318105-03

이미지 상용화 기술 개발

과채류 및 과일 3차원 형상•물성

도매시장 온라인 경매 고도화를 위한

2021

농림식품기술기획평가원

농림축산식품부

보안 과제( ), 일반 과제(○) / 공개(○), 비공개( )발간등록번호(○)

첨단생산기술개발사업 2021년도 최종보고서

발간등록번호
11-1543000-003741-01

도매시장 온라인 경매 고도화를 위한 과채류 및 과일 3차원 형상•물성 이미지 상용화 기술 개발

2021.12.27.

주관연구기관 / 부산대학교 산학협력단

협동연구기관 / 넥센서 나노시스템

농림축산식품부

(전문기관)농림식품기술기획평가원

제출문

제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 "도매시장 온라인 경매 고도화를 위한 과채류 및 과일 3차원 형상·물성 이미지 상용화 기술 개발"(개발기간 : 2018.12.21 ~ 2021.09.20)과제의 최종보고서로 제출합니다.

2021.12.27

주관연구기관명 : 부산대학교 산학협력단 (대표자) 최경민 (인)
협동연구기관명 : 넥센서 (대표자) 유준호 (인)
나노시스템 (대표자) 이형석 (인)

주관연구책임자 : 김 승 철
협동연구책임자 : 유 준 호
박 범 구

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 보고서 열람에 동의합니다.

최종보고서

보안등급
일반[√], 보안[ ]

중앙행정기관명	농림축산식품부	사업명	사업명	첨단생산기술개발
전문기관명			내역사업명	
공고번호	농축2018-399호	총괄연구개발 식별번호		
		연구개발과제번호		318105-03

기술분류	국가과학기술 표준분류	LB0803	40 %	LB2002	30 %	LB2003	30 %
	농림식품과학 기술분류	CA0302	50 %	SA0103	40 %	RC0102	10 %

연구개발과제명	국문	도매시장 온라인 경매 고도화를 위한 과채류 및 과일 3차원 형상물성 이미지 상용화 기술 개발
	영문	3D optical measurement system for next generation online fruit vegetable wholesale market

주관연구개발기관	기관명	부산대학교	사업자등록번호	621-82-06530
	주소	(우) 부산광역시 금정구 부산대학로 63번길 2 (장전동, 부산대학교내)	법인등록번호	184771 -0000478

연구책임자	성명	김승철	직위	부교수
	연락처 직장전화	051-510-7421	휴대전화	
	연락처 전자우편	s.kim@pusan.ac.kr	국가연구자번호	10157399

연구개발기간	전체	2018.12.21. - 2021.09.20.(2년 10개월)
	단계 1단계	2018.12.21. - 2021.09.20.(2년 10개월)

연구개발비 (단위: 천원)		정부지원 연구개발비	기관부담 연구개발비		그 외 기관 등의 지원금				합계			연구개발비 외 지원금
					지방자치단체		기타( )					
		현금	현금	현물	현금	현물	현금	현물	현금	현물	합계	
총계		1,100,000							1,100,000		1,100,000	
1단계	1년차	300,000							300,000		300,000	
	2년차	400,000							400,000		400,000	
	3년차	400,000							400,000		400,000	

공동연구개발기관 등 (해당 시 작성)	기관명	책임자	직위	휴대전화	전자우편	비고	
						역할	기관유형
공동연구개발기관	넥센서	유준호	대표이사		jhyou@nexensor.com	공동연구개발	기업
	나노시스템	박범구	연구소장		bkpark@nanosystemz.com	공동연구개발	기업

연구개발담당자 실무담당자	성명	류하나	직위	실무담당	
	연락처 직장전화	051-510-7421	휴대전화		
	연락처 전자우편	ryu33@pusan.ac.kr	국가연구자번호	12503147	

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

2021 년 10 월 21 일

연구책임자: 김승철 (인)

주관연구개발기관의 장: (직인)
공동연구개발기관의 장: (직인)
위탁연구개발기관의 장: (직인)

농림축산식품부장관·농림식품기술기획평가원장 귀하

< 요 약 문 >

<table>
<tr><td colspan="2">사업명</td><td colspan="3">첨단생산기술개발</td><td colspan="2">총괄연구개발 식별번호
(해당 시 작성)</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">내역사업명
(해당 시 작성)</td><td colspan="3"></td><td colspan="2">연구개발과제번호</td><td>318105-03</td></tr>
<tr><td rowspan="2">기술분류</td><td>국가과학기술 표준분류</td><td>LB0803</td><td>40 %</td><td>LB2002</td><td>30 %</td><td>LB2003</td><td>30%</td></tr>
<tr><td>농림식품 과학기술분류</td><td>CA0302</td><td>50 %</td><td>SA0103</td><td>40 %</td><td>RC0102</td><td>10%</td></tr>
<tr><td colspan="2">총괄연구개발명
(해당 시 작성)</td><td colspan="6"></td></tr>
<tr><td colspan="2">연구개발과제명</td><td colspan="6">도매시장 온라인 경매 고도화를 위한 과채류 및 과일 3차원 형상·물성 이미지 상용화 기술 개발</td></tr>
<tr><td colspan="2">전체 연구개발기간</td><td colspan="6">2018. 12. 21. - 2021. 9. 20. (33개월)</td></tr>
<tr><td colspan="2">총 연구개발비</td><td colspan="6">총 1,100,000 천원
(정부지원연구개발비: 1,100,000천원, 기관부담연구개발비 : 0 천원,
지방자치단체: 0천원, 그 외 지원금: 0 천원)</td></tr>
<tr><td colspan="2">연구개발단계</td><td colspan="3">기초[ ] 응용[ ] 개발[√]</td><td>기술성숙도
(해당 시 기재)</td><td colspan="2">착수시점 기준( )
종료시점 목표( )</td></tr>
<tr><td colspan="2">연구개발과제 유형
(해당 시 작성)</td><td colspan="6"></td></tr>
<tr><td colspan="2">연구개발과제 특성
(해당 시 작성)</td><td colspan="6"></td></tr>
<tr><td>구개발 목표 및 내용</td><td>최종 목표</td><td colspan="6">▸ 본 연구는 농산물 도매시장의 온라인 활성화하기 위해서 농산물 품질을 측정·제공하는 기반 기술을 개발·연구하여, 농산물 거래에서의 정보 제공 확대를 목표로 하고 있음. “과일 및 과채류의 3차원 형상 정보 측정 및 화학적/물리적 분석이 가능한 정밀 광학 분광 시스템 구현” 하는 방법을 통해 위 목표에 접근하고, 표면/형상 측정 기술, 적외선 분광 영상화 기술 및 표면 수분 측정 기술을 포함하는 복합적인 광 기술을 기반으로 과일 및 과채류의 품질 측정 기술을 개발하고자 함.
▸ 복합적인 광 기술을 기반으로 과일 품질 측정하기 위해 세 가지 핵심 세부 목표로 접근했음
1. 백색광 간섭계 기술과 모아레 기술을 적용한 과채류 3차원 표면/형상 측정 기술 개발
2. 하이퍼 스펙트럴 이미징 기반의 과채류 표면 반사 스펙트럴 측정 분광 기술 개발
3. 테라헤르츠 레이저 기술을 적용한 과채류 표면 수분 측정 분광 기술 개발
▸ 세부 목표를 달성하기 위한 3세부 연구체계를 구축하고, 능동적이고 체계적인 공동연구를 수행하여 농산물 유통 경매 시장에서 활용 가능한 측정 시제품을 개발하는 것을 목표하였음.
▸ 개발하려는 시제품의 성능을 다음과 같이 목표함
- 단일 형상 측정 영역 : 100mm × 100mm(저배율 모아레 기준), 30mm × 30mm 이상(고배율 모아레 기준), 4mm ×</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td></td><td></td><td>4mm (백색광 간섭계 기준)
- 측정 정밀도 : 50um(저배율 모아레 기준), 50um(고배율 모아레 기준), 5nm(백색광 간섭계 기준)
- 측정 속도 : 5sec 이하(One Field of View 기준)
- 하이퍼 스펙트럴 분광 범위 : 500~1000nm
- 스펙트럴 분해능 : 5nm 이하
- 하이퍼 스펙트럴 이미징 라인 스캔 속도 : 850lines/sec
- 테라헤르츠 파 광원 측정 분광 범위 : 0.2~1.5THz
▸ 또한, 과일 및 과채류별 각 3종 이상, 과일(사과, 배, 귤 등) 및 과채류(토마토, 호박, 양파 등) 각 3종 이상에 대해 측정 데이터를 확보하고 측정값을 기반으로 한 품질에 대한 경향성을 확인 및 보고하려 함
▸ 위와 같은 연구를 진행하면서, SCI급 논문 1편 이상, 학회 발표 1건 이상의 연구성과를 목표·계획 하였음

