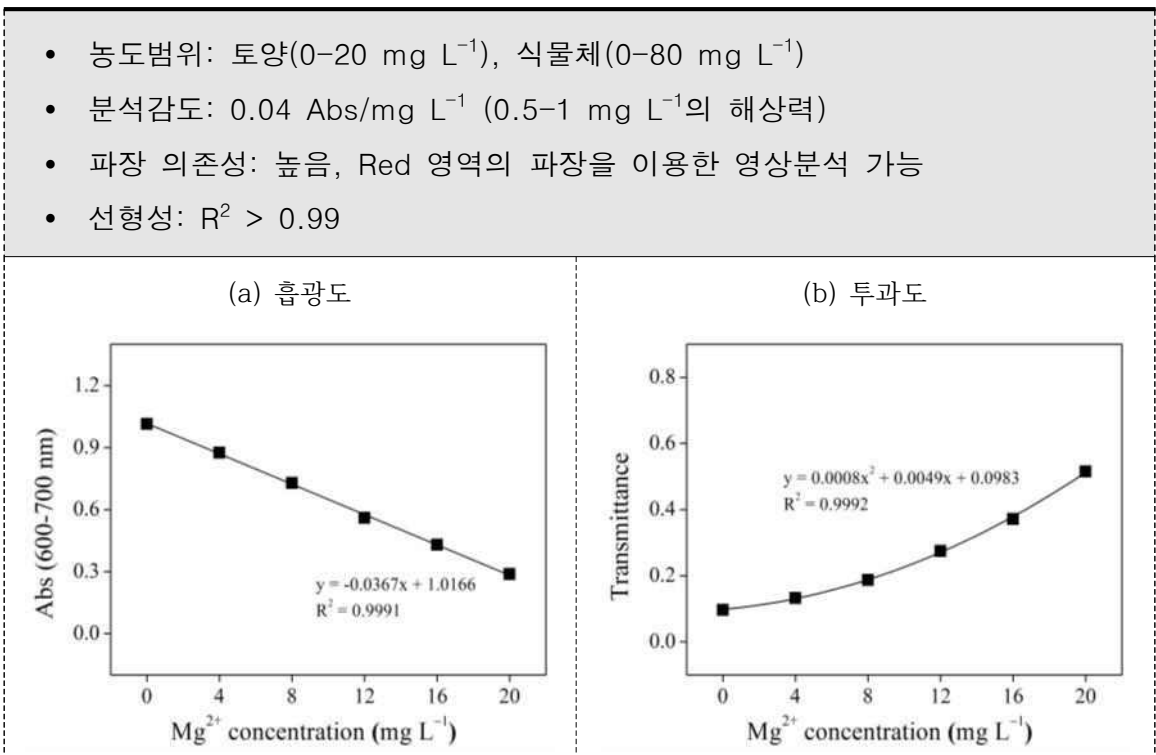
- K⁺의 보정곡선(흡광도 및 투과도)



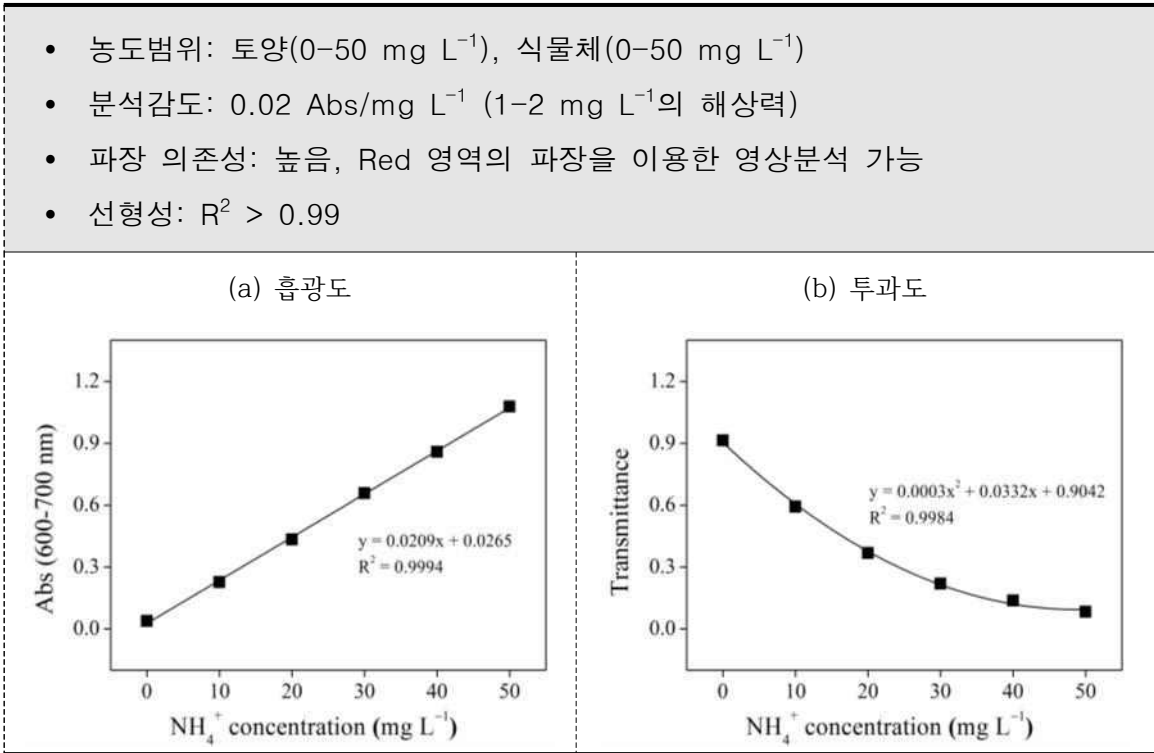
- Ca²⁺의 보정곡선(흡광도 및 투과도)



- Mg²⁺의 보정곡선(흡광도 및 투과도)

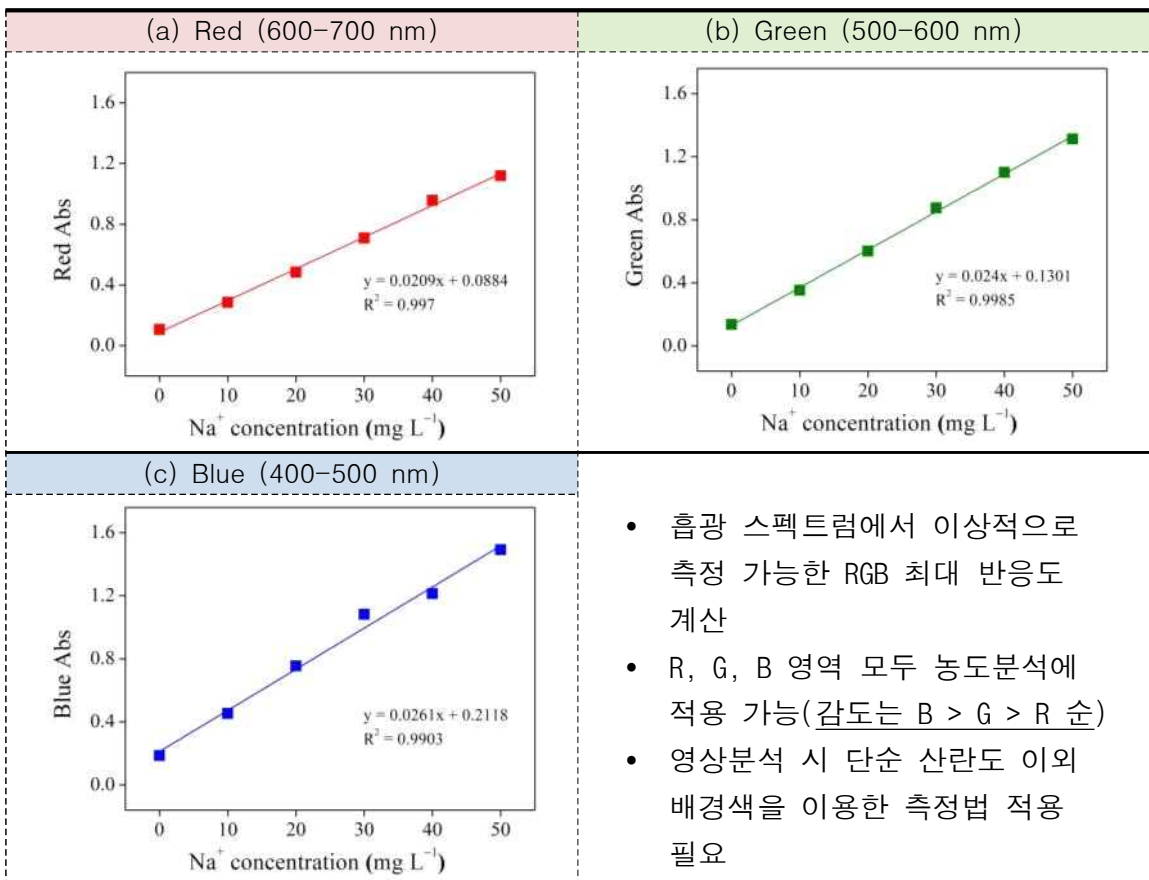


- NH₄⁺의 보정곡선(흡광도 및 투과도)

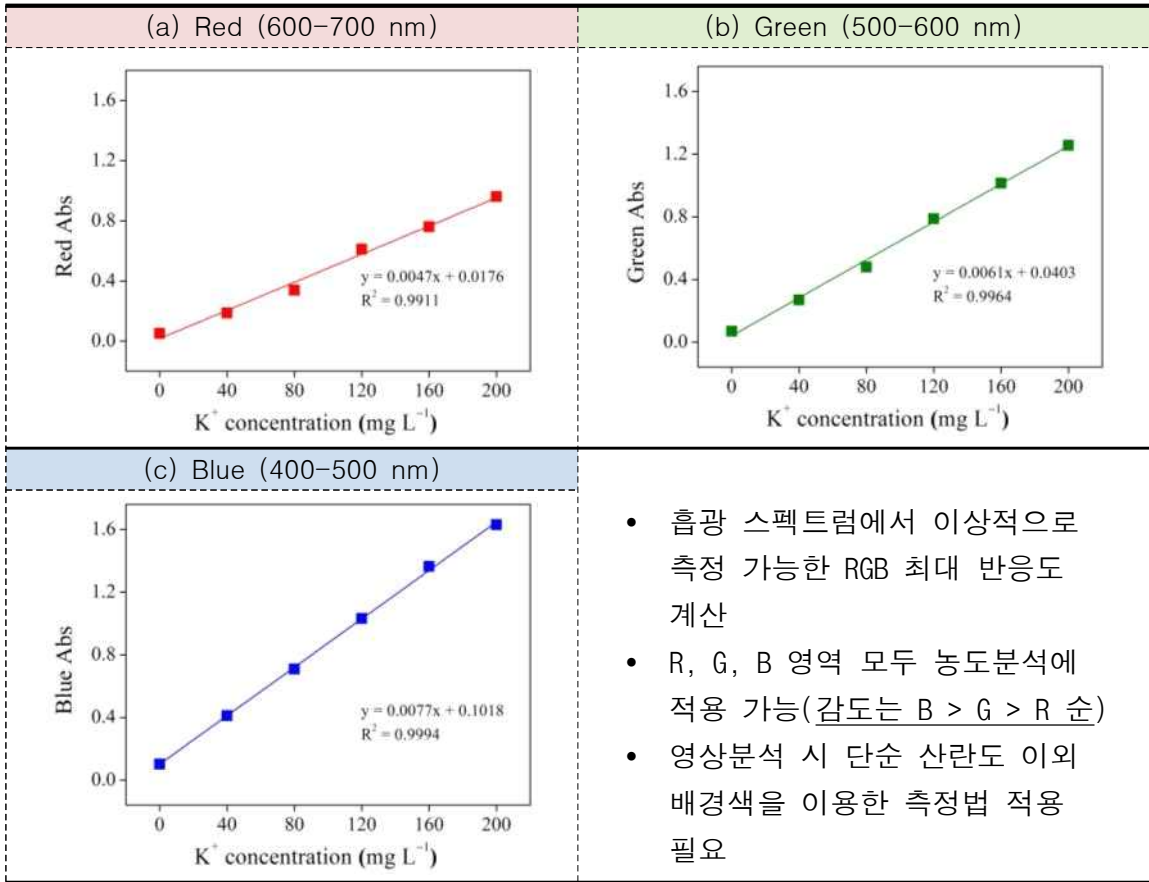


• 인공지능 기반 신속 화학분석법의 영상분석 적합도

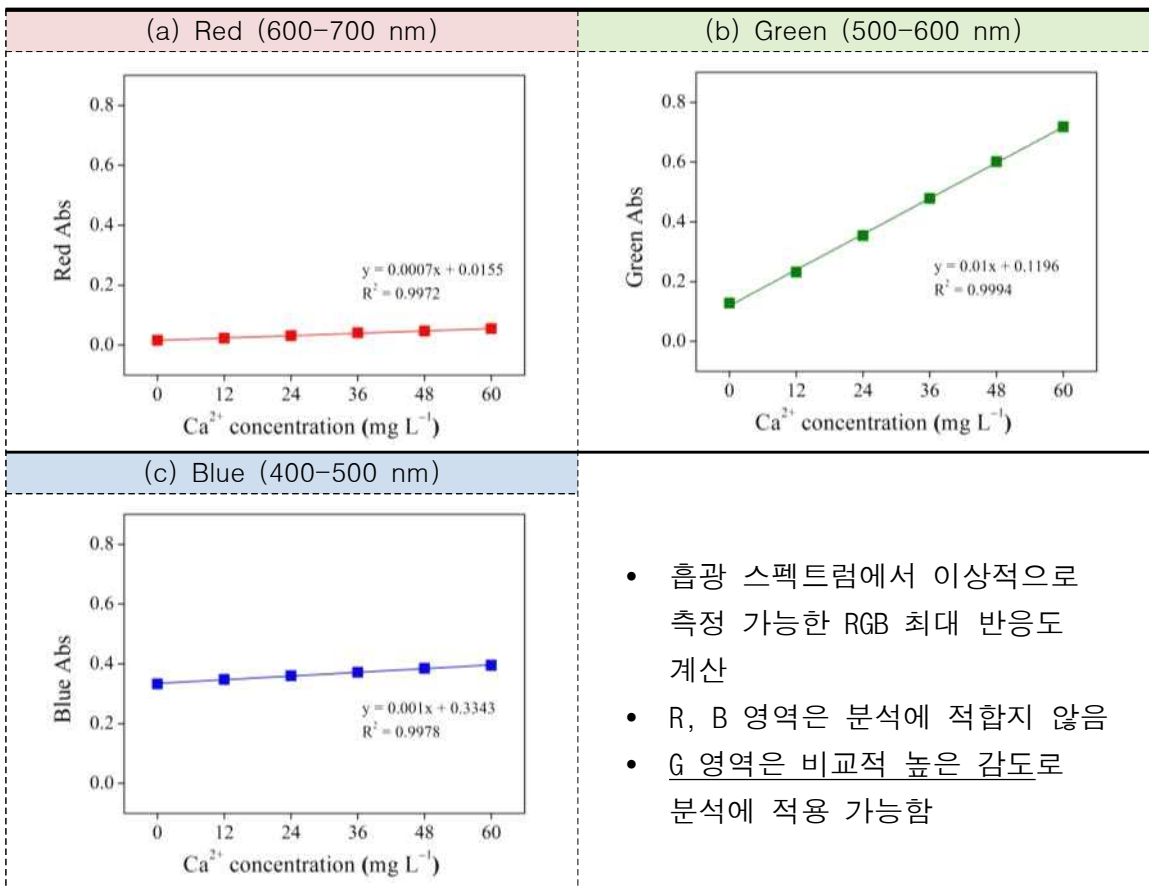
- Na⁺의 RGB 영상분석 기반 분석 감도 및 적합도 평가



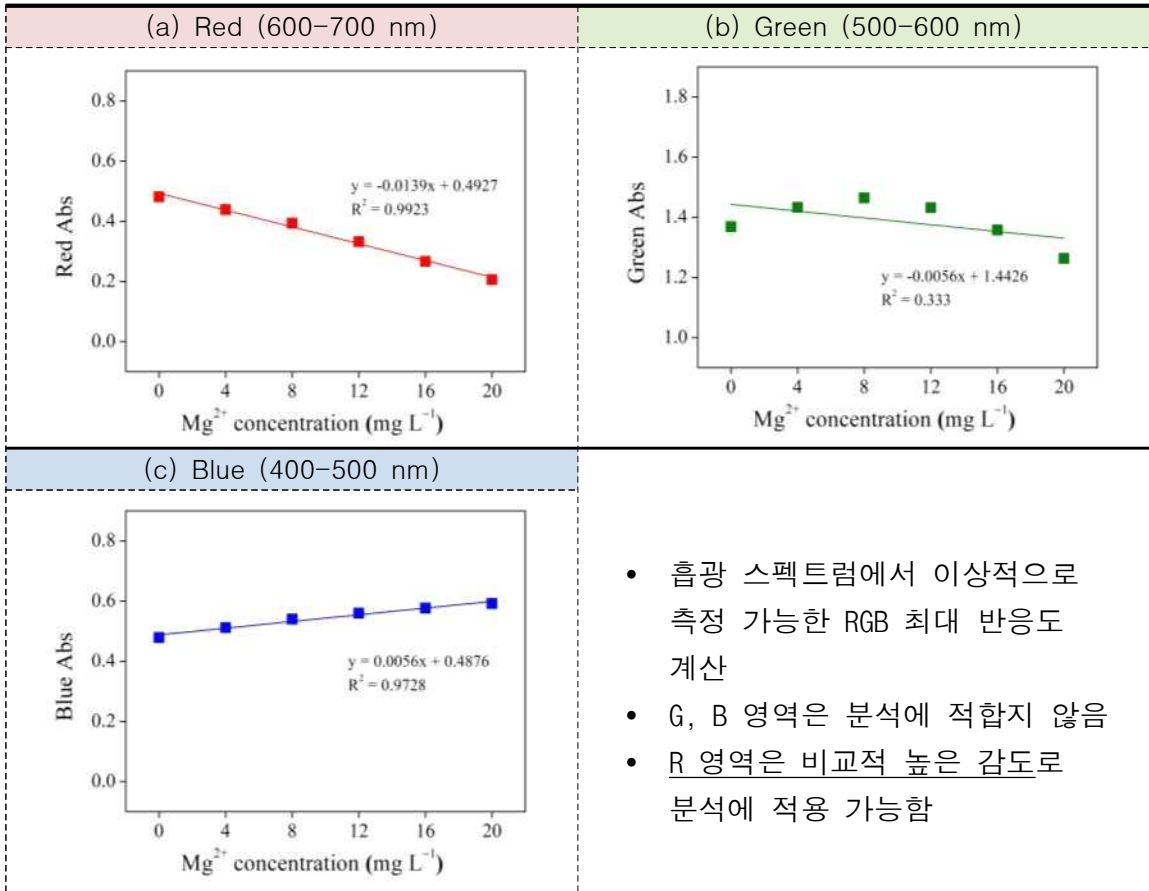
- K⁺의 RGB 영상분석 기반 분석 감도 및 적합도 평가



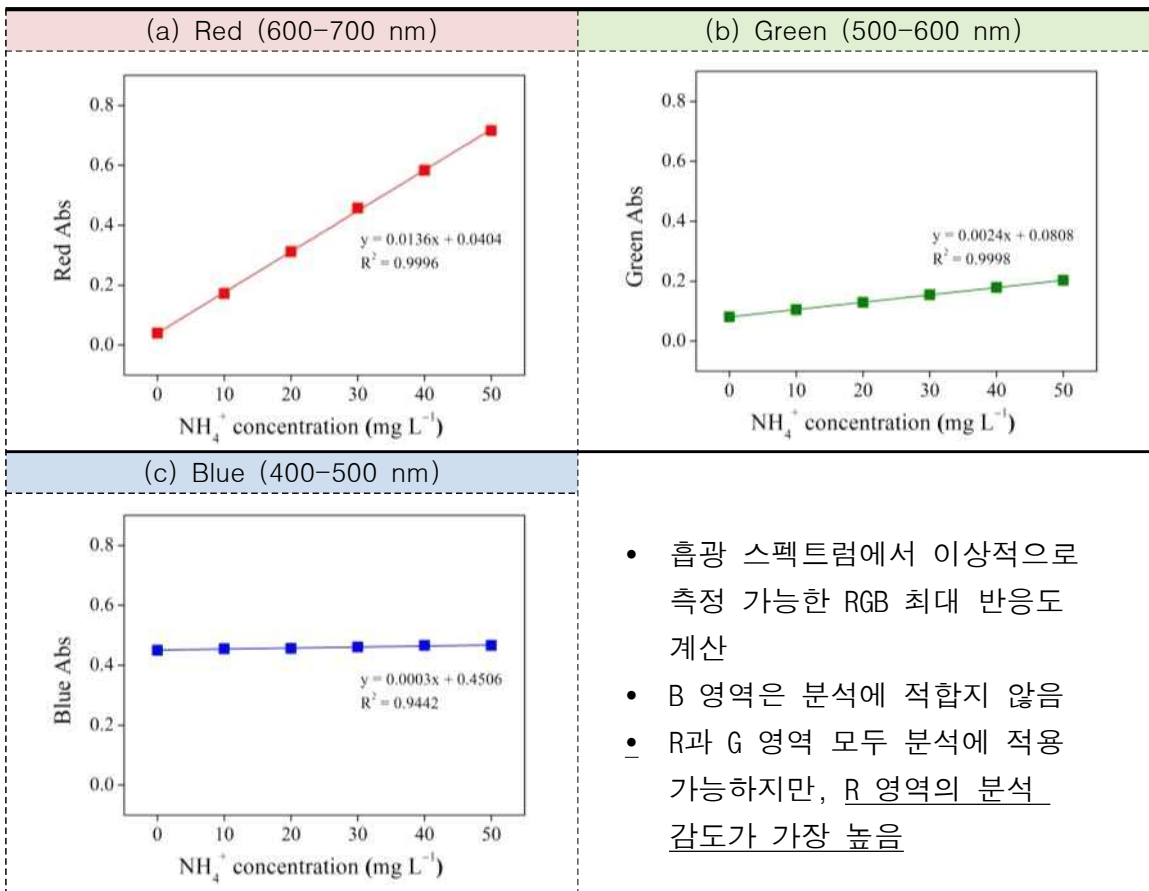
- Ca²⁺의 RGB 영상분석 기반 분석 감도 및 적합도 평가



- Mg^{2+} 의 RGB 영상분석 기반 분석 감도 및 적합도 평가



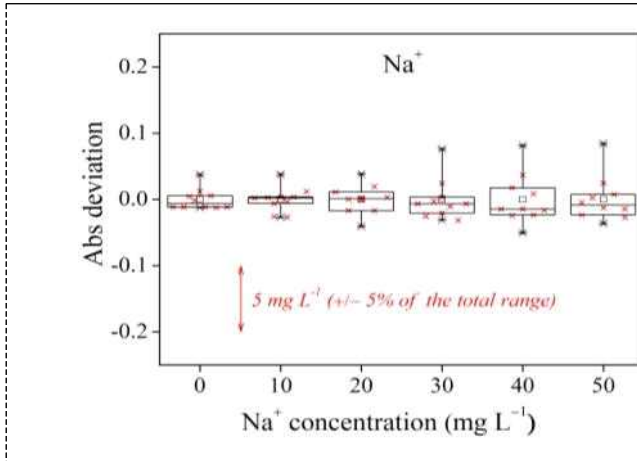
- NH_4^+ 의 RGB 영상분석 기반 분석 감도 및 적합도 평가



② 최적화

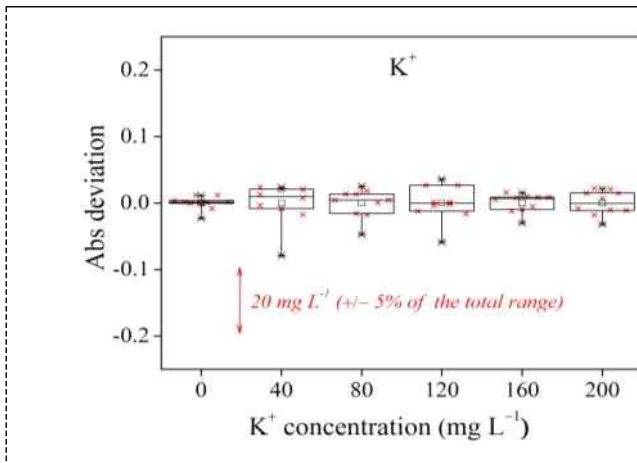
• 화학분석법 최적화: 재현성 평가

- Na⁺의 분석 재현성



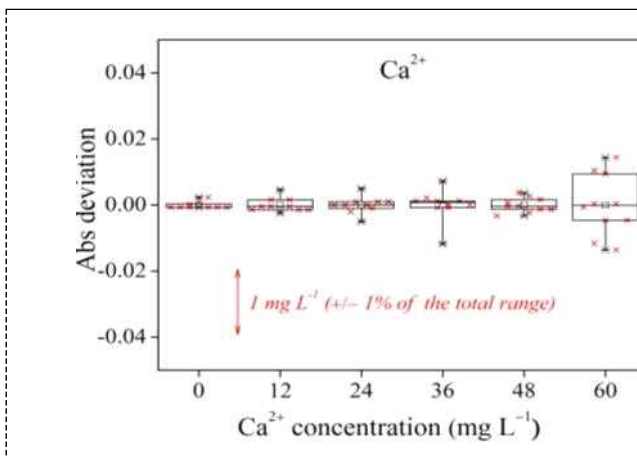
- 전 측정농도 구간에 대해 ± 5% 이내에서 10반복 재현성 확인
- 1-2 mg L⁻¹ 분석 해상력

- K⁺의 분석 재현성



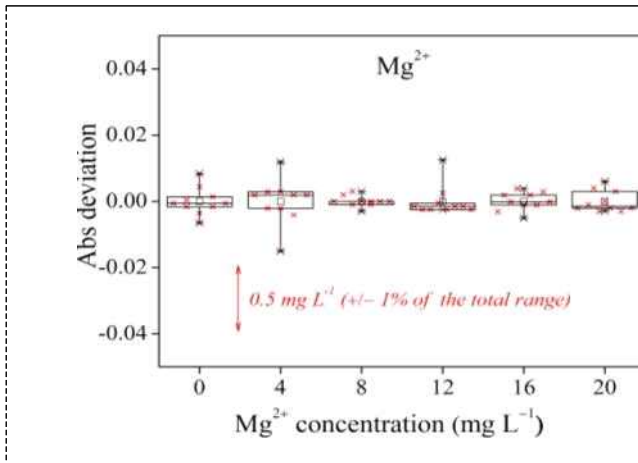
- 전 측정농도 구간에 대해 ± 5% 이내에서 10반복 재현성 확인
- 4-5 mg L⁻¹ 분석 해상력

- Ca²⁺의 분석 재현성



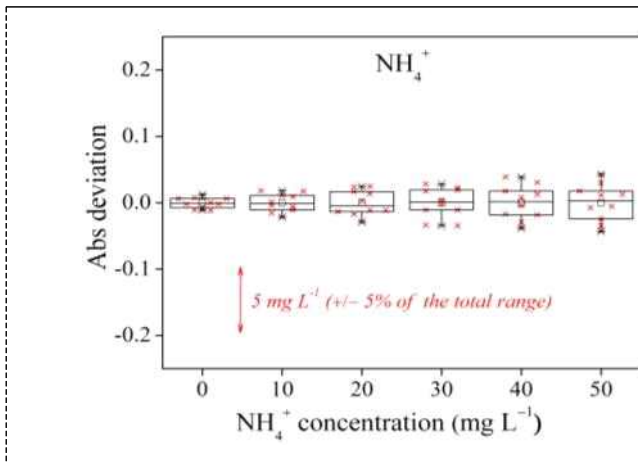
- 전 측정농도 구간에 대해 ± 1% 이내에서 10반복 재현성 확인
- 1-2 mg L⁻¹ 분석 해상력

- Mg^{2+} 의 분석 재현성



- 전 측정농도 구간에 대해 $\pm 1\%$ 이내에서 10반복 재현성 확인
- $0.5-1 \text{ mg L}^{-1}$ 분석 해상력

- NH_4^+ 의 분석 재현성

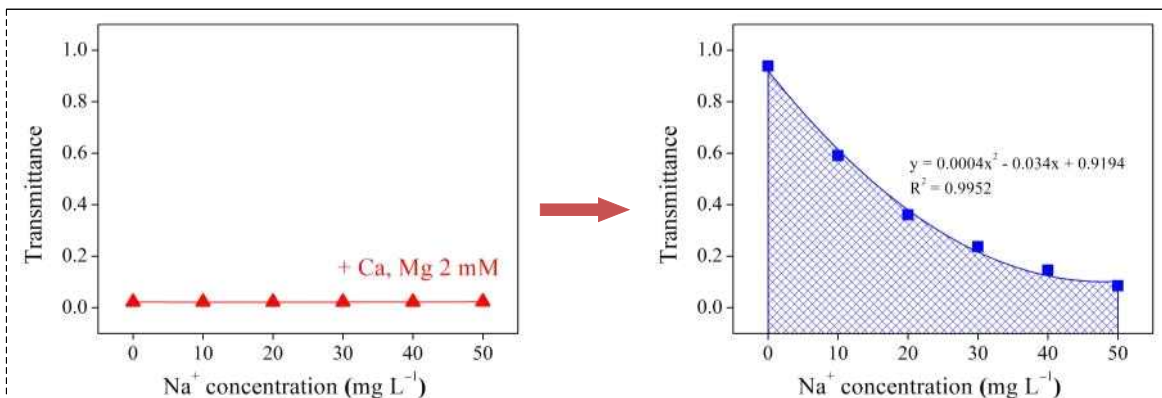


- 전 측정농도 구간에 대해 $\pm 5\%$ 이내에서 10반복 재현성 확인
- $1-2 \text{ mg L}^{-1}$ 분석 해상력

• 화학분석법 최적화: 방해이온 효과 평가 및 제거

- Na^+

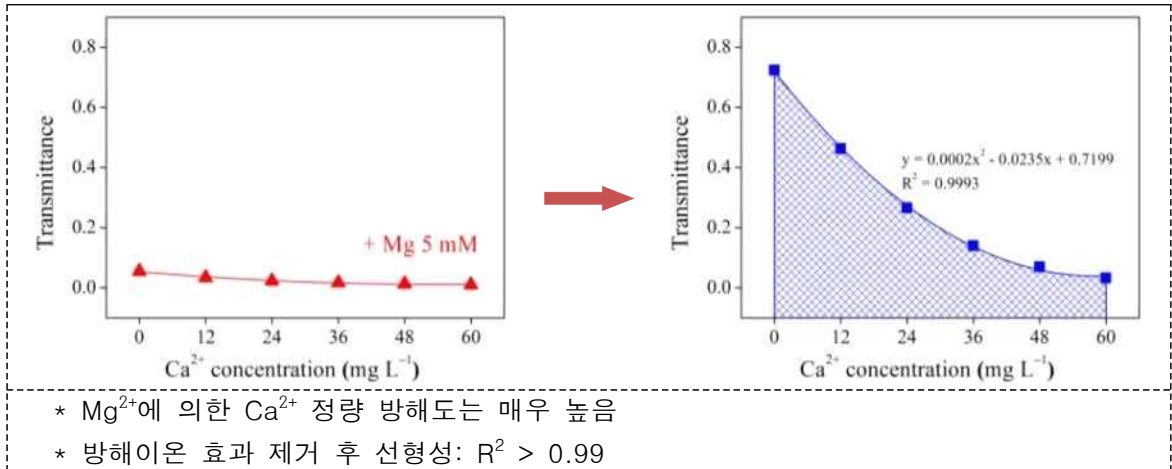
❖ Ca^{2+} , Mg^{2+} 선택성 킬레이트제를 이용한 방해이온 효과 제거 효과



- * Ca^{2+} 과 Mg^{2+} 의 방해효과가 매우 큼
- * 방해이온 효과 제거 후 선형성: $R^2 > 0.99$

- Ca²⁺

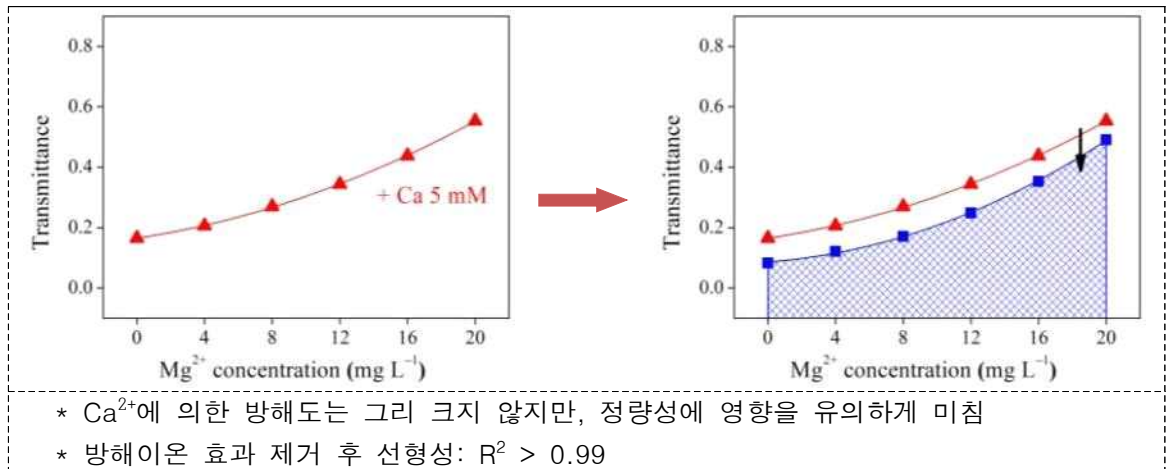
❖ Mg²⁺ 선택성 킬레이트제를 이용한 방해이온 효과 제거 효과



* Mg²⁺에 의한 Ca²⁺ 정량 방해도는 매우 높음
* 방해이온 효과 제거 후 선형성: R² > 0.99

- Mg²⁺

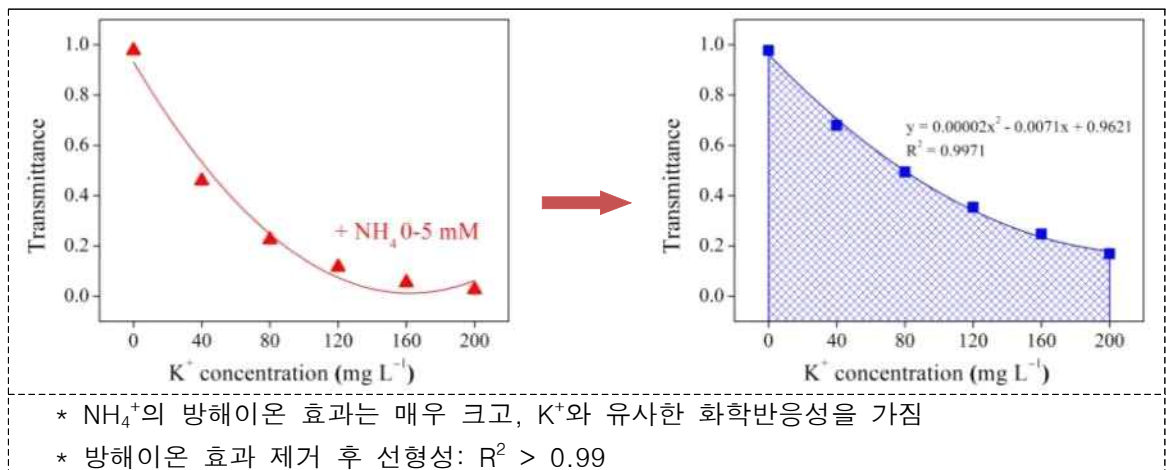
❖ Ca²⁺ 선택성 킬레이트제를 이용한 방해이온 효과 제거 효과



* Ca²⁺에 의한 방해도는 그리 크지 않지만, 정량성에 영향을 유의하게 미침
* 방해이온 효과 제거 후 선형성: R² > 0.99

- K⁺

❖ pH 조절을 통한 간섭효과 제거(NH₄⁺→NH₃)



* NH₄⁺의 방해이온 효과는 매우 크고, K⁺와 유사한 화학반응성을 가짐
* 방해이온 효과 제거 후 선형성: R² > 0.99

- NH₄⁺

❖ 비교적 다른 양이온들의 간섭효과는 미미하며, 별도의 제거 작업이 필요치 않음

③ 토양 및 식물체 시료 중 양이온 농도분석

• 시료 채취 및 전처리 과정

- 다양한 작물을 고려한 시료 채취(총 19개 작물, 2021년 6-9월, 충북, 경기 일원)

작물	논 벼	밭 옥수수, 콩, 고추, 배추, 고구마, 부추, 호박	과수 포도, 사과, 복숭아, 배	시설 고사리, 상추, 토마토	사료/특용작물 수단그라스, 담배, 도라지, 해바라기
계	1	7	4	3	4
논	논1(벼)				
밭	밭1(옥수수)	밭2(콩)	밭3(고추)	밭4(배추)	
	밭5(고구마)	밭6(부추)	밭7(호박)		
	시설1(고사리)	시설2(상추)	시설3(토마토)		
과수	과수1(포도)	과수2(사과)	과수3(복숭아)	과수4(배)	
사료/ 특용 작물	사료1(수단그라스)	특용1(담배)	특용2(도라지)	특용3(해바라기)	

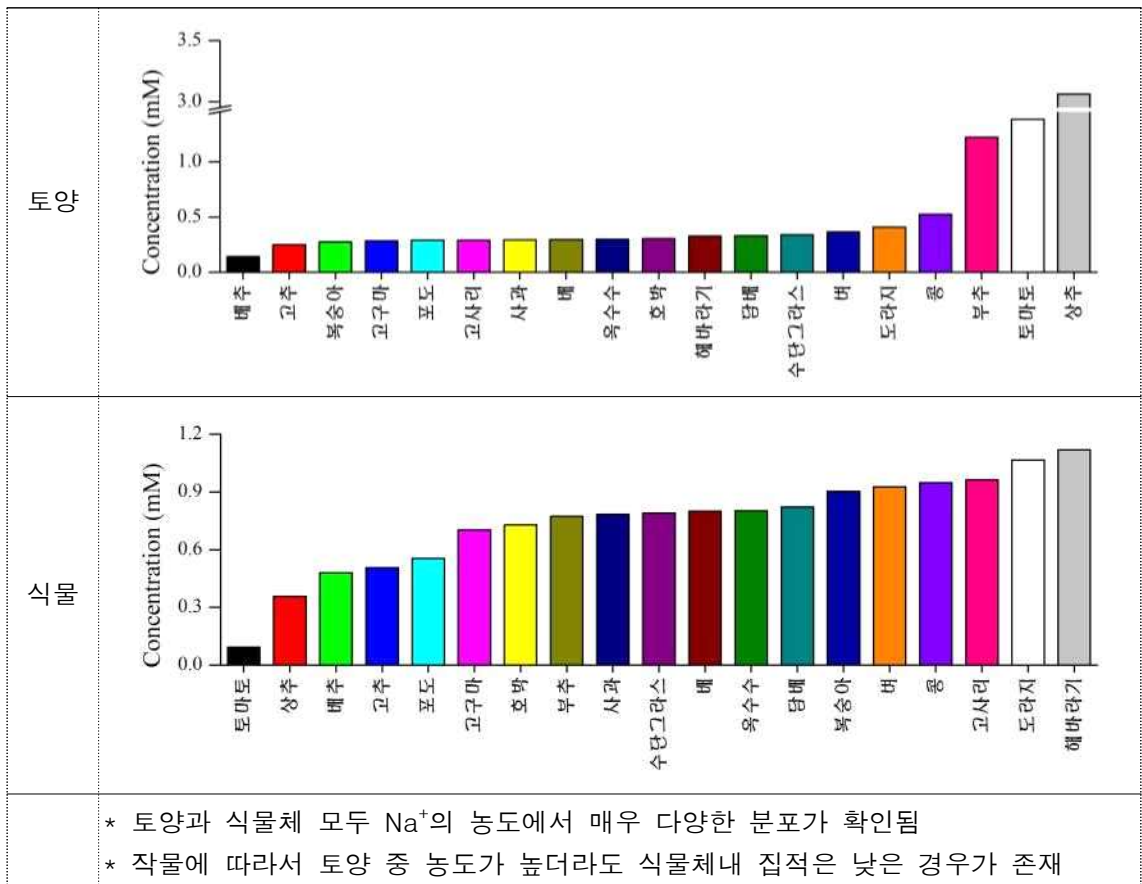
- 시료의 전처리 및 화학분석 방법

- 토양: 풍건토 8 g을 1:5 증류수로 1시간 교반 추출 후 여과하여 화학분석
- 식물체: 잎 1 g을 1:20 증류수로 분쇄 균질화 후 0.45 um 나일론 멤브레인 필터로 여과하여 화학분석
- 화학분석은 (주)테크넬 POCT 키트 사용