▸ 이를 통해, 여러 단계의 물류과정에서 나타나는 유통비용을 줄이고, 농산물 도매시장 유통의 효율화를 구현할 수 있으며, 판매자가 객관적이고 검증 가능한 품질 정보를 제공하고, 소비자는 다단계 유통과정을 거치지 않고도 우수한 품질의 농산물을 온라인으로 구매할 수 있도록 품질 측정 시스템을 구현하고자 함</td></tr>
<tr><td></td><td>전체 내용</td><td><table>
<tr><td>3 차 원 표 면 / 형 상 측정 기술 개발</td><td>▸ 과일 및 과채류의 형상 정보 및 크기 표면 거칠기 등의 품질 측정을 위해, 백색광 간섭계 및 모아레 간섭계를 이용한 3차원 표면 측정 기술 연구 및 시제품 개발을 진행하였음
▸ 백색광 간섭계 기반 3차원 형상 측정 기술은 나노 미터 단위의 높은 수직 분해능을 가지면서 물질의 표면을 한 번에 측정하는 장점이 있으므로, 과일 및 과채류의 표면 거칠기 및 표면 상태를 분석하는 데에 유리함. 또한, 비접촉 된 광학식 측정을 통해 대상물과 렌즈에 물리적인 스크레치를 남기지 않으면서 품질 측정이 가능한 장점이 있음. 광학식 측정을 통해 자유 곡면 형상과 표준조도에서의 반사도 및 난반사에 대한 정보를 동시에 측정할 수 있는 장점이 있음
▸ 모아레 간섭계는 회절격자를 통해 간섭계 시스템을 간소화하고, 넓은 면적을 측정할 수 있도록 만들어 대면적의 3차원 표면 프로파일을 얻어낼 수 있다는 장점이 있음. 대량의 유통과정에서 빠른 품질 측정이 가능하므로 온라인 정보 제공에 기반이 되는 기술로 개발하는 것을 목표하였음</td></tr>
<tr><td>하 이 퍼 스펙트럼 이 미 징</td><td>▸ 초분광 영상(하이퍼 스펙트럴 이미징)은 일반 카메라 영상과 달리 가시광선 영역(400~700nm)과 근적외선 영역 (700~1,000nm) 등의 넓</td></tr>
</table></td></tr>
</table>

			<table><tr><td>기반의 과채류 표면 반사 스펙트럼 측정</td><td>은 광대역 파장대를 수백 개의 구역(band)으로 세분화하여 촬영하는 방법으로 과일 및 과채류의 흡광률에 따라 변하는 특징적인 복사 파장을 감지할 수 있음 ▸ 과일 및 과채류 표면에서의 화학적 조성 차이에 따라서 다른 복사 파장을 방출하기 때문에, 과채류 표면의 오염(농약 등), 갈변, 숙성도 등의 화학적 특징을 분석 할 수 있으며, 대면적 촬영을 통해 과일 상태를 빠르게 분석하기에 적합함</td></tr><tr><td>테라헤르츠 레이저 기술을 적용한 과채류 표면 수분 측정 분광 기술 개발</td><td>▸ 테라헤르츠(Terahertz, THz)는 마이크로파와 적외선 사이의 전자기파 영역으로 나무, 플라스틱과 같은 비이온화 물질을 투과하는 특징을 가지고 있으며, 물 분자 및 유기성분에 대해 공명하기 때문에, 투과 광 측정을 통해 유기성분 및 수분 함량 측정이 가능하다. 마이크로파와 달리, 물질을 비 파괴적으로 분석할 수 있다는 장점이 있음 ▸ 테라헤르츠파 표면측정 기술을 통해 물질의 수분 함량을 측정 및 분석하는 연구 및 시제품 개발을 진행하였음</td></tr></table>
	1단계	목표	▸ 백색광 간섭계 기술 및 모아레 측정 기술을 적용한 3차원 표면/형상 측정 기술 개발 - 백색광 간섭계 측정 원리를 적용한 과채류 표면의 거칠기 정보 측정 기술 개발 - 과채류 수분 변화량에 따른 과채류 거칠기 비교 분석 모니터링 알고리즘 개발 - 모아레 측정 기법을 적용한 과채류의 3차원 형상 측정 기술 개발 - 표면 모폴로지 변화량과 수분 변화량의 품질 비교 분석을 위해 데이터베이스 구축 - 측정영역 확장을 위한 스티칭 알고리즘 연구 ▸ 하이퍼 스펙트럴 이미징 기반의 표면 컬러 스펙트럴 측정 분광 기술 개발 - 광파장 범위 500~1000nm에서의 과채류 하이퍼 스펙트럴 측정 기술 개발 - 결맞음 광대역 레이저 광원을 이용한 과채류 스펙트럴 이미징 및 성분 비교 데이터베이스 구축 - 과채류·과일의 변질 및 부패 과정에서의 수분 감소, 화학적 조성 변화량을 감지하기 위해서 광대역 레이저 스펙트럼의 분광 모니터링 시스템 기술 개발 - 하이퍼 스펙트럴 이미징 기술 기반의 과채류 품질 비교 분석 알고리즘 개발 ▸ 테라헤르츠 레이저 기술을 적용한 표면 수분 측정 기술 개발 -반사형 테라헤르츠 레이저 이미징 측정 기술 개발 -반사형 테라헤르츠 레이저 측정 기술을 적용한 과채류 수분 분포 비교 측정 연구

			–하이퍼 스펙트럴 이미징과 상관관계 비교분석을 통한 과채류의 성분 비교분석 데이터베이스 구축
		내용	□ 과채류 광학적 표면분석 시스템 개발을 통한 과채류 외부분석 구축 (1) 백색광 간섭계 기술을 기반으로 한 과일 및 과채류 표면 형상 측정 시스템을 시제품화 하였으며, 과일 및 과채류의 경도 및 수분 상태, 표면 품질을 확인할 수 있도록 우수한 거칠기 성능을 개발하였음. (2) 1 um 이하의 우수한 거칠기 성능에서, 과일 및 과채류를 빠르게 모니터링 하기 위해 5mm×5mm 영역을 3~5초 이내에 측정할 수 있도록 개발하였음. (3) 과일의 대면적 형상 측정을 위해 모아레 간섭계를 기반으로 한 측정 모듈을 시제품화 하였음. (4) 다양한 크기와 형태를 가진 과일을 모아레 간섭계 측정 시스템을 통해 측정하였고, 많은 측정 형상의 크기나 굴곡을 한 번에 정량화하기 위해, 벡터화 및 정합 알고리즘을 개발 및 적용하였음. □ 하이퍼 스펙트럼 시스템 제작 및 빅데이터화를 통한 과채류 내부분석 플랫폼 구축 (1) 500~1000nm 광대역 파장대 및 950~1700nm 근적외선의 하이퍼 스펙터럼 측정 기술을 개발하고 시제품화 하였음. (2) 결맞음 레이저 파원 및 스펙트럼 측정기를 통해, 시스템을 안정화했으며, 100개 이상의 샘플 과일을 촬영하여 하이퍼 스펙트럼 데이터를 확보하고 분석하였음. (3) 장시간 과일이 부패함에 따라 달라지는 하이퍼 스펙트럼 이미지 변화와 과일 당도 및 화학적 구성요소에 의한 하이퍼 스펙트럼 이미지 경향을 확인하기 위해 측정데이터를 초고용량으로 확보하였으며, 스펙트럼 분석을 통해 경향성을 확인하였음. (4) 이미지 처리 알고리즘이 적용된 하이퍼 스펙트럼 측정 프로그램을 개발하여, 품질 측정의 기준이 되는 영역을 확인하고, 품질 특성을 분류하는 기능을 통해 완성도 있는 하이퍼 스펙트럼 과일 분석 플랫폼을 제작하였음 □ 테라헤르츠 시스템 제작 및 분석을 통한 과채류 내부분석 플랫폼 구축 (1) 반사 및 투과형 테라헤르츠 분석 시스템을 통해 과일 및 과채류의 수분 특성을 확인하였으며, 대면적 테라헤르츠 과채류 측정 시스템을 장치화 하였음 (2) 0.3 THz의 광원이 물 분자에 의해 큰 흡수율을 가지는 투과 특성을 확인하였으며, 이를 통해, 수분 함량이나, 불순물에 의한 품질 저해요인을 검출하였음

연구개발성과	▸ 표면/형상 측정 기술, 적외선 분광 영상화 기술 및 표면 수분 측정 기술 등 복합적인 광 기술을 바탕으로 농산물의 품질을 측정하는 네 개 계측 장치를 시제품화 함. –백색광 간섭계 기반 표면측정 시스템 –모아레 간섭 기반 3차원 형상측정 시스템 –하이퍼 스펙트럴 이미징 기반 표면 스펙트럴 측정 시스템 –테라헤르츠 레이저 기반 표면 수분측정 시스템 ▸ 광 계측 기술을 기반으로 한 원천 기술로 연구 기간 내 4건의 특허 출원과 2건의

	특허 등록 ▸ 나노 구조를 이용해 광 계측의 효율을 향상시키는 기반 기술 연구를 바탕으로 SCI 저널 “Sensors” 에 논문 1건 게재함 ▸ 국제 광 기술 학회인 CLEO: QELS Fundamental Science 2020에서 연구성과 발표 ▸ 과일 표면 및 스펙트럼 측정 장치 시제품의 사업화를 위해 기술 이전 1건 진행
연구개발성과 활용계획 및 기대 효과	<경제적 측면> 과일 및 과채류의 유통단계에서 다양한 품질정보를 제공할 수 있도록 원천 기술을 개발함으로써, 온라인 및 비대면 농산물 상거래에서 상품에 대한 신뢰성 있는 정보 제공이 가능해질 것으로 예상함. 농산물의 도매 유통은 현장 품질 확인하는 절차를 걸쳐 지역 농산물 도매시장에서 이루어지기 때문에, 온라인 농산물 품질정보 제공은 농산물 거래에서 여비 및 기타 유통 발생 비용을 줄일 수 있음. 또한, 농산물의 온라인 유통 활성화에 큰 도움이 될 것으로 예상함 <기술적 측면> 형상 측정 기술, 하이퍼 스펙트럴 이미징 및 테라헤르츠 이미징 기술 등 광 계측 영상화 기술은 과일/과채류 측정에서뿐만 아니라 자동화를 추구하는 다양한 산업 현장에서 머신비전 및 품질 측정 방법으로 채택될 수 있음. 다양한 광계측 시스템을 동시 적용한 복합적이고 고도화된 기술 개발은 서로 다른 측정 속도 및 정밀도에 맞춰 상호보완하도록 알고리즘 개발 할 수 있으며, 우수한 성능 개발에 밑천이 될 수 있음 테라헤르츠 및 광 스펙트럼을 기반으로 한 영상 측정 기술 시장은 연평균 16%로 가파르게 성장하고 있으며, 세계적으로 활발한 연구개발이 이루어지고 있음. 본 연구에서 개발된 제품을 적극적으로 이용하여 연구 숙련도를 쌓으면, 농산물 분야를 포함한 다양한 산업에서 품질 측정에 관한 연구로 확장 가능할 것으로 예상함.
연구개발성과의 비공개여부 및 사유	