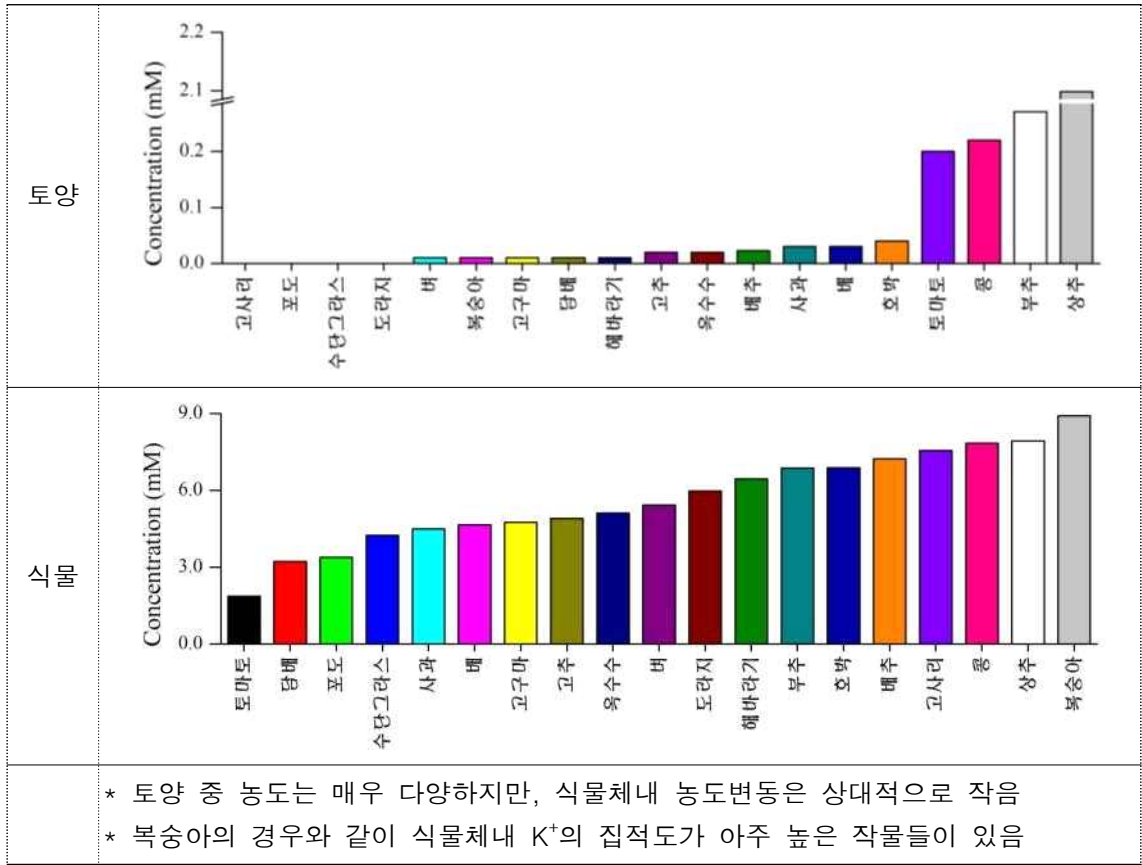
	교반 추출/ 분쇄 균질화	여과 및 정제	신속 화학분석 키트	기기분석
토양				
식물				

- 토양 및 식물체 분석

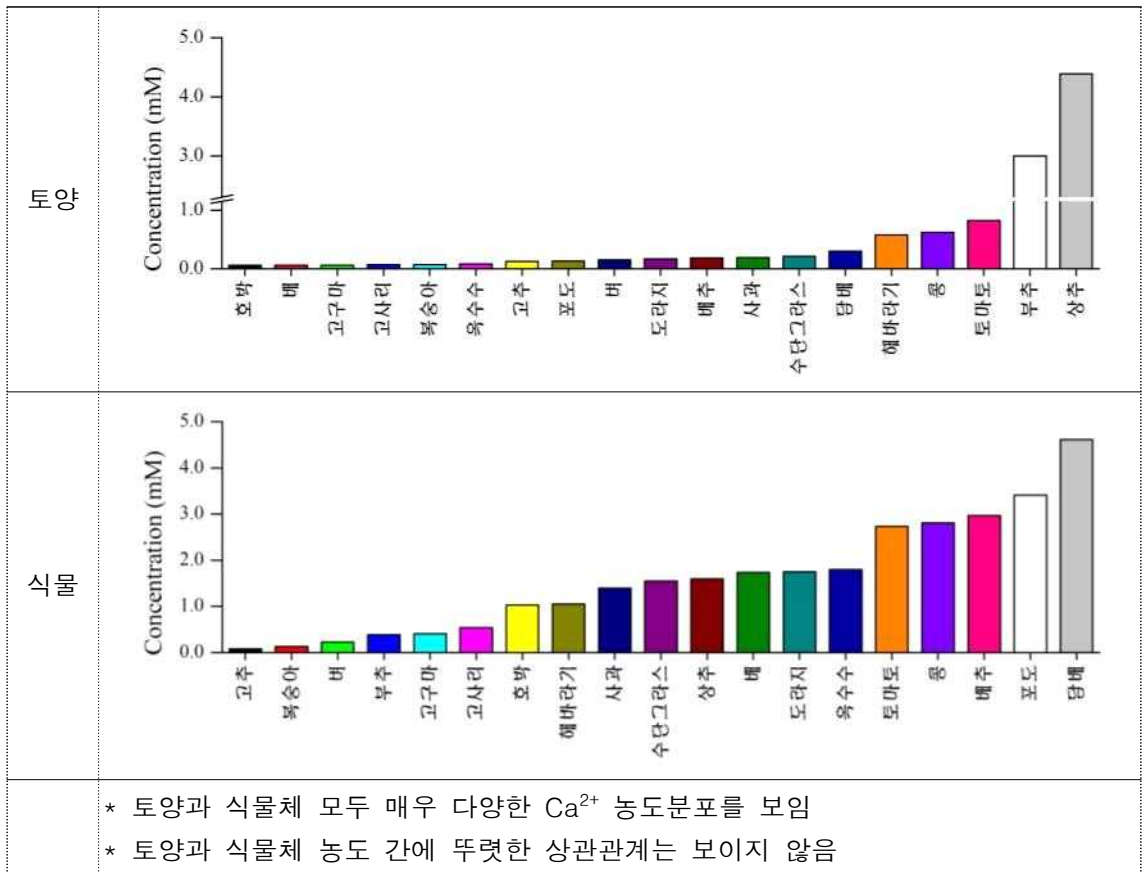
- Na⁺



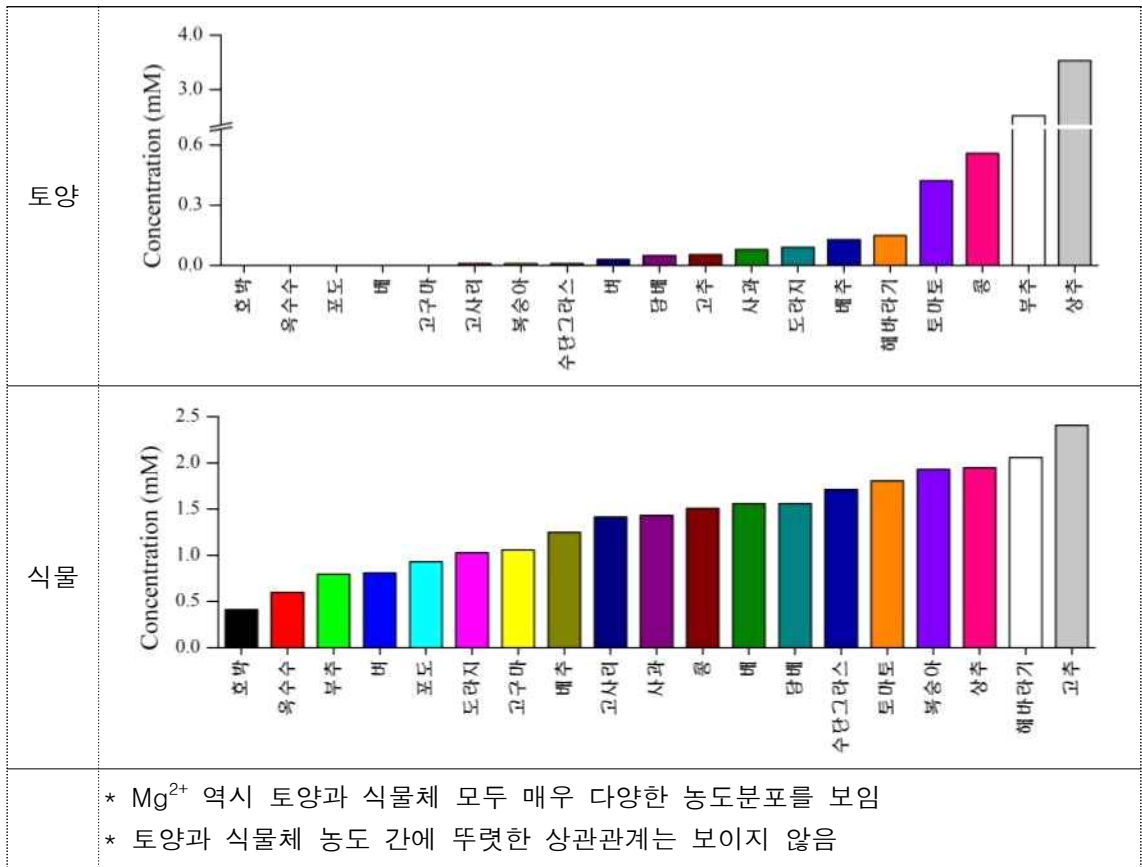
- K⁺



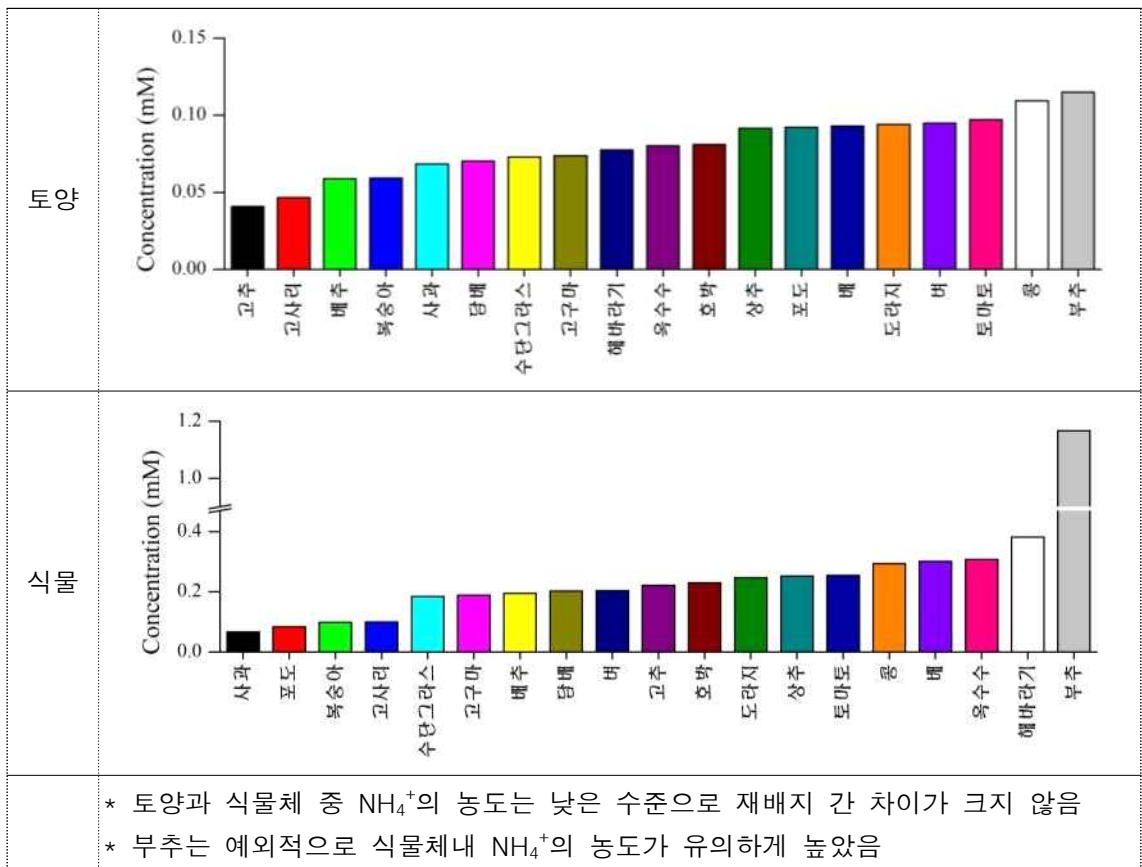
- Ca²⁺



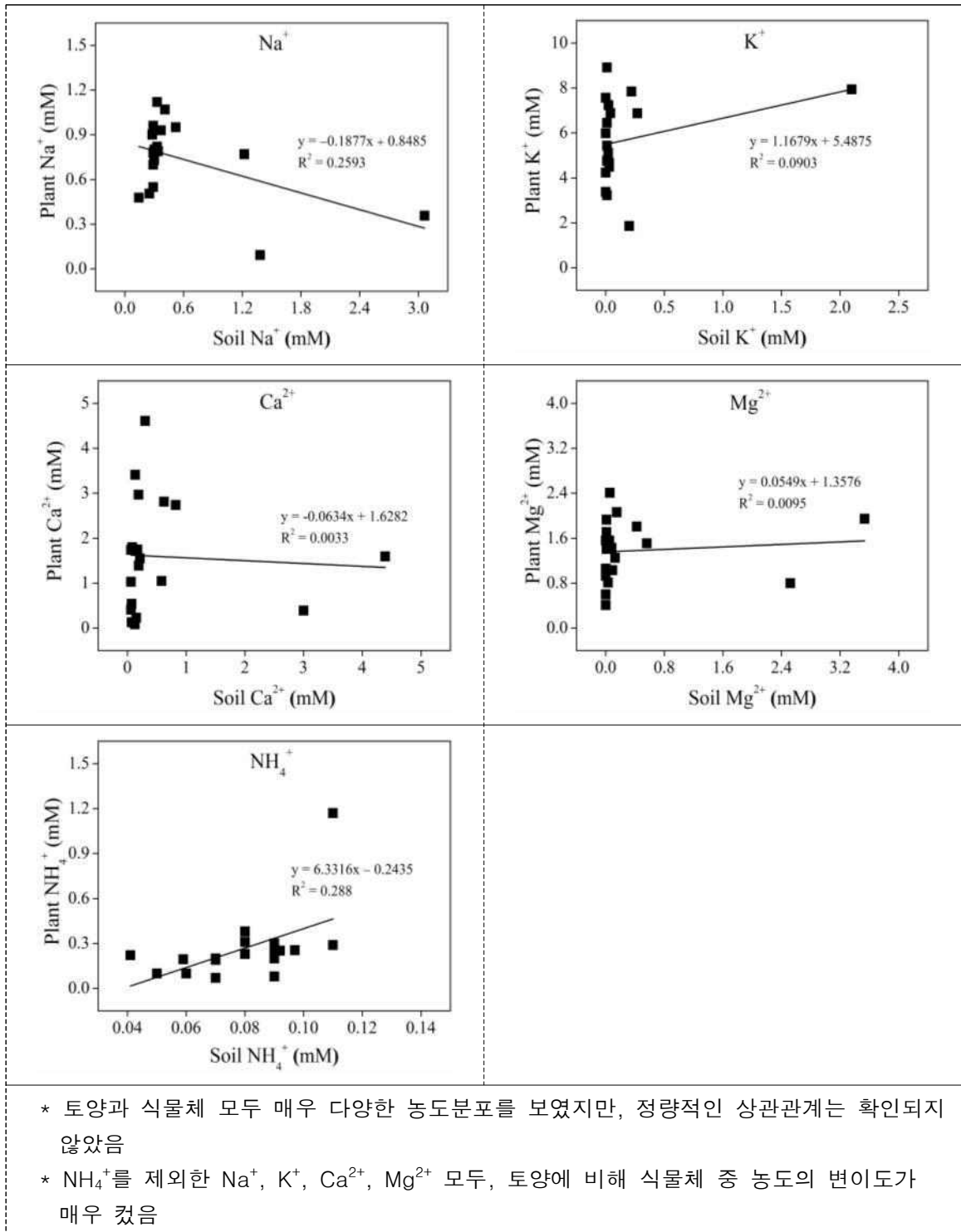
- Mg²⁺



- NH₄⁺



- 토양 및 식물체 중 양이온 농도의 상관성



마. 공동연구기관 (충북대학교 산학협력단) 2차년도(2022년)

- 연차목표 : 토양 및 식물체 신속 현장분석을 위한 화학분석 전처리 분석-플랫폼 개발 및 주요 음이온의 선택적 신속 현장분석 키트 개발, 화학분석법 최적화

1) 토양 및 식물체 현장 전처리 방법 개발 및 표준화

① 토양 및 식물체의 단일 추출 용액 개발

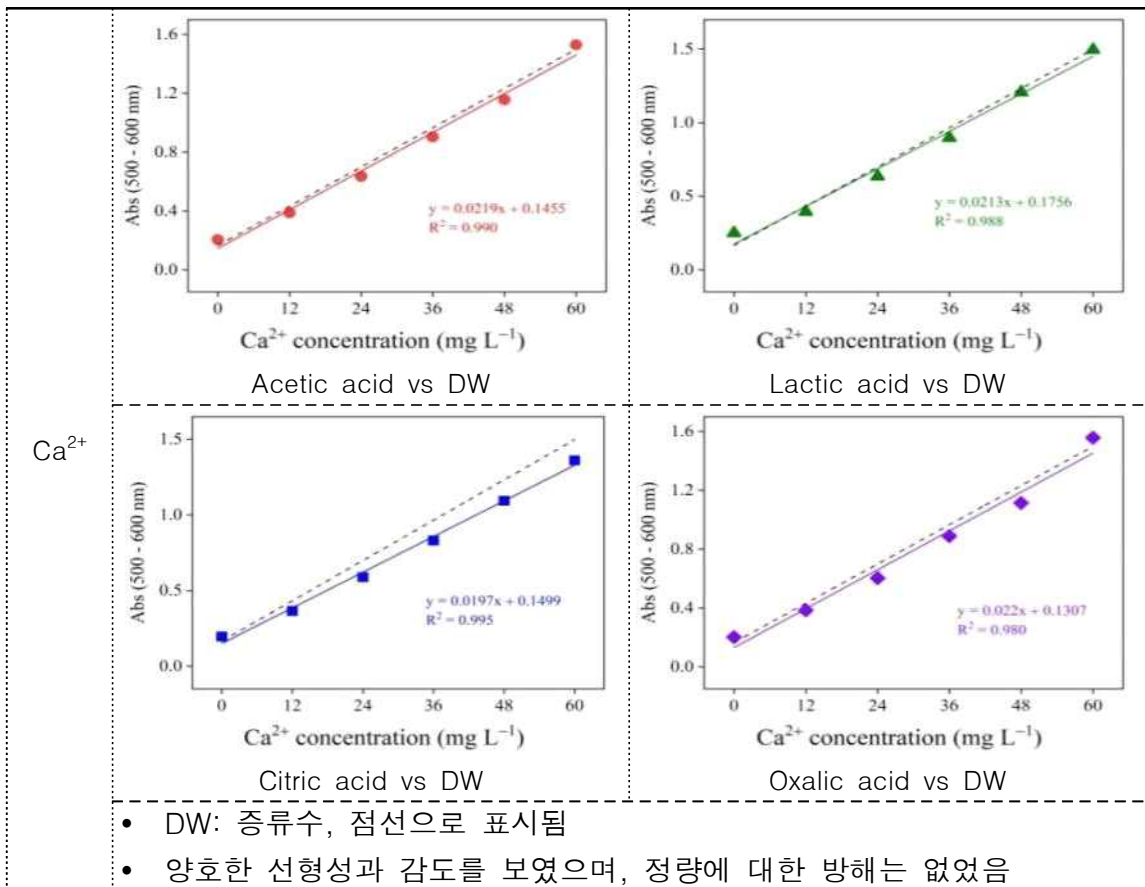
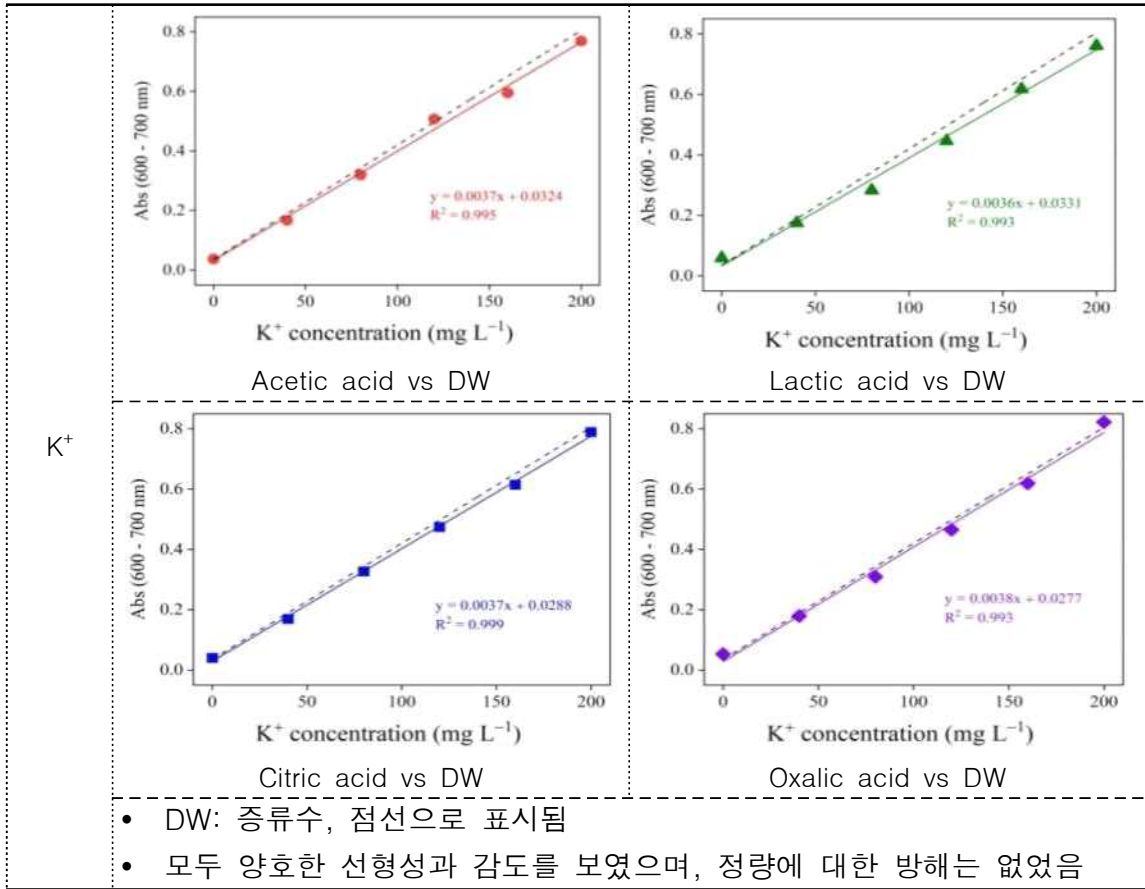
- 새로운 단일 추출 용액의 선정 기준 설정

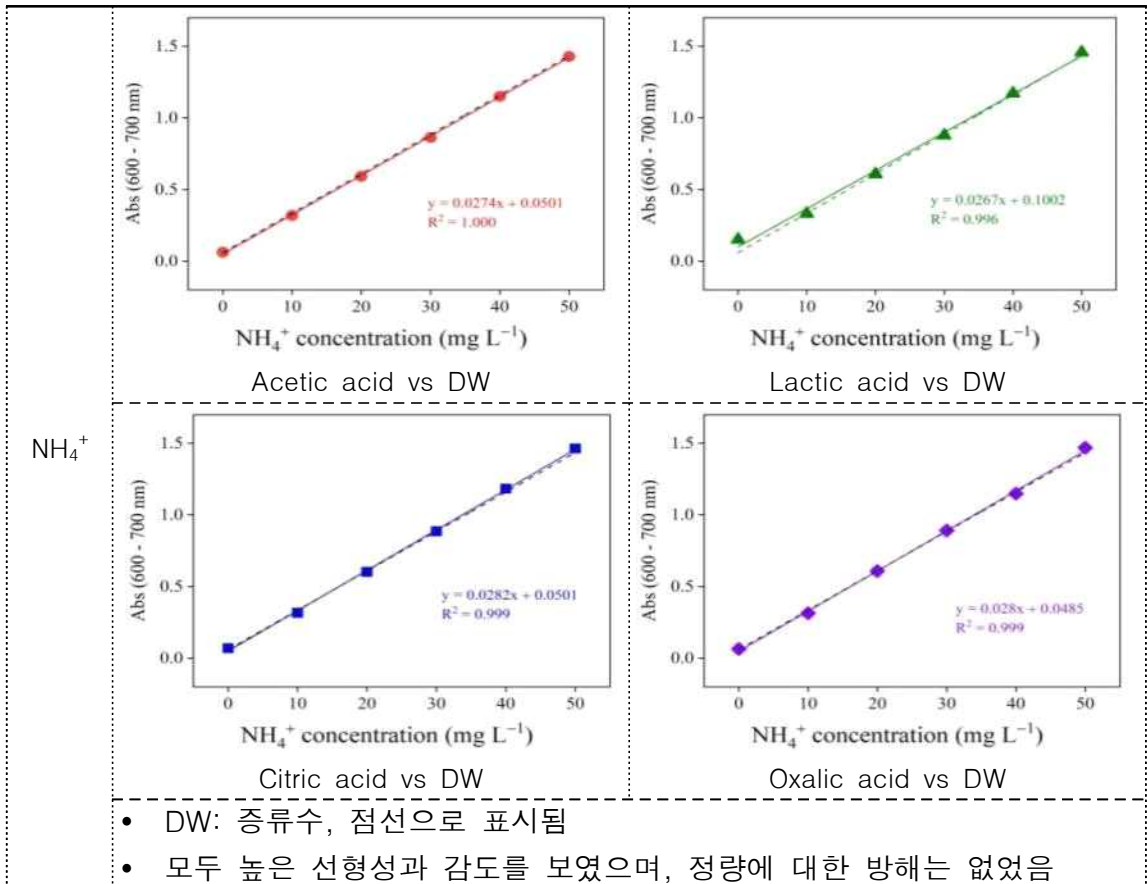
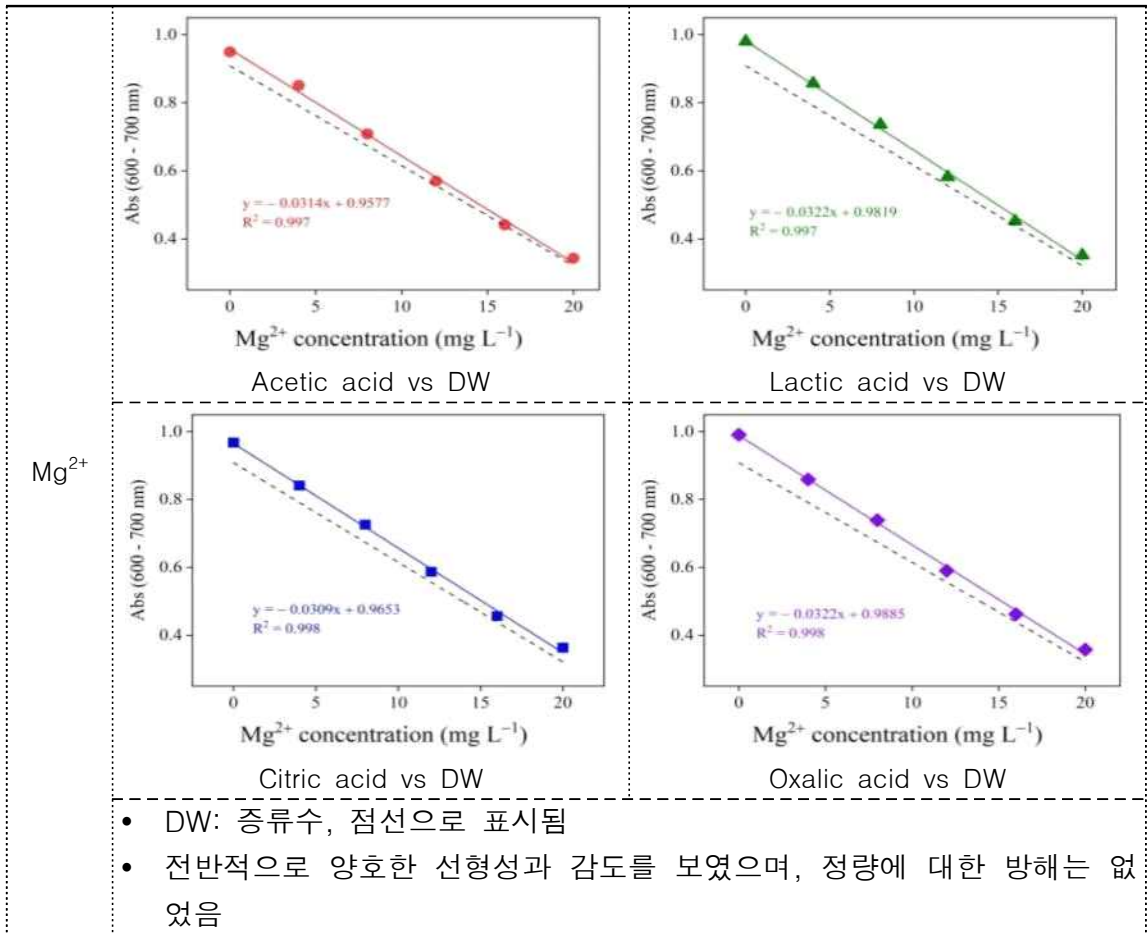
[현 토양현장 진단 증류수 추출법의 장단점]	
<ul style="list-style-type: none"> • 뿌리가 바로 신속히 흡수할 수 있는 수용성 이온들을 직접 정량 • 뿌리에 흡수되는 이온들의 이동 메커니즘에는 (a) 토양 교질에서의 직접 이온 흡수를 통한 root interception, (b) 난용성 염들로부터 서서히 공급되는 diffusion, (c) 증산에 의한 근권 내 수분 이동에 의한 mass flow 등이 존재 • 뿌리가 흡수할 수 있는 전체 함량을 선택적으로 과소평가할 우려가 있음 • 특히, 토양 교질 전기이중층 내 존재하는 치환태 양이온류들과 인산이온 및 황산이온과 침전 형태로 존재하지만 식물체에 이용 가능성이 큰 이온들의 함량들은 상대적으로 적게 반영될 수밖에 없음. • 하지만, 인산이온을 제외한 음이온류들에 대해서는 위와 같은 단점들이 적음 	
[새 단일 추출액에서 기대되는 특성]	[새 추출액에서 최소화되어야 할 특성]
<ul style="list-style-type: none"> • 토양 광물 및 유기물의 교환태 이온들을 비례적으로 추출 가능 • 난용성 염으로 존재하는 이온들을 적절한 강도로 추출 가능 • 토양이액(교질결합) 순위에서 대부분의 2가 양이온들보다 후위에 있을 것: $Al^{3+} > H_3O^+ > Ca^{2+} > Mg^{2+} > NH_4^+, K^+ > Na^+$ • 기존 유효태 추출액들의 농도와 유사한 농도로 적용이 가능할 것 	<ul style="list-style-type: none"> • 추출액 자체에 분석 대상인 양이온 및 이온이 포함되지 않을 것 • 유기용매류의 경우 토양 색소 추출이 가능성이 있으므로 제외 • 비교적 낮은 농도로 적용되어 극성/비극성의 정도가 증류수와 큰 차이를 보이지 않아야 함 • 현장 혹은 실험실에서 적용될 때 문제가 없도록 독성 혹은 위해성이 낮아야 함

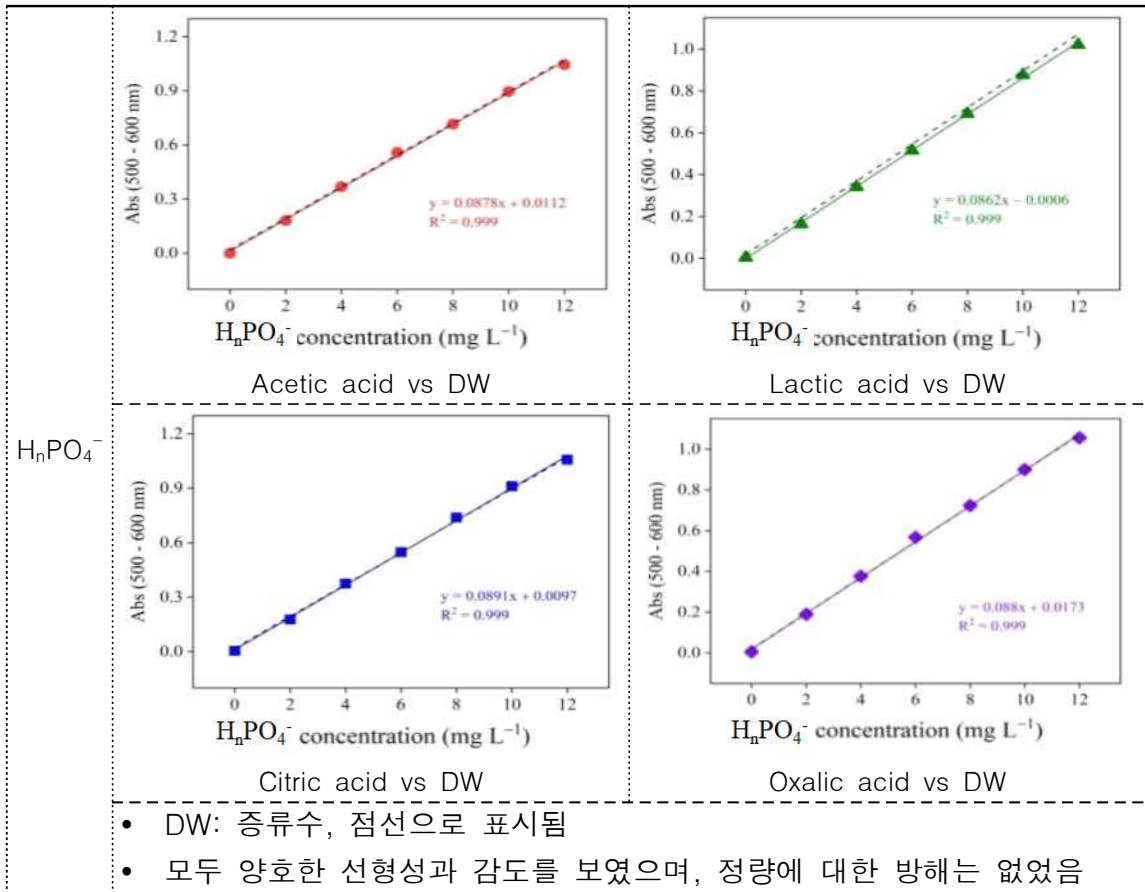
- 시험 단일 추출액의 후보 선정

<ul style="list-style-type: none"> • pKa 값이 낮고 사용상 위험도가 낮은 유기류들로 후보군들을 선정 • Oxalic acid(Pka 1.3, 4.3), Citric acid(Pka 3.1, 4.8), Lactic acid(Pka 3.8), Acetic acid(Pka 4.8)이 시험 추출액으로 선정됨 • 농도는 일반적인 유효태 추출 농도 부근인 0.01 M로 하였음
--

- 시험 추출액들의 감도, 선형성, 분석법 적용성 평가(검량직선 비교):





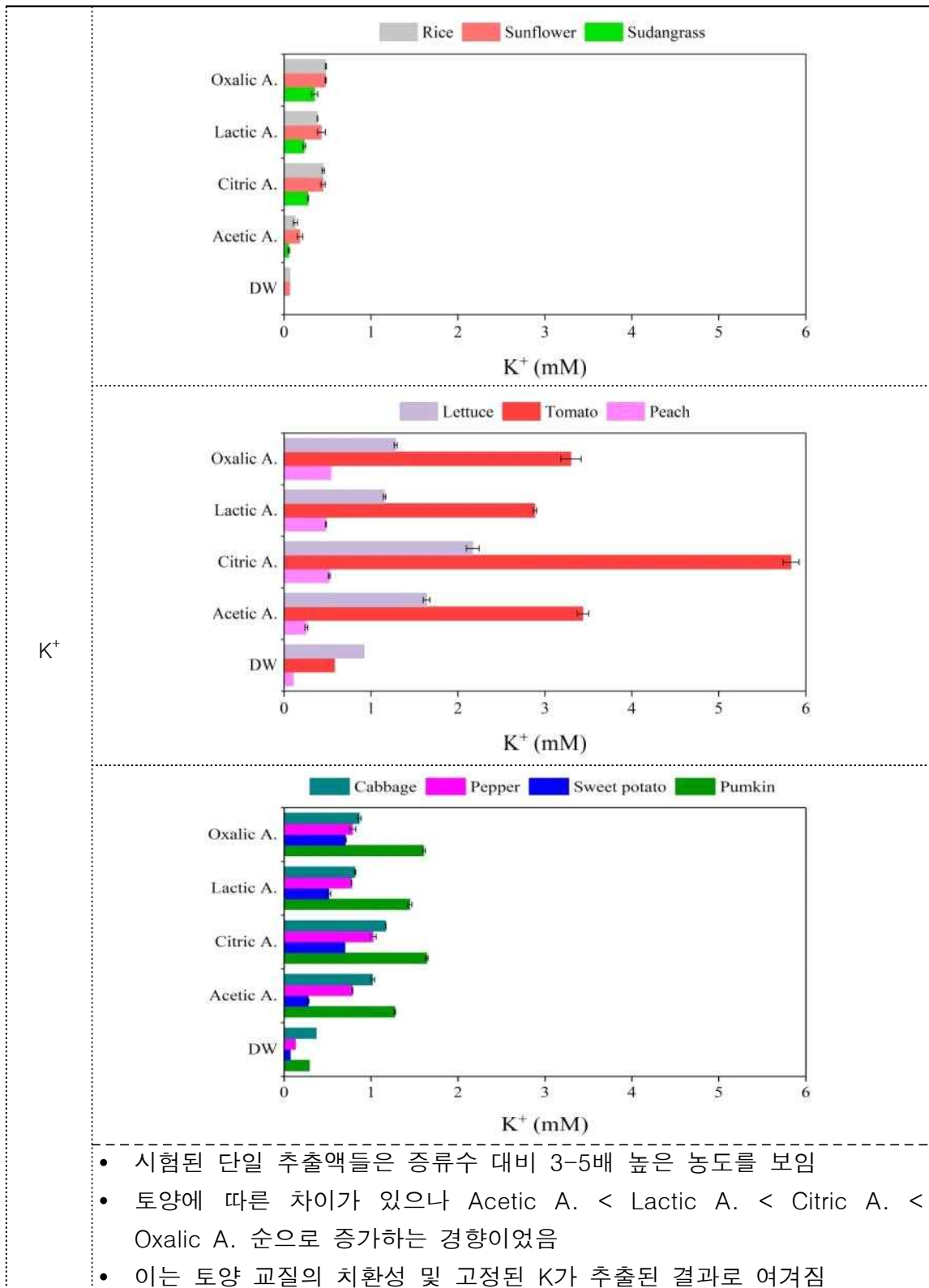


[시험된 단일 추출액 특징]

- 토양 광물 및 유기물의 교환태 이온들을 비례적으로 추출하고, 난용성 염으로 존재하는 이온들을 적절한 강도로 추출하는 성질이 있어 현행 증류수 추출법에 비해 월등히 높은 농도 수준을 보임
- 아울러, 추출액 자체에 분석 대상인 양이온 및 이온이 포함되지 않아 분석에 방해가 없으며, 검량직선 역시 증류수에 비해 크게 변화없이 높이 민감도와 재현성을 보였음
- 유기용매류와 달리 약-강산성의 추출액으로 토양 색소 추출이 가능성이 없어 이후 분광학적 혹은 이미지 분석에 의한 이온 농도 분석에 미치는 영향이 매우 적다고 판단됨
- 아울러, 낮은 농도로 사용 가능하므로, 현장 혹은 실험실에서 적용될 때 독성 혹은 위해성이 낮음