연구개발성과의 등록·기탁 건수	논문	특허	보고서 원문	연구시설·장비	기술요약정보	소프트웨어	표준	생명자원		화합물	신품종	
								생명정보	생물자원		정보	실물
	1	2	1									

연구시설·장비 종합정보시스템 등록 현황	구입기관	연구시설·장비명	규격(모델명)	수량	구입연월일	구입가격(천원)	구입처(전화)	비고(설치장소)	ZEUS 등록번호

국문핵심어 (5개 이내)	정밀측정기술	백색광간섭계 기술	하이퍼 스펙트럴 이미징	테라헤르츠 레이저	모아레 측정 기술
영문핵심어 (5개 이내)	Precision measurement technology	White light interferometer	Hyperspectral imaging	THz laser	Moire interferometer

〈 목 차 〉

1. 연구개발과제의 개요

가. 연구개발의 필요성 및 연구목표
나. 세부연구개발 개요 및 핵심기술
다. 국내외 기술개발 수준 및 시장현황

2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행내용

가. 연구개발의 추진 전략 · 방법
나. 기관별 연구개발 내용 및 결과
다. 연구 수행 내용
라. 연구 수행 성과
마. 연구

3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

가. 연구개발 목표
나. 연구개발 목표 달성여부

4. 목표 미달 시 원인분석(해당 시 작성)

5. 연구개발성과 및 관련 분야에 대한 기여 정도

6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획

별첨 자료 (참고 문헌 등)

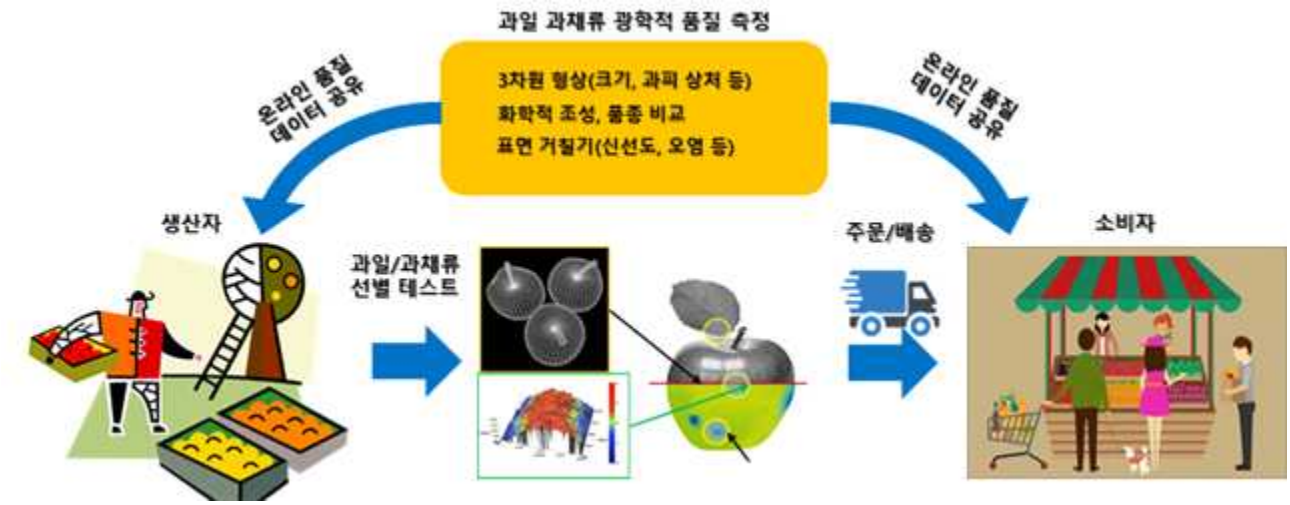
1. 연구개발과제의 개요

가. 연구개발 목적

제 1절. 연구개발의 필요성 및 연구목표

1. 연구개발과제의 개요

<산업적 측면>



< 정밀 광학 측정 원리 기반 과일·과채류의 품질 분석 및 이를 통한 온라인 거래 활성화 모식도 >

◎ 인터넷 상거래의 발달로 인해 기호 과일 및 농작물의 판매에 있어 비대면 온라인 구매에 대한 수요가 나날이 증가하고 있으며, 농산물 온라인 상거래의 경우 소량의 샘플 사진만으로 농산물의 품질을 판단해야 하는 이유로 온라인으로 농산물을 구매할 때에 상품의 품질을 판단하는 데에 어려움이 있으므로 온라인으로 농산물의 품질을 판단할만한 지표가 필요함

◎ 우리나라 농산물 도매시장은 전문적으로 상품의 품질 · 가치를 판단하고 경매하는 절차를 통해, 농산물 1차 생산자로부터 청과상 및 2차 판매자에게 합리적인 시장가격을 형성되도록 운영되고 있으며, 이러한 농산물 품질 판단 절차를 인터넷 상거래에서도 확인할 수 있다면 소비자에게 상품에 대한 신뢰도를 제공하고 성장하고 있는 온라인 수요에 대응할 수 있을 것으로 사료됨

◎ 도매시장 현장에서 직관적으로 판단할 수 있는 상품의 크기, 표면 상태, 경도 등의 품질 상태 확인 절차를 온라인에서 그대로 확인하기 위해서는 상품에 대한 품질 상태를 시각화하여 높은 편의성으로 제품 상태를 표현하는 기술이 필요함

◎ 소비자가 직접 도매시장을 방문하여 제품을 만져보거나 냄새를 맡는 등의 오프라인 확인 과정을 거치지 않고도 생산자가 측정한 농산물의 품질정보를 온라인상에서 비교하여 거래할 수 있도록 하는 체계적이고 복합적인 과일 및 과채류 품질정보 측정 기술과 데이터베이스 확보 기술이 요구됨

◎ 이러한 측정 기술과 데이터베이스 구축이 가능해지면 생산자와 소비자 간에 온라인으로 농산

물의 품질을 확인하거나 구매 및 거래할 수 있는 직거래 시스템이 활성화될 수 있을 것으로 기대하며, 이를 통해 복잡한 유통비용 문제를 해결할 수 있을 것으로 사료됨

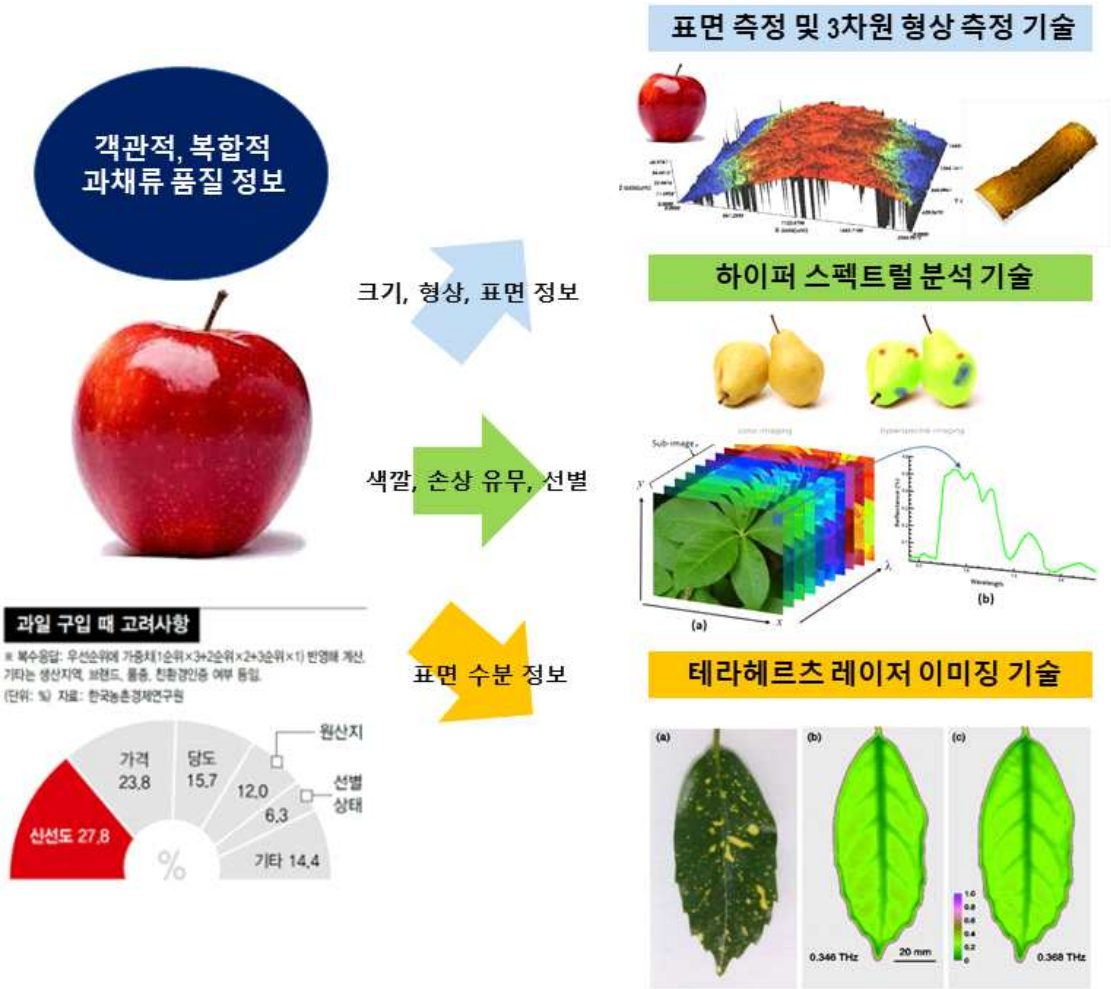
<기술적 측면>

◎ 과일 및 과채류의 품질을 판단하는 기준은 냄새, 향 등 후각에 의한 판별기준과 색깔, 크기, 표면 상태 등 시각 및 촉각에 기반을 둔 판별기준으로 나눌 수 있음. 시각 및 촉각에 의한 판별기준을 단순히 2차원 이미징 기술 (예: 컬러 사진 촬영 등과 같은 2차원 이미징 기술)로는 카메라의 해상도 및 주변 환경 차이에 따라서 과일 및 과채류의 미세한 겉보기 품질 차이나 신선도, 화학적 조성 차이 등을 판단하기 어려우며, 2차원 이미징 기술은 주변 밝기와 같은 외부 환경에 따라 왜곡된 정보를 줄 가능성이 있으므로, 객관적이고 신뢰성 있는 과채류 품질 측정 시스템이 필요함

◎ 적외선 광학기기를 이용해 과일 및 과채류의 당도를 정량적으로 측정하거나, 경도 및 수분 함량을 측정하는 기술이 기존에 이용되고 있었지만, 낱개 단위가 아닌 다량의 상품을 한 번에 판매하는 농산물 거래 특성상 기존의 측정법을 이용하기에 효율성의 문제가 있음. 또한, 과일의 경우 한 개의 상품에서도 위치마다 당도 및 성분이 차이 날 수 있으므로, 과일 및 과채류의 성분 분포를 영상화 및 시각화하는 것을 통해 구매자에게 합리적인 품질 판단 기준 제공이 필요함

◎ 과일 및 과채류의 신선도와 갈변과 같은 결함 여부에 대한 정보는 농산물 구매할 때에 가장 중요하게 고려할 사항이기 때문에, 농산물을 파손하거나 성분변화를 일으키지 않고 측정하며 실시간으로 측정 결과를 분석하고 빠르고 신뢰성 있는 정보를 제공하기 위해서는 체계적이고 고도화된 측정 시스템을 필요로 함

<연구목표>



< 과일·과채류의 다양한 품질정보를 정밀 광학 측정하여, 온라인 경매 유통시장에 활용 가능한 정보를 제공하는 시스템을 구현하고자 함 >

◎ 본 연구진은 도매시장 온라인 고도화를 위하여 “과일 및 과채류의 3차원 형상 정보 측정 및 화학적/물리적 분석이 가능한 정밀 광학 분광 시스템 구현” 을 목표하고자 하며, 도매시장 유통 효율화, 직거래 확대, 거래의 공정성 확보 및 정보 제공 확대 등 사회적 공헌 목표를 달성하기 위해서, 표면/형상 측정기술, 적외선 분광 영상화 기술 및 표면 수분 측정 기술을 포함하는 복합적인 광 기술을 기반으로 과일 및 과채류의 품질 측정 기술을 개발하는 것을 목표로 한함

◎ 최종 목표와 관련하여 아래와 같은 세 가지 핵심 세부 목표로 진행하였음

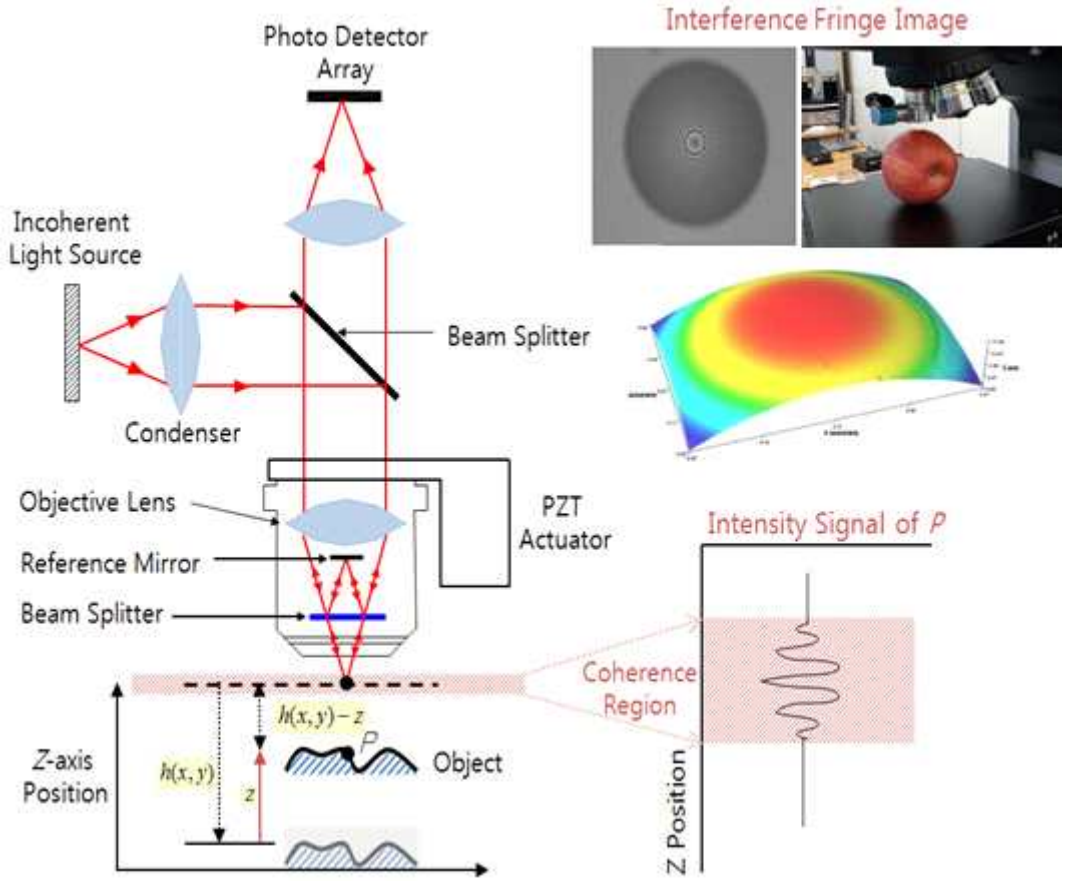
▸ 백색광 간섭계 기술과 모아레 기술을 적용한 과채류 3차원 표면/형상 측정 기술 개발
▸ 하이퍼 스펙트럴 이미징 기반의 과채류 표면 반사 스펙트럴 측정 분광 기술 개발
▸ 테라헤르츠 레이저 기술을 적용한 과채류 표면 수분 측정 분광 기술 개발

◎ 위와 같은 핵심 세부 목표를 달성하기 위한 3세부 연구체계를 구축하고, 능동적이고 체계적인 공동연구를 수행하여, 온라인 유통 경매 시장에서 활용 가능한 측정 시제품을 개발하고자 하였음

◎ 이를 통해, 여러 단계의 물류과정을 거치면서 나타나는 유통비용을 줄이고, 농산물 도매시장 유통의 효율화를 구현할 수 있으며, 판매자가 객관적이고 검증 가능한 품질 정보를 제공하고, 소비자는 다단계 유통과정을 거치지 않고도 우수한 품질의 농산물을 온라인으로 구매할 수 있는 품질 측정 시스템을 구현하고자 하였음

제 2절. 세부 연구 개발 개요 및 핵심기술

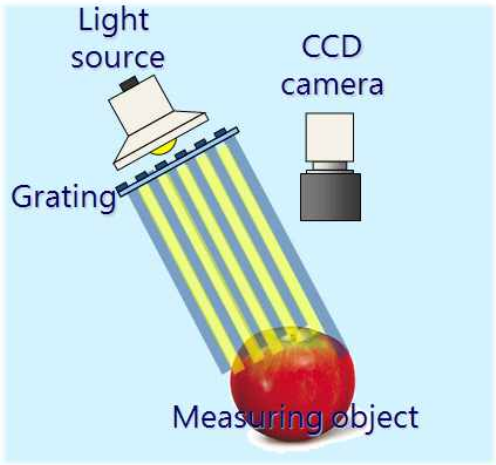
1. 백색광 간섭계 기술과 모아레 기술을 적용한 과채류 3차원 표면/형상 측정 기술 개발