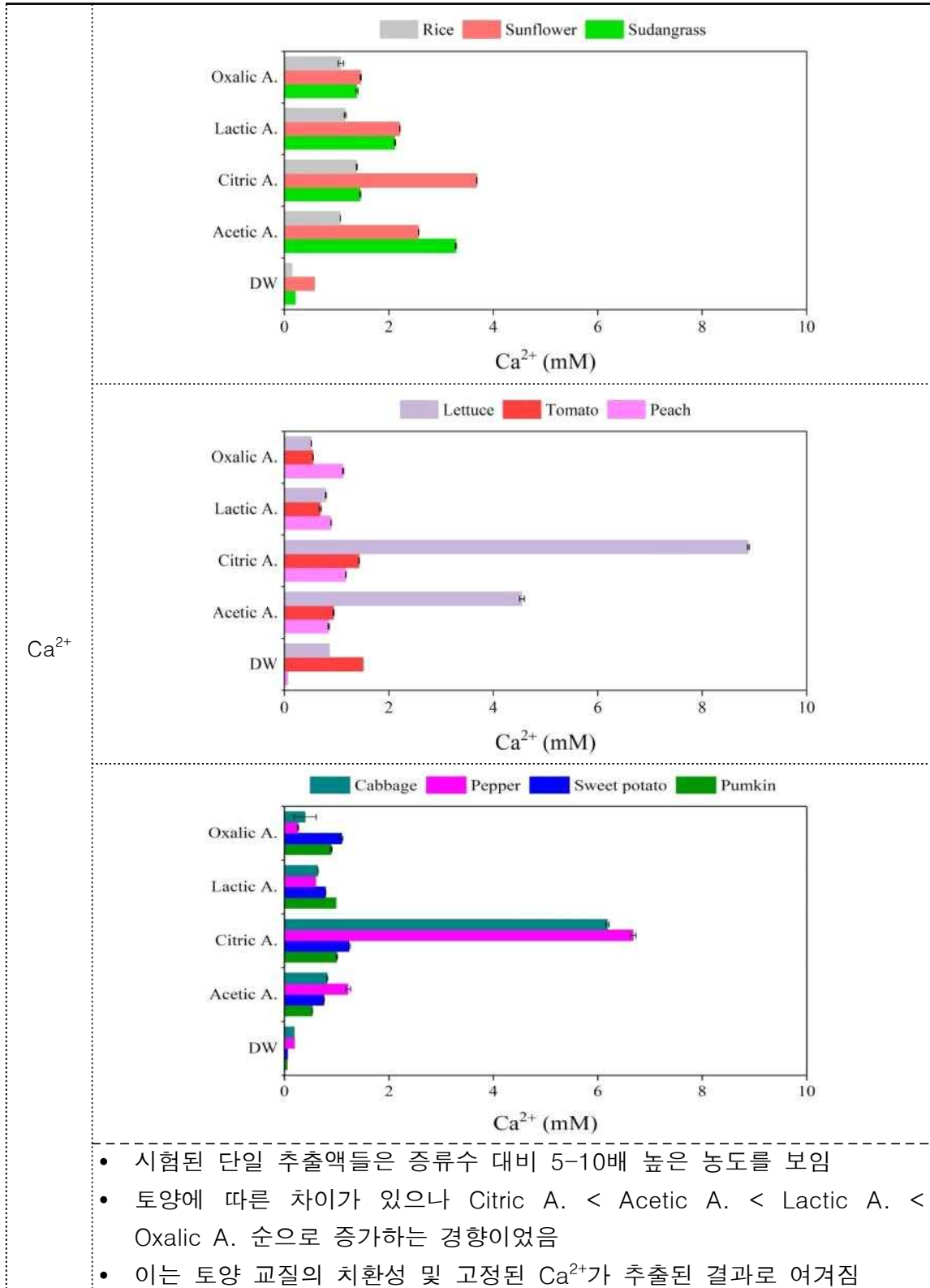
- 새 단일 추출액의 토양 추출능 비교 및 검증

- K^+ 에 대한 새 단일 추출액들의 토양 추출능 비교

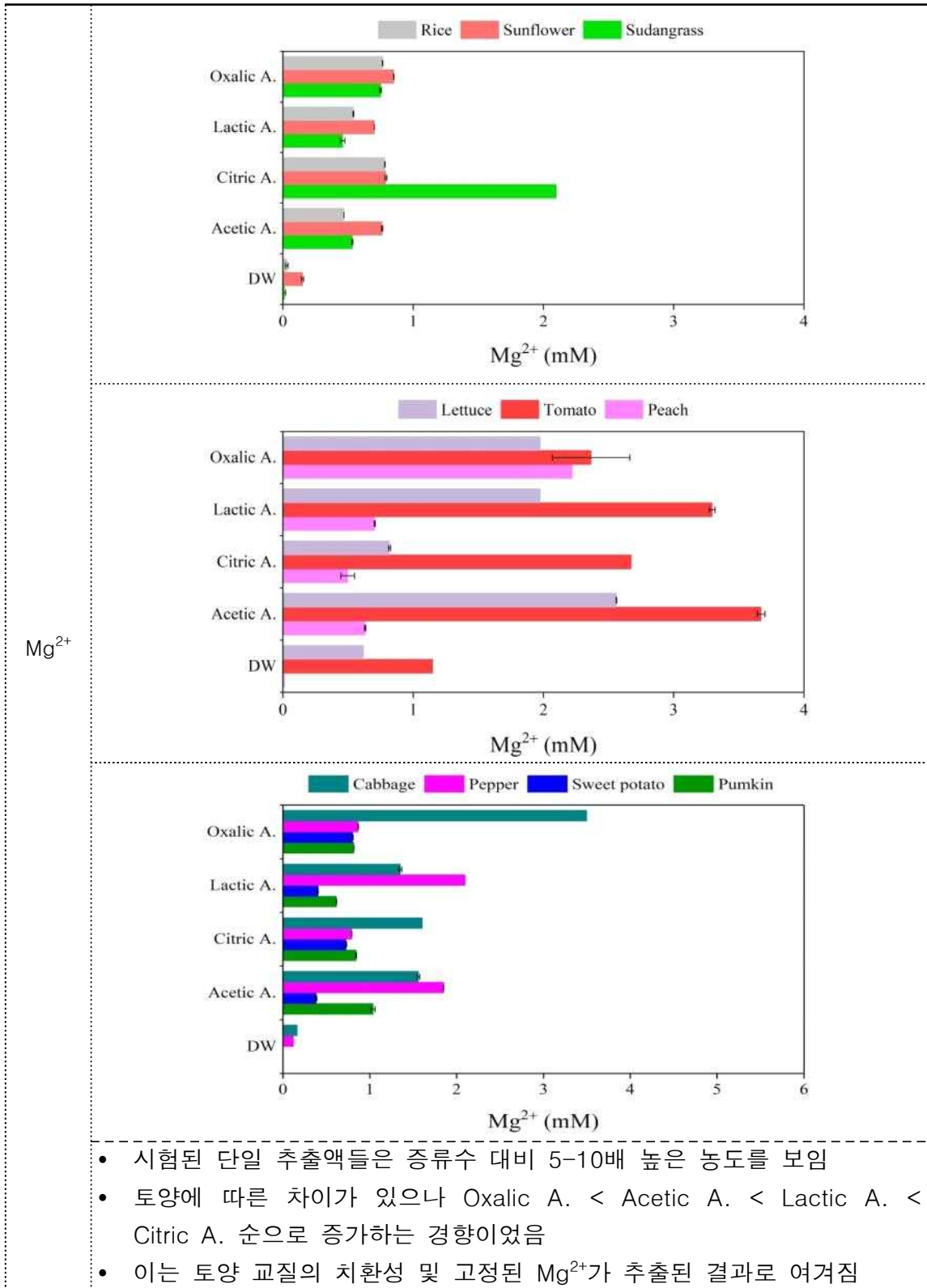


- 시험된 단일 추출액들은 증류수 대비 3-5배 높은 농도를 보임
- 토양에 따른 차이가 있으나 Acetic A. < Lactic A. < Citric A. < Oxalic A. 순으로 증가하는 경향이었음
- 이는 토양 교질의 치환성 및 고정된 K가 추출된 결과로 여겨짐

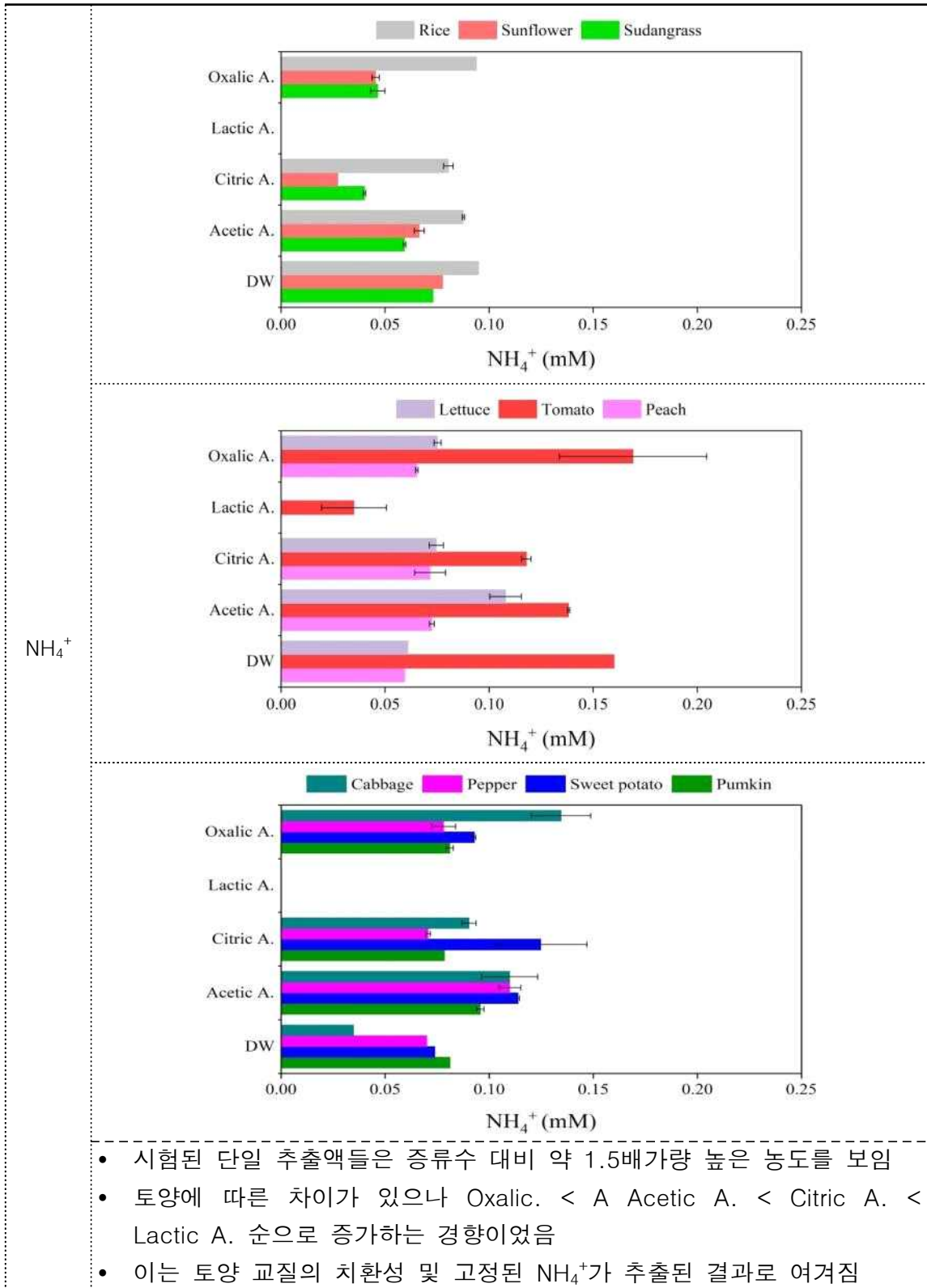
- Ca²⁺에 대한 새 단일 추출액들의 토양 추출능 비교



- Mg²⁺에 대한 새 단일 추출액들의 토양 추출능 비교

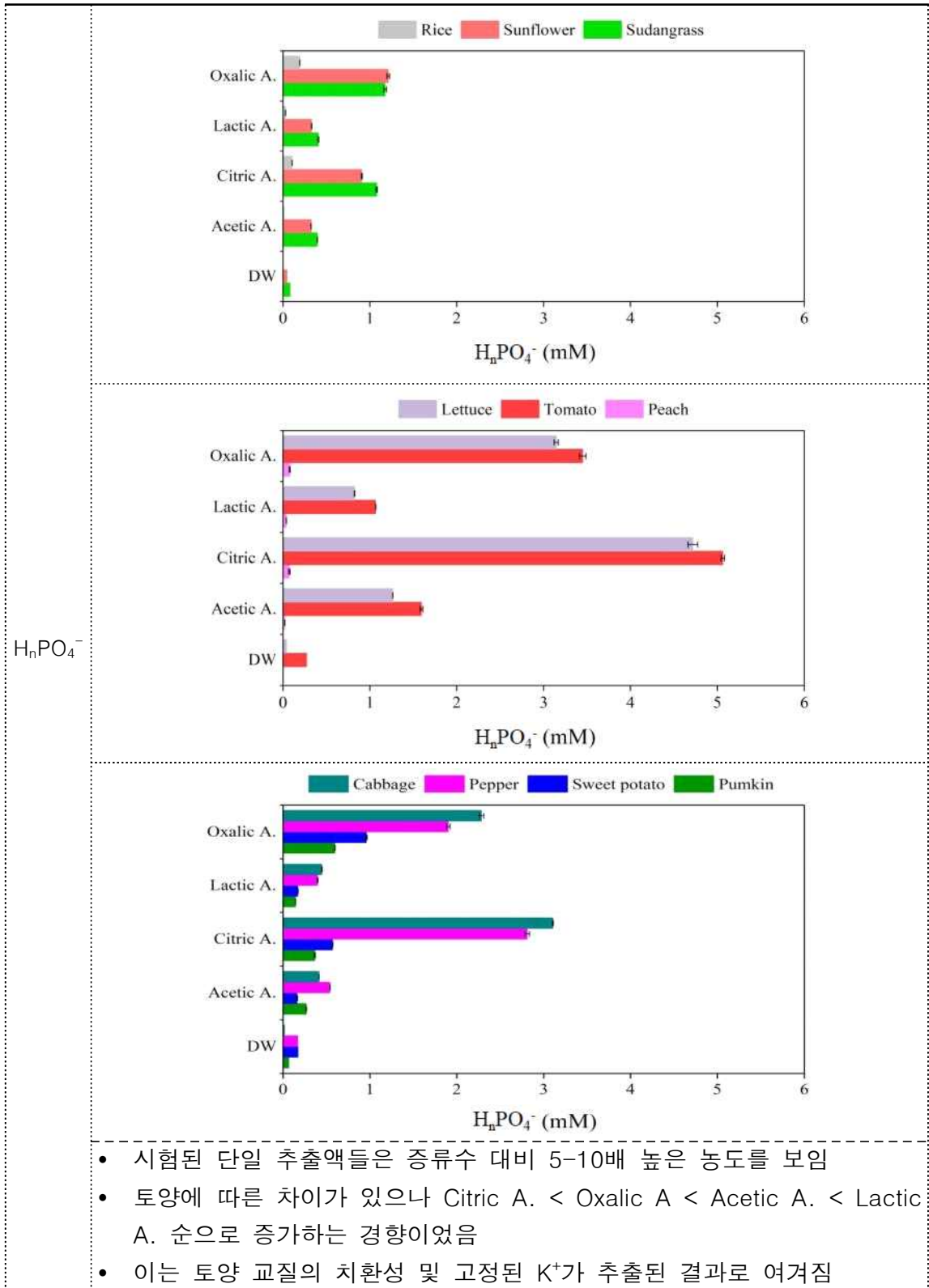


- NH₄⁺에 대한 새 단일 추출액들의 토양 추출능 비교



- 시험된 단일 추출액들은 증류수 대비 약 1.5배가량 높은 농도를 보임
- 토양에 따른 차이가 있으나 Oxalic A. < Acetic A. < Citric A. < Lactic A. 순으로 증가하는 경향이있음
- 이는 토양 교질의 치환성 및 고정된 NH₄⁺가 추출된 결과로 여겨짐

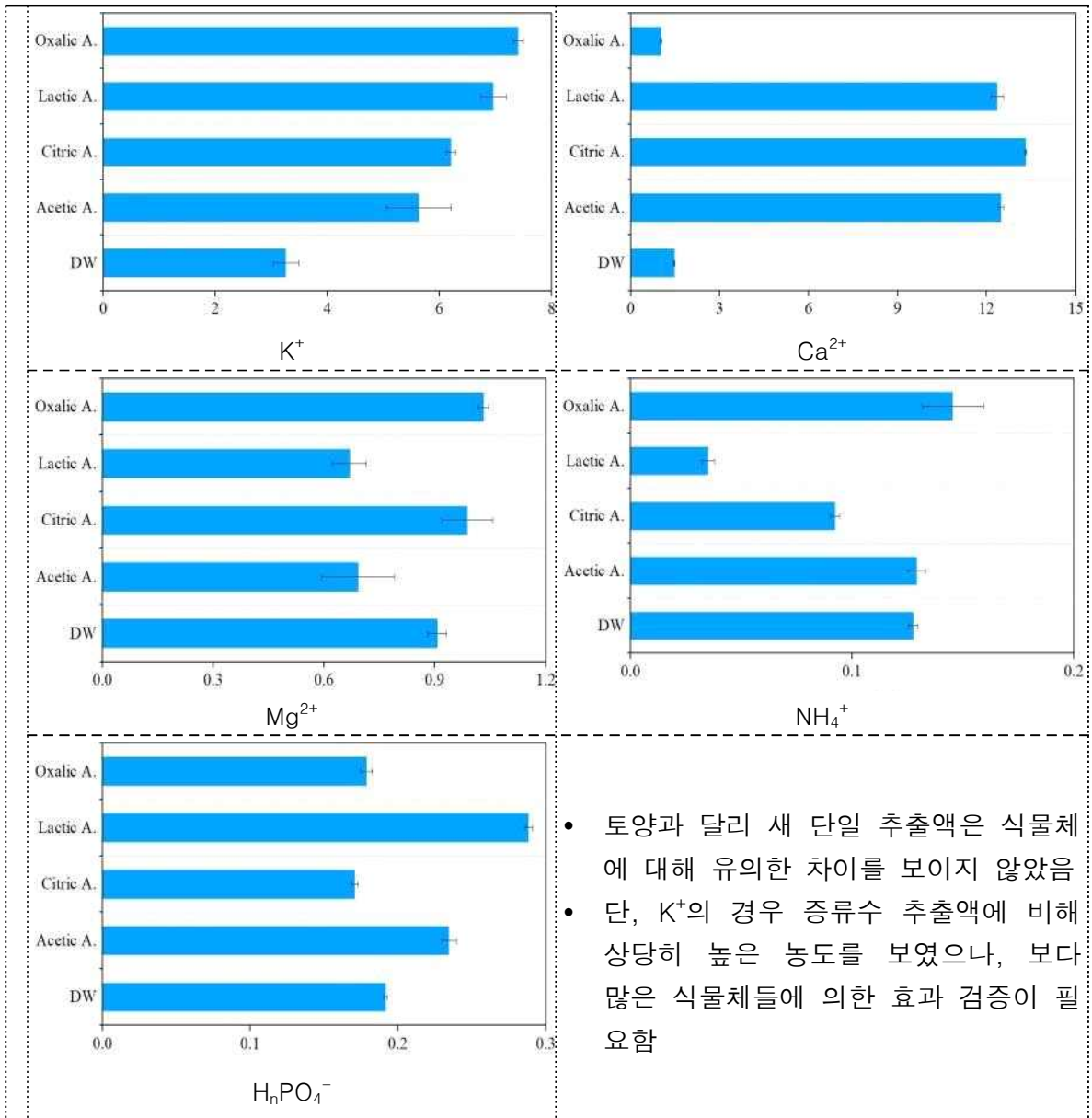
- $H_nPO_4^-$ 에 대한 새 단일 추출액들의 토양 추출능 비교



- 새 단일 추출액의 식물체 추출능 비교 및 검증

[식물체 추출의 특징]

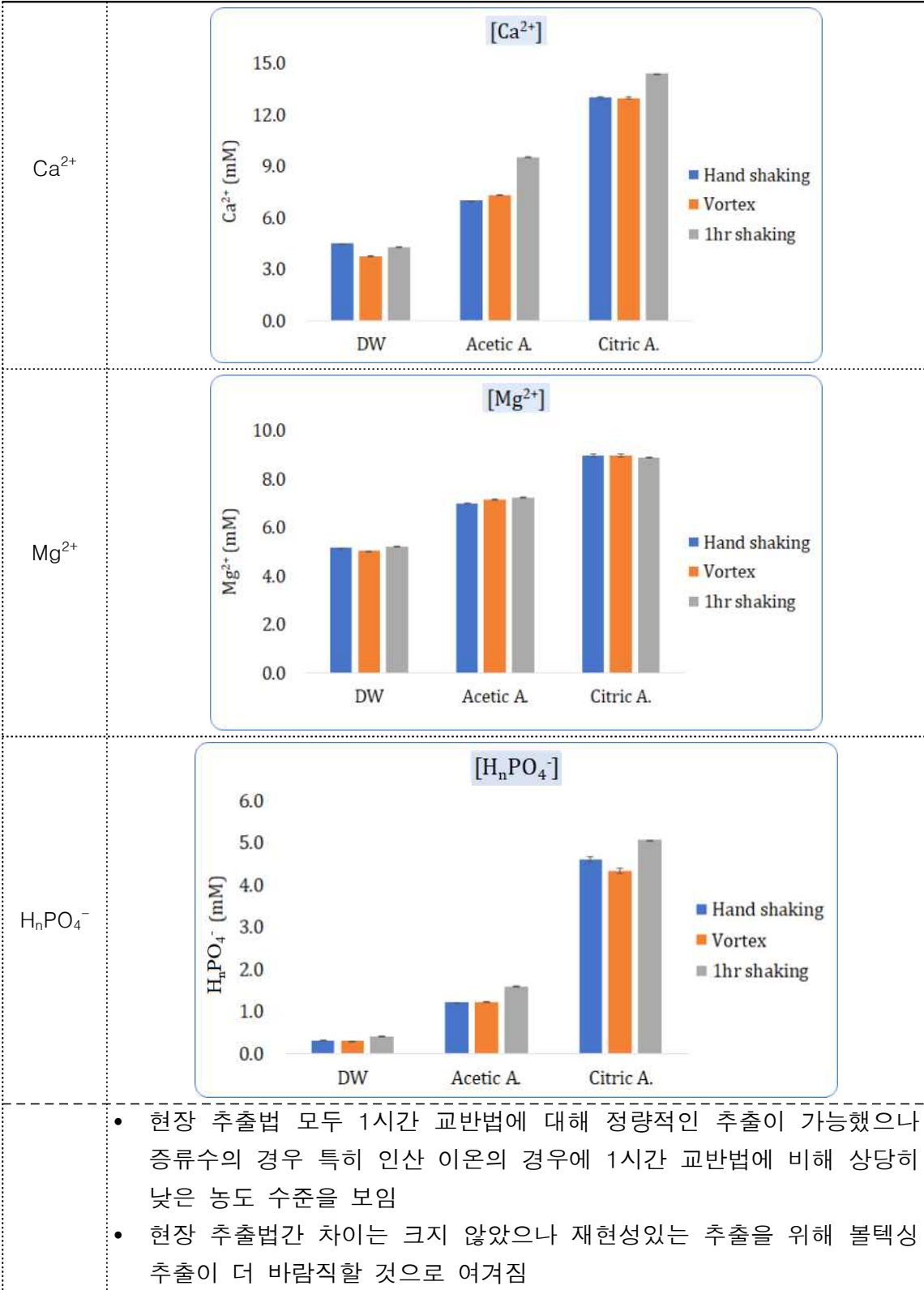
- 토양과 달리 교질 표면 전기이중층에 의한 교환사이트와 추출액 간 분배 작용이 없음
- 아울러, 난용성 염의 용해와 확산에 작용도 무시될 수 있으므로 단일 작물(배추)에 대한 추출능 비교 시험을 실시하였음



- 토양과 달리 새 단일 추출액은 식물체에 대해 유의한 차이를 보이지 않았음
- 단, K^+ 의 경우 증류수 추출액에 비해 상당히 높은 농도를 보였으나, 보다 많은 식물체들에 의한 효과 검증이 필요함

② 토양 및 식물체의 추출 시간 및 강도 등 현장 추출 조건 개발

- 토양의 실험실 추출 조건: 1시간 교반(180 rpm)
- 토양의 현장 추출 조건 a: [Vortexing(10초) -> Standing(1분)] x 6회 반복
- 토양의 현장 추출 조건 b: [Hand shaking(10초) -> Standing(1분)] x 6회
- 식물체의 현장 추출 조건: 현장 조직 균질화 도구를 통한 동시 추출법 적용

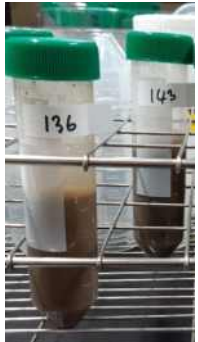
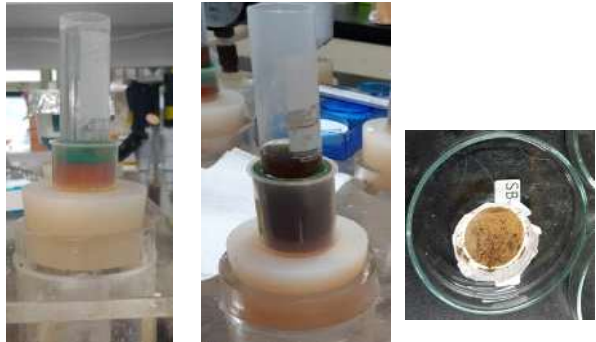



③ 토양 및 식물체의 현장 여과 방법 개발





- 토양 추출액 여과 방법의 개선 방향

[현 토양 현장진단 증류수 추출액의 여과 상태]	
	
[문제점]	[개선 방안]
<ul style="list-style-type: none"> • 개별 토양의 특성에 따라 여과 시간이 수분에서 수 시간에 걸쳐 다양 • 증류수에 의한 입자 분산에 따라 Whatman 42, 2번 필터를 통과하는 입자의 양이 매우 많을 수 있음 • 분석액에 포함된 입자들은 이후 분광학적 분석에 큰 방해가 됨 	<ul style="list-style-type: none"> • 감압 여과 방법을 적용하여 신속한 현장 추출 여과가 가능하도록 함 • 분산 토양 입자의 영향을 최소화하기 위한 사전 정치 과정 도입 • 다성분 분석을 수행하기 위해 충분한 액량 정도를 미세 멤브레인 필터(0.45 μm)를 통해 여과


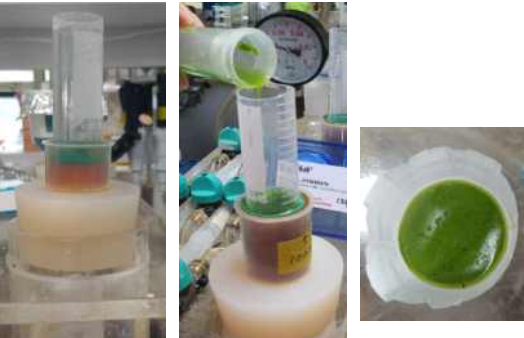
- 개선된 토양 추출액 여과법의 적용

사전 정치	감압 여과	시료 회수
		
<ul style="list-style-type: none"> • 5분 • 입자 침강 • 상등액 사용 	<ul style="list-style-type: none"> • 토양 추출 현탁액의 약 50%를 감압 여과 장치에 옮김 • 추출액 중 입자들을 0.45 μm 멤브레인 필터로 거름 • 여과 시간은 토양에 따라 1-5분 소요 	<ul style="list-style-type: none"> • 미세입자 포함 여부 확인 필요

- 실험실 식물체 균질화 및 추출액 여과 방법

	
<p>채취 시료 절단 및 칭량(1g)</p>	<p>균질화 (1:20 DW)</p>
	
<p>감압 여과 (0.45 μm 멤브레인 필터)</p>	<p>시료 수거</p>

- 식물체 시료의 현재 균질화 및 추출액 여과 방법 개발

	
<p>간편 디스크(8 mm) 절취 도구 활용</p>	<p>50 mL 티슈 그라인더를 이용한 균질화</p>
	
<p>감압 여과 (0.45 μm 멤브레인 필터)</p>	<p>시료 수거</p>

④ 현장 운영을 위한 분석-플랫폼 설계를 위한 전처리 과정 표준화

• 전처리 과정의 작업 단계 및 요소 분석

작업 단계	작업 요소	기구, 도구, 시약
1) 토양/식물체 시료 채취	<ul style="list-style-type: none"> 토양: 5-7 지점에서 시료 채취, 잘 혼합하여 대표 시료 마련 식물: 10여 개 작물체로부터 개체 당 1-2 개 잎, 디스크 절편, 혹은 기타 부위 채취 	<ul style="list-style-type: none"> 토양 채취 스푼, 토양 혼합 용기 식물체 채집 혹은 디스크 편채
2) 시료 칭량(밀도 조절) 및 수분함량 결정	<ul style="list-style-type: none"> 토양: 현행 5 mL 부피 기준 -> 밀도 1.3 g/mL 조절 토양: 중량 수분함량 10% 가정 하, 습윤 토양 6.5 g 칭량 식물: 절단 식물체 혹은 디스크 절편 10-20개를 1.0g 칭량 	<ul style="list-style-type: none"> 현행 토양 부피 측정 기구(5 mL), 혹은 단일 50 mL 튜브 휴대용 정밀 저울(0.01 정밀도)
3) 시료 균질화	<ul style="list-style-type: none"> 토양: 시료 칭량 전 실시, 2 mm로 채를 통과 시켜 균질화 (현행은 균질화 생략) 식물: 시료 칭량 후 실시, 핸드 티슈 그라이더로 균질화 	<ul style="list-style-type: none"> 직경 10-15 cm 20 mm 채, 수거함 포함 50 mL 핸드 티슈 그라이더
4) 추출 및 여과	<ul style="list-style-type: none"> 토양: 핸드 셰이킹 (현행 1분, 개선안 셰이킹+정치 6회) 혹은 볼텍서를 이용한 추출 식물: 이전 균질화 단계에서 동시 추출 여과: 토양, 식물 모두 감압 여과 방식으로 신속 여과 (0.45 μm 멤브레인 필터 적용, 현행: Whatman 2번 필터로 여과) 	<ul style="list-style-type: none"> 토양: 50 mL 추출용 튜브 식물: 균질화 튜브 그대로 사용 휴대용 볼텍서 감압여과 장치 미니 진공펌프 충전식 USB전원
5) 화학성 및 이온 분석	<ul style="list-style-type: none"> 토양: pH와 EC 측정 후 개별 이온들에 대해 분광법 혹은 이미지 분석법에 따른 측정 실시 식물: 토양과 동일하나, pH와 EC는 생략 가능 	<ul style="list-style-type: none"> 분광법 / 이미지 분석에 따른 휴대용 이온분석기 이온 별 분석 키트 (최대 10종) 키트조작 플랫폼

- 현행 대비 표준화 필요 요소 1: 중량 혹은 밀도 기준 시료 칭량
 - 현행 방법은 약 5 mL 용기에 토양시료를 압축 충전한 다음(부피기준), 이를 50 mL 용기에 옮기고 25 mL 증류수를 가해서 교반 추출하는 방식
 - 따라서, 추출되는 시료의 양이 임의적인 성질이 강하고, 이후 추출된 용액의 이온 농도에 미치는 영향이 매우 큼
 - 시료 양에 따른 오차를 제어하기 위해, 동일한 5 mL 용기에 일정 밀도로 시료를 충전하는 방안이 고려될 수 있음
 - ❖ 토양 입자 밀도: 2.6 g/cm^3 , 공극율 55%, 중량 수분함량 16%를 평균적인 값으로 취하면
 - ✓ 습윤 토양 충전밀도 = 1.2 g/cm^3 , 용적 수분함량 = 20%
 - ✓ 5 mL 용기의 경우 습윤 토양을 7.0 g으로 칭량하여 충전하는 것에 해당
 - ✓ 50 mL 용기에 습윤 토양을 바로 칭량하여 취하는 것도 같은 효과를 가짐
 - ✓ 추출액의 부피 = $\text{풍건토양 g} \times 5 = 30 \text{ mL}$ (현행은 부피기준으로 25 mL)
 - ❖ 현장 분석 후 실험실에서 동일 시료의 중량 수분함량을 별도 측정하면 보다 정밀하게 추출비율에 변화에 따른 이온 농도 보정이 가능함.
 - 습윤 토양의 중량 수분함량을 현장에서 바로 측정하는 방법 개발하여 적용할 경우 (현재는 용적 수분함량 센서들만 사용 가능, 향후 기술개발 필요), 보다 신속 정밀하게 시료 양을 조절하고 추출액의 농도 보정이 가능함.
- 현행 대비 표준화 필요 요소 2: 토양시료의 칭량 전 균질화
 - 현행 방법은 식물체 잔사, 2 mm 이상의 자갈 등 큰 입자들이 포함되어 추출되기 때문에 점토, 실트 등 이온함량이 높은 토양입자들을 균일하게 추출하는데 한계가 있음.
 - 특히, 비교적 적은 시료의 양(습윤 질량 7 g, 부피 5 mL)에 대해 추출할 경우 불균질성과 큰 입자 및 잔사의 영향은 상당히 클 우려가 있음
 - 따라서, 현장에서 신속히 습윤 상태에서 2 mm로 입자들을 선별, 균질화(채로 거르면서 동시에 진행됨)하는 것이 대표성과 재현성 있는 이온분석에 필요함
 - 현장용으로 적당한 직경 10 cm 내외의 채로 신속한 입자 선별을 수행하는데 따른 추가적인 어려움은 크지 않을 것으로 예상됨
- 현행 대비 표준화 필요 요소 3: 추출액의 감압 여과 (0.45 μm 멤브레인 필터)
 - 현 권장 여과 방법에서는 Whatman 2번 필터를 사용하고 있으나, 통과 공극의 크기가 약 8 μm 이상으로 매우 크고, Whatman 42번 필터를 사용하더라도 통과 크기가 2 μm 이상으로 큼
 - 이는 증류수에 의한 입자 분산에 따라 필터를 통과하는 입자의 양이 매우 많을 수 있고, 분석액에 포함된 입자들은 이후 분광학적 분석에 큰 방해가 됨 또한 개별 토양의 특성에 따라 여과 시간이 수분에서 수시간에 걸쳐 다양
 - 따라서, 신속하면서 분석액 중 유입 입자의 양을 최소화할 수 있는 0.45 μm 멤브레인 필터 감압여과 방식을 현장에 적용하는 것이 요구됨

- 토양 시료 전처리 과정의 표준화 및 플랫폼 설계



- 식물 시료 전처리 과정의 표준화 및 플랫폼 설계




2) 토양 및 식물체 전처리 과정 현장 운영을 위한 현장 분석-플랫폼 설계

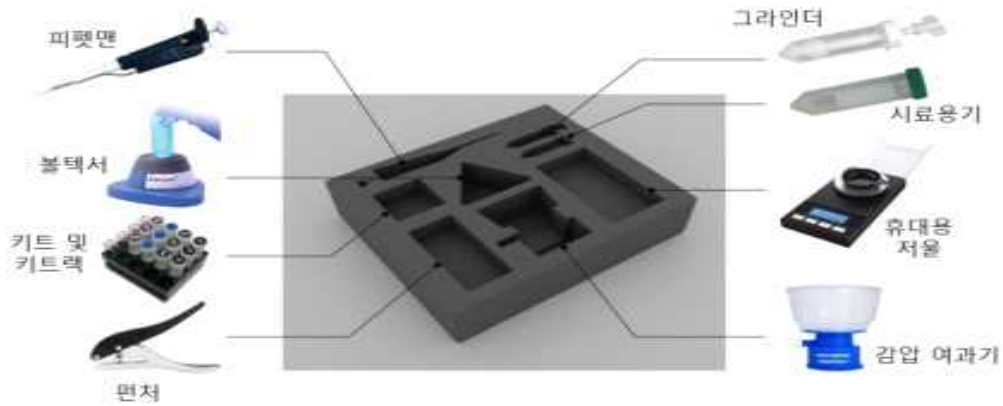
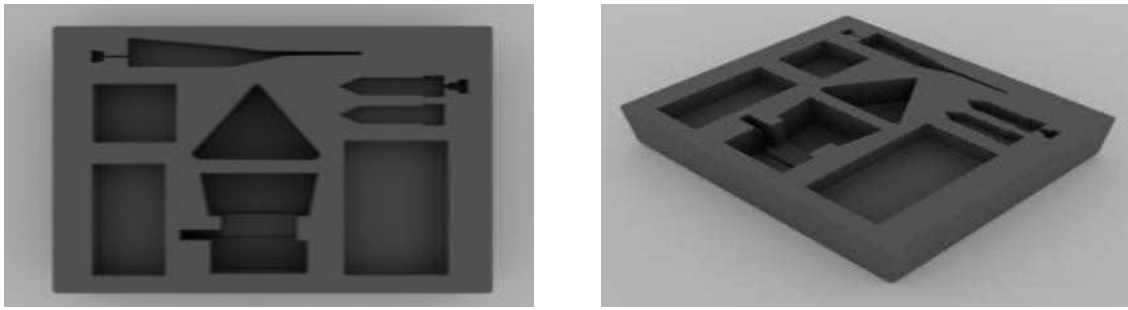
① 전처리 표준화에 적합한 시료 채취 기구 설계

	채취 기구의 요구 특성	기구
토양 시료	<ul style="list-style-type: none"> 다수 지점에서 토양을 채취 후 잘 혼합된 콤포지트 시료를 제조하는 것으로 단순화하여 별도 기구가 필요치 않음 	<ul style="list-style-type: none"> 토양 채취 스킵 토양 혼합 용기
식물 시료	<ul style="list-style-type: none"> 경량으로 조작이 간편한 편칭 기능 디스크 크기 8-10 mm의 절편들을 얻어, 조직의 두께에 따라 10-20개 디스크들로 균질화, 추출 가능 상부된 일부 노출된 창을 통해 식물체 조직 상태를 가늠하면서 절취 가능 스테인레스 혹은 PP 등 화학적으로 간섭이 없는 재질들로 구성됨 	<ul style="list-style-type: none"> 디스크 절편 시료 채취기 아래, 형태가 유사한 상용 제품 참고
		

② 전처리 표준화에 적합한 시료 추출 및 여과 기구 설계

	채취 기구의 요구 특성	기구
토양 식물 공통	<ul style="list-style-type: none"> 0.45 μm 필터로 감압 여과함으로써 신속하면서 분석액 중 입자 유입을 최소화 액량 20-50 mL를 수용할 수 있는 구조, 미니(소형) 감압 진공 펌프와 연결되고, DC 5V로 일반 충전형 전원공급장치를 사용하여 구동 추출/균질화에 사용된 튜브를 바로 연결 사용 가능 	<ul style="list-style-type: none"> 0.45 μm 멤브레인 필터 감압 여과 장치 상용제품을 수정 없이 사용 가능
		

③ 현장 분석-플랫폼 설계

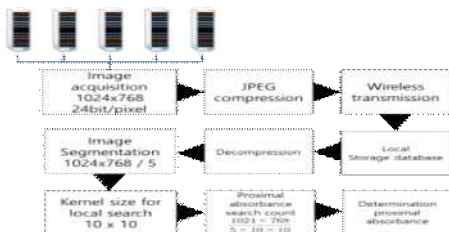


<분석-플랫폼 구성도>

- 해당 토양/식물체 전처리 표준화 및 플랫폼 설계, 채취 기구 설계는 실험실이 아닌 현장에서 제한된 공간과 복잡한 조작이 어려운 여건을 극복하기 위해 시료를 채취, 균질화, 추출 및 여과를 효과적이며 체계적으로 수행할 수 있도록 표준화 및 작업 플랫폼 설계, 채취 및 전처리 기구들을 디자인한 것임

④ 다중 분석키트 측정 어레이 분석을 위한 입력 데이터 설계

- 다중 시료에 대한 단일 영상 획득 (영상 크기 1024 x 768 pixel)
- 무선 전송을 위한 압축 및 파일 시스템 연동
- 개별 시료 영상 분할 (영상 크기 $\frac{1024 \times 768}{5}$ pixel)
- 최대 감도 검색을 위한 커널 사이즈 (10 x 10 pixel)
- 단일 시료별 커널 검색 반복 (횟수 $\frac{1024 \times 768}{5 \times 10 \times 10}$)
- 커널의 평균값 중 최대 감도 검색을 통해 대리 흡광도 정량 추천
- 표준 증류수 측정값 비교를 통한 흡광도 환산 후 농도 간 선형성 분석



증류수	0	0	82.437683	109.431580
증류수	50	0	82.076154	109.526917
증류수	100	0	82.246289	108.675574
증류수	150	0	79.500964	105.877722
증류수	200	0	80.573926	106.486853
증류수	250	0	83.504102	108.925476
마그네슘	0	0	36.388064	36.123242
마그네슘	5	0	34.906504	35.136824
마그네슘	10	0	35.340442	35.567146
마그네슘	15	0	38.751272	39.007566
마그네슘	20	0	40.740374	41.446011
마그네슘	25	0	42.158496	43.263853
인산	0	0	72.678066	92.904238
인산	20	0	66.678709	81.736108

3) 인공지능 영상분석에 적합한 토양 및 식물체 음이온(Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , H_nPO_4^- , NO_2^-) 분석키트 개발 및 화학분석법 최적화

① 토양 및 식물체 음이온 화학분석법 최적화 (분석방법의 재현성, 방해이온 효과 등)

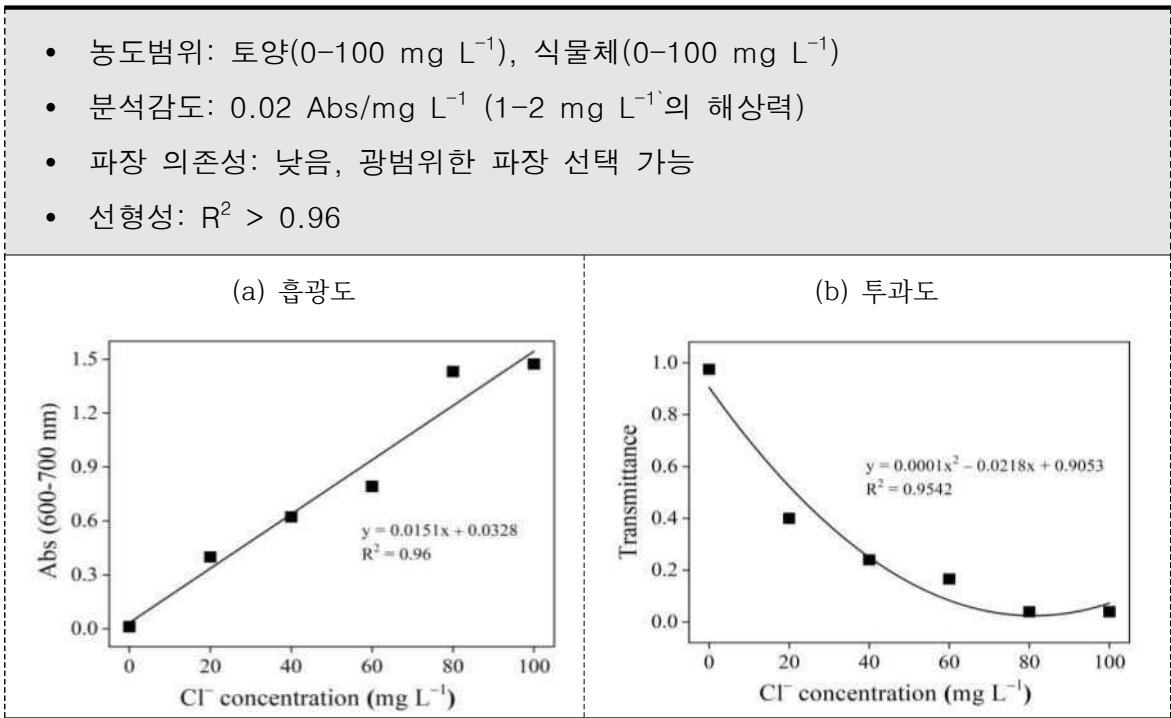
성분	화학분석 원리	파장 영역	선택성/방해이온
Cl^-	<ul style="list-style-type: none"> 이온 결합의 분극화 반응 	500-700 nm (흡광/산란도 측정)	<ul style="list-style-type: none"> H_nPO_4^- 간섭 효과 pH 조절로 쉽게 방해 효과 제거
SO_4^{2-}	<ul style="list-style-type: none"> 이온 결합의 분극화 반응 	500-700 nm (흡광/산란도 측정)	<ul style="list-style-type: none"> H_nPO_4^- 간섭 배제 필요 pH 조절로 쉽게 방해 효과 제거
NO_3^-	<ul style="list-style-type: none"> 환원 Azo분자 축합반응 	500-600 nm (흡광도 측정)	<ul style="list-style-type: none"> Cl^- 간섭 배제 필요 일정량의 바탕 Cl^- 농도로 재현성 확보 가능
H_nPO_4^-	<ul style="list-style-type: none"> 몰리브덴 환원 착화물 생성 	600-900 nm (흡광도 측정)	<ul style="list-style-type: none"> 비교적 H_nPO_4^-에 선택적
NO_2^-	<ul style="list-style-type: none"> Diazoatization에 의한 발색 	600-900 nm (흡광도 측정)	<ul style="list-style-type: none"> NO_2^-에 선택성이 높으며 방해이온 효과 적음

• 화학분석 키트화 방법 및 조작성 설계

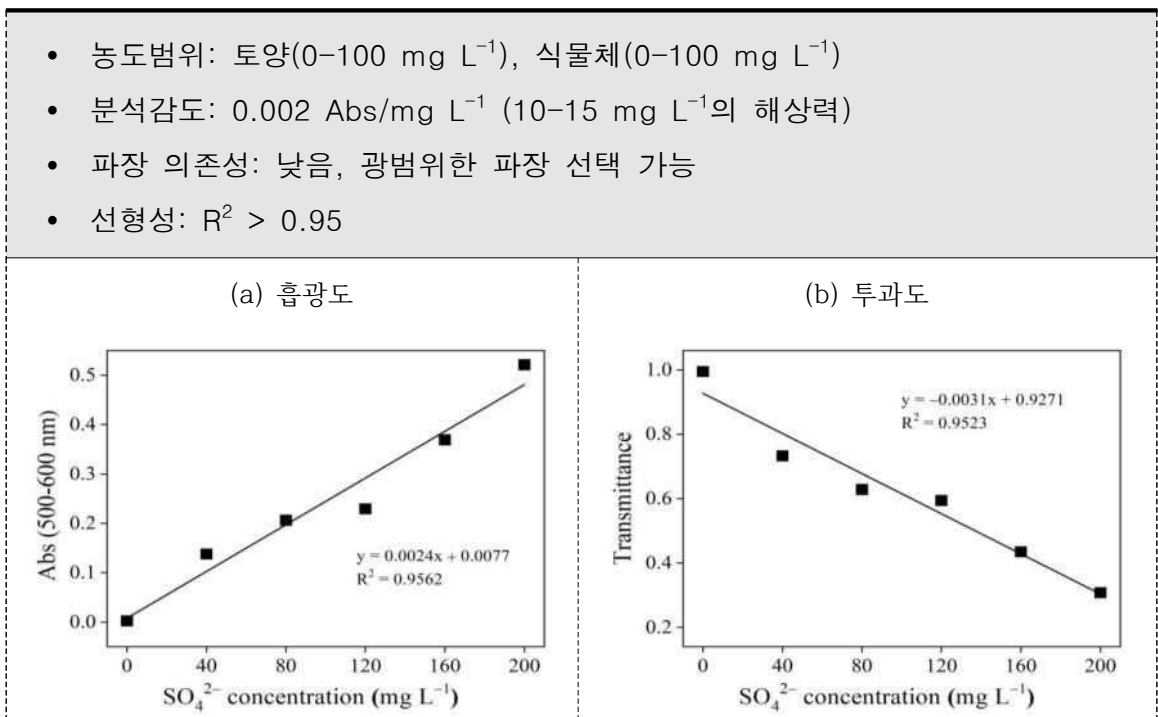
		Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	H _n PO ₄ ⁻	NO ₂ ⁻
농도 범위	토양	0-100 mg L ⁻¹	0-100 mg L ⁻¹	0-50 mg L ⁻¹	0-15 mg L ⁻¹	0-30 mg L ⁻¹
	식물	0-100 mg L ⁻¹	0-100 mg L ⁻¹	0-50 mg L ⁻¹	0-15 mg L ⁻¹	0-30 mg L ⁻¹
시료 부피	토양	2 mL	2 mL	0.2 mL	1 mL	0.1 mL
	식물	2 mL	2 mL	0.2 mL	1 mL	0.1 mL
시약 구성	MR1	*2종(액체) *상온보관 *3개월 안정	*2종(액체) *상온보관 *3개월 안정	*5종(고체) *상온보관 *12개월 안정	*1종(액체) *상온보관 *12개월 안정	*1종(액체) *상온보관 *12개월 안정
	MR2			*3종(액체) *상온 보관 *6개월 안정	*3종(액체) *상온 보관 *6개월 안정	*3종(액체) *상온 보관 *6개월 안정
부피 비	MR1	1	1	1	2	1
	MR2			5	5	10
반응온도		상온 (15-30℃)	상온 (15-30℃)	상온 (15-30℃)	상온 (15-30℃)	상온 (15-30℃)
반응 시간	최소	20분	20분	5분	10분	5분
	적정	30분	30분	15분	30분	15분
최종 부피	최소	2 mL	2 mL	1 mL	2 mL	2 mL
	적정	3 mL	3 mL	2 mL	3 mL	3 mL

• 검량선 확립: 분석 감도 및 선형성 평가

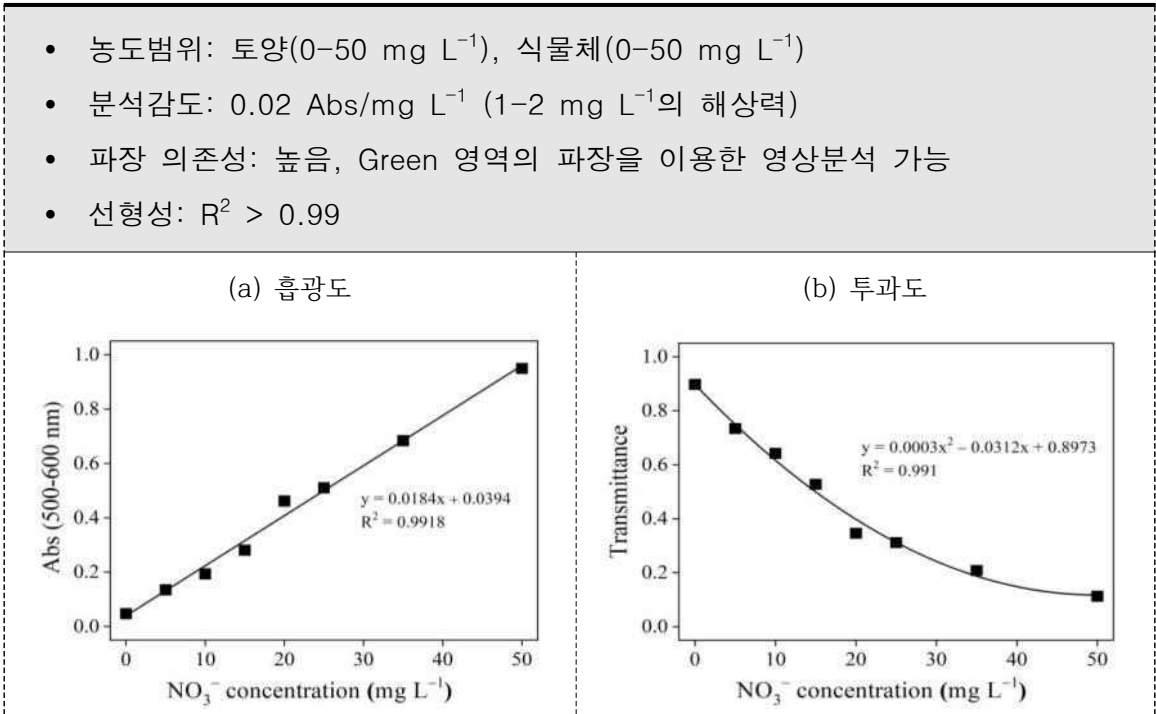
- Cl^- 의 보정곡선(흡광도 및 투과도)



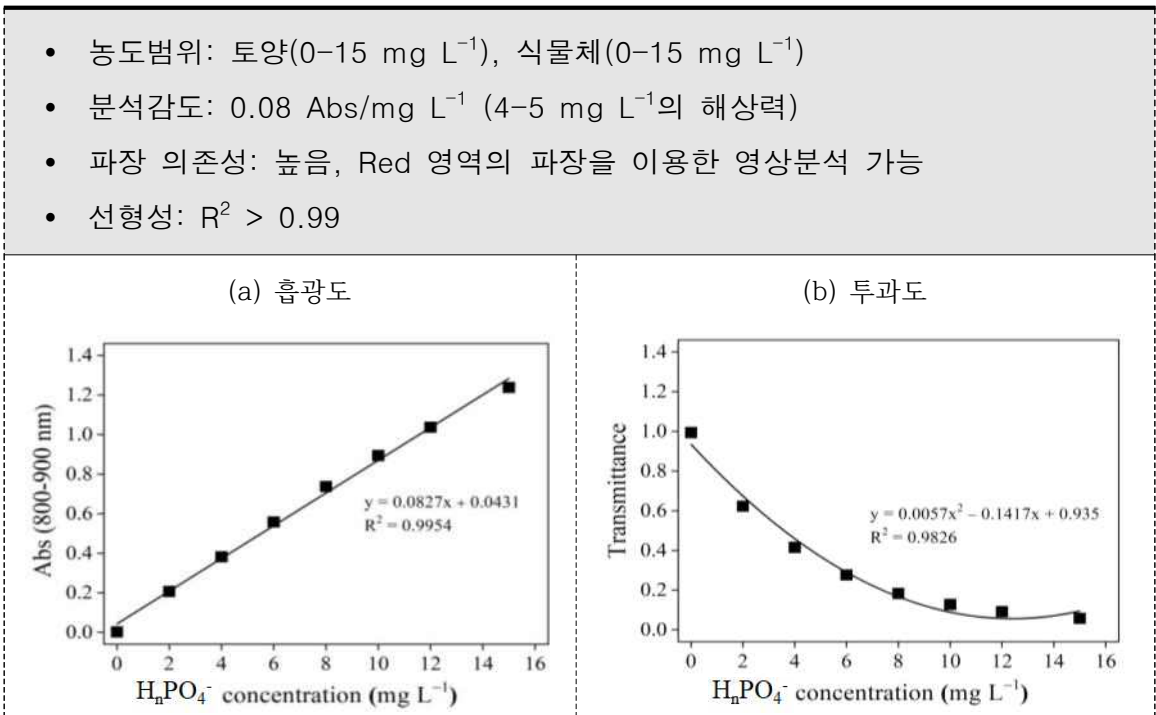
- SO_4^{2-} 의 보정곡선(흡광도 및 투과도)



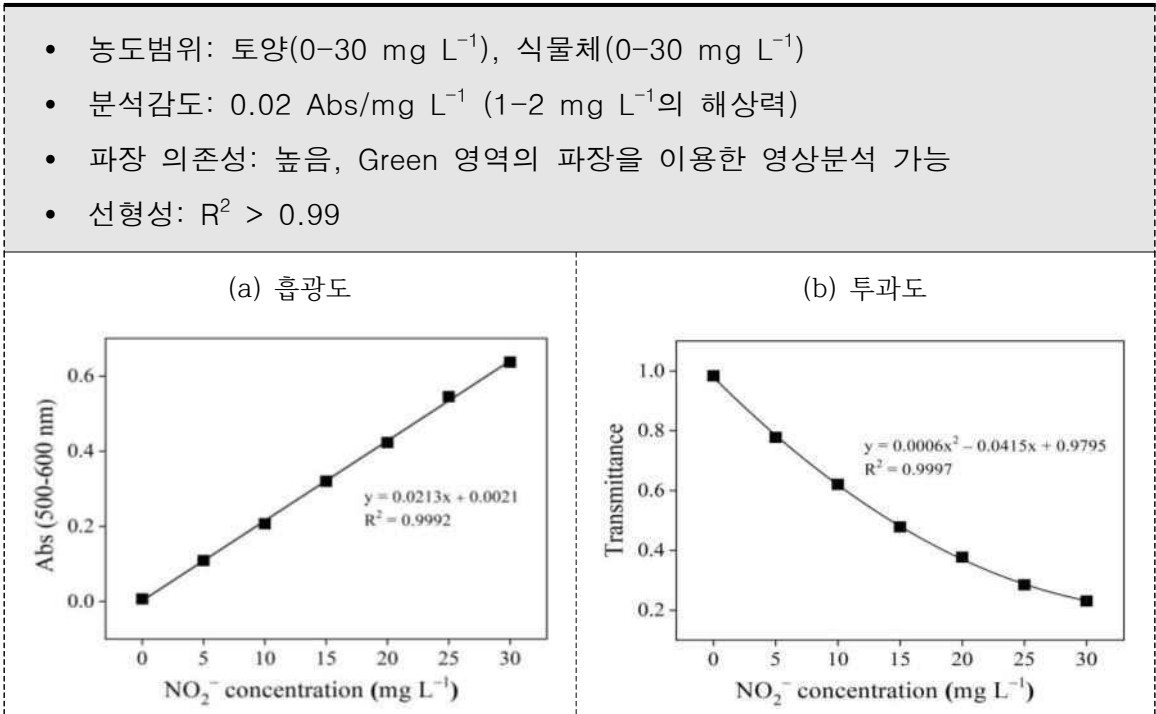
- NO₃⁻의 보정곡선(흡광도 및 투과도)



- H_nPO₄⁻의 보정곡선(흡광도 및 투과도)

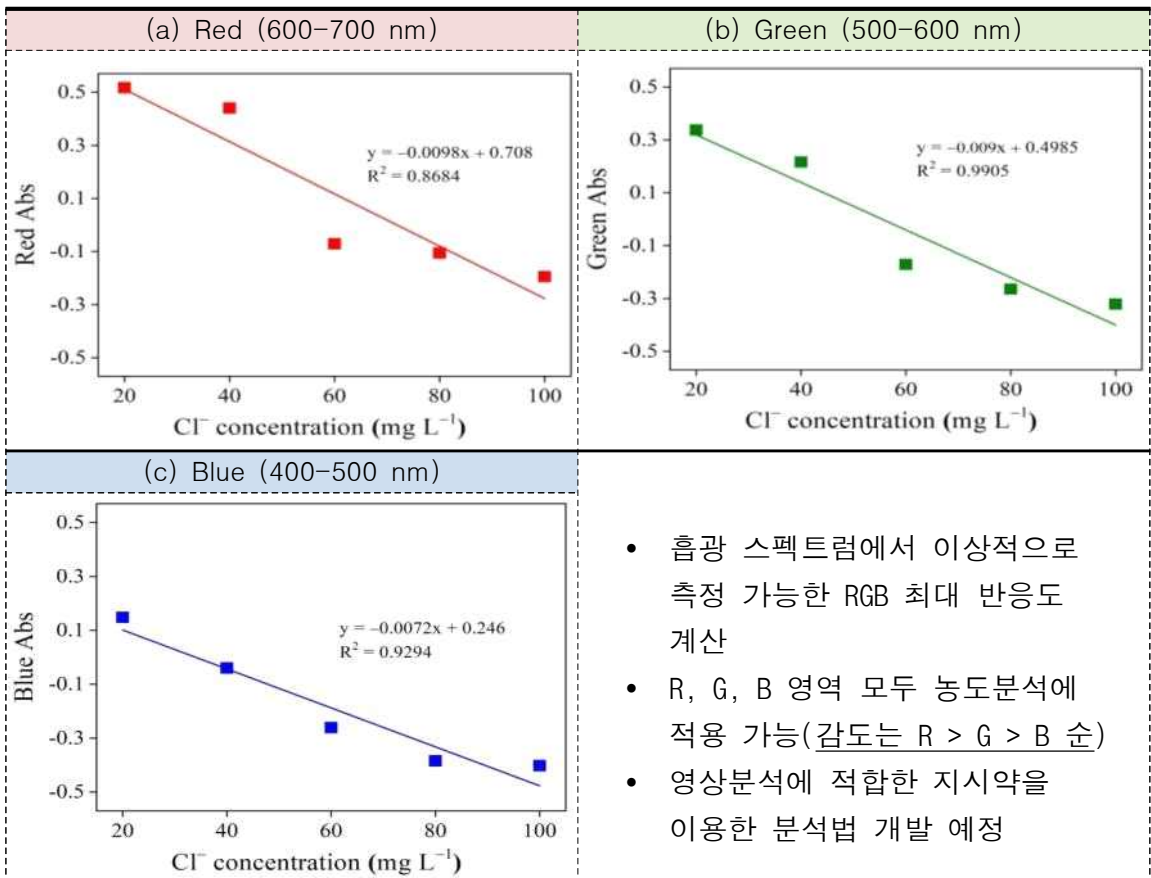


- NO₂⁻의 보정곡선(흡광도 및 투과도)

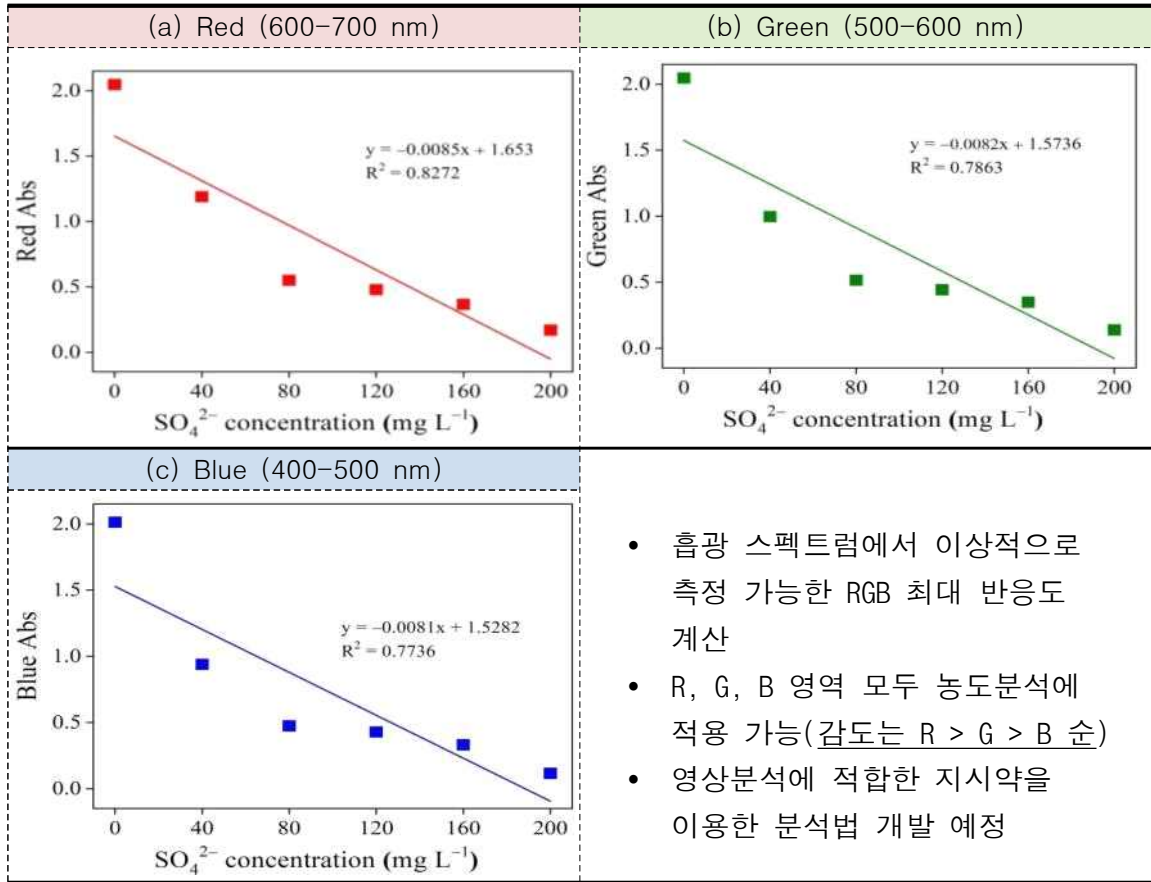


- 인공지능 기반 신속 화학분석법의 영상분석 적합도

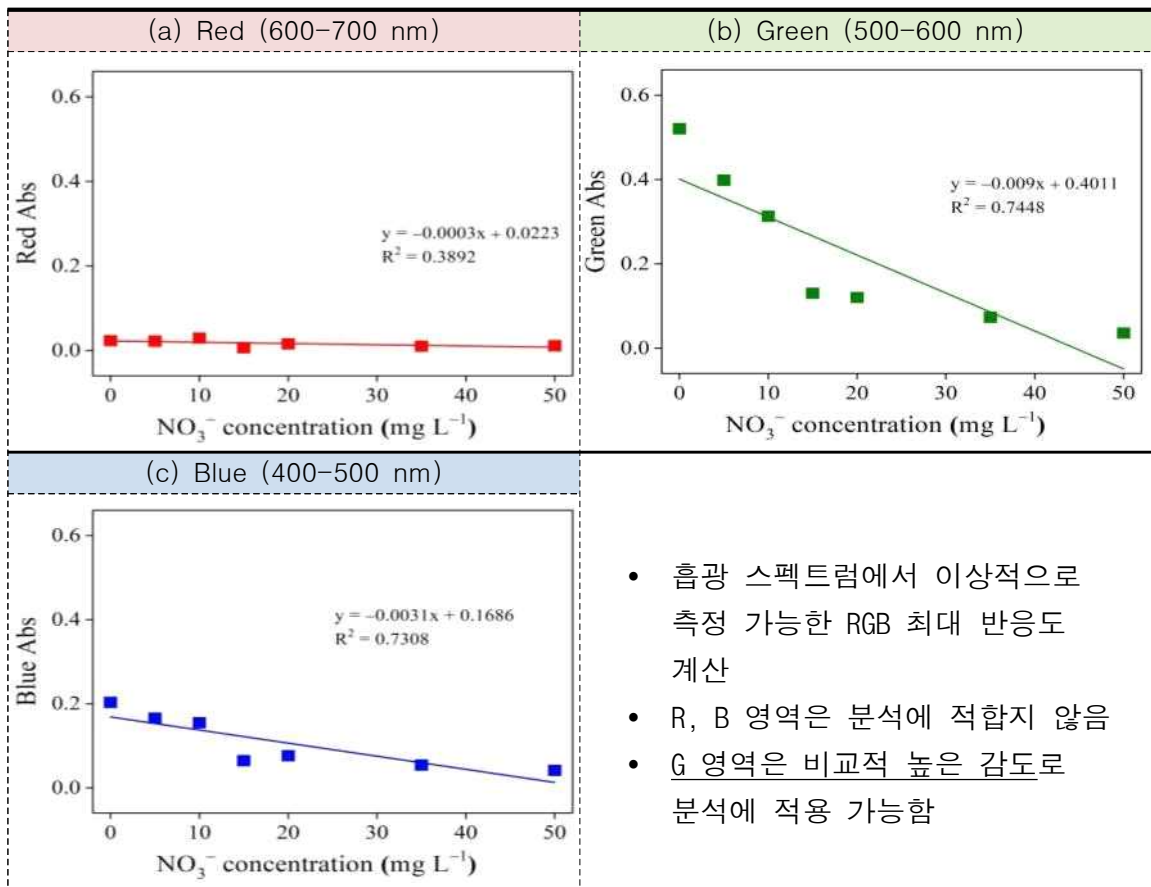
- Cl⁻의 RGB 영상분석 기반 분석 감도 및 적합도 평가



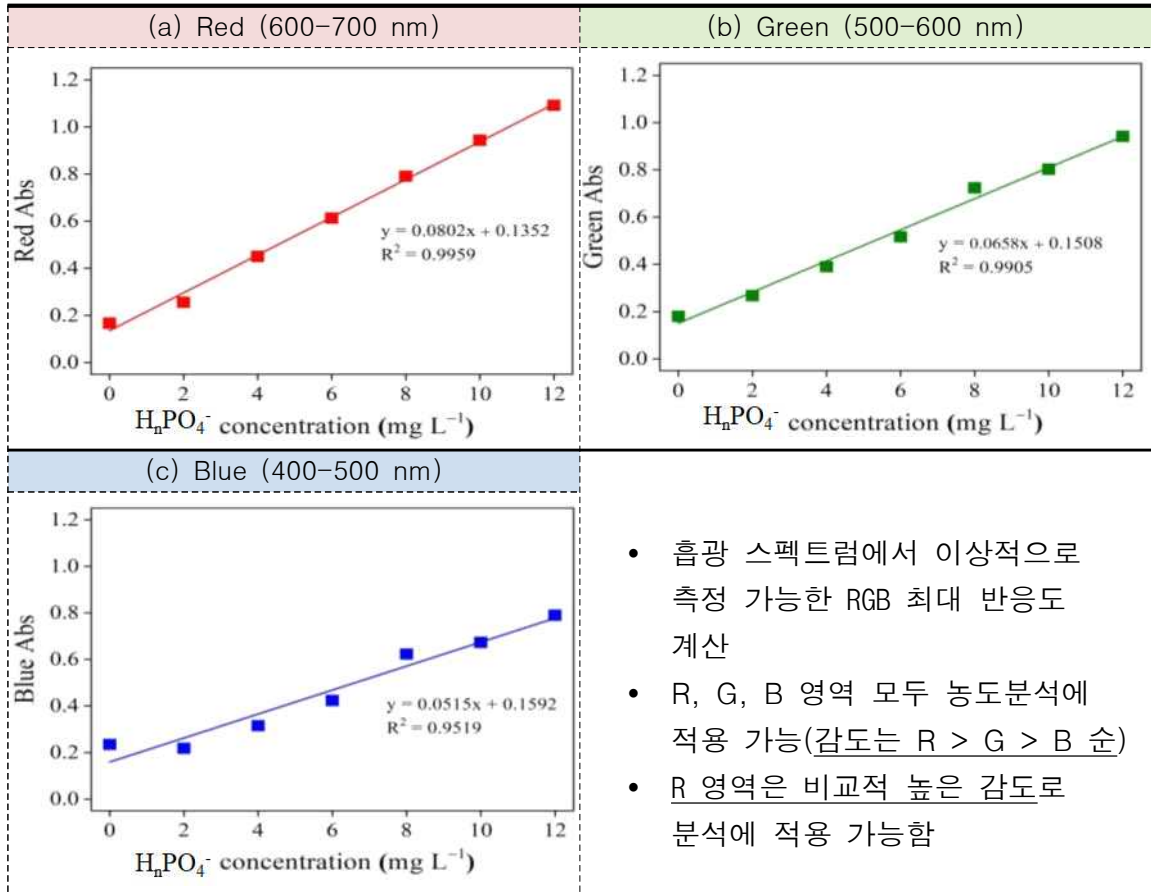
- SO_4^{2-} 의 RGB 영상분석 기반 분석 감도 및 적합도 평가



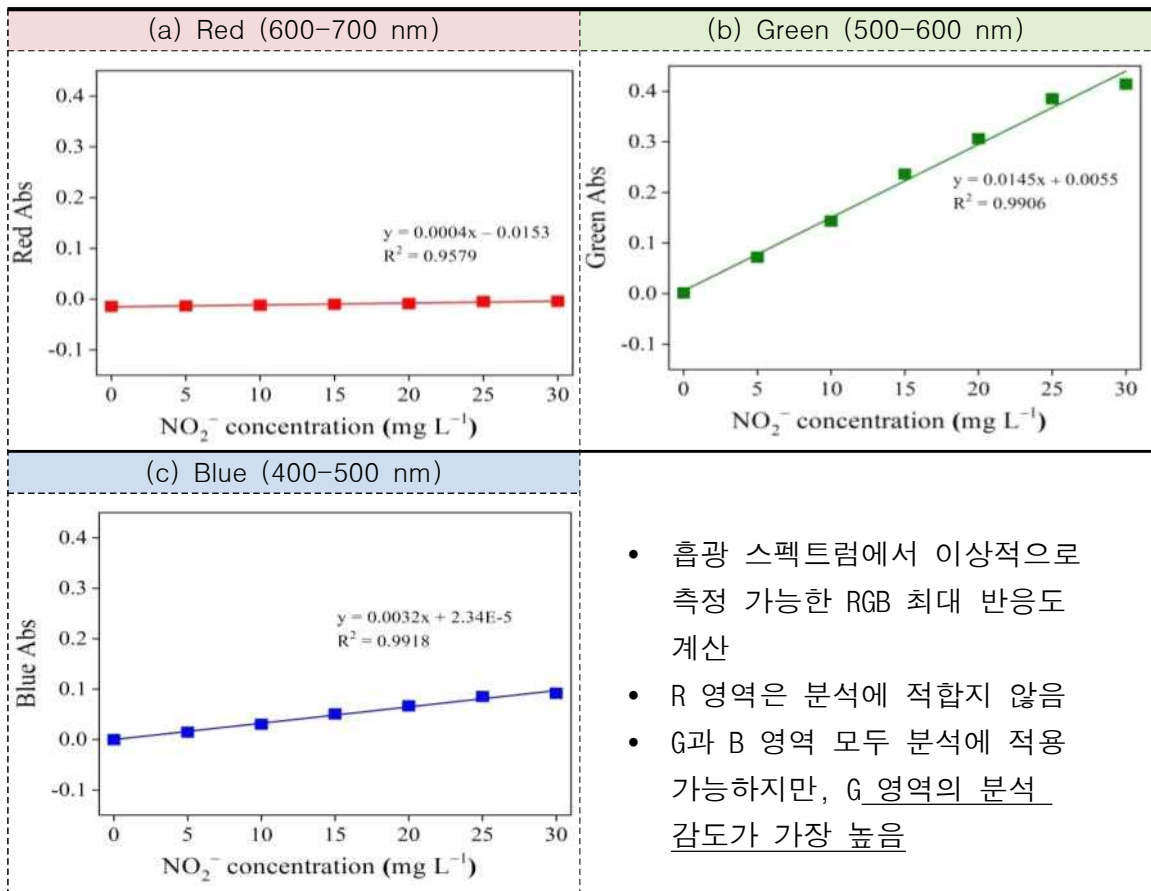
- NO_3^- 의 RGB 영상분석 기반 분석 감도 및 적합도 평가



- H_2PO_4^- 의 RGB 영상분석 기반 분석 감도 및 적합도 평가

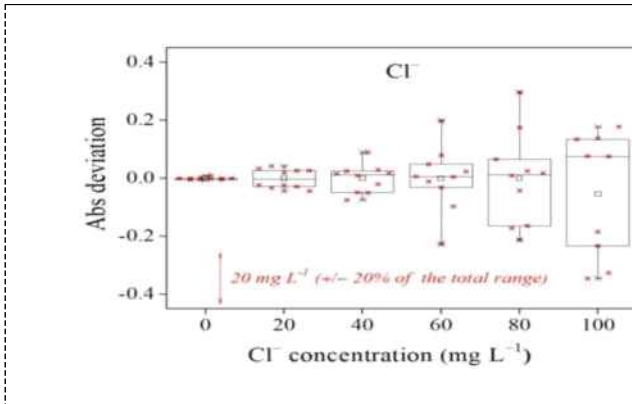


- NO_2^- 의 RGB 영상분석 기반 분석 감도 및 적합도 평가



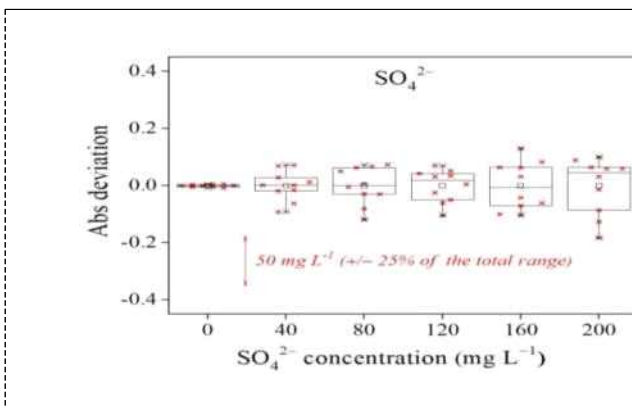
- 화학분석법 최적화: 재현성 평가

- Cl^- 의 분석 재현성



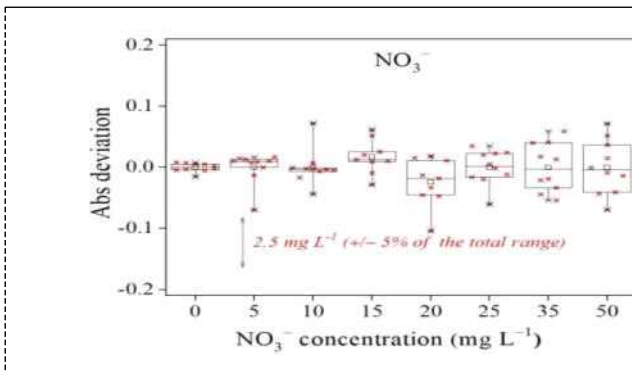
- 전 측정농도 구간에 대해 $\pm 20\%$ 이내에서 10반복 재현성 확인
- 통제가 어려운 침전 형성 반응이 낮은 재현성의 원인
- 영상 분석에 적합한 비색 분석법 개발 예정

- SO_4^{2-} 의 분석 재현성



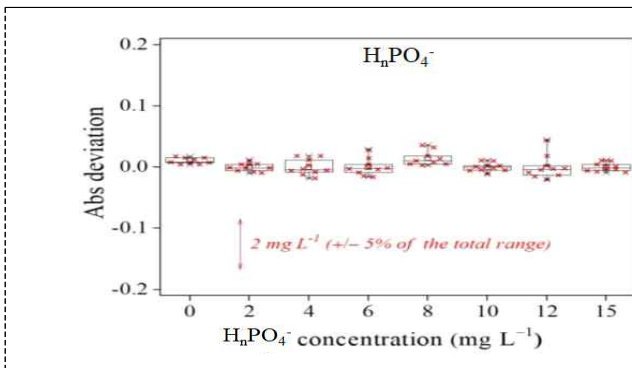
- 전 측정농도 구간에 대해 $\pm 20\%$ 이내에서 10반복 재현성 확인
- 통제가 어려운 침전 형성 반응이 낮은 재현성의 원인
- 영상 분석에 적합한 비색 분석법 개발 예정

- NO_3^- 의 분석 재현성



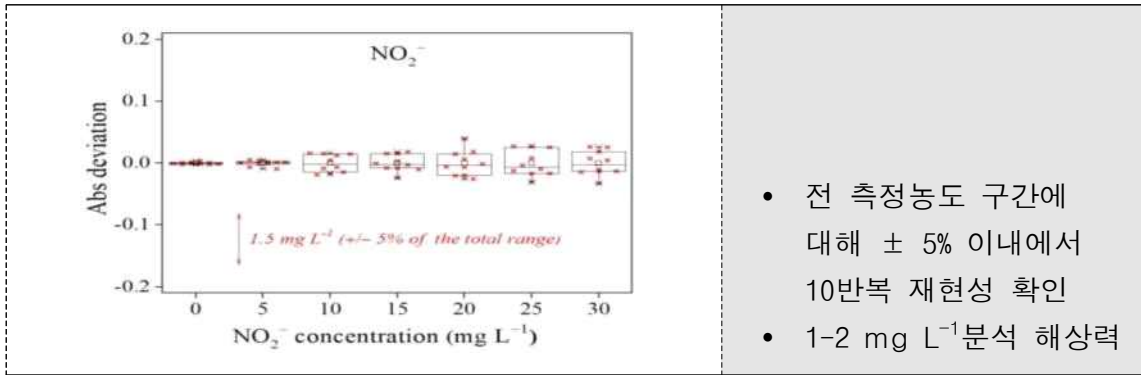
- 전 측정농도 구간에 대해 $\pm 5\%$ 이내에서 10반복 재현성 확인
- 1-2 mg L^{-1} 분석 해상력

- H_nPO_4^- 의 분석 재현성



- 전 측정농도 구간에 대해 $\pm 5\%$ 이내에서 10반복 재현성 확인
- 4-5 mg L^{-1} 분석 해상력

- NO₂⁻의 분석 재현성



• 화학분석법 최적화: 방해이온 효과 평가 및 제거

- Cl⁻

- ❖ H_nPO₄⁻이 Cl⁻ 분석에서 형성되는 침전양을 증가시키는 것을 확인
- ❖ pH 조절을 통해 침전 형성 저해, 효과적으로 방해이온 효과를 제거

- SO₄²⁻

- ❖ Cl⁻ 과 같이 H_nPO₄⁻이 SO₄²⁻ 분석에서 형성되는 침전양을 증가시키는 것을 확인
- ❖ pH 조절을 통해 침전 형성 저해하여 방해이온 효과 제거

- NO₃⁻

- ❖ Cl⁻에 방해이온 효과가 있는 것으로 알려져있음
- ❖ Cl⁻농도에 영향을 받지 않는 바탕 Cl⁻을 처리 방해이온 효과를 감소/제거

- H_nPO₄⁻

- ❖ 알려진 방해이온 효과는 없는 것으로 조사되었음

- NO₂⁻

- ❖ Cl⁻에 대해 방해이온 효과가 없는 것으로 조사되었음

- Cl⁻과 SO₄²⁻은 H_nPO₄⁻에 의한 간섭효과가 있음

- NO₃⁻은 Cl⁻에 의한 방해효과가 있음

- Selectivity/ specificity를 확보하기 위해 H_nPO₄⁻의 존재형태를 pH 조절을 통해 방해 효과가 없도록 하는 조치를 하였음

- Cl⁻은 다양한 시료들에 대해 일정한 기여도를 가지도록하기 위해 일정 바탕농도를 유지 하는 방법을 적용함

• 토양 및 식물체 시료 중 음이온 농도분석

- 시료 채취 및 전처리 과정

❖ 다양한 영농형태, 식물 분류를 고려한 시료 채취(총 19개 작물, 2021년 6-9월, 충북, 경기 일원)

	논	밭	과수	시설	사료/특용작물
작물	벼	옥수수, 콩, 고추, 배추, 고구마, 부추, 호박	포도, 사과, 복숭아, 배	고사리, 상추, 토마토	수단그라스, 담배, 도라지, 해바라기
계	1	7	4	3	4

논					
	벼 (단자엽)				
밭					
	옥수수 (단자엽)	콩 (쌍자엽)	고추 (쌍자엽)	배추 (쌍자엽)	
					
	고구마 (쌍자엽)	부추 (단자엽)	호박 (쌍자엽)		
시설					
	고사리 (양치식물)	상추 (쌍자엽)	토마토 (쌍자엽)		
과수					
	포도 (쌍자엽)	사과 (쌍자엽)	복숭아 (쌍자엽)	배 (쌍자엽)	
사료/ 특용 작물					
	수단그라스(단자엽)	담배 (쌍자엽)	도라지 (쌍자엽)	해바라기 (쌍자엽)	

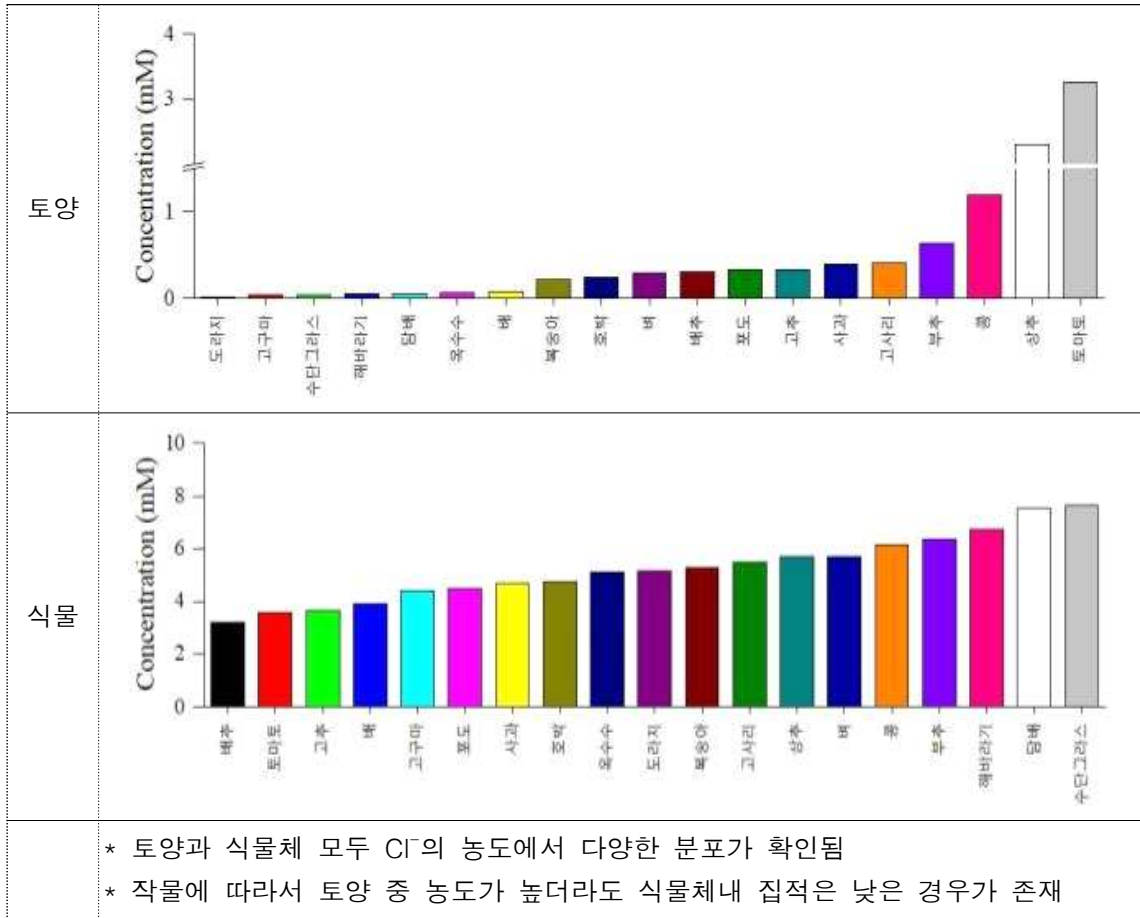
- 시료의 전처리 및 화학분석 방법

- 토양: 풍건토 8 g을 증류수 40 mL로 180 rpm에서 1시간 교반 추출 후 Whatman No.42 필터로 여과하여 수용성 이온에 대해 화학분석
- 식물체: 여러 잎을 채취하여 잘게 잘라 1 g을 취한 후 증류수 20 mL로 분쇄 균질화 후 0.45 μm 나일론 멤브레인 필터로 여과하여 수용성 이온에 대해 화학분석
- 화학분석은 (주)테크넬 POCT 키트 사용