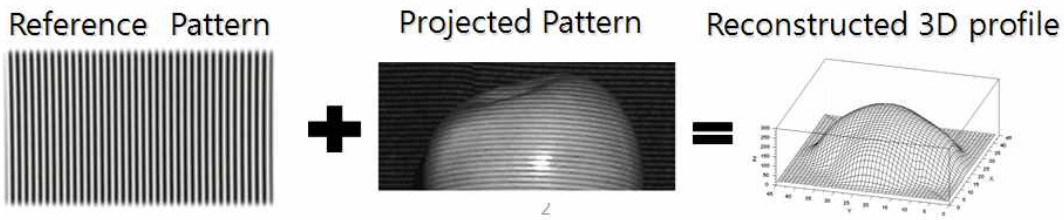


< 백색광 간섭계 기술을 적용한 과채류 3차원 표면/형상 측정 기술 개발 >

◎ 백색광 주사 간섭계 기반의 3차원 형상측정 기술은 나노미터 단위의 높은 수직 분해능을 가지면서 대면적을 한 번에 측정하므로, 접촉식 표면 형상 측정방식보다 속도가 빠르면서도 높은 수직, 수평 분해능을 유지할 수 있어 많은 수의 과채류를 측정하는 것이 가능함. 또한, 측정대상물인 렌즈에 물리적인 스크래치를 남기지 않기 때문에 과채류를 훼손하지 않으면서 품질 분석이 가능함

◎ 백색광 간섭계 이용 시 면적 단위 3D 측정으로 형상 (Form) & 표면 조도 (Roughness)를 동시 측정 할 수 있으며, 단일 Point 측정과 달리 비접촉식 면적 단위로 측정함으로써 자유곡면 형상과 ISO 기준 표면 조도를 동시에 측정하는 장점이 있으므로 사용자에게 많은 유용한 정보를 제공할 수 있음



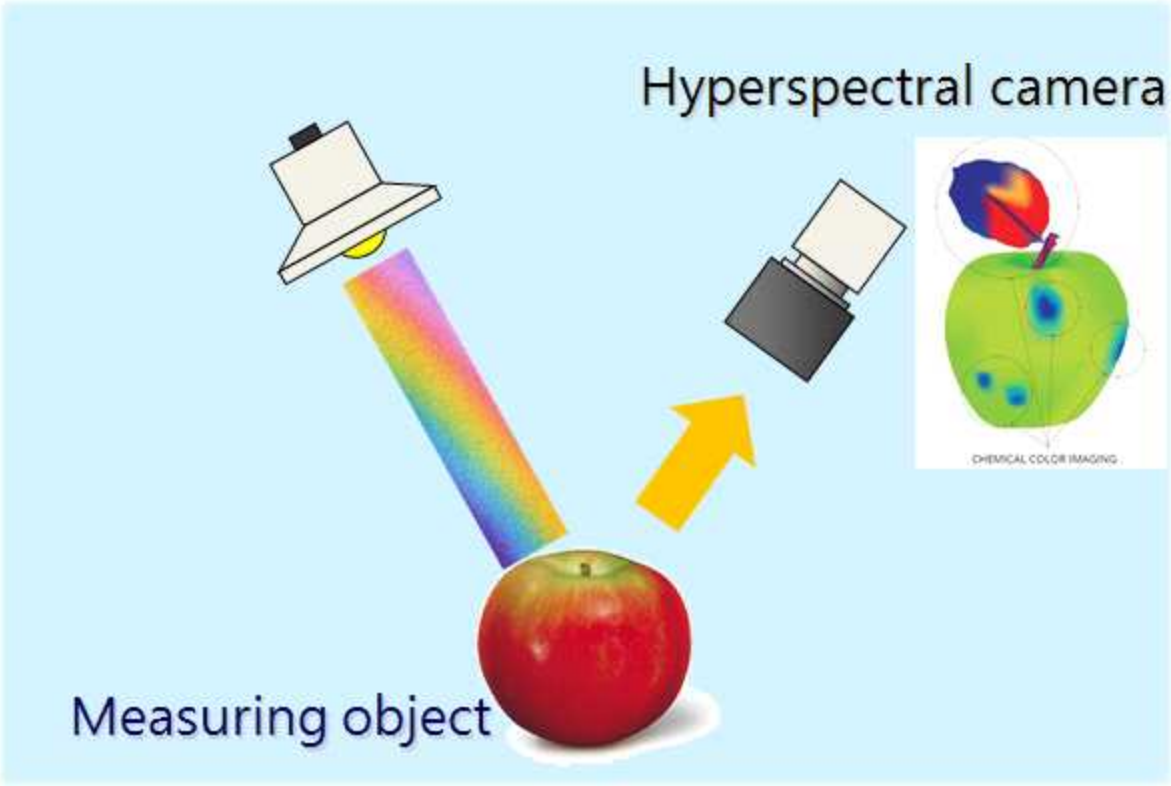


< 모아레 간섭무늬 기술을 적용한 과채류 3차원 표면/형상 측정 기술 개발 >

◎ 백색광 간섭계 기술을 보완하기 위하여 적용하는 모아레 측정 기술은 백색광 간섭계 시스템에 비해서 상대적으로 구성이 단순하고, 한 번에 더 넓은 면적을 측정할 수 있으며, 일반적인 카메라로도 시스템 구성이 가능한 장점을 갖고 있어, 향후 온라인 카메라 기술과 연동되기 용이한 장점을 갖고 있음

◎ 본 세부 연구에서는 광 위상간섭법을 모아레 무늬 해석에 적용한 위상천이 모아레간섭법(phase shifting moire Interferometry) 측정 원리를 함께 적용하여, 상대적으로 크기가 큰 과채류의 형상을 대략 먼저 측정하고, 더 정밀한 백색광 간섭계 측정이 필요한 영역을 선별적으로 모니터링 할 수 있도록 통합하여 시스템을 구현하고자 하고자 함

2. 하이퍼 스펙트럴 이미징 기반의 과채류 표면 반사 스펙트럼 측정 분광 기술 개발



< 하이퍼 스펙트럴 이미징 기반의 표면 컬러 스펙트럴 측정 기술 모식도 >

◎ 초분광 영상(하이퍼 스펙트럴 이미지 처리)은 일반 카메라 영상과 달리 가시광선 영역(400~700nm)과 근적외선 영역(700~1,000nm) 등의 넓은 광파장대를 수백 개의 구역(band)으로 세분하여 촬영함으로써 측정물체가 입사된 빛에 반응하여 내놓은 특징적인 복사파장을 감지할 수 있음

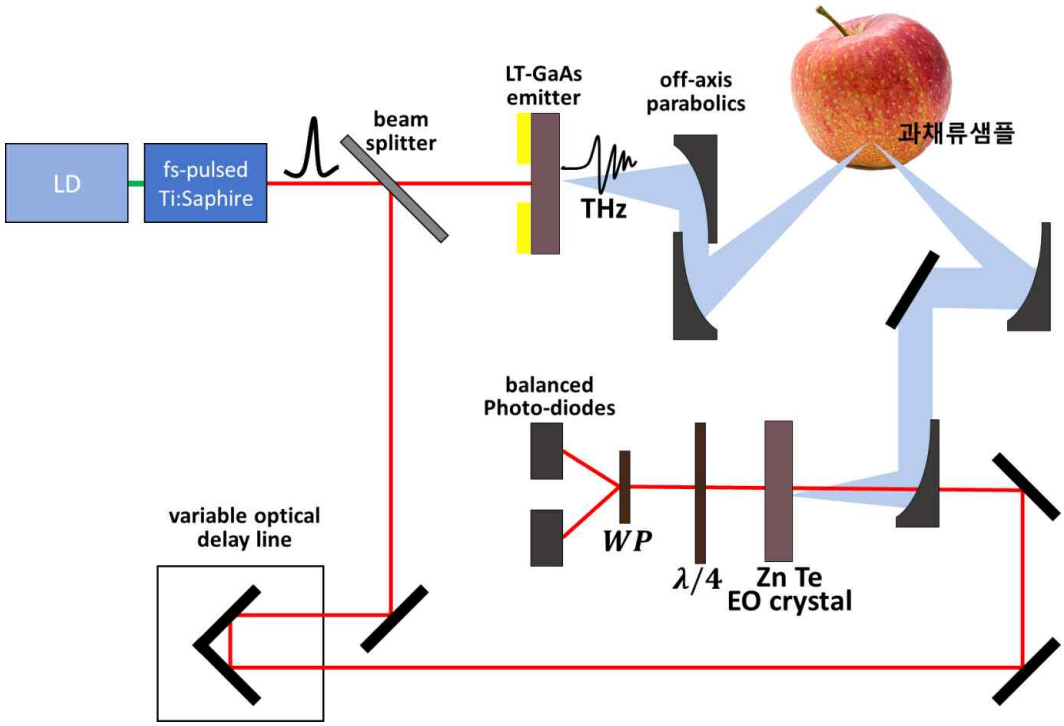
◎ 측정물체가 반응하는 복사파장은 물체 표면의 화학적 조성 차이에 따라서 다른 복사 파장을 방출하기 때문에, 과채류 표면의 오염(농약 등), 갈변, 화학적 성분 차이에 따라서 복사되는 스펙트럼 차이를 측정함으로써 일반적인 카메라로는 분간할 수 없는 화학적 조성 분석 기술로 적용 가능함

◎ 본 세부 연구에서는 광대역 스펙트럼을 갖는 안정화된 레이저 광원을 활용하여, 과일 및 과채류의 품종 및 품질 상태에 따른 주요한 화학적 성분(예:당도, 수분, 향)변화량을 스펙트럴 이미징 기술로 추출할 수 있도록 파장별 스펙트럴 분석 데이터베이스를 확보하고자 하였음