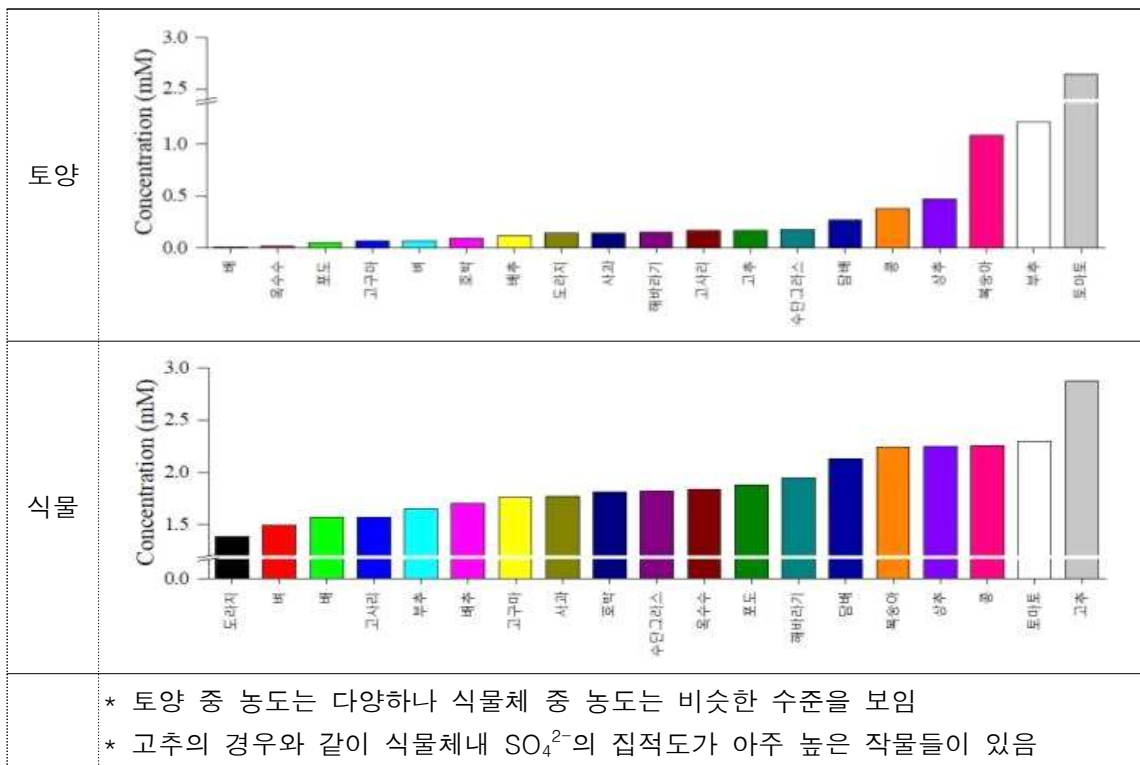
	토양	식물
교반 추출 및 분쇄 균질화		
여과 및 정제		
신속 화학분석 키트		
기기 분석		

• 토양 및 식물체 분석

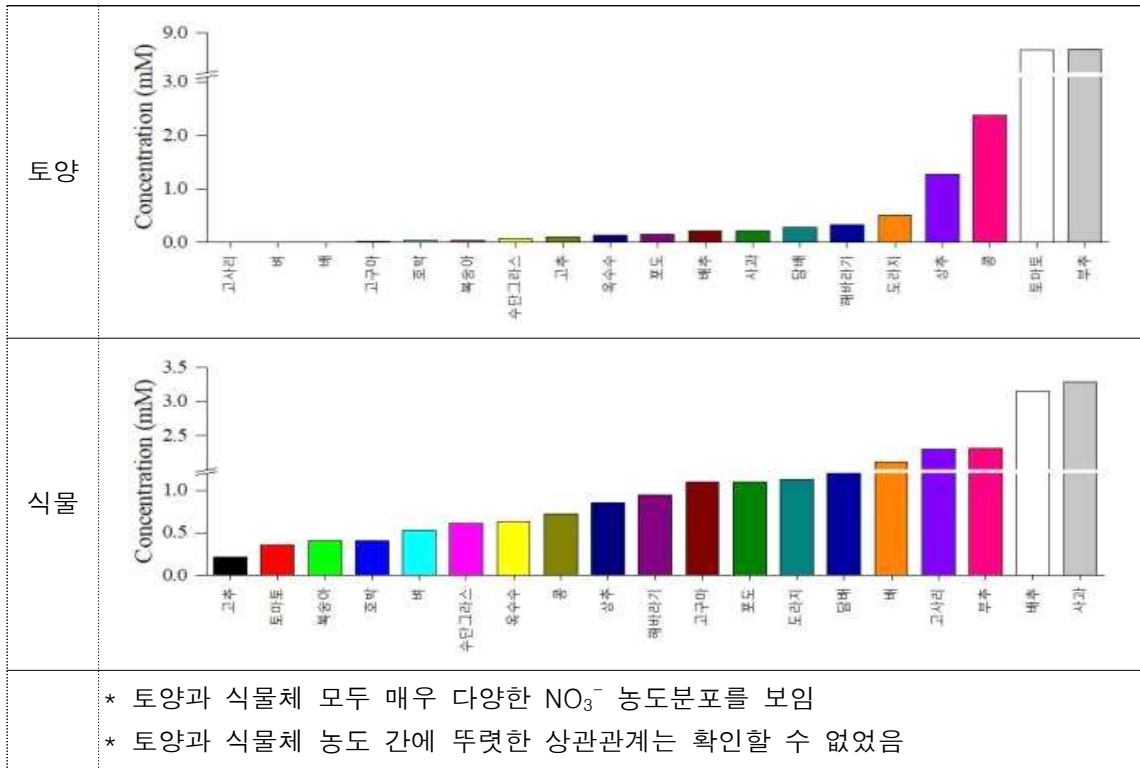
- Cl⁻



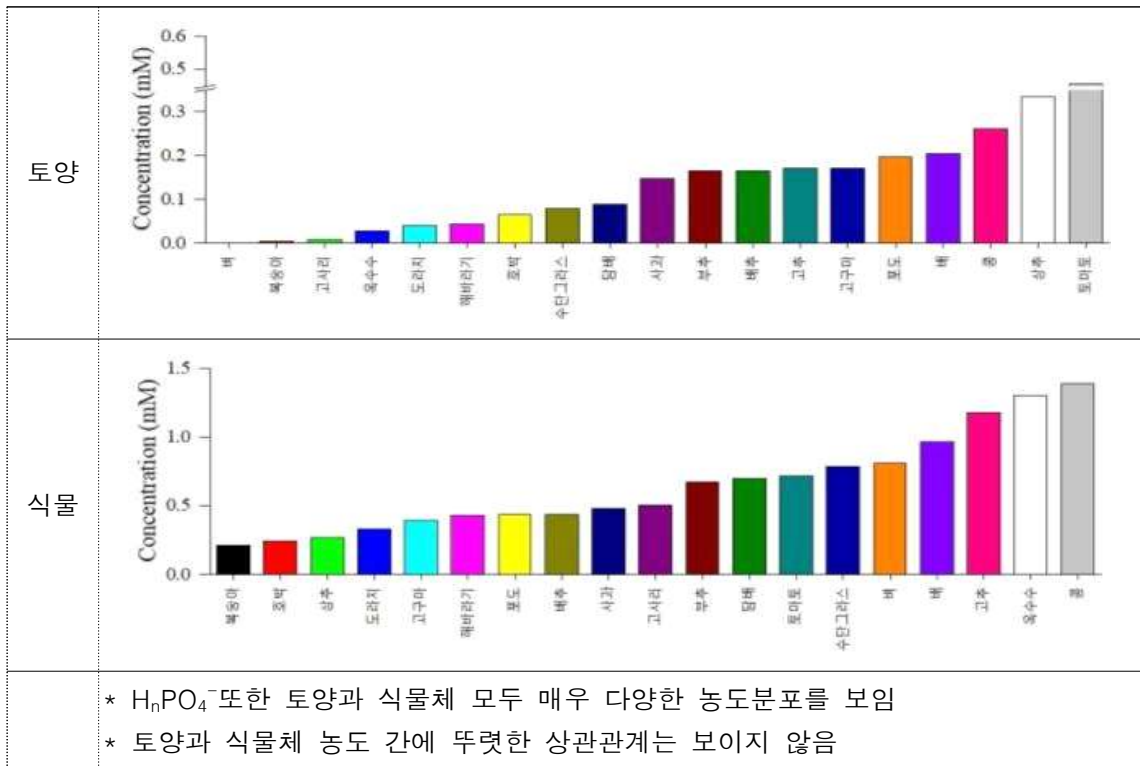
- SO₄²⁻



- NO₃⁻



- H₂PO₄⁻



- NO₂⁻ : 토양과 식물체 중 NO₂⁻은 검출되지 않았음

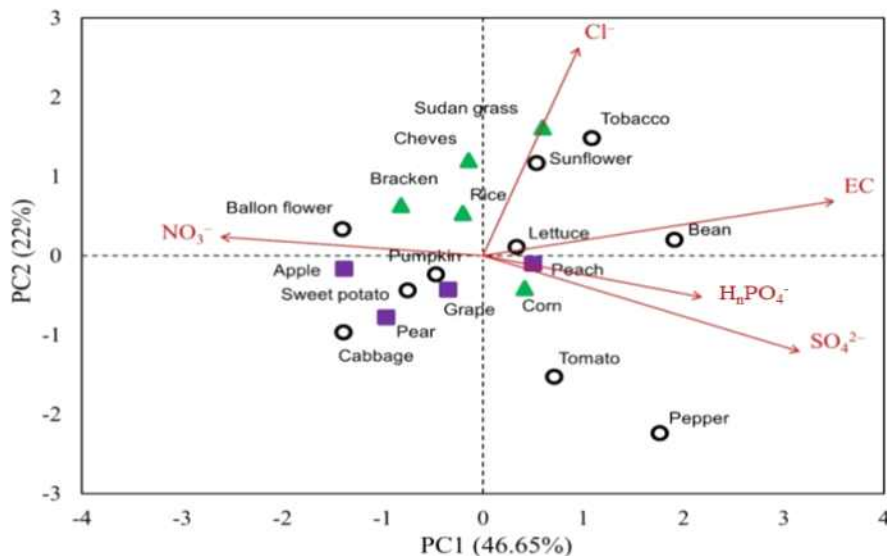
• 토양 및 식물체 중 음이온 농도의 상관성

토양 및 식물체 중 전기전도도와 수용성 음이온 간 상관관계

		EC	[NO ₃ ⁻]	[H _n PO ₄ ⁻]	[Cl ⁻]	[SO ₄ ²⁻]
Soil	EC	1.00				
	[NO ₃ ⁻]	0.89**	1.00			
	[H _n PO ₄ ⁻]	0.38	0.34	1.00		
	[Cl ⁻]	0.51*	0.44	0.71**	1.00	
	[SO ₄ ²⁻]	0.57*	0.72**	0.32	0.55*	1.00
Plant	EC	1.00				
	[NO ₃ ⁻]	0.13	1.00			
	[H _n PO ₄ ⁻]	0.17	0.04	1.00		
	[Cl ⁻]	0.20	0.03	0.00	1.00	
	[SO ₄ ²⁻]	0.48*	0.24	0.08	0.01	1.00
Soil vs. plant	EC	0.14				
	[NO ₃ ⁻]	0.00	1.00			
	[H _n PO ₄ ⁻]	0.00	0.01	1.00		
	[Cl ⁻]	0.51*	0.00	0.14	1.00	
	[SO ₄ ²⁻]	0.03	0.02	0.18	0.15	1.00

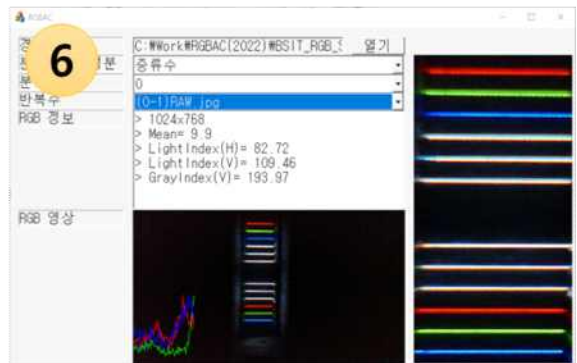
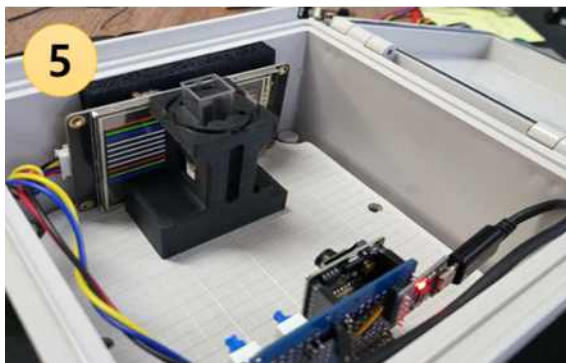
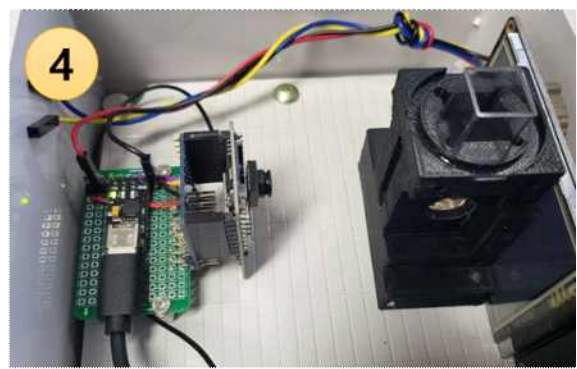
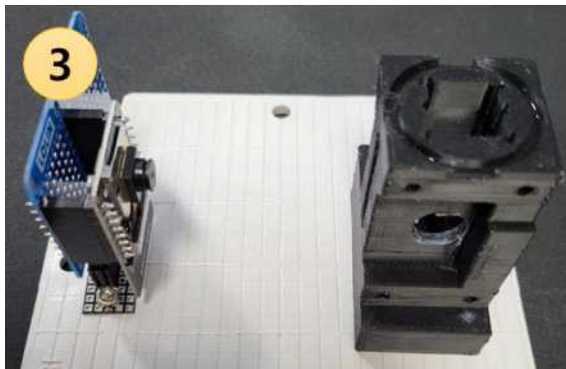
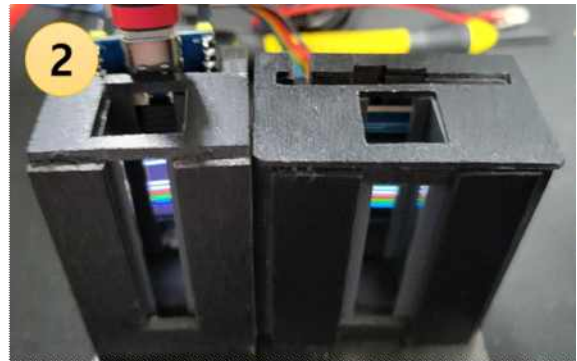
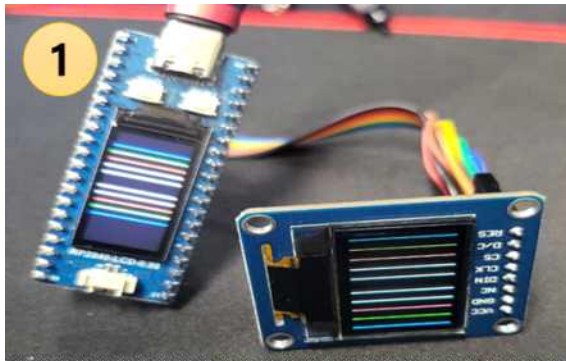
** : p < 0.01, * : p < 0.05

- 토양 중 음이온들의 농도는 전기전도도와 높은 유의적 상관성을 보임. 특히 NO₃⁻, Cl⁻과 H_nPO₄⁻, NO₃⁻와 SO₄²⁻ 간에 높은 상관성이 확인되었음
- 하지만, 식물체 음이온 농도들 간에는 유의한 상관관계가 확인되지 않았고, 이는 식물 종에 따른 양분의 흡수 차이와 생리 차이에 의해 기인하는 것으로 여겨짐
- 마찬가지로, 토양-식물체 음이온 농도 간에도 대부분 유의한 상관관계가 없었음
- 하지만, 이들 식물체 음이온 조성은 개별 식물 종의 유의하게 특성화 하는데 유효한 도구가 될 수 있다고 여겨짐(아래 PCA 결과 참조)



② 인공지능 영상분석을 위한 지능형 초단말 분석키트 개발

- 광원 특성 비교를 위한 종류별 광 조절 드라이브 개발
- 광원 모듈에 적합한 하우징 구조 시제품 설계 및 제작
- 카메라 화각 설정 및 초점 거리 조절을 통한 영상 취득 기구부 완료
- 카메라 모듈과 광원 모듈 통합을 통한 초단말 프레임 구성 완료
- 무선통신(WIFI) 모듈 연동 신호 감도 개선을 위한 안테나 하우징 완료
- 실시간 영상 취득 모듈 획득 테스트 및 인공지능모듈(DNN) 구동 테스트 수행

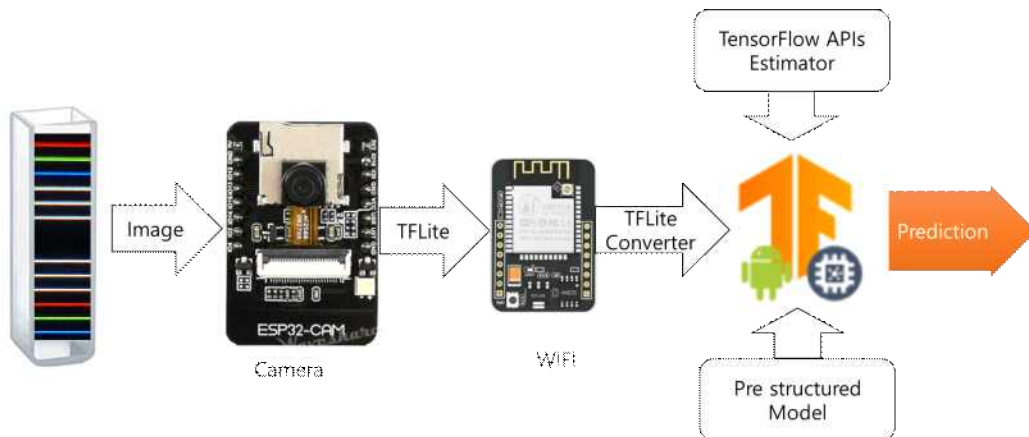


③ Tensorflow lite 기반 이온 농도 분석 플랫폼 설계

- 임베디드 인공지능 모듈 Tensorflow lite 구동의 조건
 - C++ 언어 지원
 - Arm Cortex-M 시리즈의 아키텍처 기반
- 마이크로 컨트롤러 비교를 통한 적합성 평가
 - 시제품에 채택된 모듈(ESP32-CAM)과 100% 호환 가능한 Espressif ESP32-DevKitC의 활용 가능

마이크로 컨트롤러	구현가능성 (확보방안포함)	영상취득	무선통신
Arduino Nano 33 BLE Sense	○	×	○
SparkFun Edge	○	○	×
STM32F746 Discovery 키트	○	×	×
Adafruit EdgeBadge	×	○	○
Adafruit TensorFlow Lite	○	×	×
Adafruit Circuit Playground Bluefruit	○	×	×
Espressif ESP32-DevKitC	○	○	○
Espressif ESP-EYE	○	×	○
Wio Terminal: ATSAMD51	×	×	×
Himax WE-I Plus EVB AI	×	×	×
Synopsys DesignWare ARC EM	×	×	×
Sony Spresense	×	○	×

- 시제품 기반 Tensorflow lite 기반 이온 농도 분석 플랫폼 설계



바. 공동연구기관(충북대학교 산학협력단) 3차년도(2023년)

- 연차목표 : 인공지능 영상분석 기술과 표준 화학분석법 간의 오차 보정 모델 개발 및 최적화와 현장 신속분석 키트 및 분석-플랫폼 시스템의 영농형태, 재배 작물에 따른 적용성 검증 및 보완

1) 표준분석법과 인공지능 영상분석 기술 간의 농도 보정 알고리즘 개발

① 객관적 측정을 위한 요인 분석

- 다중 분석 (동시 5성분) 계측 시스템 설계 과정



- 다중 분석 계측 시스템 시작기 제작 및 앱 개발



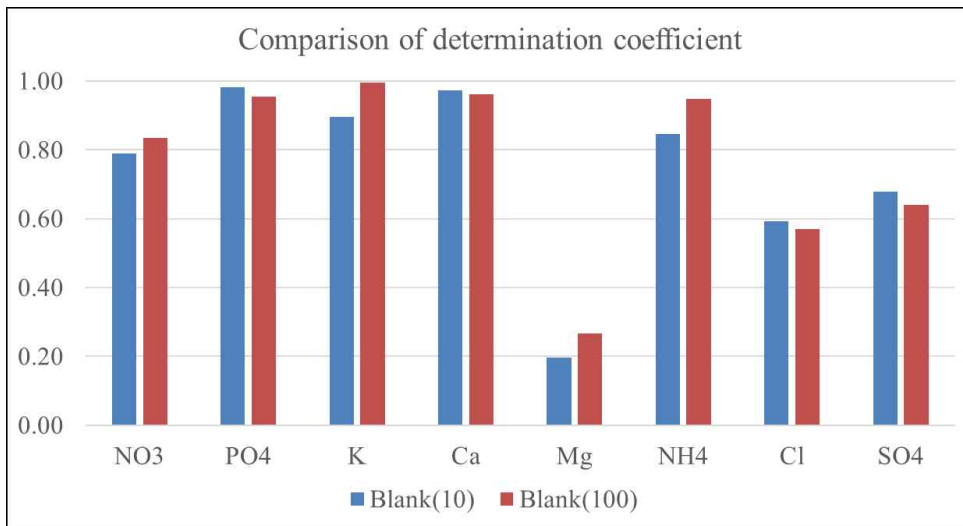
② 색 보정 알고리즘 설계

- SLOT 별 RGB 감도 조절을 위한 수정 (Blank 슬롯을 기준으로 한 보정비 산출)

반복수	SLOT1				SLOT2				SLOT3 (기준값)			
	R	G	B	R+G+B	R	G	B	R+G+B	R	G	B	R+G+B
1차	75.1	70.0	44.4	189.5	80.9	77.9	42.9	201.6	68.6	67.2	38.8	174.6
2차	75.9	70.2	42.4	188.5	79.4	77.8	41.8	198.9	67.7	64.1	40.2	172.1
3차	76.8	69.4	42.9	189.1	83.4	72.9	40.4	196.7	68.3	67.3	39.3	174.9
4차	76.8	74.1	45.5	196.4	85.0	77.5	43.0	205.5	67.5	65.6	40.2	173.3
5차	76.9	69.8	46.3	193.0	81.5	78.7	42.4	202.6	67.5	65.2	39.4	172.2
6차	76.2	71.8	44.9	193.0	82.2	79.0	40.9	202.1	71.7	65.6	39.1	176.5
7차	76.7	68.5	44.4	189.6	81.8	74.0	40.7	196.5	69.6	66.2	40.4	176.2
8차	75.9	73.6	43.2	192.8	81.8	73.4	42.2	197.4	70.2	65.4	39.4	175.0
9차	75.9	70.3	45.5	191.6	81.2	74.0	41.0	196.2	67.6	65.3	39.8	172.7
10차	75.8	69.5	47.1	192.4	82.5	81.9	41.1	205.4	68.0	64.2	40.1	172.3
평균	76.19	70.72	44.66		81.97	76.70	41.64		68.68	65.61	39.67	173.9
기준값	68.68	65.61	39.67		68.68	65.61	39.67		68.68	65.61	39.67	173.9
보정비	1.11	1.08	1.13		1.19	1.17	1.05		1.00	1.00	1.00	

반복수	SLOT4				SLOT5				SLOT6			
	R	G	B	R+G+B	R	G	B	R+G+B	R	G	B	R+G+B
1차	85.2	81.8	46.2	213.1	100.1	95.5	39.7	235.2	85.1	80.9	45.6	211.5
2차	86.6	81.1	45.8	213.4	100.9	94.3	42.1	237.3	85.1	80.9	45.4	211.4
3차	85.0	81.7	44.4	211.1	100.8	96.6	41.9	239.2	84.2	79.2	44.1	207.5
4차	87.1	81.9	46.7	215.7	101.2	96.6	47.8	245.6	85.2	80.4	44.5	210.1
5차	87.1	81.7	46.9	215.7	100.2	96.0	40.6	236.8	84.9	79.5	44.1	208.4
6차	86.5	80.6	46.5	213.6	100.9	93.3	41.3	235.5	84.0	80.7	46.2	210.8
7차	86.6	81.3	45.9	213.9	100.9	95.9	42.3	239.0	86.2	79.2	46.2	211.5
8차	86.7	81.2	46.4	214.3	103.1	94.2	41.9	239.1	84.2	79.0	45.5	208.7
9차	86.9	80.5	47.5	214.9	101.0	98.6	41.2	240.8	83.4	79.2	44.2	206.8
10차	85.0	80.2	47.1	212.3	100.8	96.3	43.0	240.2	84.2	77.4	47.5	209.0
평균	86.26	81.19	46.34		100.9	95.72	42.16		84.65	79.62	45.31	
기준값	68.68	65.61	39.67		68.6	65.61	39.67		68.68	65.61	39.67	
보정비	1.26	1.24	1.17		1.47	1.46	1.06		1.23	1.21	1.14	

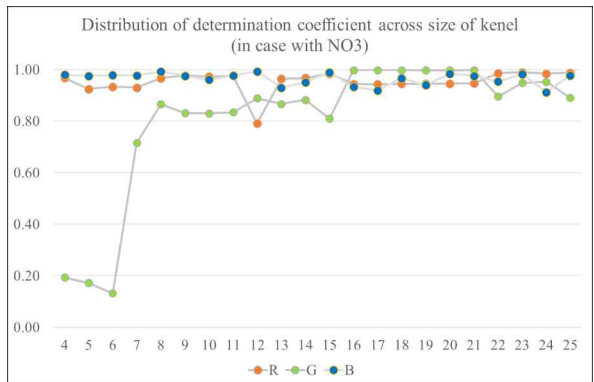
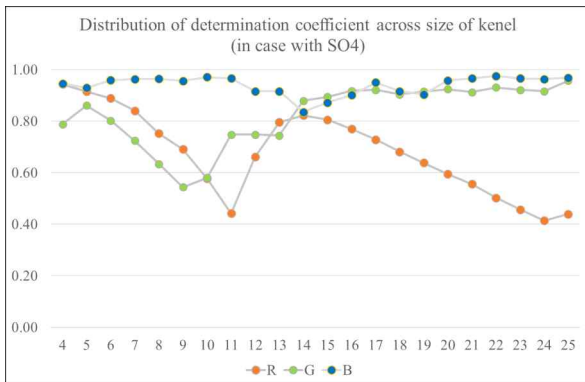
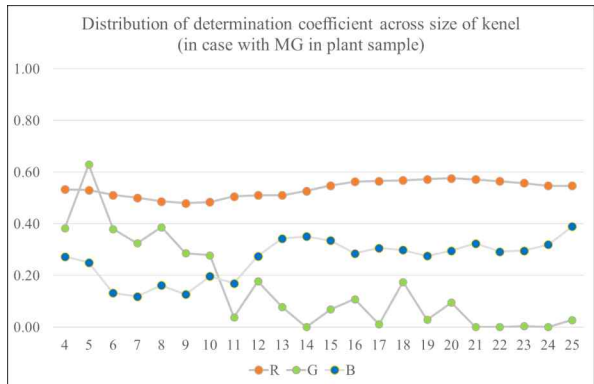
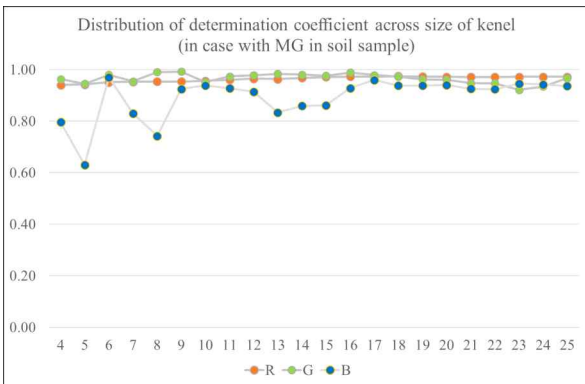
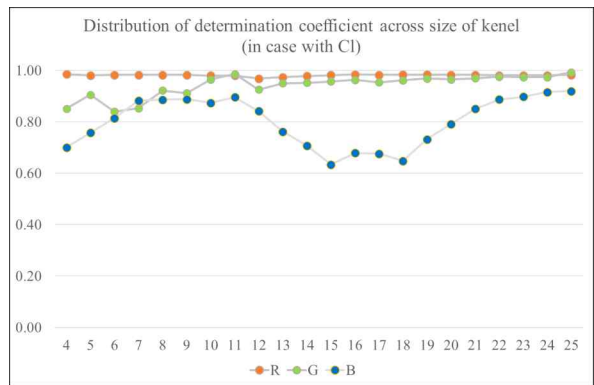
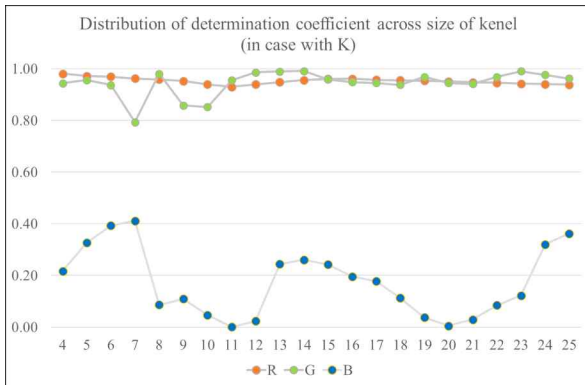
- Blank 슬롯의 White noise 제거를 위한 레퍼런스 데이터 획득 100회



③ 분석 요인과 표준분석법 간 농도 보정 알고리즘 설계

- 영상 분석 Kernel 사이즈 탐색을 통한 표준 분석법과 상관성 분석




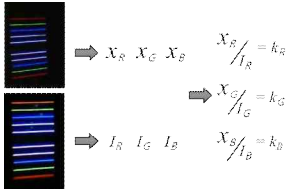
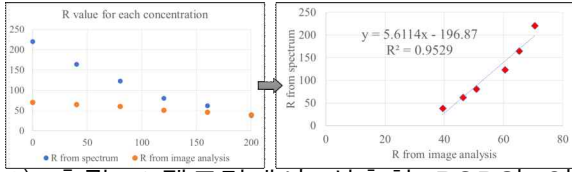
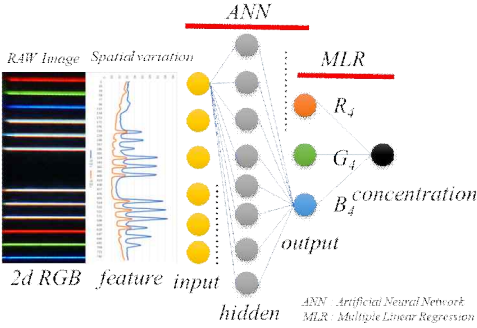
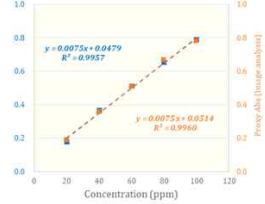
기존 보정 알고리즘	개선 보정 알고리즘
<ul style="list-style-type: none"> 표준분석법에 의한 표준 용액 시료의 농도와 산출된 RGB와 영상에서 산출된 RGB 간 선형 회귀 분석 2차년도 결과에 의한 대표 light intensity 산출 기준 10x10 고정 	<ul style="list-style-type: none"> 표준분석법에 사용한 표준 용액의 흡광 스펙트럼에서 산출된 이상적 RGB와 취득한 영상에서 산출된 대표 RGB 간 선형 회귀 분석 Kernel 사이즈를 4부터 25로 변화를 주며 최대 결정 계수 탐색



- 최적 Kernel 사이 (10x10)이 결정계수 0.97보다 높은 이온 및 형태 5항목
 - 그 외 항목에 대하여 최대 결정계수를 보이는 영상 분석 kernel 및 채널 선택

④ 알고리즘을 통한 시료 농도 보정 모델 제시

- 영상 내 대표 RGB 값 보정 과정 (3단계), 인공지능 적용(추가1단계)
- 다중 선형 회귀 모델과 인공신경망 모델 간의 경합을 통해 보정 모델 도출

단계	처리 방법	처리 결과
[1] 영상 취득	 1) 영상 획득 -> 채널 분리	 x 6 6 Slot 의 샘플 영상
[2] 영상 전처리	 1) Slot 이미지에 대한 커널 탐색 2) 결정된 커널에 대한 대리 흡광도 산출	$R_1 = x_R$ $G_1 = x_G$ $B_1 = x_B$ 영상에서 흡광도를 대리적으로 표현할 수 있는 RGB 변수
[3] 인자 도출	 1) 전역 오차 제거 위한 Blank 마커 활용 2) RGB 채널별 Blank에 대한 비율 산출	$R_2 = R_1 \times k_R$ $G_2 = G_1 \times k_G$ $B_2 = B_1 \times k_B$ 영상 내 전역 오차 제거 후 RGB 변수
[4] 표준 용액 대비 보정	 1) 흡광 스펙트럼에서 산출한 RGB와 영상 분석으로 산출한 RGB간의 선형 회귀 계수 산출	$R_3 = R_2 \times \beta_R + \alpha_R$ $G_3 = G_2 \times \beta_G + \alpha_G$ $B_3 = B_2 \times \beta_B + \alpha_B$ 흡광 스펙트럼에서 산출한 이론적 RGB에 근접한 RGB 변수
[5] 인공지능 분석 비교	 ANN: Artificial Neural Network MLR: Multiple Linear Regression	$[R_4, G_4, B_4] = ANN(\text{영상})$ $Concentration_{ion} = MLR(R_4, G_4, B_4)$ $af_{ion}(\text{영상}) = MLR(ANN(\text{영상}))$ $Concentration_{ion} = af_{ion}(\text{영상})$ 영상 입력으로부터 이온 농도 추정이 가능한 인공신경망 모델
[6] 농도 확정	$Concentration_{ion} = f_{ion}(R_3, G_3, B_3)$ vs $Concentration_{ion} = af_{ion}(\text{영상})$ 선형 모델(f_{ion})과 인공지능 모델(af_{ion}) 간 경합을 통해 보정 모델 비교	 흡광도, 대리흡광도, 농도 간 보정 모델 도출




2) 영농형태에 따른 신속 분석 시제품의 적용성 검증

① 다양한 토양특성을 반영한 토양 시료를 이용한 표준분석법과의 비교



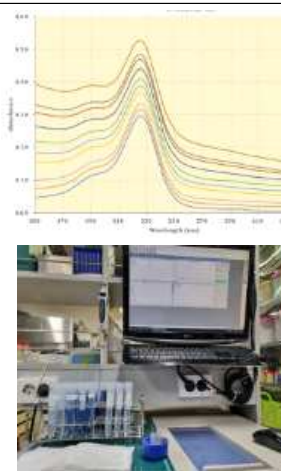
- 실험실 분광광도계를 이용한 표준분석법과 인공지능 이미지 분석법의 비교



- 현장 검증을 위한 토양 및 식물체 시료 채취 및 분석
 - 토양특성: 시설 2(토마토, 고추), 노지 1(해바라기), 충북농업기술원 시험포장
 - 2023년 5월-9월, 정식 2023.05.03

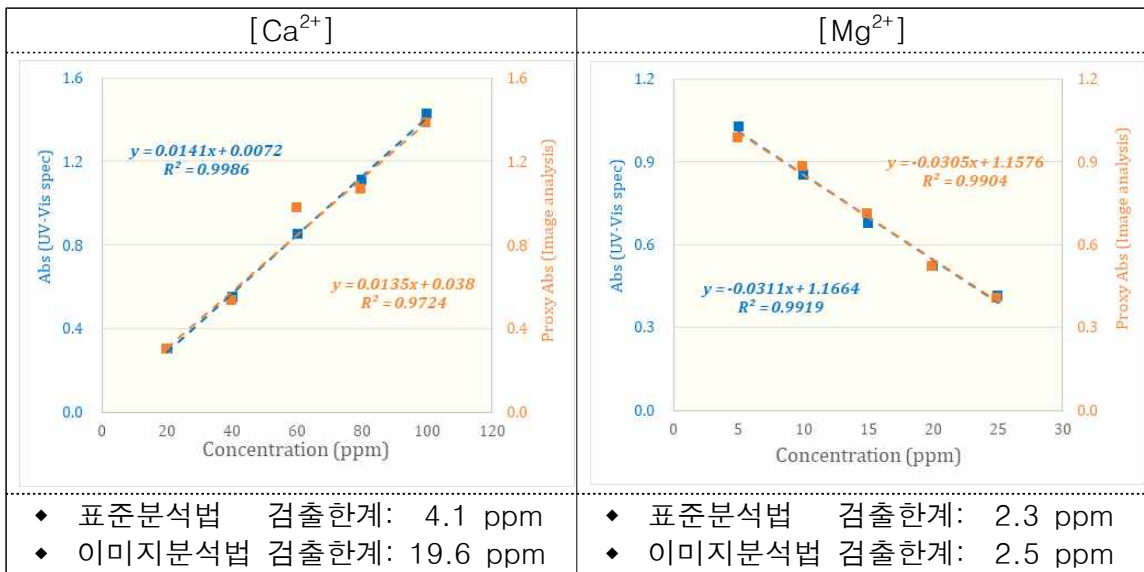
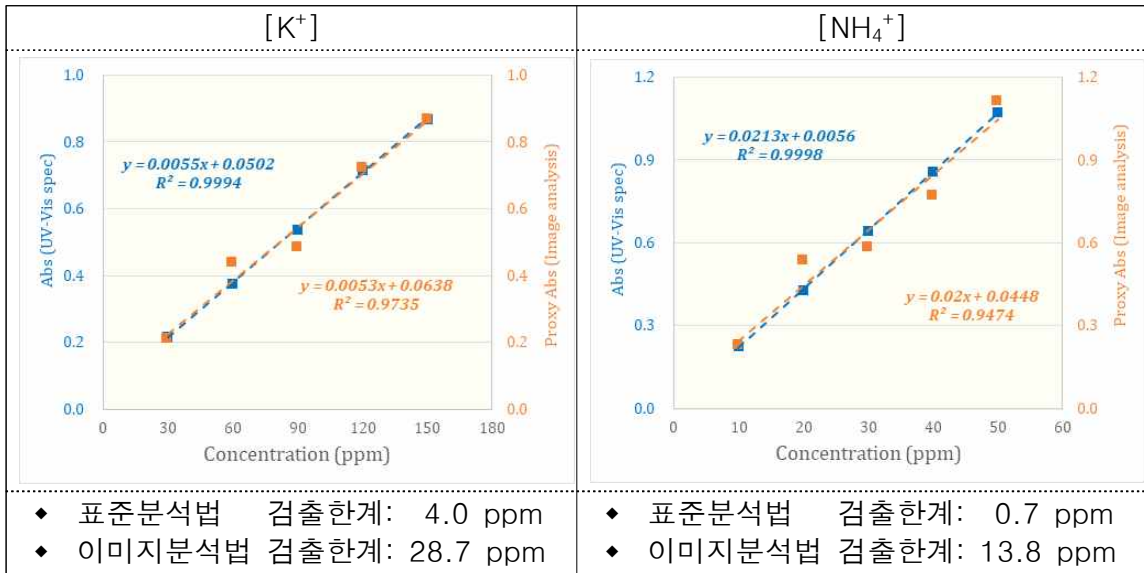
토마토(시설)	고추(시설)	해바라기(노지)
(a) NPK 처리구, (b) NPK +바이오차 처리구 (400kg/ha), 각 3반복	(a) NPK 처리구, 3반복	(a) NP 처리구, (b) NK 처리구, (c) PK 처리구, 각 3반복
		
*각 3반복, 3-4주 간격 분석 (DAT 22, 44, 79, 98)	*생육기간 중 3-4주 간격 분석 (DAT 22, 44, 79, 98)	*생육기간 중 3-4주 간격 분석 (DAT 22, 44, 79)

- 시료 전처리 및 분석

전처리 및 추출 ----->	이온 선택적 화학반응 ---->	측정
		
*토양: 1:5 DW, 추출 여과 *식물체: 1:20 DW, 균질화 여과	*분석 양이온: K^+ , NH_4^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} (Na^+ 미량 제외) *분석 음이온: NO_3^- , $H_2PO_4^-$, SO_4^{2-} , Cl^- (NO_2^- 불검출 제외)	

- 표준 기기분석법 및 이미지 분석법의 이온분석 보정곡선 및 검출한계

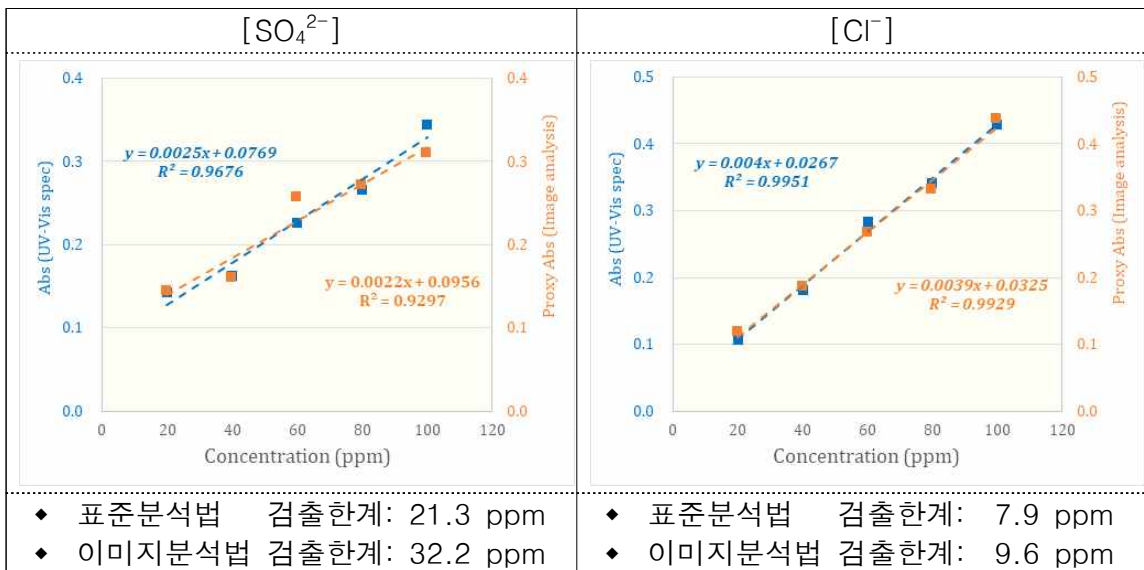
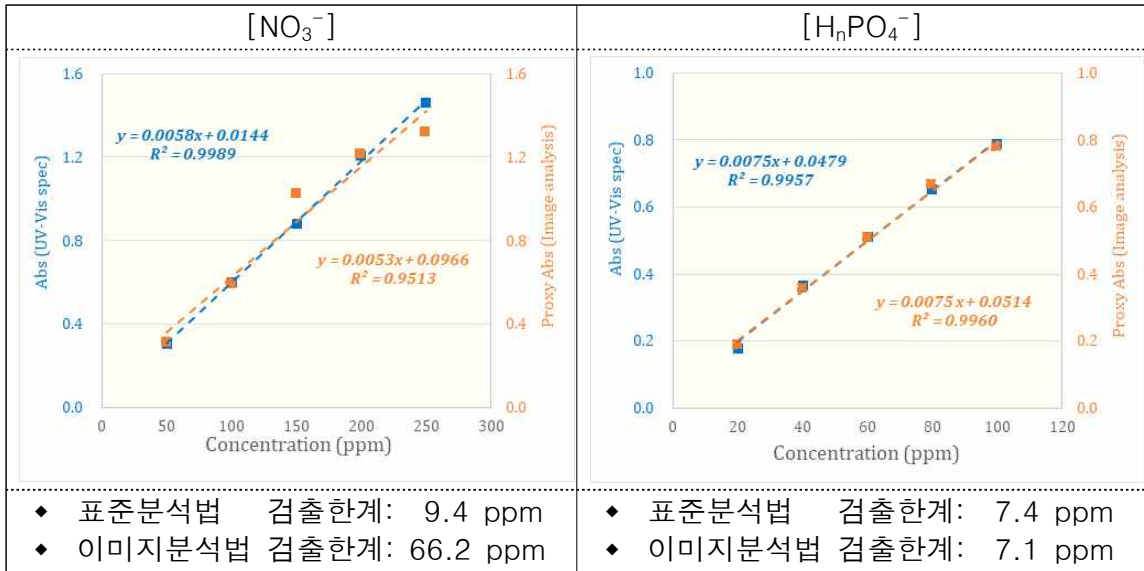
- 양이온 (K^+ , NH_4^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+})



[양이온 검량 보정곡선의 특성 및 검출한계]

- 인공지능 이미지 분석법에 의한 검량선은 표준분석법과 큰 차이 없이 대체로 높은 결정계수($r^2 > 0.95$)를 보였음.
- 정밀도와 검출한계는 이온별로 다소 차이가 있었음. Mg^{2+} 가 가장 높은 결정계수를 보인 반면 NH_4^+ 가 상대적으로 낮았고, 검출한계도 같은 경향이었음.
- 검출한계는 이미지 분석법이 표준 분석법에 비해 대체로 5-7배 높은 수준이었고, NH_4^+ 의 경우 약 20배 정도 높았으나, 일반적인 토양 및 식물체 농도 수준을 감안하였을 때 주어진 검출한계는 현장에서 신속하게 농도분석을 수행하는데 충분한 것으로 사료됨.