◎ 과채류의 화학적 성분 조성과 반사된 스펙트럼 사이의 상관관계를 분석함으로써, 향후 특정한 몇 가지의 단파장 레이저 광원만으로도 조성 분석이 가능한 과채류 분석 데이터베이스를 구현하였음

◎ 추가로 광학적 공간 필터링 기술을 적용하여, 외부 주변 환경(외부 조명 및 환경 밝기)에 둔감한 스펙트럼 측정 시스템을 적용하고자 한함

3. 테라헤르츠 레이저 기술을 적용한 과채류 표면 수분 측정 분광기술 개발



< 하이퍼 스펙트럴 이미징 기반의 표면 컬러 스펙트럴 측정 기술 모식도 >

◎ 전자기장은 파장의 길이에 따라 라디오(Radio), 마이크로(Micro), 테라헤르츠(Terahertz), 적외선(Infrared), 자외선(Ultraviolet), 엑스레이(X-ray), 감마선(Gamma) 영역으로 나눌 수 있으며, 이 중에서 테라헤르츠(Terahertz, THz)는 마이크로파와 적외선 사이의 영역으로 적외선 영역보다 에너지가 작으며 빛의 직진성을 가진다. 테라헤르츠 파는 나무, 플라스틱과 같은 비이온화 물질을 투과하는 특성과 금속 물질에서는 반사하는 특성을 가지고 있다. 이와 같은 테라헤르츠 대역의 특성을 이용하여, 물질을 통과/반사한 테라헤르츠(THz) 레이저의 감쇄율, 흡수율, 반사율의 차이를 바탕으로 과일 및 과채류의 표면 정보를 시각화할 경우, 하이퍼 스펙트럴 이미징 측정결과와의 비교를 통해 과일 및 과채류의 품질 상태를 분광학적으로 비교할 수 있음

◎ 테라헤르츠 대역의 레이저를 매질에 투과시켜 반사된 파와 투과된 파의 에너지 강도 값을 이용하면 과채류 표면의 수분 분포, 균열의 분포 등에 대한 정보를 확인 할 수 있으며, 이를 통해 과일 및 과채류의 표면 테라헤르츠 파 정보를 영상화하는 원천기술을 확보하고자 함

◎ 펄스 형태의 테라헤르츠파 또는 장파장의 레이저를 이용할 경우, optical coherence tomography와 같이 과채류 내부의 영상을 삼차원(입체)화하여 깊이 단위로 물성의 변화를 관찰하는 것 또한 가능함

◎ 또한, 이러한 테라헤르츠 레이저 기반의 영상화 기법으로 측정된 물성을 바탕으로, 특정 테라헤르츠 파장만을 이용하여 과채류의 품질을 선별할 수 있는 간단한 시스템으로 구성할 수 있음

제 3 절. 국내외 기술 수준 및 시장현황

○ 기술현황

1) 광간섭계 측정 기술시장

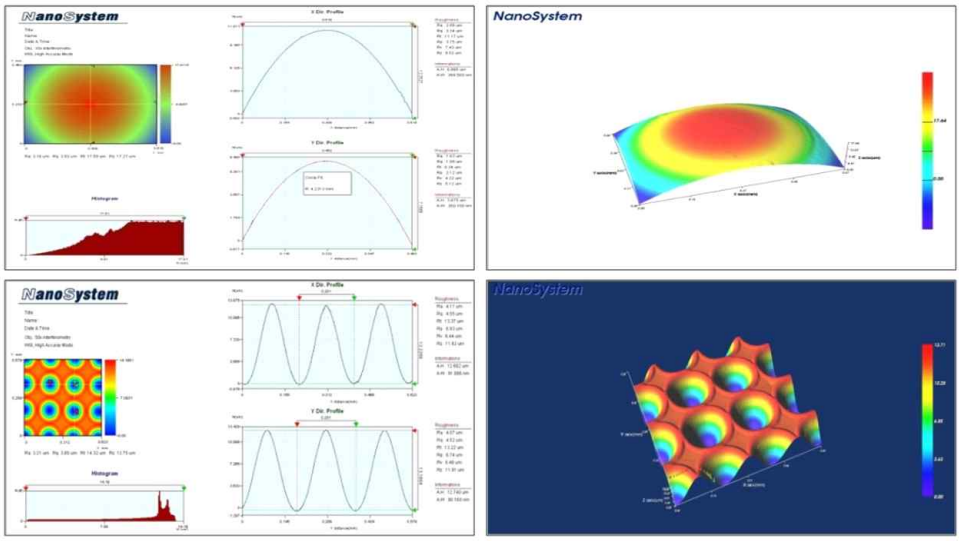
- 백색광 주사 간섭계(White Light Interferometer)는 광 기반의 3차원 형상 측정 기술로써 여타의 3차원 표면 형상 측정 기술 중 마이켈슨 간섭계 기반의 더욱 간단한 시스템 특성과 수 nm 이하의 정밀 계측의 장점이 있다. 또한, 기존의 위상천이 간섭계(Phase Shift Interferometer)와 달리 위상 모호성 없이 상대적으로 높은 단차를 측정할 수 있어 박막 두께 형상측정 및 미세표면 형상의 삼차원 측정을 비롯하여 현재 반도체 및 디스플레이 산업 분야에서 웨이퍼 및 PCB 등의 각 요소 부품의 복잡한 형상에 대한 측정, 검사 등 여러 분야에서 광범위하게 사용되고 있음

- 주식회사 나노시스템은 백색광 간섭 측정법(White Light Interferometer), 광 위상 간섭 측정법(Phase Shifting Interferometer) 등 간섭 광학계를 기반으로 하는 미세표면의 3차원 형상을 나노미터의 분해능으로 측정하는 고성능 측정 시스템 개발하여 관련 수요시장에 공급하고 있음

< 참여기관 (주)나노시스템의 백색광 간섭 미세형상 3차원 측정기 상용화 제품군 (a) 범용 백색광 간섭 미세형상 3차원 측정기, (b) FCBGA 전용 미세형상 3차원 측정기 >

- ㈜나노시스템은 광 간섭 분야에서는 국내에서 최고의 기술 수준을 확보하고 있으며 세계 유수의 광 간섭 측정 전문기업인 미국의 "Zygo"社, 독일의 "Bruker"社와 경쟁하면서 국내 시장 50% 이상을 점유하고 있음은 물론 2014년도부터 본격적으로 해외시장에 진출하기 시작하여 현재는 일본, 중국을 비롯하여 유럽시장에도 수출 실적을 올리고 있음

- [그림 7]은 (주)나노시스템의 주요 제품으로서 (a) 는 연구기관과 기업체 연구소나 개발부서, 품질부서에서 제품의 연구개발과 품질관리용으로 활용되는 범용 광 간섭 미세형상 측정기이며 (b) 는 CPU 베이스 보드인 FCBGA 판넬을 전용으로 측정하는 광 간섭 측정기이며, [그림 8]은 범용 광 간섭 미세형상 측정기로 곡률이 큰 구면 렌즈와 Micro Lens Array의 형상과 표면 조도를 측정한 결과임



< 범용 백색광 간섭 측정기로 측정한 곡률이 큰 구면 Lens와 Micro Lens Array의 곡률과 표면 조도 측정결과 >

2) 하이퍼 스펙트럴 이미징 기술

하이퍼 스펙트럴 이미징 기술은 국내에서는 주로 하이퍼 스펙트럴 카메라를 활용하는 방향으로 기술이 개발되고 있고, 국외의 경우는 응용기술 외에도 고해상도 카메라 시스템을 개발하는 연구들이 보고되고 있다. 개발된 하이퍼 스펙트럴 카메라를 활용하여, 환경 모니터링, 반도체, 우주기술 등 매우 다양한 기술 분야에서 적용되고 있으며 주요 기술현황은 다음과 같음

- 영남대학교-초분광 카메라를 이용하여 특이영역을 검출하기 위해 시뮬레이티드 어닐링 알고리즘을 채택하여 3차원 분광 데이터의 용량과 처리시간을 줄이고 밴드비(band ratio) 기법으로 밴드들의 상대적인 값을 도출하여 조명의 여부와 상관없이 특이영역을 검출하였음

- 충남대학교-수입 사과의 유통 중 발생 가능한 과피 아래의 멍을 전자증폭전하결합소자(EM CCD : Electron multiplying charge-coupled device) 카메라로 초분광 영상 촬영 후 변량분석법(ANOVA : analysis of variance)으로 494nm와 952nm 파장에서 과피의 이상 유무를 확인할 수 있는 스펙트럼 변화를 확인하여 정상 사과와 멍이든 사과를 분류하는 시스템 개발하였음

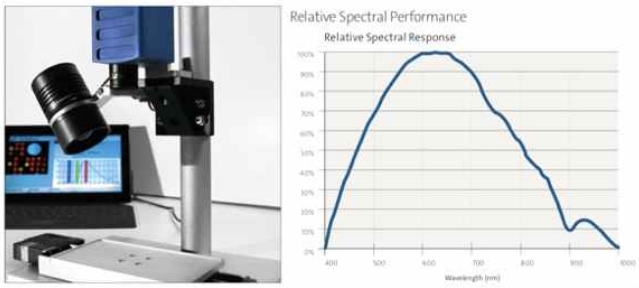
- 한국항공우주연구원-생태계 환경 분류를 위한 시스템 개발로 근접에서 지상 분광 자료 라이브러리를 통해 감자, 마늘, 우엉, 옥수수 등의 작물을 구분할 수 있는 시스템을 구축하였고 초분광 영상을 조밀항공분광영상화(CASI : Compact Airborne Spectrographic Imager) 센서로 미접근지역의 식생모니터링을 2차원 이미지화하였음(2015.12)