- 음이온 (NO_3^- , H_nPO_4^- , SO_4^{2-} , Cl^-)

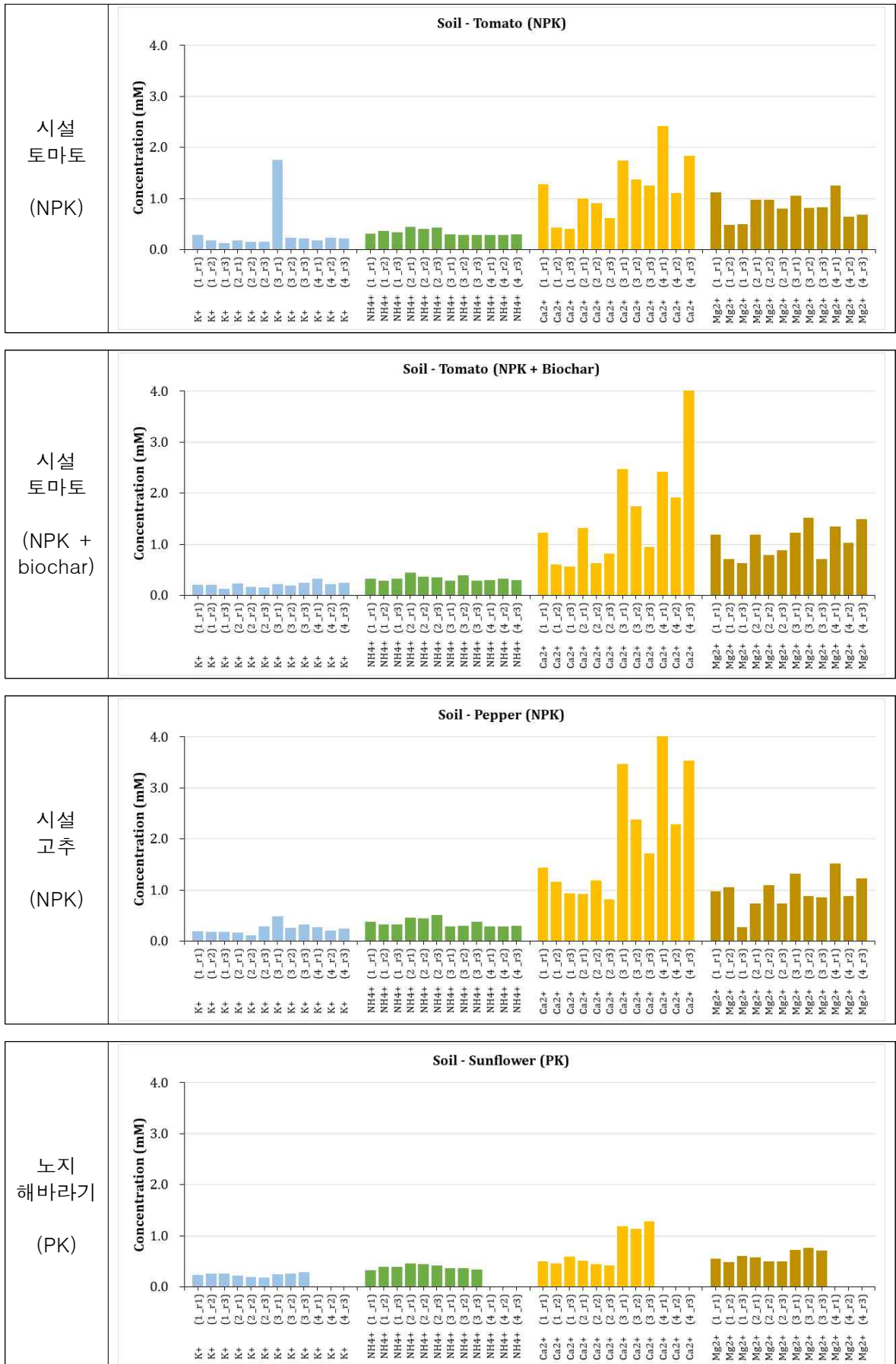


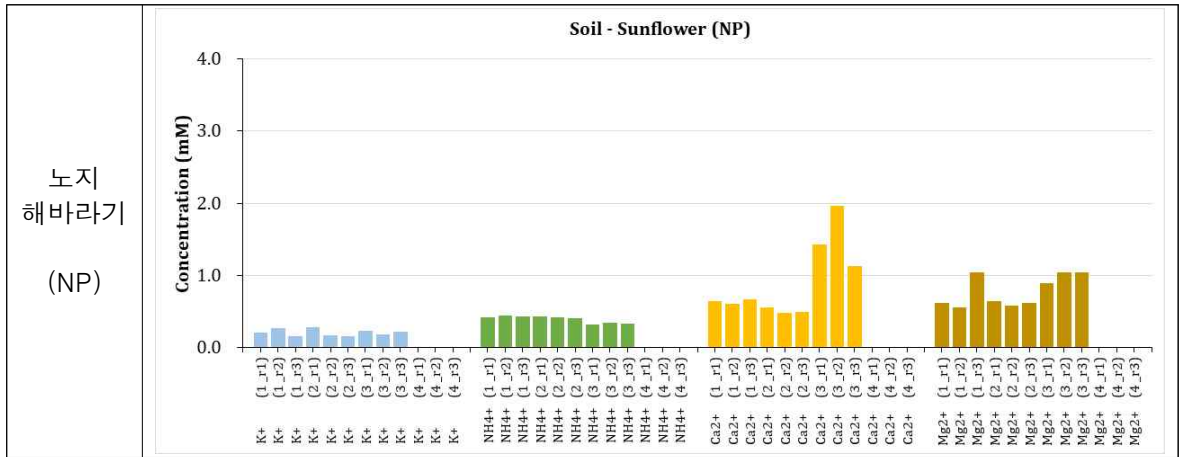
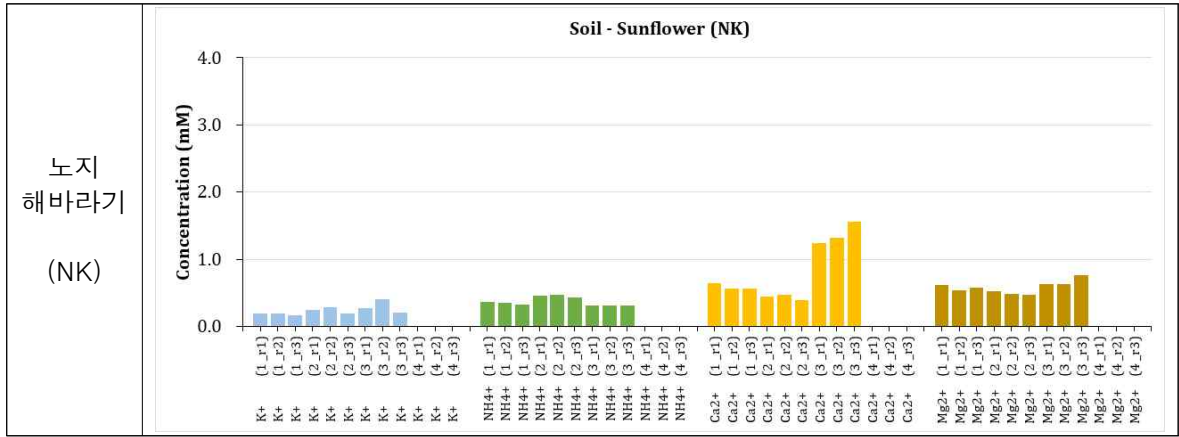
[음이온 검량선의 특성 및 검출한계]

- 이미지분석법에 의한 검량선은 표준분석법과 큰 차이 없이 대체로 높은 결정계수($r^2 > 0.93$)를 보였고, 입자성 분석을 하는 SO_4^{2-} 와 Cl^- 에서 상대적으로 낮았음.
- 검출한계는 NO_3^- 가 이미지 분석법이 표준 분석법에 비해 대체로 7배 높은 수준이었으나, 다른 음이온들은 표준분석법과 비교해 유사한 수준의 검출한계를 보였음.
- 특히 입자성 분석을 하는 경우에는 두 방법 간에 큰 차이가 없었고, 인산이온의 경우에는 이미지 분석법과 표준분석법 간의 차이가 매우 적었음($r^2 > 0.99$).
- 따라서, 일반적인 토양 및 식물체 농도 수준을 감안하였을 때 주어진 검출한계는 현장에서 음이온류의 농도분석을 수행하는데 충분한 것으로 사료됨.

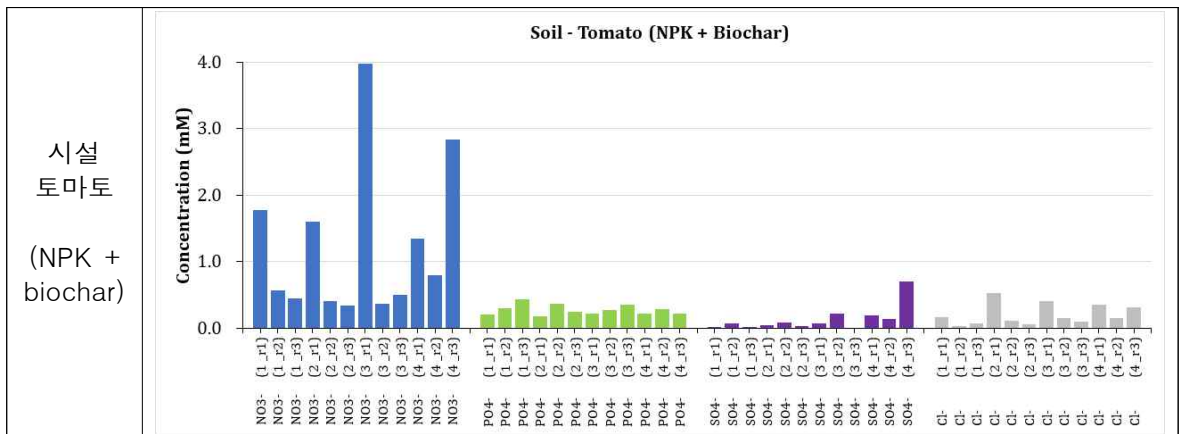
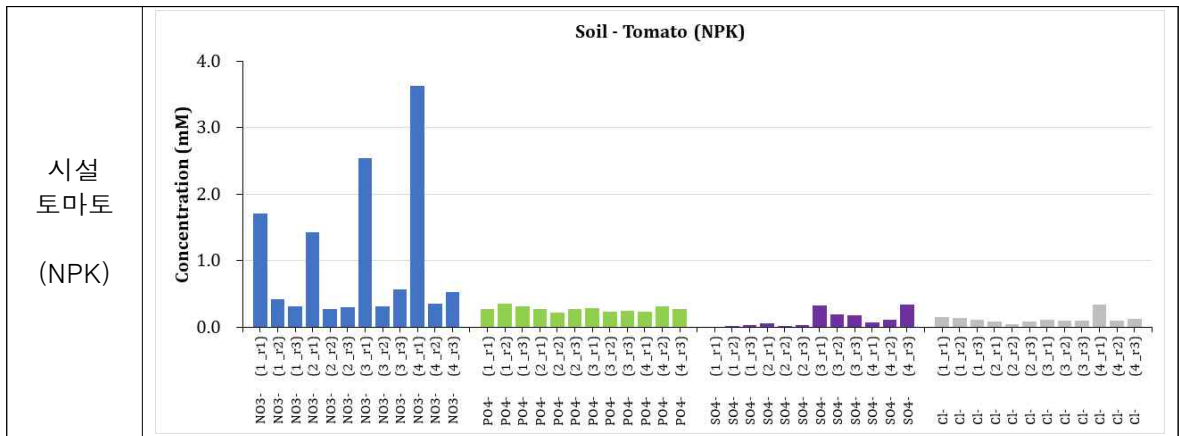
• 영농형태 및 작물, 시비처리에 따른 토양 시료의 이온 조성 차이

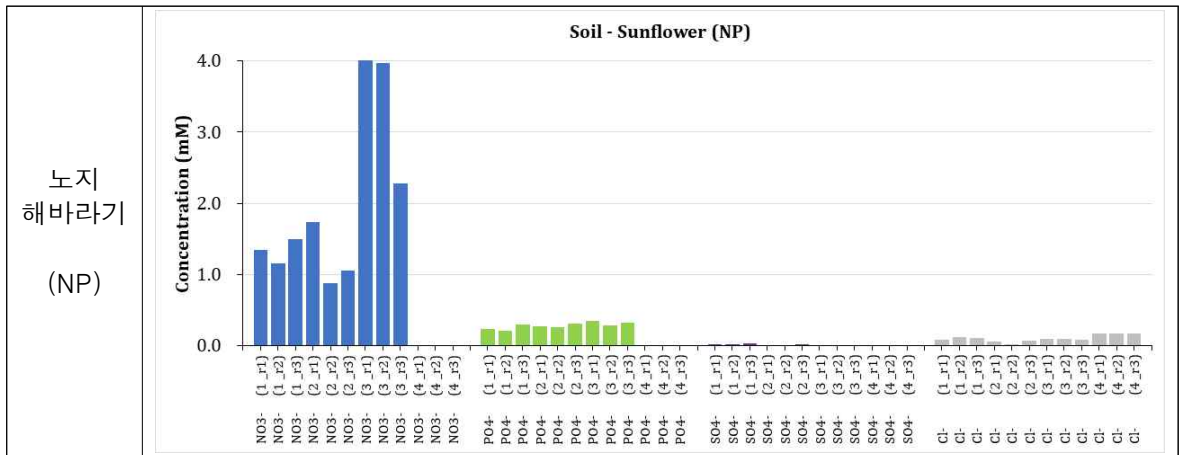
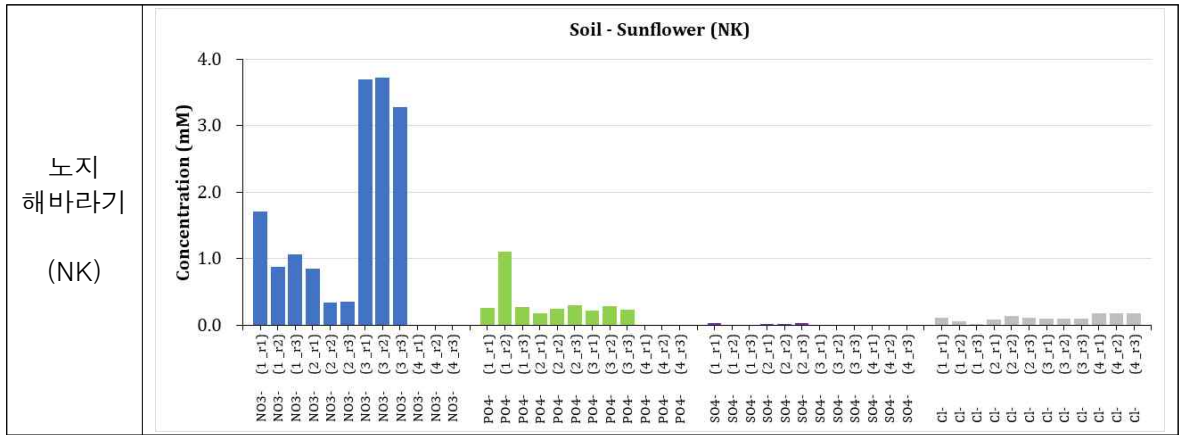
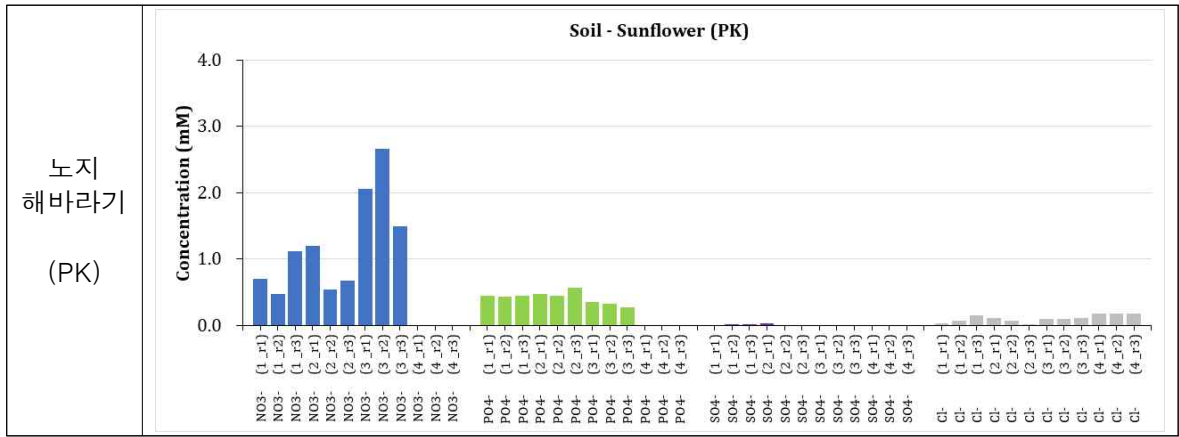
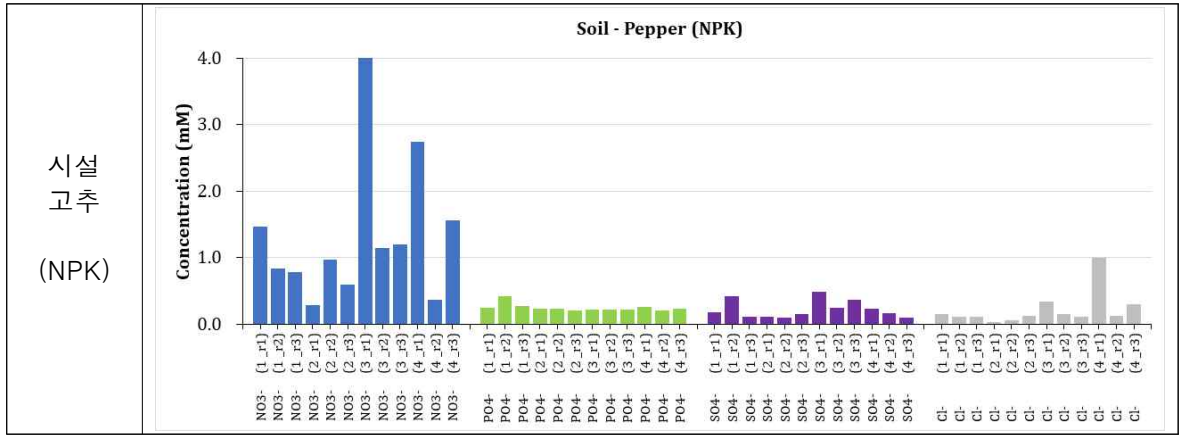
- 토양 양이온 (K^+ , NH_4^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+})



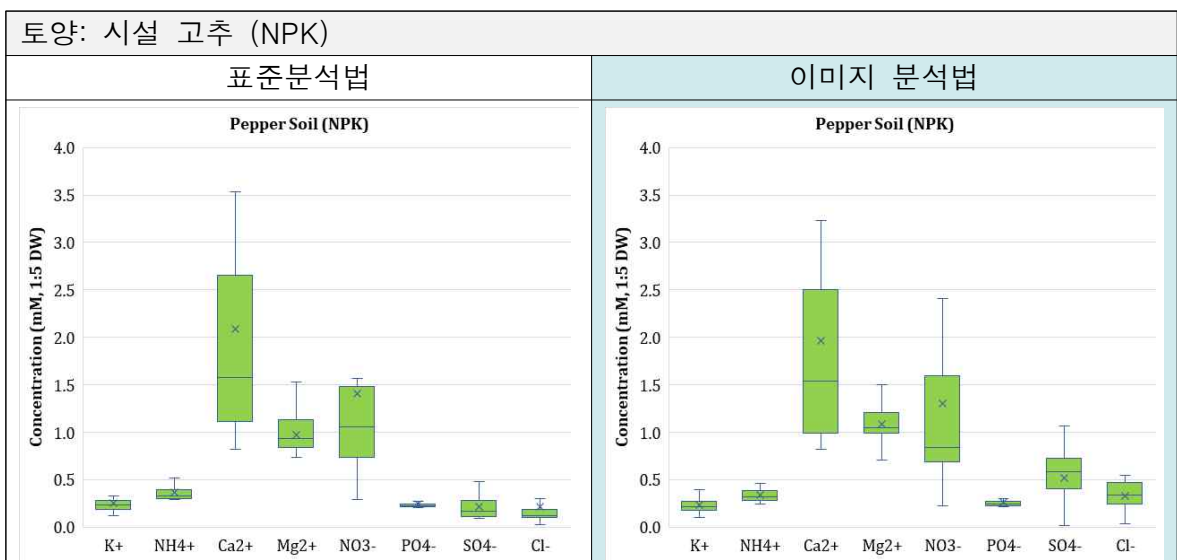
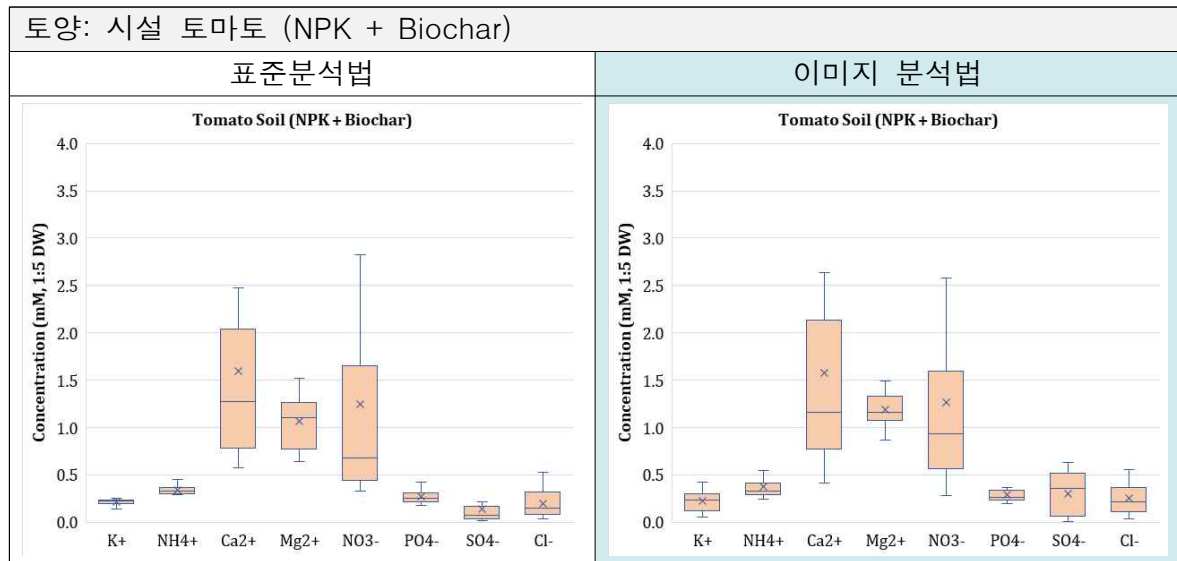
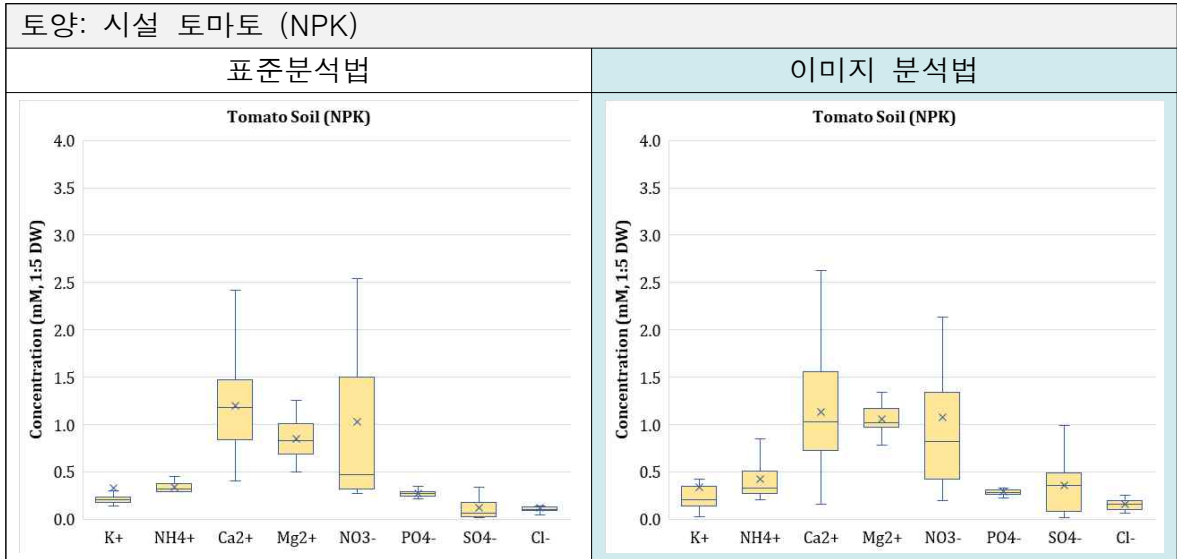


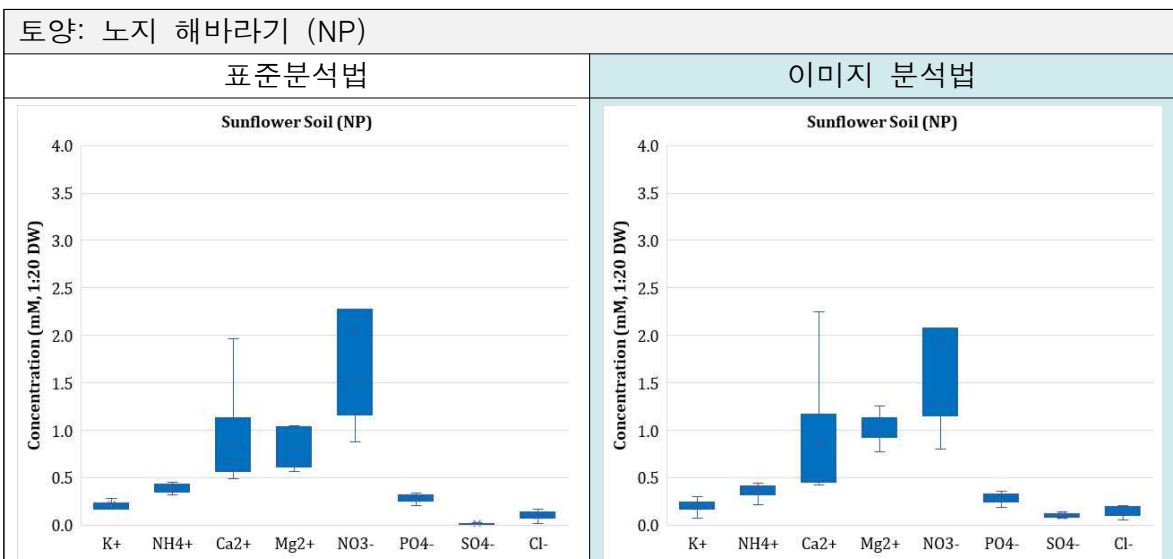
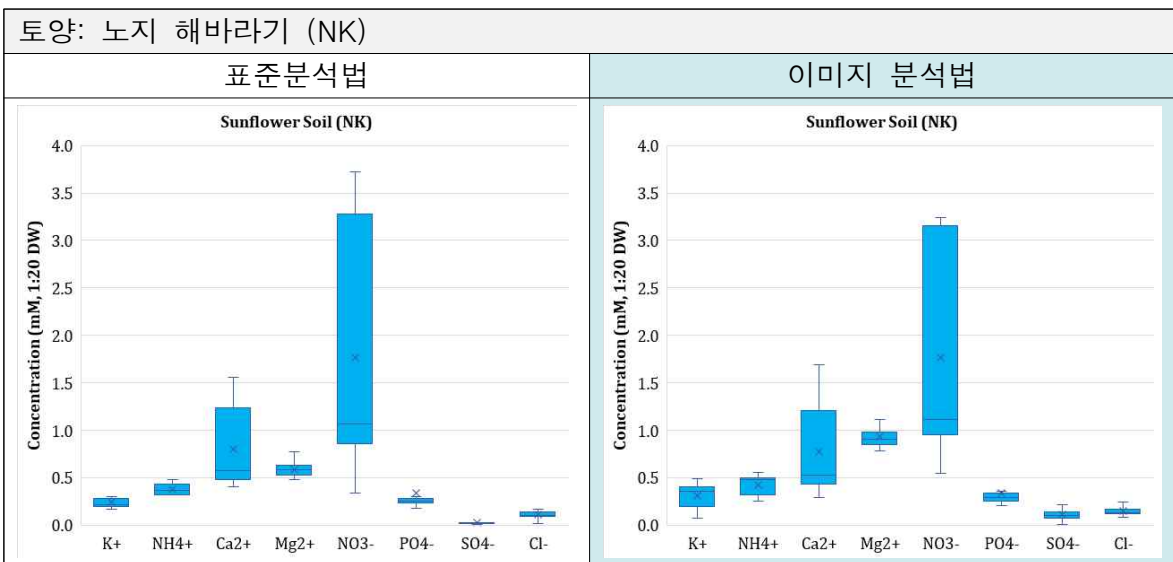
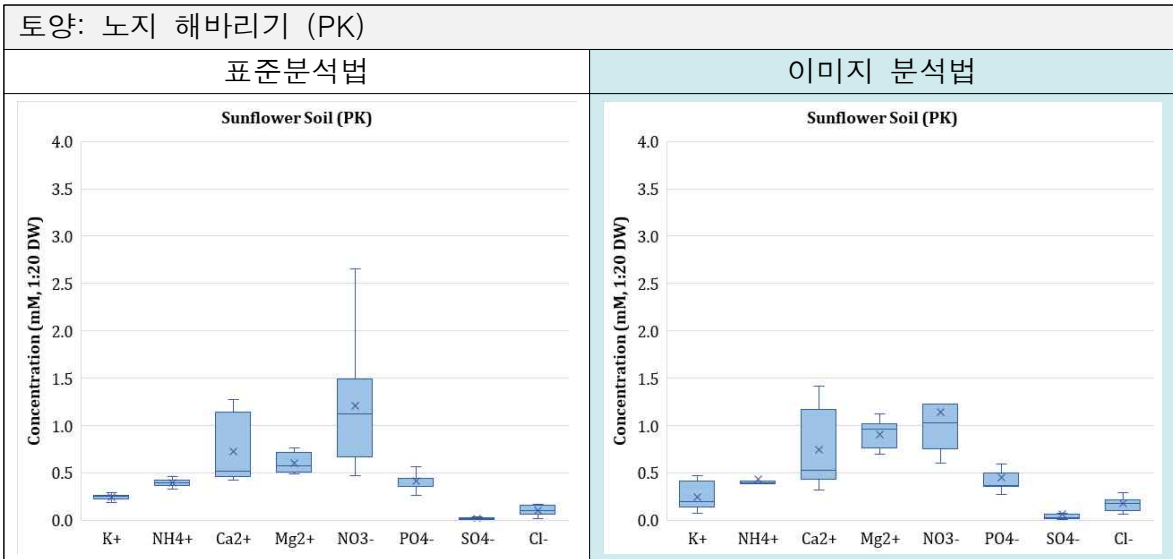
- 토양 음이온 (NO_3^- , H_2PO_4^- , SO_4^{2-} , Cl^-)





- 토양 시료 중 양이온 및 음이온 조성에 대한 표준분석법과의 비교





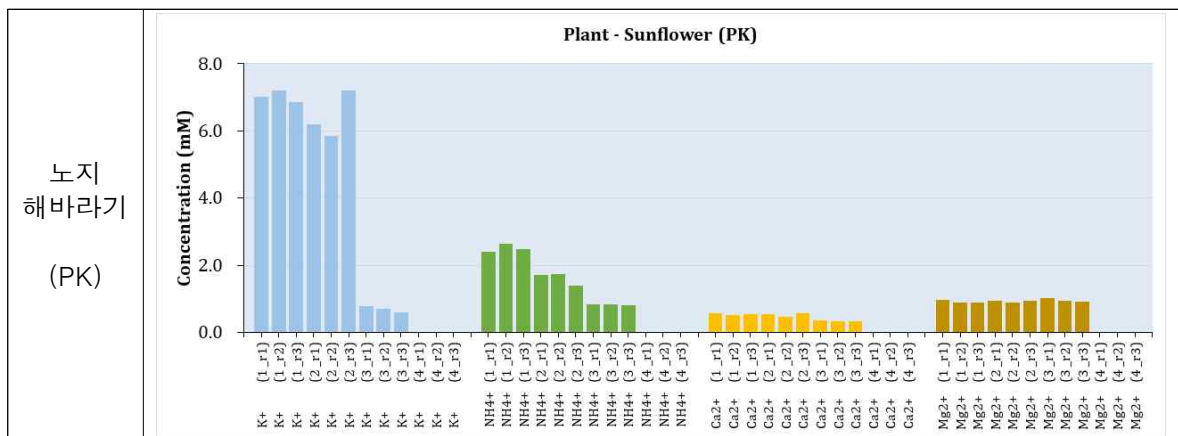
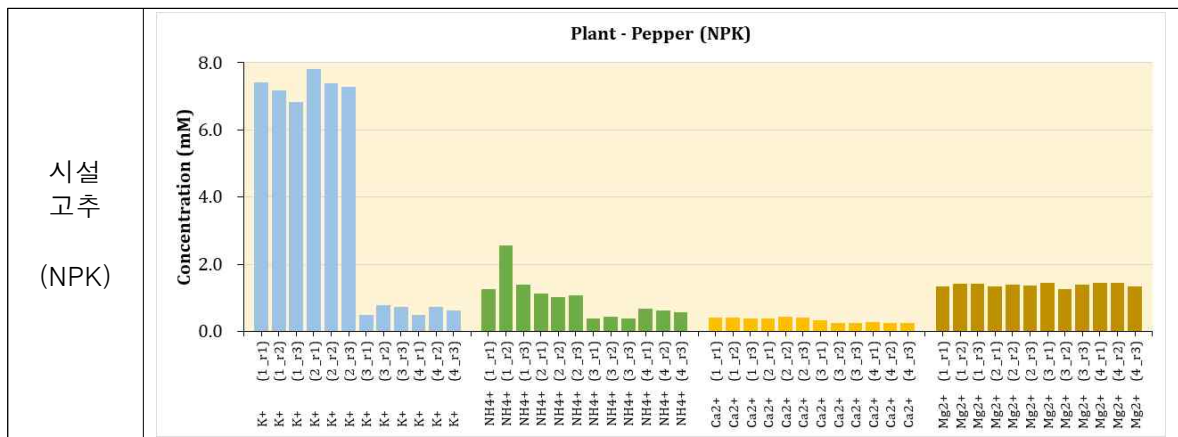
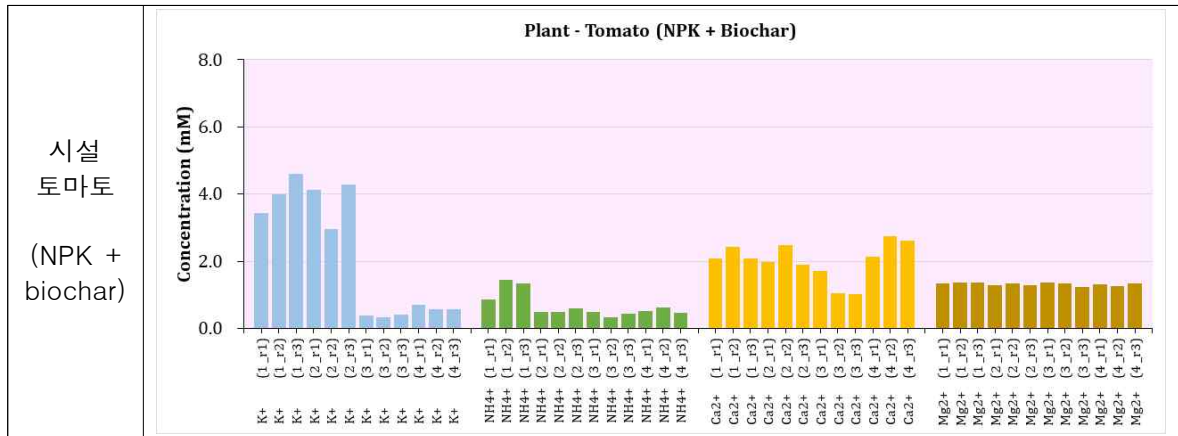
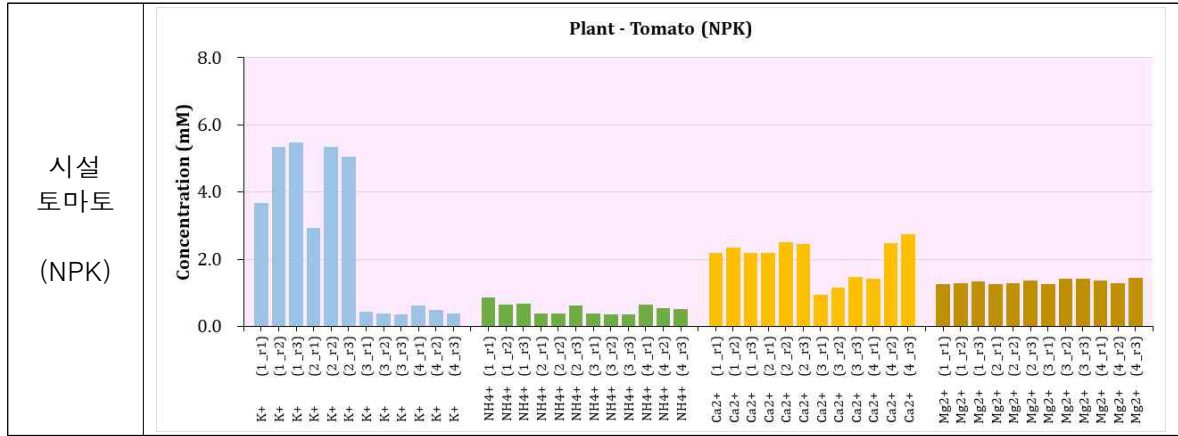
[토양 시료에 대한 표준분석법과 이미지 분석법 간 비교]

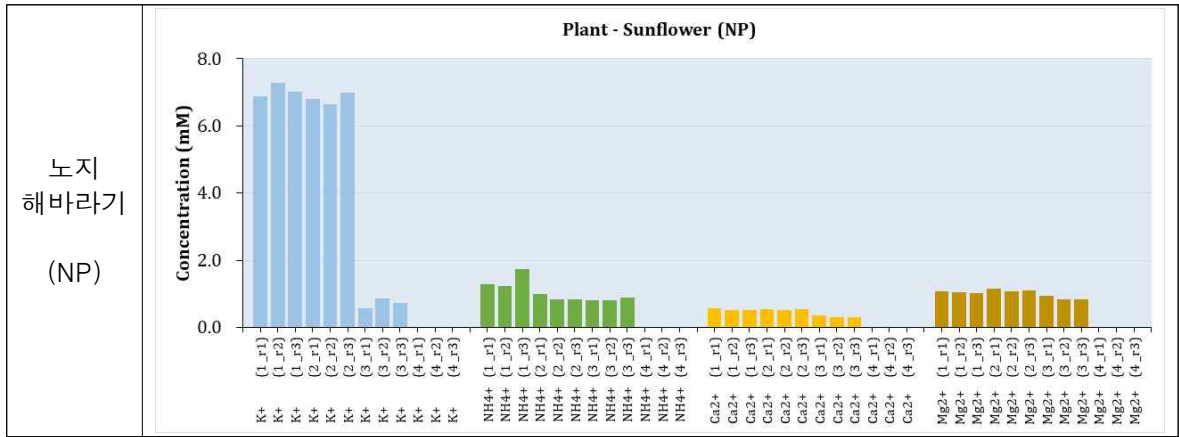
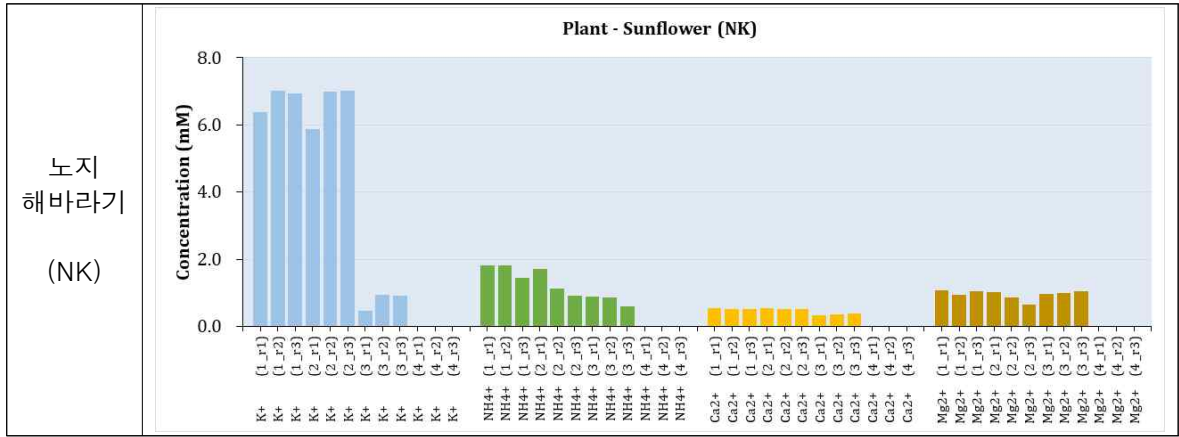
- 대체로 양이온과 음이온 모두 표준분석법과 잘 일치하는 농도 분포를 보였음.
- 특히, 해바라기 질소 처리구들은 질소결핍구에 비해 높은 수준의 질산이온을 보이는 것을 두 분석법 모두 유사하게 잘 반영하였음.

3) 작물에 따른 신속 분석 시제품의 적용성 검증

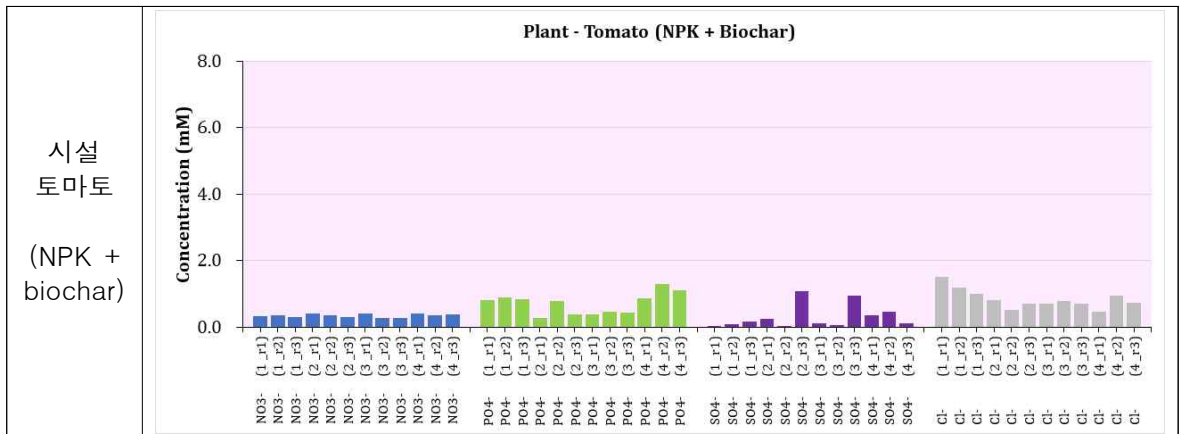
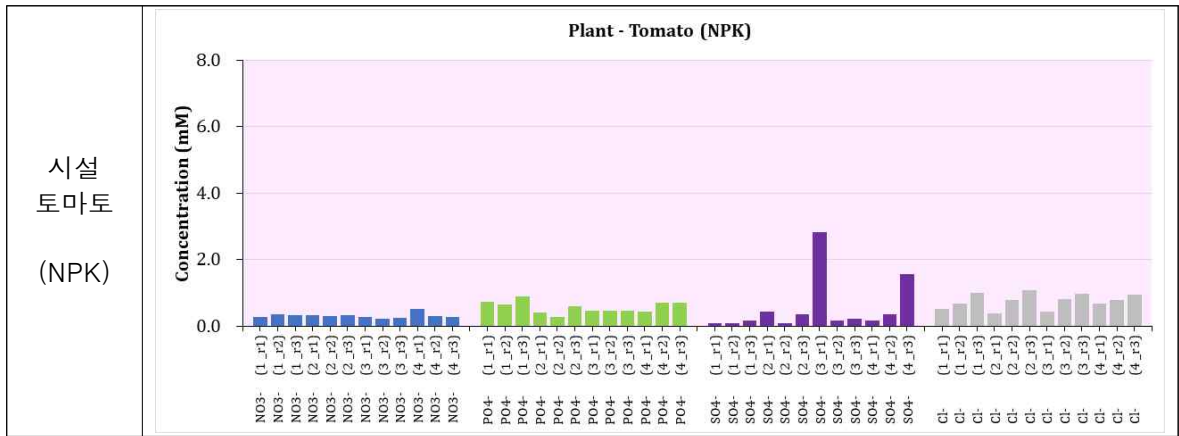
① 식물체 시료를 이용한 표준분석법과의 비교

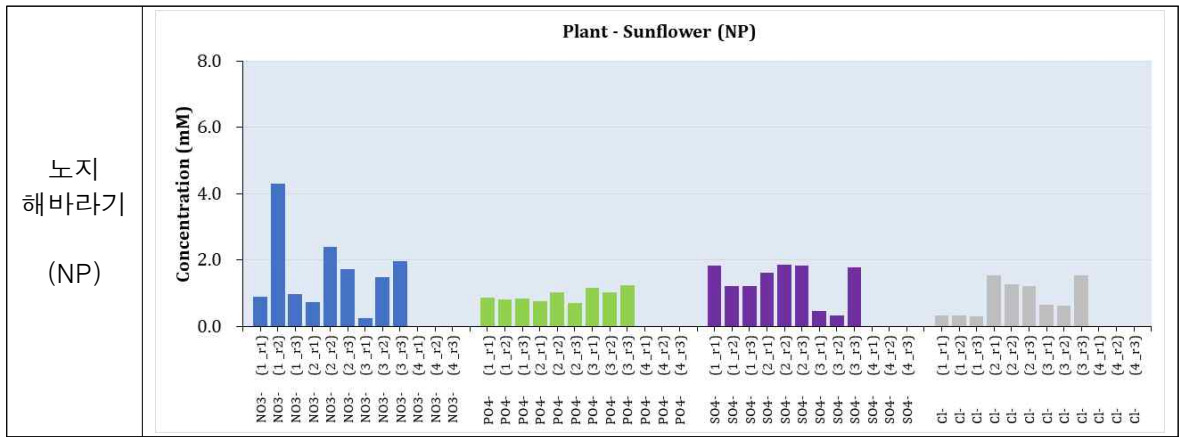
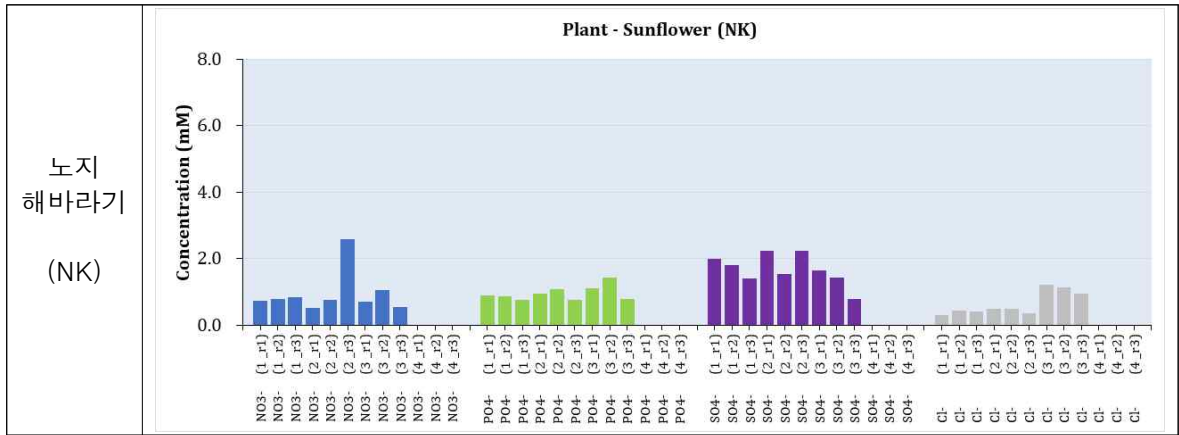
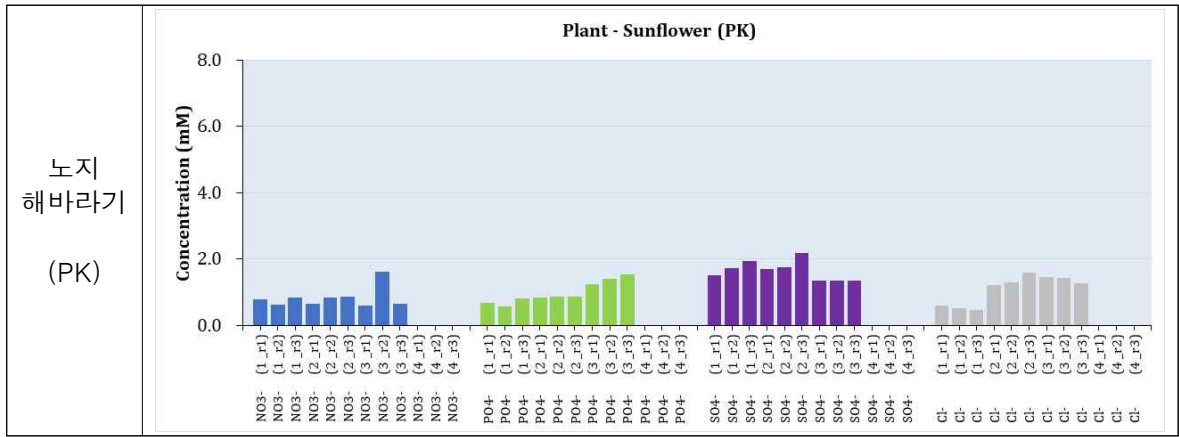
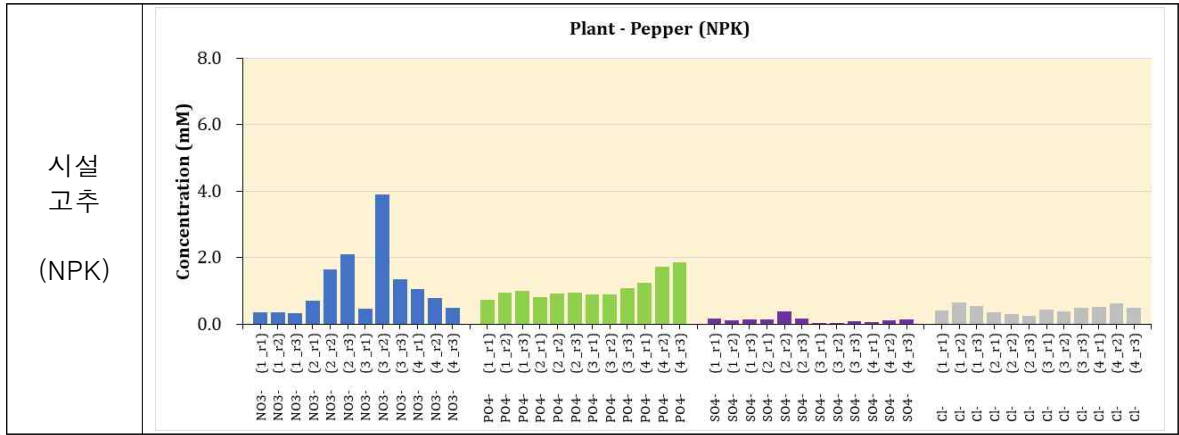
- 영농형태 및 작물, 시비처리에 따른 식물체 시료의 이온 조성 차이
 - 식물체 양이온 (K^+ , NH_4^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+})



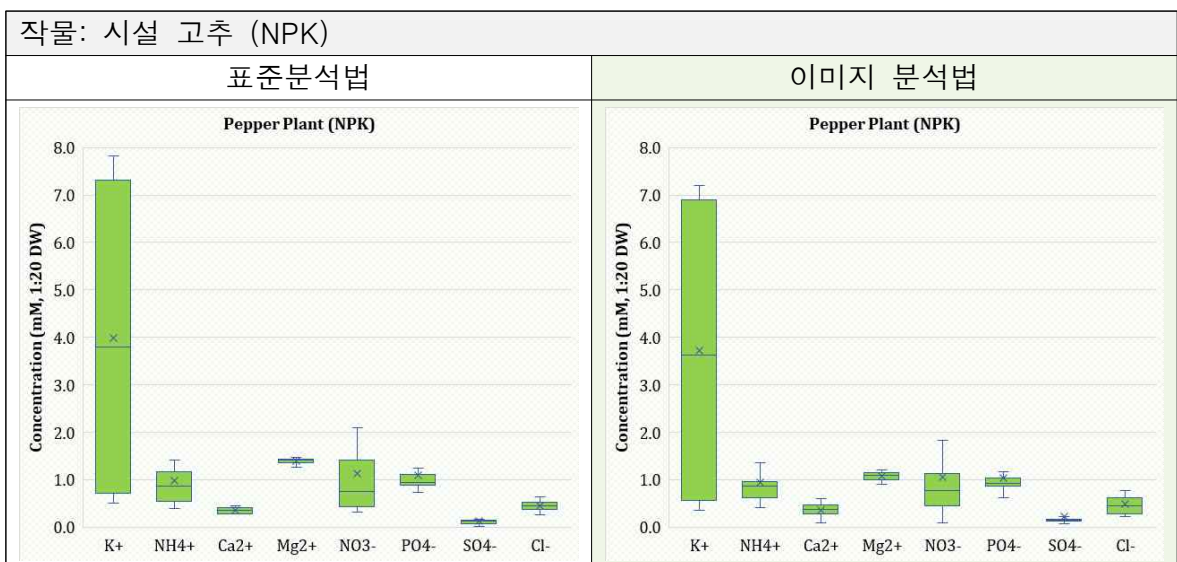
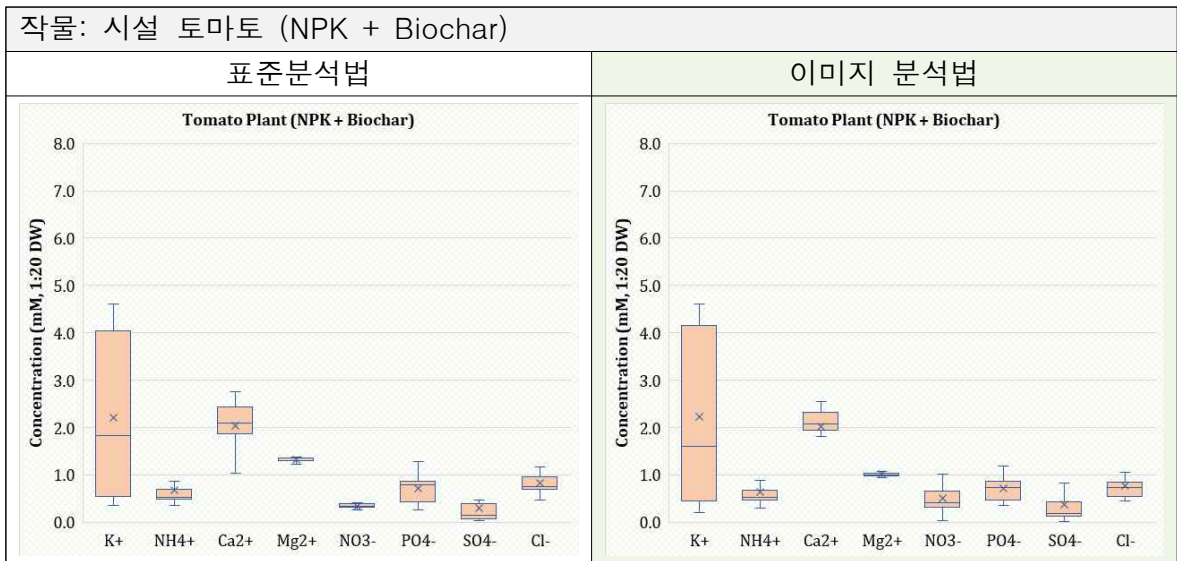
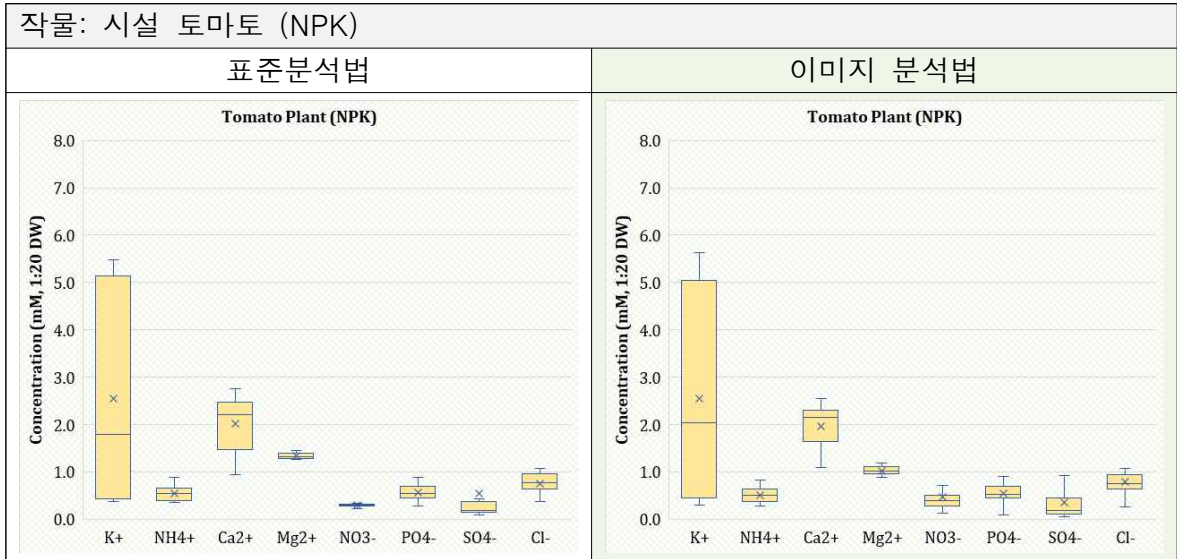


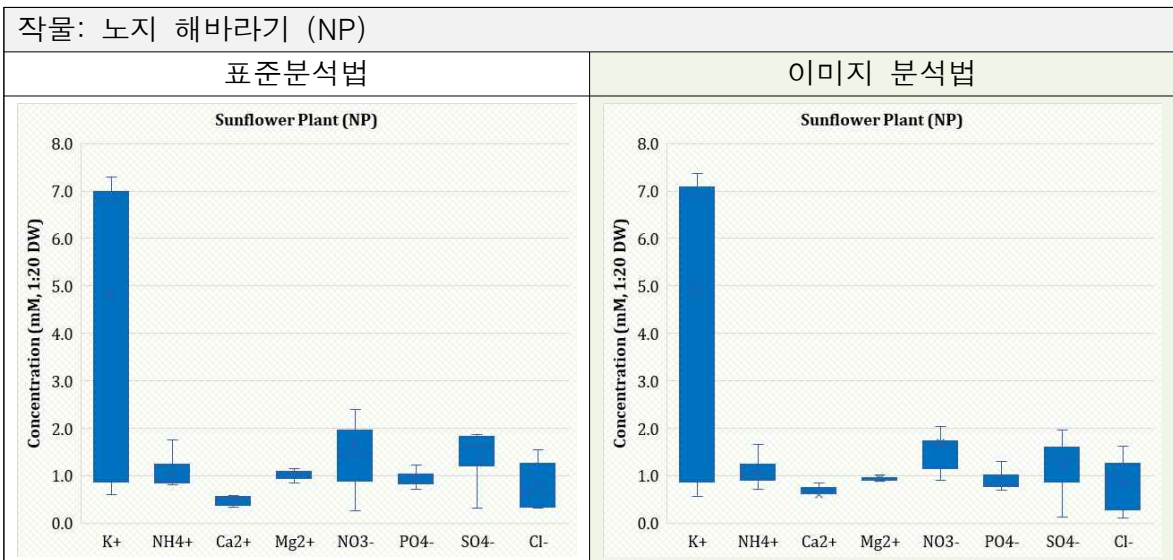
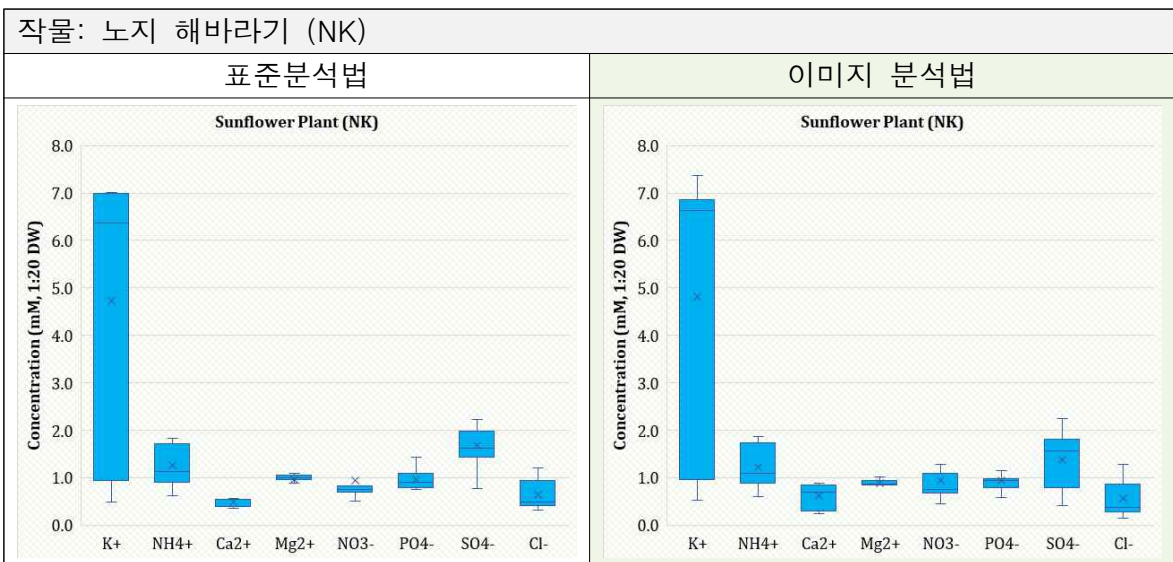
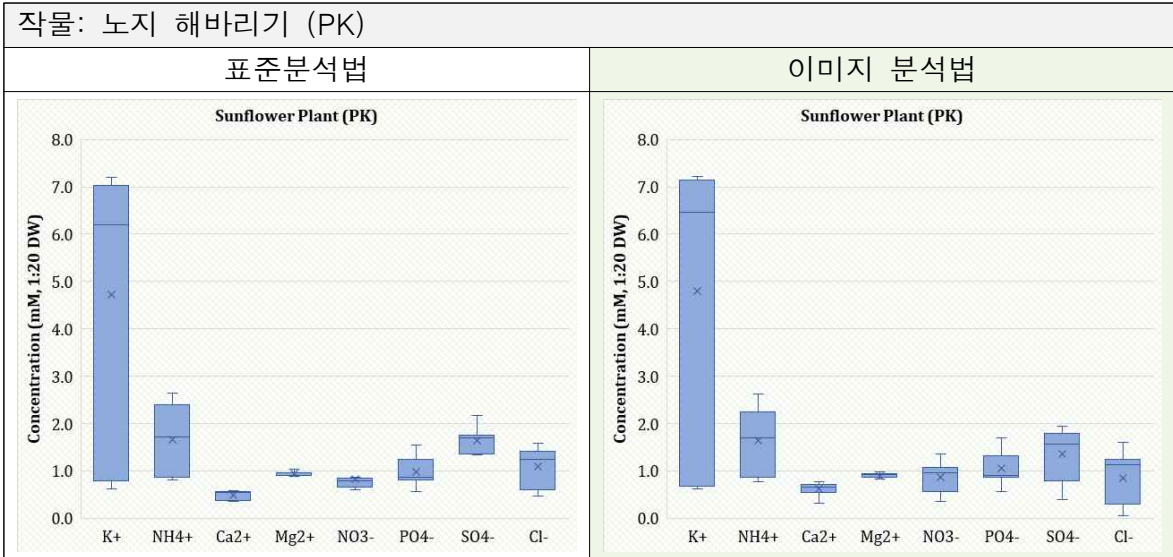
- 식물체 음이온 (NO_3^- , H_2PO_4^- , SO_4^{2-} , Cl^-)





- 식물체 시료 중 양이온 및 음이온 조성에 대한 표준분석법과의 비교



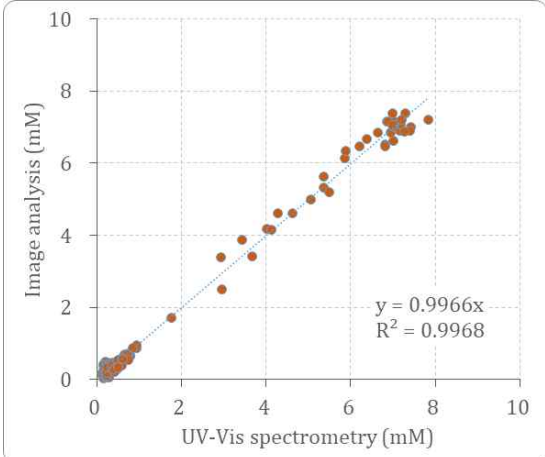
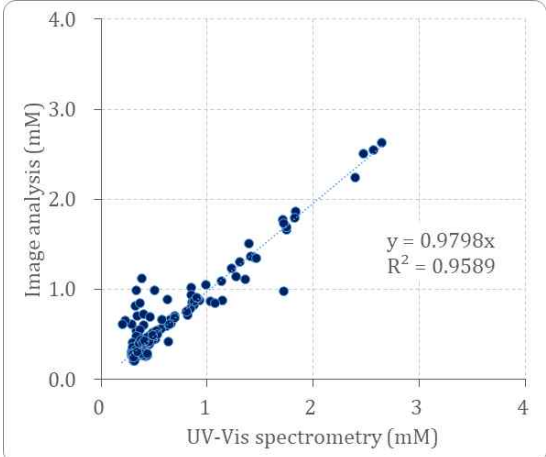
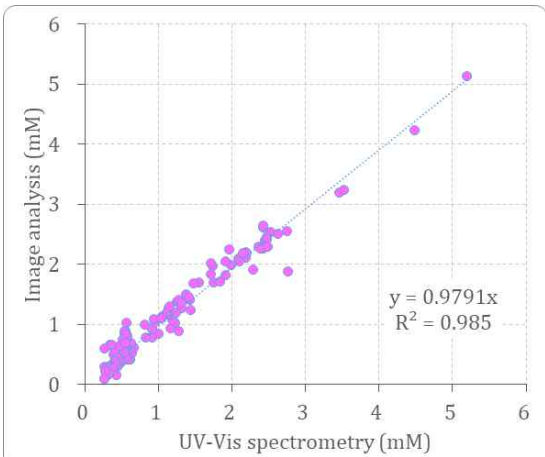
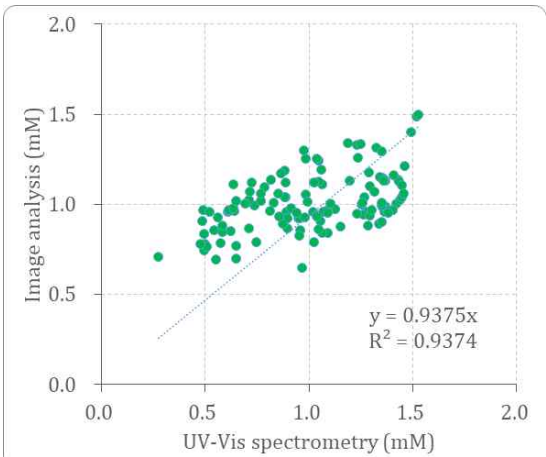


[식물체 시료에 대한 표준분석법과 이미지 분석법 간 비교]

- 식물체도 양이온과 음이온 모두 표준분석법의 결과와 유사한 농도 분포를 보였음.
- 특히, K^+ 와 Ca^{2+} 의 조성에서 큰 차이를 보이는 토마토, 고추, 해바라기의 특성을 두 분석법 모두 잘 나타냈었으며, SO_4^{2-} 와 Cl^- 에서도 작물 간 차이가 반영되었음.

4) 표준분석법 대비 이미지 분석법의 신뢰도 평가

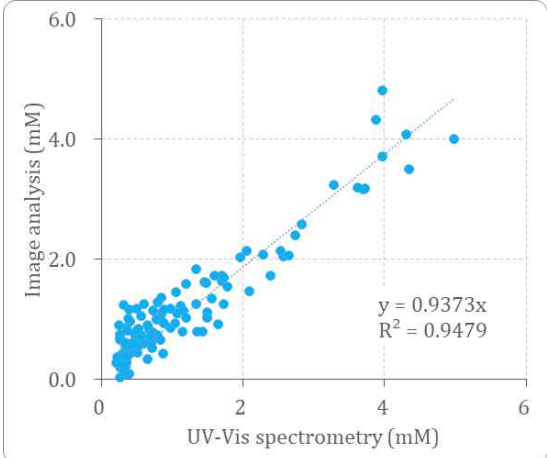
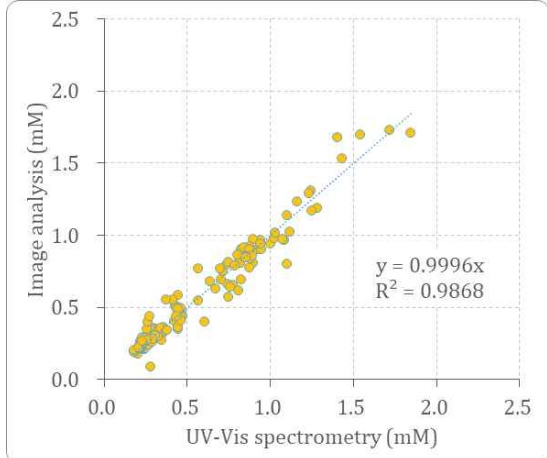
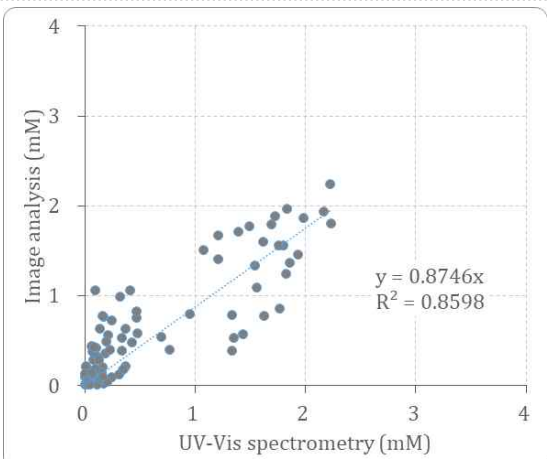
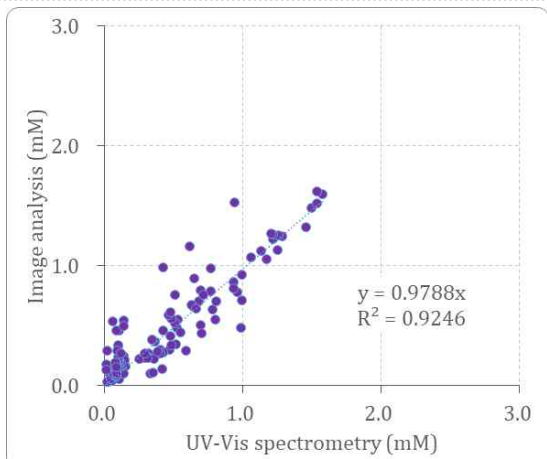
① 양이온 (K^+ , NH_4^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+})

<p style="text-align: center;">[K^+]</p> 	<p style="text-align: center;">[NH_4^+]</p> 
<ul style="list-style-type: none"> ◆ 회귀 표준오차: 0.19 mM ◆ 최대 분석농도: 10 mM ◆ 분석오차(3SE): 5.7% 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 회귀 표준오차: 0.16 mM ◆ 최대 분석농도: 4 mM ◆ 분석오차(3SE): 12.4%
<p style="text-align: center;">[Ca^{2+}]</p> 	<p style="text-align: center;">[Mg^{2+}]</p> 
<ul style="list-style-type: none"> ◆ 회귀 표준오차: 0.17 mM ◆ 최대 분석농도: 6 mM ◆ 분석오차(3SE): 8.8% 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 회귀 표준오차: 0.14 mM ◆ 최대 분석농도: 2 mM ◆ 분석오차(3SE): 20.8%

[양이온 이미지 분석법의 신뢰성 평가]

- 개별 시료들에 대한 표준분석법과 이미지 분석법의 결과 간 결정계수(r^2)는 0.95 이상으로 대체로 양호하였으며, Mg^{2+} 가 상대적으로 낮았음.
- Mg^{2+} 는 농도변화에 스펙트럼 변화의 정도가 특이한 성질이 있어서 이미지 분석법에 다소 불리한 성질이 있는 것으로 여겨짐.
- 시료에 대한 분석오차는 Mg^{2+} 를 제외하면 최대 측정 농도 대비 5%~10% 수준으로 평가되었음.

② 음이온 (NO_3^- , H_2PO_4^- , SO_4^{2-} , Cl^-)

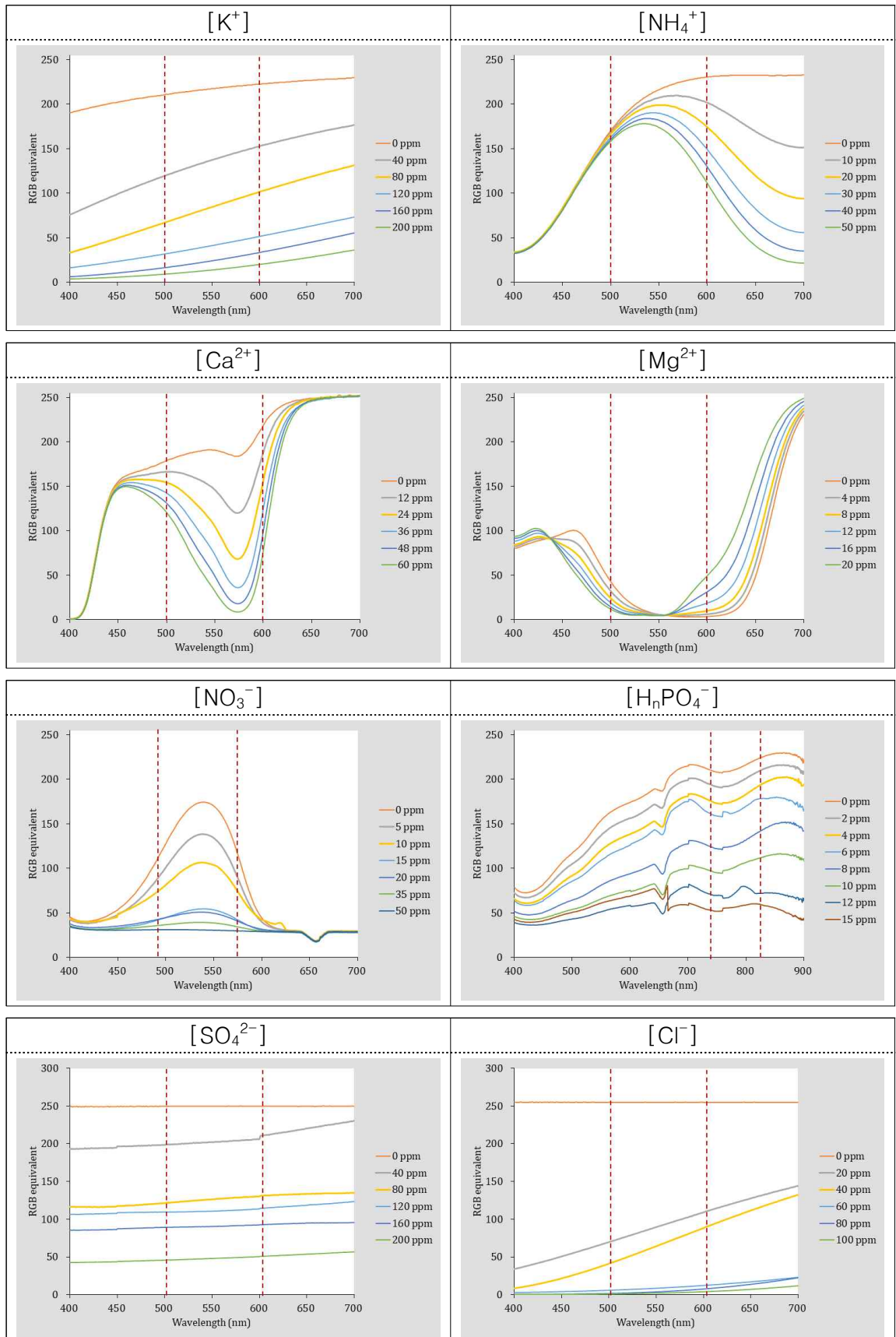
<p style="text-align: center;">$[\text{NO}_3^-]$</p> 	<p style="text-align: center;">$[\text{H}_2\text{PO}_4^-]$</p> 
<ul style="list-style-type: none"> ◆ 회귀 표준오차: 0.31 mM ◆ 최대 분석농도: 6 mM ◆ 분석오차(3SE): 15.5% 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 회귀 표준오차: 0.08 mM ◆ 최대 분석농도: 2.5 mM ◆ 분석오차(3SE): 9.5%
<p style="text-align: center;">$[\text{SO}_4^{2-}]$</p> 	<p style="text-align: center;">$[\text{Cl}^-]$</p> 
<ul style="list-style-type: none"> ◆ 회귀 표준오차: 0.24 mM ◆ 최대 분석농도: 4 mM ◆ 분석오차(3SE): 22.1% 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 회귀 표준오차: 0.17 mM ◆ 최대 분석농도: 3 mM ◆ 분석오차(3SE): 16.5%

[음이온 이미지 분석법의 신뢰성 평가]

- 양이온에 비해 개별 시료들에 대한 표준분석법과 이미지 분석법의 결과 간 결정계수(r^2)는 0.85-0.99 수준으로 다소 낮은 경향이었음.
- 특히, Cl^- 와 SO_4^{2-} 는 입자형성에 따른 빛의 산란효과가 상대적으로 크기 때문에, 상대적으로 낮은 결정계수와 분석오차를 보인 것으로 여겨짐
- 시료에 대한 분석오차는 최대 측정 농도 대비 10%-20% 수준이었으며, 다소 정밀한 측정을 위해서는 현재보다 오차를 절반 이하로 줄이는 것이 필요함.

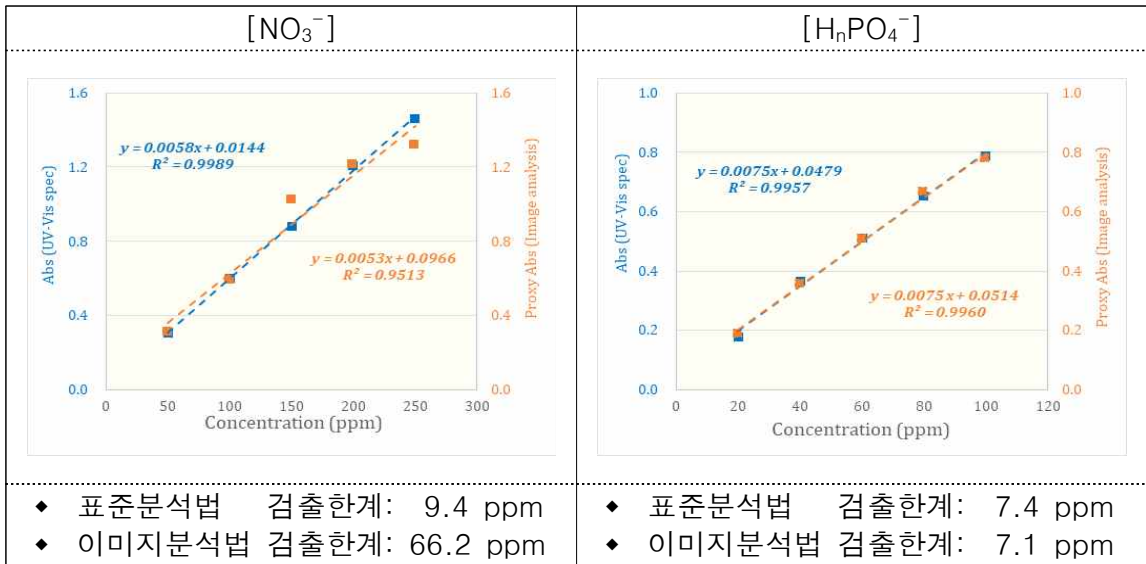
5) 이미지 분석법의 신뢰도 향상을 위한 개선 방안

- ① 분자 흡광 스펙트럼 특성을 최대한 활용: 각 이온별로 가장 감도가 높은 영역에 대해 RGB 이미지 값을 최대한 반영할 수 있는 광원, 카메라, 광학계 등의 구성을 최적화, 업그레이드하는 방안을 고려할 수 있음.