- 국립농산물품질관리원 시험연구소-토양 내 미생물학적 병원인 가축의 분변을 휴대용카메라로 확인하기 위해 휴대성에 어려움이 있는 초분광 카메라 대신 소, 닭, 돼지, 양의 분변이 검출할 형광 발현 색에 가장 최적화된 단일파장의 카메라를 설계. 형광 신호를 얻기 위한 최적의 신호인 405nm 파장의 LED 램프와 두 대의 전하결합소자(CCD: Charge-coupled device) 카메라로 ANOVA 분석을 통해 획득한 4개 파장의 대역필터를 이용해 시스템을 소형화

하였음

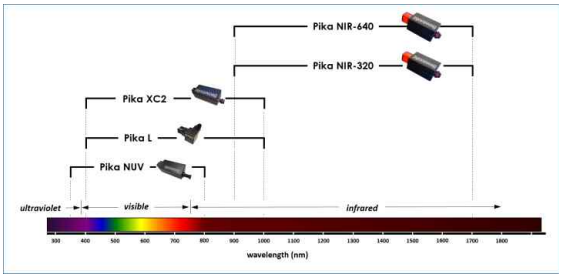
- 초분광 영상기술은 국내에서 항공원격탐사와 제조공정검사, 대기 환경측정, 의료검사 등의 다양한 응용 분야로 연구되고 있으며 아주대학교 등에서 초분광 카메라의 기하학적 알고리즘 개선에 관한 연구 진행 중임

- 식품품질 관리 분야에서 사과 과피의 멍 확인이나 옥수수 외래유전자조작 종에 대한 여부 판단을 위해 고분광분해는 영상 촬영과 비교분광라이브러리 구축과 영상해석 알고리즘의 개발로 과채류의 품질을 판단하는 기술들이 제시되었고, 확장해 다양한 품종에 대해 분광라이브러리를 확보하고 관련 알고리즘을 개선하여 품질을 확인할 수 있는 기술 개발이 가능할 것으로 보임
- Corning Inc.에서는 400nm~1000nm의 초분광 영상카메라 microHSI™ 410과 원격탐사용 카메라 microHSI™ 410 SHARK를 제공하고 있으며, 선형동력에 움직이는 스테이지와 안정성이 높은 광원을 포함한 푸시룸 스캔을 지원하며 사용자 제어에 따라 필요한 결과를 도출할 수 있는 소프트웨어를 포함한 개발키트를 상품화하였음



< Corning Inc.의 400nm~1000nm의 초분광영상카메라 >

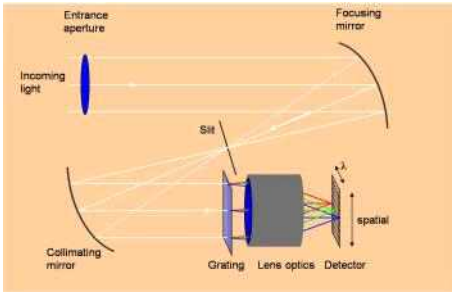
- Resonon Inc.



< Resonon Inc의 초분광영상카메라 >

근자외선 영역대 파장과 근적외선 영역의 파장을 모두 어울려 측정 가능한 카메라들을 제시하였음. 항공탐사에서 주로 사용하는 방법인 라인 스캔(Line-scan) 형식의 카메라를 지원하면서 1.3nm~2.5nm의 작은 파장 분해능을 가짐에도 200 fps 이상 고속촬영이 가능하고 초분광 영상카메라를 이용한 농작물 정보수집 로봇을 개발하며 초분광 영상카메라 응용 분야 연구에도 참여하였음

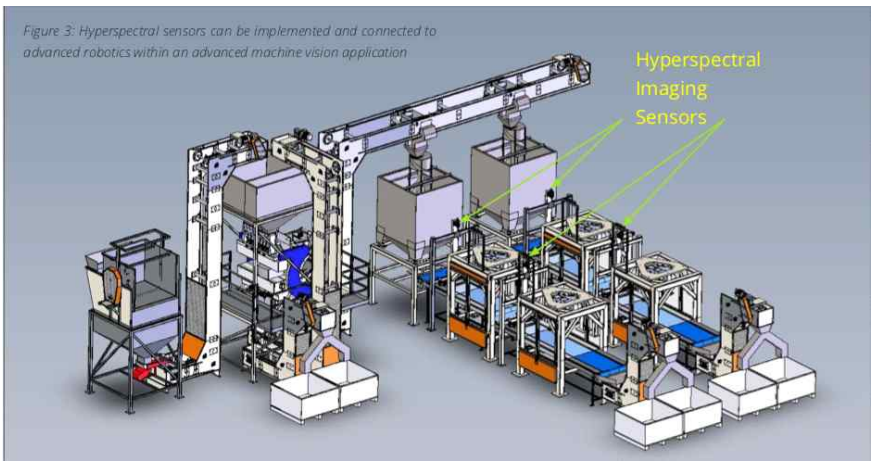
- Hyspex Inc.



<Hyspex Inc.적외선 카메라 시스템 >

선형 조리개를 통과해 1차원 배열로 형성된 영상이 카메라 내부 격자 소자를 통과하며 영상과 수직인 축으로 분광분포를 가지게 되어 위치정보과 분광 정보를 포함하는 2차원 배열 초분광 영상 촬영한 도식이다. 400nm부터 2500nm의 적외선 영역까지 촬영할 수 있는 카메라 상품화하였음

- Headwall Photonics, Inc.

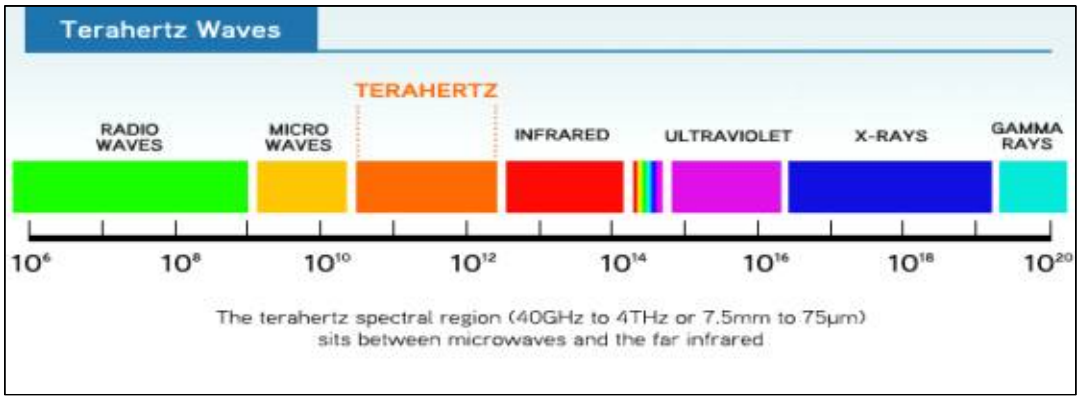


< Headwall Photonics, Inc. 초광대역 분광 카메라 >

400nm~2500nm까지 어우르는 광대역 초분광 카메라와 분광 분해능이 0.1nm인 고분해능의 초분광 카메라 상품화. 항공탐사, 생명과학연구 등의 용도에 맞는 솔루션을 제시하고 있고, 머신비전과 같은 대형 산업용 초분광 카메라 시스템을 B2B 솔루션으로 제작 가능함

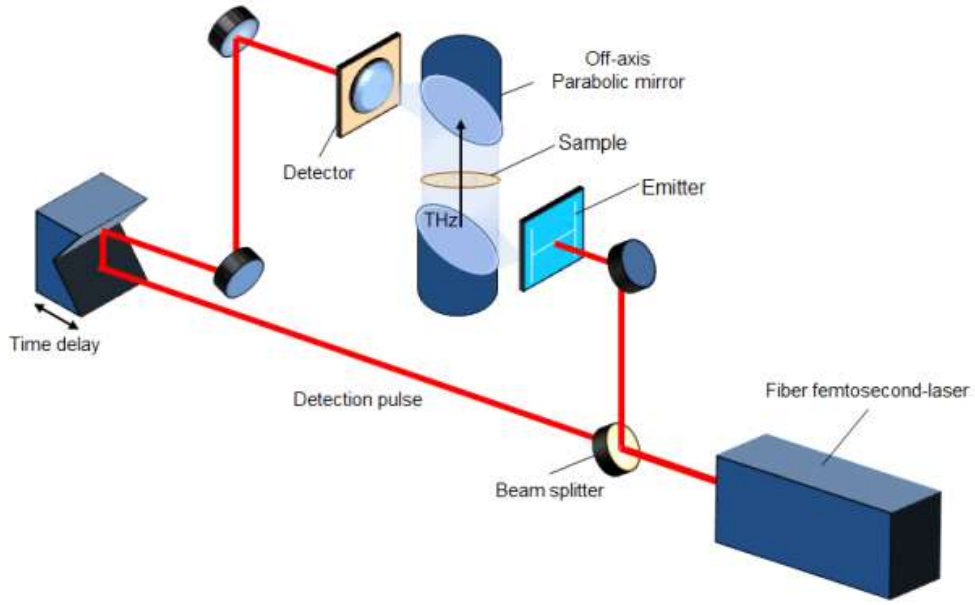
3) 테라헤르츠 레이저기술

- 레이저는 주파수의 영역에 따라 라디오(radio), 마이크로(micro), 테라헤르츠(terahertz), 적외선(infrared), 자외선(ultraviolet), 엑스선(X-ray), 감마(gamma) 영역으로 나눌 수 있으며, 이중에 테라헤르츠 레이저는 0.1-10 테라헤르츠(※ THz = 10^{12}Hz) 영역의 진동수를 갖는 레이저를 지칭하며 마이크로파와 적외선 사이의 영역으로 적외선 영역보다 에너지가 작으며 빛의 직진성을 가짐. 이러한 직진성이 테라헤르츠 레이저의 큰 장점이 되며, 테라헤르츠 시간 영역 분광법, 테라헤르츠 양자 폭포 레이저, 서브-테라헤르츠 통신, 서브-테라헤르츠 전기신호 처리기술, 테라헤르츠 이미징, 플라즈마 융합과정 진단 등 다양한 산업 과학 분야에서 폭넓게 사용되고 있음