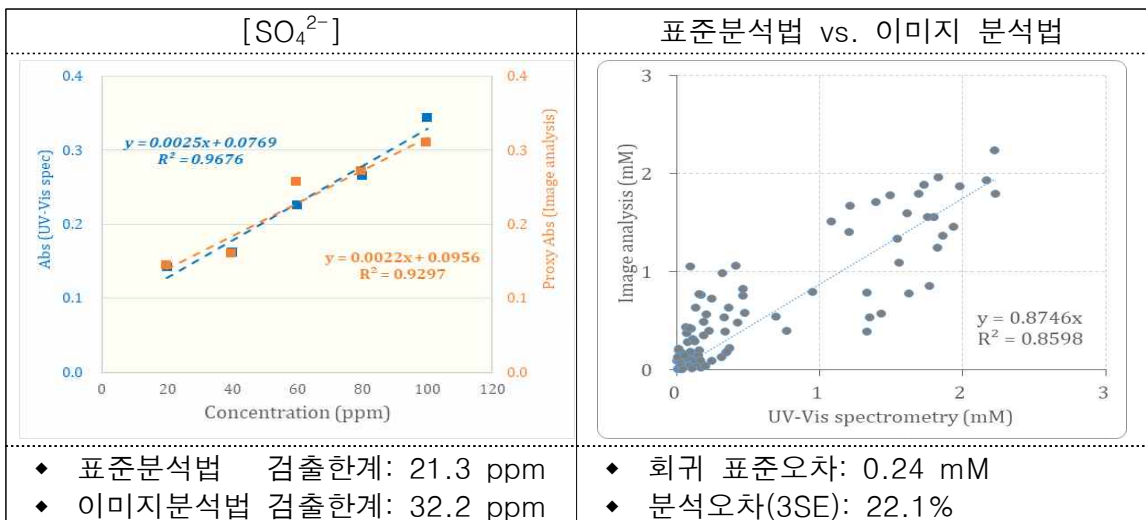
② 비교적 높은 검출한계의 극복 방안:

- 아래 인산이온에 비해 높은 검출한계를 보이는 질산이온의 경우에서와 같이, 검출한계는 대부분 개별 측정값의 정밀도와 재현성에 의해 크게 영향을 받는 것으로 여겨짐
- 따라서, 이미지 분석의 감도, 정밀도를 향상 시킬 수 방안과 재현성을 확보하는 대량 시료 기반의 인공지능 이미지 분석 알고리즘의 고도화가 필요함.
- 정밀도와 재현성에 관련된 시료의 대표 RGB 픽셀 값들을 선정하는 과정, 노이즈 제거, 광원 및 카메라의 스펙트럴 특성, 촬영 조건의 변동에 따른 많은 변수들을 능동적으로 반영할 수 있는 인공지능 기법의 고도화가 필요함.



③ 비교적 높은 분석오차의 축소 방안

- 현재의 이미지 분석법은 전반적으로 표준분석법과 매우 근접한 이온분석 결과들을 나타내지만, Mg²⁺, Cl⁻와 SO₄²⁻는 분석오차가 평균 최고 분석농도 대비 10-20% 수준으로 다소 높음.
- 시료 농도가 낮은 이온들 및 시료들에 의해 오차가 많이 발생하는 경향이 있으므로, 가능한 시료 중 농도를 높게 유지하기 위한 추출비율의 조절, 증류수 보다 강력한 단일 추출액의 적용 등의 방안을 생각할 수 있음.
- 입자 표면의 산란에 의한 크게 영향을 받는 Cl⁻와 SO₄²⁻의 경우는 표준분석법과 이미지 분석법 모두 오차가 크게 발생하는 성질이 있으므로, 입자형성 없이 분자흡광을 이용하는 새로운 화학반응을 개발하여 적용하는 추가 연구가 필요함.



3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

가. 연구수행 결과

1) 정성적 연구개발성과

(1) 주관연구기관 : (주)테크넬

연차별 연구목표	연차별 수행결과	달성도
<p>[1년차: 2021년]</p> <p>인공지능 영상분석 기술을 적용한 양분농도-측정디바이스 시작기 설계, 제작 및 작동 성능평가</p>	<p>① 인공지능 영상분석 기술을 위한 시작기의 설계요인 분석 및 설계</p> <ul style="list-style-type: none"> • 광학부 구조의 촬영원리 및 특성 등 설계 고려 요인분석 • 작기 설계를 위한 상용 이미지 센서 데이터 시트 분석 • 3D 프린터를 이용하여 초기 모델 설계 및 출력 • 상용 임베디드 카메라를 사용 및 촬영 거리를 조절 기능구현 • 초점거리 분석으로 거리별 최적 초점거리 확인 <p>② 인공지능 영상분석 기술 적용을 위한 디바이스 부품 비교 테스트 및 선정</p> <ul style="list-style-type: none"> • 상용 임베디드 보드 데이터 시트 비교 • 상용 임베디드 카메라 모듈 성능 비교 • http 프로토콜 기반 홈페이지 연동을 통해 취득 영상을 확인 가능하며, 활용이 가능한 형태로 개발 • 실시간 영상 확인이 가능하며 해당 홈페이지 연동을 통한 촬영 조건 설정 가능하도록 개발 • http 프로토콜 기반 영상 촬영, 촬영 영상 확인 및 이미지 파일 저장이 가능한 초기 분석용 프로그램 구현 <p>③ 인공지능 영상분석 기술을 적용한 디바이스 시작기 제작</p> <ul style="list-style-type: none"> • 양분농도별 영상 취득 시작기 조건실험 • 내부 광원과 외부 광원 간섭을 고려한 양분농도별 영상 취득 시작기 개발 • 이온 농도 분석을 위한 기본 농도 이미지 업데이트 기능 추가 및 분석 알고리즘 포팅을 위한 프로그램 UI 구성 • 해당 이온 분석 도구의 분석 알고리즘을 개발하기 위해 시약 농도별 실험 수행 <p>④ 인공지능 영상분석 기술을 위한 디바이스 시작기 작동 성능 평가 및 개선</p> <ul style="list-style-type: none"> • 시약 농도별 영상 취득 시작기 테스트 • 수집된 이미지 데이터를 기반으로 시약 농도에 따른 이미지 색상으로 농도 변화 분석 가능성 확인 • 배경부분에 검정 마스킹 작업을 통해 필요한 부분만 따로 확인이 가능하도록 추출 	<p>100%</p>

연차별 연구목표	연차별 수행결과	달성도
<p>[2년차: 2022년]</p> <p>영상 기반 다성분 동시분석 양분농도- 측정디바이스 시제품 설계, 제작 및 작동 성능평가</p>	<p>① 다항목 동시 분석을 위한 다중 분석키트를 삽입할 수 있는 어레이 구조가 포함된 디바이스 시제품 설계</p> <ul style="list-style-type: none"> • ESP32-CAM 모듈 기반 무선 영상 취득 시스템, RGB 특성별 흡광도 계측 위한 광원 특성 조절 수행, WIFI 무선 모듈 연동을 통한 측정영상 실시간 전송 시스템 구현 • 하우징은 항목 추가 가능한 구조로 설계 <p>② 인공지능 영상분석 기술에 적합한 분석키트 카트리리지 제작</p> <ul style="list-style-type: none"> • 카트리리지의 기계적 가공성 및 내화학성을 고려하여 최종 HDPE 또는 LDPE로 선정 • 액체시약용, 분말시약용 및 캡 3가지 카트리리지로 구성 • 나사구조를 부여하여 다단 카트리리지 가능하도록 제작 <p>③ 다항목 동시 분석을 위한 다중 분석키트를 삽입할 수 있는 어레이 구조가 포함된 디바이스 시제품 제작</p> <ul style="list-style-type: none"> • 영상인식 촬영 모듈은 영상의 크기가 1024 * 762 Pixel로 저장, 전송속도는 1Hz, 압축방식은 JPEG로 제작 • 무선통신 기능이 포함된 신호처리보드의 무선통신 지원 목록은 802.11b/g/n으로, 광원컨트롤 인터페이스는 I2C로 제작 • 전원부 소요전력은 Deep-sleep 6mA@5V, Moderm-sleep 20mA@5V, Light-sleep 6.7mA@5V로 구성하여 제작 • 구동 프로그램의 영상처리 알고리즘은 세로/가로방향 최대 light intensity를 대표 light intensity로 설정하고 영역의 kernel size를 10x10으로 하는 영역을 추출하여 Gray scale을 추출 후 평균값을 산출 • 구동 프로그램 보완 버전 주요 기능은 RGB 채널별 히스토그램 산출 및 도시, 정보처리 대상 영역의 평균 Intensity, 최고 Intensity 및 최고 Gray level 산출 <p>④ 시제품 작동 성능 평가 및 보완</p> <ul style="list-style-type: none"> • 다중 분석키트 측정에 적합한 어레이 구조 성능 평가에서는 Mg^{2+}를 제외한 항목에 대하여 0.99 이상의 결정 계수를 보였음 • 신호처리보드 성능평가를 위해 데이터 저장 및 실시간 채널을 분리하였고, 미지시료의 대한 Validation test 결과 대부분 항목에서 0.99 이상의 결정계수를 보였음 • 구동프로그램 성능평가를 위해 표준 흡광도 측정 장치와 비교한 결과 전 항목에서 0.98 이상의 결정계수를 보였음 	<p>100%</p>

연차별 연구목표	연차별 수행결과	달성도
<p data-bbox="236 902 443 936">[3년차: 2023년]</p> <p data-bbox="236 987 504 1272">진단, 평가, 처방 프로그램 및 데이터베이스와 연동할 수 있는 무선통신 기반 화학분석 시스템의 디지털 공유기술 개발</p>	<p data-bbox="523 203 1098 230">① 시제품과 연동하는 디지털 공유시스템 개발</p> <ul data-bbox="544 248 1326 981" style="list-style-type: none"> • 기존(1단계)에서 1세트 분석으로 진행하던 프로그램을 다중 분석이 가능하도록 6세트 동시분석 가능한 형태로 개선 • 프로그램 구동 간 정보처리 시간 지연을 감소시키고, 분석 데이터 저장 기능 등을 개선 • 3년차 공동연구기관에서 개발한 색 보정 알고리즘 적용 • 진단, 평가, 처방 프로그램 및 데이터베이스와 연동할 수 있는 토양현장진단모드를 추가하여 향후 휴대용 현장진단과 연동(Open API) 가능하도록 함 • 데이터 저장용 서버 구축 • 사용자가 App.을 통하여 측정-디바이스를 조작, 측정하여 시료의 농도를 구할 수 있도록 편리한 사용자 UI 구성 • 광원(LCD) 안정화 시간 화면 및 기능 구현 • 시료를 측정하면, 각 이온별 내장된 검량식에 의해 측정 농도값 표기되도록 개별이온분석모드 구성 • 휴대용과 현장진단과 연동이 가능하여 진단, 처방이 가능한 토양현장진단모드 구성 <p data-bbox="523 994 858 1021">② 디지털 공유시스템 평가</p> <ul data-bbox="544 1039 1326 1249" style="list-style-type: none"> • 농도 분석 프로그램 및 Open API를 통한 농도 분석 전 과정 테스트로 안정적인 프로그램 운영 확인 • CPU 메모리 점유율 산출 및 서버 stress 평가 등으로 시스템 운영에 따른 서버 안정성 평가 초당 1회 요청시 부하율 73% 유지 <p data-bbox="523 1263 1233 1290">③ 전처리 과정 현장 운영을 위한 현장 분석-플랫폼 제작</p> <ul data-bbox="544 1308 1326 1473" style="list-style-type: none"> • 토양 및 식물체 시료의 편리한 전처리를 위해 공동연구기관에서 제안한 결과를 바탕으로 분석-플랫폼을 설계/제작 • 알루미늄 가방 형태의 케이스에 관련 전처리 기구를 고정도 쿠션에 장착할 수 있는 구조로 제작 <p data-bbox="523 1487 1166 1514">④ 디지털 공유시스템이 적용한 시제품 개선점 보완</p> <ul data-bbox="544 1532 1326 1973" style="list-style-type: none"> • 다중 동시 측정 방식에 따른 큐벳+LCD보드 일체형 디바이스 모듈 간의 돌출부 제거로 내부 간섭 배제 및 소형화를 고려한 설계 및 개선 제작 • 6세트 동시 촬영 시 한 화면 확보를 위한 광각렌즈(160도) 적용으로 촬영 최소 거리 축소와 이에 따른 소형화 구현 • 광각에 의한 왜곡현상을 줄이기 위한 디바이스 모듈 각도 최적화 • 동일 시료 대상 100회 연속 측정으로 영상 시스템의 히스테리시스 평가에서 G 채널 변수가 편차 일부 발생 확인 및 보정 방법 보완 필요성 확인 	<p data-bbox="1347 1077 1406 1104">95%</p>

(2) 공동연구기관 : 충북대학교 산학협력단

연차별 연구목표	연차별 수행결과	달성도
<p>[1년차: 2021년]</p> <p>영상 기반 양분농도 결정 최적 알고리즘과 관련 촬영조건 설정을 위한 관리자 프로그램 개발과 토양 식물체 중 주요 양이온의 선택적 신속 현장분석 키트 개발 및 화학분석법 최적화</p>	<p>① 영상 기반 양분농도 결정 최적 알고리즘 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> • 3가지 수식(2차 다항식, 2차 멱급수, 사인 합)을 기반으로 양분 농도 분석 진행 • LED 작동 후 안정화 시간 후에 영상을 취득 • 허프 변환 알고리즘을 사용하여 원형 시료 이미지 추출 및 추출한 원의 외각선을 기반으로 하여 cropping 진행 • Cropping 된 이미지를 R채널, G채널, B채널 이미지로 분리 후 각 채널별 히스토그램 기법 적용 • 각 이온별 농도에 따른 히스토그램 peak 점 추출하여 회귀 분석 진행 <p>② 영상 촬영조건 설정을 위한 관리자 프로그램 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> • ESP32-CAM 카메라에서 설정할 수 있는 영상 촬영 조건에 대해 분석 및 영상 분석 알고리즘과 연동 • ESP32-CAM에서 지원하는 기능을 추가하여 화면 UI 구성 및 기능 연동을 통해 촬영 조건을 변경하여 촬영 가능하도록 관리자 프로그램 개발 • 표준용액 영상을 추가하여 실시간 보정 가능 • 노이즈를 줄일 수 있는 Shutter speed를 결정하는 알고리즘 분석. Shutter speed를 ± 1ms 범위에서 조절할 수 있는 기능 추가 및 관리자 프로그램에 연동 • 실시간 Shutter speed 모니터링을 위해 관리자 프로그램에 데이터베이스 로깅 기능 연동 <p>③ 인공지능 영상분석 촬영조건 최적화</p> <ul style="list-style-type: none"> • 분석키트의 RGB 분석을 위한 color bar 제작 <p>④ 인공지능 영상분석에 적합한 토양 및 식물체 양이온 분석키트 개발 및 화학분석법 최적화</p> <ul style="list-style-type: none"> • 대상 양이온 5종(Na^+, Mg^{2+}, Ca^{2+}, NH_4^+, K^+)에 대한 신속 화학분석법 정립 • 토양 및 식물체 양이온 5종 분석을 위한 농도범위 확인 및 시약 특성, 카트리지 디자인 구상을 통한 화학분석 키트화 방법 및 조작성 설계 • 토양 및 식물체 양이온 5종 분석 감도 및 선형성 평가를 위한 검량선 검정 • 인공지능 영상 기반 신속 화학분석법의 분석 감도 및 적합도 확인 • 대상 양이온 5종에 대한 분석 재현성과 방해이온 효과, 간섭효과 평가 및 제거를 통한 분석법 최적화 	<p>100%</p>

연차별 연구목표	연차별 수행결과	달성도
<p>[2년차: 2022년]</p> <p>토양 및 식물체 신속 현장분석을 위한 화학분석 전처리 분석-플랫폼 개발 및 주요 음이온의 선택적 신속 현장분석 키트 개발, 화학분석법 최적화</p>	<p>① 토양 및 식물체 현장 전처리 방법 개발 및 표준화</p> <ul style="list-style-type: none"> • 토양 및 식물체 색소 추출이 적고 분석 대상을 포함하지 않으며 토양 교질 및 유기물의 교환태 이온들을 비례적으로 추출할 수 있는 유기산 추출액의 적용성 확인 • Hand Shaking법, 볼텍싱 추출법에 대해 실험실 추출법(1시간 교반) 대비 추출능 및 적용성 확인 • 토양 및 식물체 실험실 추출 과정법을 참고하여 간편하게 사용 가능한 절편 시료 채취기, 식물체 티슈 그라인더, 0.45 μm 멤브레인 필터 등 여과 방법 제시 • 전처리 작업 단계, 작업 요소, 필요한 도구 분석 및 제시 • 실험실 분석 수준에 달하는 분석을 위해 대표성 높은 시료 채취 방법 및 도구, 칭량 및 수분함량 결정법, 균질화 방법, 추출법 제시 <p>② 토양 및 식물체 전처리 과정 현장 운영을 위한 현장 분석-플랫폼 설계</p> <ul style="list-style-type: none"> • 현장 사용에 적합하며 분석 정확도를 높이기 위한 스테인리스 혹은 PP재질의 경량의 절편기 설계 • 편리하고 신속하게 현장에서 사용 가능하며 정확한 분석을 위해 감압 진공 펌프와 0.45 μm 멤브레인 필터를 사용한 여과 기구 제시 • 다중 분석키트 측정 어레이 분석을 위한 입력 데이터 설계 <p>③ 인공지능 영상분석에 적합한 토양 및 식물체 음이온 분석 키트 개발 및 화학분석법 최적화</p> <ul style="list-style-type: none"> • 대상 음이온 5종(Cl^-, SO_4^{2-}, NO_3^-, $H_2PO_4^-$, NO_2^-)에 대한 신속 화학 분석법 정리 • 토양 및 식물체 양이온 5종 분석을 위한 농도범위 확인 및 시약 특성, 카트리지 디자인 구상을 통한 화학분석 키트화 방법 및 조작성 설계 • 인공지능 영상 기반 신속 화학분석법의 분석 감도 및 적합도 확인 • 대상 음이온 5종에 대한 분석 재현성과 방해이온 효과, 간섭효과 평가 및 제거를 통한 분석법 최적화 • 카메라모듈과 광원 모듈 통합을 통한 초단말 프레임 구성 및 무선통신 모듈 연동 신호 감도 개선을 위한 안테나 하우징을 완료하고, 실시간 영상 취득 모듈 테스트 및 인공지능 모듈 구동 테스트 수행 • 시제품에 채택된 모듈과 100% 호환 가능한 Espressif ESP32-DevKitC의 활용 및 Tensorflow lite 기반 이온 농도 분석 플랫폼을 설계함 	<p>100%</p>

연차별 연구목표	연차별 수행결과	달성도
<p>[3년차: 2023년]</p> <p>인공지능 영상분석 기술과 표준 화학분석법 간의 오차 보정 모델 개발 및 최적화와 현장 신속분석 키트 및 분석-플랫폼 시스템의 영농형태, 재배 작물에 따른 적용성 검정 및 보완</p>	<p>① 표준분석법과 인공지능 영상분석 기술 간의 농도 보정 알고리즘 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> • Blank Slot의 white noise 제거를 위해 100회 측정된 레퍼런스 데이터를 확보하고 이를 기준으로 보정비를 산출하여 Slot 별 RGB 감도 조절(보정)을 설계 반영함 • 기존 표준분석법의 표준액 농도와 영상 이미지에서 산출된 RGB 간의 선형 회귀분석에서 표준액 스펙트럼에서 계산된 이상적인 RGB와 영상 이미지에서 산출된 RGB 간의 선형 회귀 분석으로 변경하여 적용함 • Kernel 사이즈를 4~25까지 변화시켜 최적의 결정계수 탐색 • 농도 보정 알고리즘의 과정은 영상 취득 후, 채널 분리, 커널 탐색, 각 Slot별 Blank에 의한 보정비 적용 흡수 스펙트럼에서 산출된 RGB간의 선형 회귀계수 산출, 인공지능 모델 적용으로 대리 흡광도를 산출하고 검량식을 적용하여 농도 확정함 <p>② 표준액을 사용한 시제품의 적용성 검증</p> <ul style="list-style-type: none"> • 결정계수(R^2)의 경우, 양이온은 0.95 이상, 음이온은 0.93 이상으로 대체로 높게 나왔음 • 검출한계의 경우, 양이온이 NH_4^+를 제외하고 5~7배, 음이온은 NO_3^-가 약 7배로 나타났고 나머지는 표준분석법과 유사한 수준으로 현장 농도분석을 수행하기에 충분 판단 <p>③ 토양/식물체 시료의 농도분포 비교로 시제품의 적용성 검증</p> <ul style="list-style-type: none"> • 토양시료 및 식물체 시료들의 양이온 및 음이온의 농도분포 결과에서 표준분석법과 유사한 농도분포를 보였음 <p>④ 표준분석법 대비 이미지분석법의 신뢰도 평가</p> <ul style="list-style-type: none"> • 결정계수(R^2)의 경우, 양이온은 Mg^{2+}를 제외하고 0.95 이상으로 음이온은 0.85~0.99 수준이었음 • 분석오차의 경우, 양이온은 Mg^{2+}를 제외하고 5~10% 수준으로, 음이온은 10~20% 수준이었음 • 분석오차가 큰 항목은 스펙트럼 특성 혹은 입자형성에 따른 빛의 산란효과에 기인한 것으로 판단됨 <p>⑤ 이미지 분석법의 신뢰도 향상을 위한 개선방안</p> <ul style="list-style-type: none"> • 스펙트럼 특성을 기반으로 각 이온별 감도가 가장 높은 RGB값을 최대로 반영할 수 있는 광학계 최적화 • 대량시료 기반 인공지능 이미지 분석 알고리즘의 고도화 • 농도 낮은 시료의 오차 발생을 줄이기 위한시료 추출액 변경, 추출비율 조절 필요 • 빛에 의해 산란이 발생하는 해당 분석법은 새로운 화학반응법 개발이 필요함 	<p>95%</p>

2) 정량적 연구개발성과

< 정량적 연구개발성과표 >

(단위 : 건, 천원)

성과지표명	연도		1단계 (2021~2022)	2단계 (2023~2023)	계	가중치 (%)
	전담기관 등록·기탁 지표 ¹⁾	논문 (비SCI)	목표(단계별)	1	1	2
실적(누적)			1	1	2	
특허		목표(단계별)	2	2	4	
		실적(누적)	2	2	4	25
학술발표		목표(단계별)	3	3	6	
		실적(누적)	8	4	12	15
연구개발과제 특성 반영 지표 ²⁾	기술실시 (이전)	목표(단계별)		1	1	
		실적(누적)	2	3	5	15
	기술료	목표(단계별)		2,000	2,000	
		실적(누적)		2,500	2,500	
	사업화 (제품화)	목표(단계별)	1	3	4	
		실적(누적)	2	2	4	30
	매출액	목표(단계별)				
		실적(누적)	1,276	42,717	43,993	
	사업화 (고용창출)	목표(단계별)		1	1	
		실적(누적)		2	1	15
계	목표(단계별)	7	11, 2,000	18, 2,000		
	실적(누적)	15, 1,276	14, 45,217	29, 46,493	100	

< 연구개발성과 성능지표 >

평가 항목 (주요성능 ¹⁾)	단위	전체 항목에서 차지하는 비중 ²⁾ (%)	세계 최고		연구개발 전 국내 성능수준	연구개발 목표치 및 결과				목표설정 근거
			보유국/보유기관	성능수준		1단계 (2021~2022)		2단계 (2023)		
						목표	실적	목표	실적	
1 토양식물체 Na ⁺ 분석 오차율	%	10	해당사례 없음		해당사례 없음	15%		10%	20%	선행예비분석 결과준용
2 토양식물체 K ⁺ 분석 오차율	%	10	독일/Merck 수질분석키트 기준	10%	해당사례 없음	15%	8%	10%	6%	선행예비분석 결과준용
3 토양식물체 NH ₄ ⁺ 분석 오차율	%	10	독일/Merck 수질분석키트 기준	10%	해당사례 없음	15%		10%	12%	선행예비분석 결과준용
4 토양식물체 Ca ²⁺ 분석 오차율	%	10	독일/Merck 수질분석키트 기준	10%	해당사례 없음	15%	11%	10%	9%	선행예비분석 결과준용
5 토양식물체 Mg ²⁺ 분석 오차율	%	10	독일/Merck 수질분석키트 기준	10%	해당사례 없음	15%	15%	10%	21%	선행예비분석 결과준용
6 토양식물체 NO ₃ ⁻ 분석 오차율	%	10	독일/Merck 수질분석키트 기준	10%	해당사례 없음		9%	10%	16%	선행예비분석 결과준용
7 토양식물체 H _n PO ₄ ⁻ 분석 오차율	%	10	독일/Merck 수질분석키트 기준	10%	해당사례 없음		4%	10%	10%	선행예비분석 결과준용
8 토양식물체 Cl ⁻ 분석 오차율	%	10	해당사례 없음		해당사례 없음			10%	17%	선행예비분석 결과준용
9 토양식물체 SO ₄ ²⁻ 분석 오차율	%	10	해당사례 없음		해당사례 없음			10%	22%	선행예비분석 결과준용
10 토양식물체 NO ₂ ⁻ 분석 오차율	%	10	독일/Merck 수질분석키트 기준	10%	해당사례 없음			10%	10%	선행예비분석 결과준용

※ 1단계에서는 토양 및 식물체 분석항목 중 1단계에서 분석법 최적화가 완료된 NO₃⁻, H_nPO₄⁻, K⁺, Ca²⁺ Mg²⁺ 분석법에 대한 오차율 검증을 측정디바이스와 표준액으로 진행함

※ 오차율은 각 분석항목의 최대측정범위에 대한 오차의 백분율로 계산함

3) 세부 정량적 연구개발성과

① 과학적 성과

- 논문(국내외 전문 학술지) 게재

번호	논문명	학술지명	주저자명	호	국명	발행기관	SCIE ¹⁾ 여부 (SCIE/비SCIE)	게재일	등록번호 (ISSN)	기여율
1	Compositional Characteristics of Major Inorganic Anions in Soil and Plant Water Extracts from Various Farmlands	Korean Journal of Soil Science and Fertilizer	꼭 프로스	55(4)	대한민국	한국토양비료학회	비SCIE	2022.11.08	0367-6315	100
2	흡광도 대리 변수 정량화를 위한 영상처리기반 다중분석시스템 개발	Journal Agriculture Science Research, Chungbuk Nat'l Univ	이정규	39(2)	대한민국	충북대학교 농업과학 기술연구소	비SCIE	2023.08.11	0000-0000	100

※ 성과증빙자료 별첨 4 참조

- 국내 및 국제 학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표자	발표 일시	장소	국명
1	(사)한국농업기계학회/2021년 춘계공동학술대회	전진택	2021.04.30	국립농업과학원 농업공학부 강당	대한민국
2	(사)한국농업기계학회/2021년 춘계공동학술대회	주우혁	2021.04.30	국립농업과학원 농업공학부 강당	대한민국
3	(사)한국농업기계학회/2021년 추계공동학술대회	주우혁	2021.10.27	소노벨 제주	대한민국
4	(사)한국농업기계학회/2021년 추계공동학술대회	전진택	2021.10.27	소노벨 제주	대한민국
5	2021년도 한국토양비료학회/ 제53차 총회 및 정기학술대회	김경영	2021.11.18	변산 소노벨 리조트	대한민국
6	8th International Symposium on Soil Organic Matter	김경영	2022.06.27	서울 그랜드 워커히	대한민국
7	2022 한국토양비료학회 / 제54차 총회 및 정기학술대회	김경영	2022.10.20	소노캄 제주	대한민국
8	Proceedings of the KSAM & ARCs 2022 Autumn Conference	이정규	2022.11.02	대구 exco 컨벤션센터 서관 3층	대한민국
9	한국농업기계학회 / 2023년 춘계학술대회 초록집	이정규	2023.04.27	KT대전인재개발원	대한민국
10	한국토양비료학회 / 제55차 총회 및 정기학술대회	이상필	2023.10.25	부안 소노벨 변산리조트	대한민국
11	한국토양비료학회 / 제55차 총회 및 정기학술대회	꼭 프로스	2023.10.25	부안 소노벨 변산리조트	대한민국
12	한국농업기계학회 / 2023년 추계학술대회 초록집	이정규	2023.11.02	여수 히든베이 호텔	대한민국

※ 성과증빙자료 별첨 5 참조

② 기술적 성과

- 지식재산권(특허, 실용신안, 의장, 디자인, 상표, 규격, 신제품, 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	마커 및 카메라를 구비한 정량분석장치 및 그를 이용한 정량분석 시스템	대한민국	(주)테크넬, 충북대학교 산학협력단	2022.10.26	10-2022-0139259					100	X
2	분광광도법을 이용한 토양 pH의 측정방법	대한민국	(주)테크넬, 충북대학교 산학협력단	2022.10.26	10-2022-0139260					100	X
3	습윤 토양의 유효부피 측정 기구 및 이를 이용한 질량기준 토양 수분함량 간편 측정 방법	대한민국	(주)테크넬, 충북대학교 산학협력단	2023.11.29	10-2023-0169257					100	X
4	영상 분석을 위한 대리 흡광도 측정 시스템	대한민국	(주)테크넬, 충북대학교 산학협력단	2023.11.29	10-2023-0169255					100	X

○ 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	√	√								

※ 성과증빙자료 별첨 6 참조

③ 경제적 성과

• 기술실시(이전)

번호	기술 이전 유형	기술 실시 계약명	기술 실시 대상 기관	기술 실시 발생일	기술료 (해당 연도 발생액)	누적 징수 현황
1	전용실시권	광각렌즈 스파셜 광감도 보정을 위한 셔터 스피드 조작 기술	(주)테크넬	2023.07.17	2,500	2,500

※ 성과증빙자료 별첨 8 참조

• 사업화 현황

번호	사업화 방식 ¹⁾	사업화 형태 ²⁾	지역 ³⁾	사업화명	내용	업체명	매출액	매출 발생 연도	기술 수명
							국내 (천원)		
1	자기실시	신제품 개발	국내	Ca-01-P	식물체 및 토양내 수용성 칼슘이온 분석을 위한 분석키트	(주)테크넬	12,599	2022	10년
2	자기실시	신제품 개발	국내	Mg-01-P	식물체 및 토양내 수용성 마그네슘이온 분석을 위한 분석키트	(주)테크넬	13,857	2022	10년
3	자기실시	신제품 개발	국내	NH4-01-P	식물체 및 토양내 수용성 암모늄이온 분석을 위한 분석키트	(주)테크넬	13,637	2023	10년
4	자기실시	신제품 개발	국내	Na-01-P	식물체 및 토양내 수용성 나트륨이온 분석을 위한 분석키트	(주)테크넬	3,900	2023	10년

- * 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)		
Ca-01-P	2022	12,599		12,599	세금계산서
Mg-01-P	2022	13,857		13,857	세금계산서
NH4-01-P	2023	13,637		13,637	세금계산서
Na-01-P	2023	3,900		3,900	세금계산서
합계		43,993		43,993	

□ 사업화 계획 및 무역 수지 개선 효과

성과		분석키트 제품화		
사업화 계획	사업화 소요기간(년)	1년		
	소요예산(천원)	30,000		
	예상 매출규모(천원)	현재까지	3년 후	5년 후
		40,347	100,000	500,000
	시장 점유율	단위(%)	현재까지	3년 후
국내				
국외				
향후 관련기술, 제품을 응용한 타 모델, 제품 개발계획		수경재배 양액 및 배액 분석용 분석키트		
무역 수지 개선 효과(천원)	수입대체(내수)	현재	3년 후	5년 후
	수출	-	-	-

□ 고용 창출

순번	사업화명	사업화 업체	고용창출 인원(명)		합계
			2023년	2024년	
1	사업화지원	(주)테크널	2	-	2
합계			2	-	2

※ 성과증빙자료 별첨 9 참조

□ 고용 효과

구분			고용 효과(명)	
고용 효과	개발 전	연구인력		2
		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)	명칭	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					

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

포상 및 수상 실적

번호	종류	포상명	포상 내용	포상 대상	포상일	포상 기관

[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]

(4) 계획하지 않은 성과 및 관련 분야 기여사항

2) 목표 달성 수준

추진 목표	달성 내용	달성도(%)
○ 논문 (비 SCI) 2건	○ 논문 (비 SCI) 2건	○ 100
○ 특허 출원 4건	○ 특허 출원 4건	○ 100
○ 스마트등급 BB	○ 스마트 등급 X (등록 특허만 가능)	○ 0
○ 학술 발표 6건	○ 학술 발표 12건	○ 100
○ 기술실시 1건	○ 기술실시 5건	○ 100
○ 사업화(제품화) 4건	○ 사업화(제품화) 4건	○ 100
○ 사업화(고용창출) 1명	○ 사업화(고용창출) 2명	○ 100

※ 스마트등급은 특허 등록시 결정됨.

4. 목표 미달 시 원인분석

가. 목표 미달 항목에 대한 원인분석

1) 마그네슘 이온의 목표 미달 원인

- 다른 이온들의 분석방법과 달리 마그네슘 이온은 농도 증가에 따라 스펙트럼 변화가 일정 파장 영역은 증가하고 일정 파장 영역은 동시에 감소하는 특성이 있어 이미지 분석법에 다소 불리한 성질이 있는 것으로 여겨짐 이러한 이유로 큰 분석오차가 발생한 것으로 여겨짐

2) 황산이온 및 염소이온의 미달 원인

- 황산이온 및 염소이온은 탁도법에 기반한 방법으로, 입자형성에 따른 빛의 산란효과가 상대적으로 크기 때문에 다소 큰 분석오차가 나타남

3) 암모늄이온 및 질산이온

- 암모늄이온과 질산이온은 검증에 사용한 시료 중 농도가 낮은 시료의 분포가 상대적으로 많아 분석오차가 다소 목표에 미달함

나. 개선방안

- 분자 흡광 스펙트럼 특성을 최대한 활용: 각 이온별로 가장 감도가 높은 영역에 대해 RGB 이미지 값을 최대한 반영할 수 있는 광원, 카메라, 광학계 등의 구성을 최적화, 업그레이드하는 방안을 고려할 수 있음
- 인산이온에 비해 높은 검출한계를 보이는 질산이온의 경우에서와 같이, 검출한계는 대부분 개별 측정값의 정밀도와 재현성에 의해 크게 영향을 받는 것으로 여겨짐. 따라서, 이미지 분석의 감도, 정밀도를 향상 시킬 수 방안과 재현성을 확보하는 인공지능 이미지 분석 알고리즘의 고도화가 요구됨
- 정밀도와 재현성에 관련된 시료의 대표 RGB 픽셀 값들을 선정하는 과정, 노이즈 제거, 광원 및 카메라의 스펙트럴 특성, 촬영 조건의 변동에 따른 많은 변수들을 능동적으로 반영할 수 있는 대량 시료기반의 인공지능 기법의 고도화가 필요함
- 시료 농도가 낮은 이온들 및 시료들에 의해 오차가 많이 발생하는 경향이 있으므로, 가능한 시료 중 농도를 높게 유지하기 위한 추출비율의 조절, 증류수보다 강력한 단일 추출액의 적용 등의 방안을 생각할 수 있음.
- 입자 표면의 산란에 의한 크게 영향을 받는 Cl^- 와 SO_4^{2-} 의 경우는 표준분석법과 이미지분석법 모두 오차가 크게 발생하는 성질이 있으므로, 입자형성 없이 분자흡광을 이용하는 새로운 화학반응을 개발하여 적용하는 추가 연구가 필요함.

5. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

가. 연구개발성과

- 스마트농업 및 정밀농업이 확산됨에 따라 작물생육에 영향을 미치는 이온(양분)들을 현장에서 편리하게 분석할 필요성이 증대되고 있음
- 비색법에 의한 이온(양분) 분석은 전통적으로 분광광도계가 사용되어져 오고 있음
- 분광광도계는 정밀하게 분석할 수 있는 장점이 있는 반면 고가이고 비전문가가 사용하기 어려운 분석 장비임
- 본 연구에서는 카메라 영상분석 기술을 적용한 양분농도-측정 디바이스를 개발함으로써 농민도 접근 가능한 합리적인 가격의 분석시스템 구축이 가능해짐
- 다성분을 동시에 분석할 수 있는 어레이 구조를 포함한 측정 디바이스 개발로 현장에서 편리하고 짧은 시간 내에 분석이 가능해짐
- 토양 및 식물체의 주요양분 신뢰성 있게 분석할 수 있는 화학분석법을 개발함
- 이러한 화학분석법을 기반으로 한 카트리지 형태의 분석키트화로 비전문가도 현장에서 신뢰성 있게 분석할 수 있는 기반을 구축함
- 현장운동을 위한 전처리 과정 표준화 및 분석-플랫폼 설계 및 제작으로 비전문가도 좀 더 쉽게 분석하도록 함
- 6세트의 디바이스모듈로 5개의 이온(양분) 동시에 측정할 수 있는 시제품을 개발하였으며, 진단, 평가, 처방 프로그램 및 데이터베이스와 연동할 수 있는 무선통신 기반 화학분석 시스템의 디지털 공유 기술이 적용된 시제품을 개발함
- 표준액 및 토양/식물체 시료로 표준분석법과 비교하여 각각의 결정계수, 검출한계, 분석오차 등으로 적용성 검증함
- 검증 과정에서 원인분석을 통한 개선사항을 일부 보완하였으며, 향후 추가 연구에 필요한 개선방안을 도출함
- 본 과제에서 새롭게 개발된 분석키트는 기존 휴대용 분광광도계 기반 분석시스템에 적용하여 제품화하고 매출이 발생하였음

나. 관련 분야에 대한 기여

- 토양 및 식물체 양분 DB를 제공할 수 있는 무선통신 기반의 양분 분석 시스템의 개발로 스마트농업 관련 업체 및 학계와 스마트농업 생태계 구축에 기여할 수 있음
- 이를 바탕으로 토경 및 수경재배 시 양분관리 의사결정 지원시스템 구축에 기여할 수 있음
- 실제, 농촌진흥청과 경작지 현장 토양 분석결과를 근거한 양분관리 의사결정 모형인 진단 및 처방관련 휴토람 API 개방에 대한 협의가 진행 중임
(토양현장진단의 경우, 진단처방에 대한 솔루션이 휴토람에서 제공되고 있음)
- 사업화 과정에서 본 제품의 사용이 활성화 됨에 따라 진단, 처방이 더 고도화 될 수 있고, 데이터 기반의 정밀농업에 기여할 수 있음
- 수경재배의 경우, 토양 전처리 과정이 없기 때문에 사용자는 더 편리하게 적용할 수 있으나, 수경재배 배액의 분석결과로부터 진단 및 처방하는 솔루션이 없어 관련 기관과 협의를 진행 중임

- 이러한 기술이 확산되면 국내농가의 경쟁력 확보와 분석결과에 적합한 비료개발 등으로 이어질 수 있어 국내 관련 농자재 산업의 고도화, 안전 농산물 생산 및 환경오염에 대한 방지가 기대됨
- 또한, 관련 기술을 고도화하면 합리적인 가격의 수질분석용 분석시스템 개발이 가능하여 신산업 진출 및 관련 업계의 경쟁력 강화에 기여할 수 있음

6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획

가. 관리

- 1) 지속적인 연구 관련 기술 및 시장 동향 수요 조사 분석
 - 문헌조사, 우수기업방문 병행으로 효율적인 기술 조사 : 논문, 특허, 제품 동향
 - 국내/외 학술대회, 세미나 참가로 최신 기술 획득 및 적용
- 2) 실용화된 기술 및 사업화에 근사 제품을 최대한 활용하여 연구개발의 효율성을 높이며, 독자 개발 기술 및 제품에 대해 산업재산권 신속히 청구
- 3) 신속한 사업화 및 실용화 추구
 - 개발 후 바로 사업화가 가능하도록 후속 협의 체계 구축
 - > 솔루션이 기 개발된 토양현장진단에 대한 흙토람 진단 처방과 연동 추진
 - > 국립원에연구원과 수경재배 시 양분관리에 대한 솔루션 개발 추진
 - > 농협중앙회 스마트팜 사업부서와 활용 방안 협의

나. 활용계획

- 인공지능 기술에 필요한 양분 DB를 제공할 수 있는 분석시스템의 개발로 스마트농업 관련 업체 및 학계와 스마트농업 생태계 구축에 활용함
- 농가 및 일반인도 사용 가능한 제품으로, 접근 가능한 시장 확대에 따른 매출 증가
- 본사업의 평가결과를 신뢰성 자료로 활용함
- 수질분석 및 처방제 분야 신사업 진출에 활용함
- Total solution 제공 가능한 제품으로, 해외 수출에 활용함
- 수경재배 시 배액 분석 및 활용을 위한 추가 연구를 위한 기술로 활용함
- 일반 농경지에선 시비 처방을 위해 토양 시료 위주로 분석하는 시장이었지만, 연구과정에서 개발된 현장 토양 및 식물체 분석법 및 키트를 적용하여 분석 시장 확대에 활용함

< 연구개발성과 활용계획표 >

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

주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부에서 시행한 기술사업화지원사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 농림축산식품부에서 시행한 기술사업화지원사업의 연구 결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.