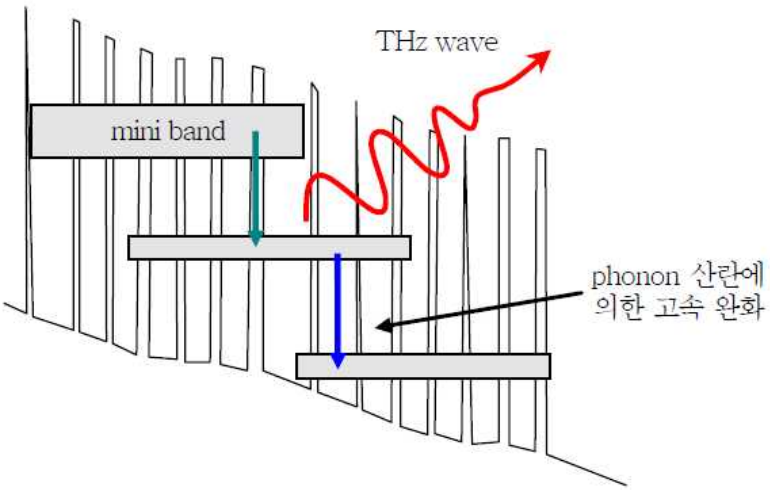
< 그림 : 진동수에 따른 빛의 분류와 테라헤르츠 >

- 일반적으로 테라헤르츠 레이저는 가스 형태의 유기분자들이 채워있는 1~3미터의 도파관 혹은 고전압 방전기로 구성되어 있음. 이러한 방법들은 매우 비효율적이며, 종종 냉각시스템, 고자기장 같은 환경이 필요할 수 있다. 이러한 복잡하고 비효율적인 설계를 개선하기 위해, 최근에는 다양한 고체 매질을 사용한 방법이 연구되고 있음. 그중에 p 도핑 게르마늄 고체 매질을 사용한 레이저가 스펙트럼을 변화와 높은 효율의 장점이 있어 테라헤르츠 빔을 만들기 위해 오랜 시간 사용되고 있다. 이러한 방법은 액체헬륨 온도(4K)에서 전기장과 자기장이 교차하는 환경에서 작동하며, 가해준 전기장과 자기장 세기를 변화시킴으로써 혹은 내부 캐비티 부품을 사용하여, 스펙트럼을 변화시킬 수 있음
- 최근에 양자 폭포 레이저(Quantum cascade laser) 방법이 제안됐는데, 양자 폭포 레이저는 고체 매질 반도체레이저의 한 종류이며 100mW의 높은 파워와 9.5 μm의 파장을 갖는 빔을 만들어 낼 수 있음. 원리는 양자 폭포 레이저로 분자테라헤르츠 레이저를 광학적으로 에너지를 펌핑함으로서 테라헤르츠를 발생시킬 수 있는데, 이는 기존의 CO2 레이저로 분자테라헤르츠 레이저를 펌핑하는 경우보다 더 작은 공간에서, 또한 상온에서 테라헤르츠를 발생시킬 수 있는 장점이 있음. 아직 이러한 방식이 많은 곳에서 사용되는 것은 아니지만, 실제로 활용가치가 높을 것으로 평가된다. 이외에도 자유전자 레이저 또한 테라헤르츠 빔을 만들 수 있고, 펨토초 티타늄-사파이어 레이저 또한 테라헤르츠 펄스를 만드는 데 사용되고 있음
- 테라헤르츠의 다양한 응용 분야 중에서 몇 가지 중요한 기술들이 있는데, 먼저 테라헤르츠 분광 이미지 분석 기술의 경우 가장 중요하고 급속히 발전되고 있음. 많이 사용되는 방법은 펨토초 레이저를 반도체 광전소자에 입사시켰을 때, 테라헤르츠 펄스가 발생하고, 이후 진행하다 디텍터(광전도 스위치 및 전기, 광학 결정)에 도달하게 되며, 검출기는 테라헤르츠가 도달할 때만 작동하는데, 펄스가 도달했을 때, 처음에 광분할기로 나뉘었던 검출 펄스가 측정될 것임. 이때 이송 스테이지를 사용하여 검출 펄스에 시간 지연을 주고, 이를 기록해 시간 영역에서의 파형을 구현할 수 있으며, 이를 분석 및 종합하여 공간상에서의 샘플 이미지를 구현할 수 있음. 이미징 성능을 향상시키기 위한 연구요소로는 테라헤르츠 세기 향상, 스펙트럼 넓히기, 전반사 분광 등이 있음
- 테라헤르츠 빔은 직진성은 강하지만, 수분에 의한 흡수가 매우 크기 때문에, 수분을 함유하고 있는 시료를 투과형으로 분석하기 어려움이 있음. 이러한 문제를 해결하기 위해, 테라헤르츠 시간 영역 전반사 감쇠 분광법(TDS-ATR)이 제안되었는데, 테라헤르츠 에바네센트(evanescent)파를 사용해, 이러한 한계를 넘기 위한 연구가 계속되고 있음. 테라헤르츠 이미징 시스템의 성능향상(고화질, 고속화, 소형화, 고분해능)을 위해 다양한 시도들이 계속되고 있음



< 투과형 테라헤르츠 측정 이미징 시스템의 개요도 >

- 다른 응용으로 많이 사용되는 분야는 광공학과 전자공학 기술과의 접목 기술 분야로서 새로운 테라헤르츠 광원개발을 위해, 기존의 전자 디바이스 개발에서 물질의 밴드구조를 활용한 접근 방식으로 연구가 진행되고 있음. 이러한 방식으로 만들어진 광원은 신호 응답속도가 상대적으로 고속이며, 높은 출력의 테라헤르츠 빔을 발생시킬 수 있음. 그중에 테라헤르츠 양자 폭포 레이저(QCL)가 주목받고 있는데, 아래의 [그림15]처럼 양자 우물 형태의 밴드구조를 형성하도록 다양한 고체 매질을 합성해 만들어, 양자 우물 구조에서의 천이를 이용하여, 넓은 스펙트럼 폭을 얻는 방법을 말함



< 테라헤르츠 양자 우물 구조 레이저 동작 원리 >

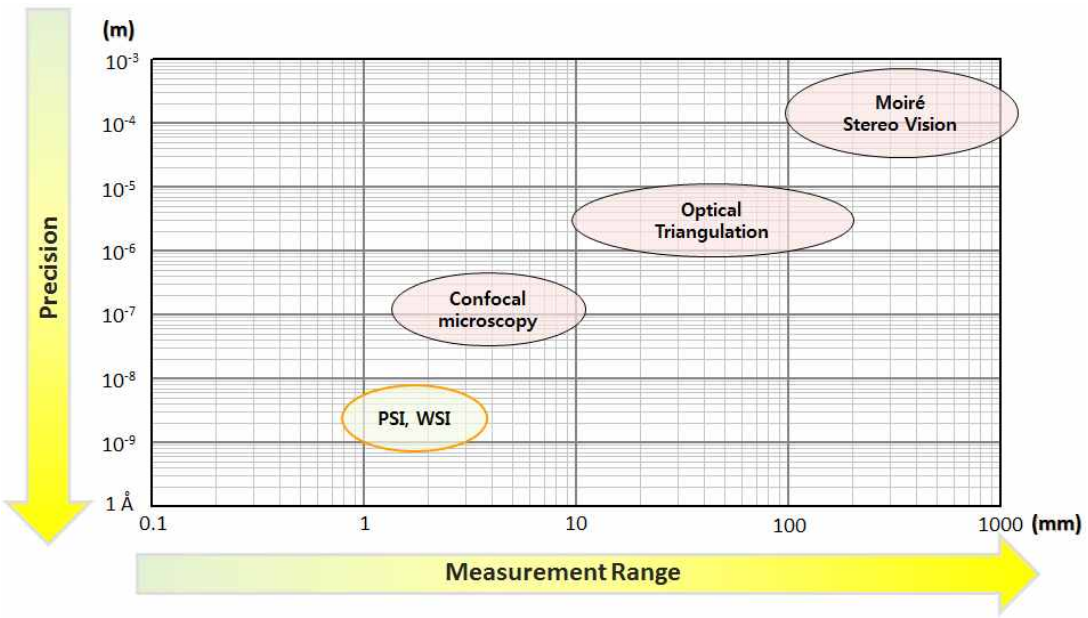
- 이와 관련된 개발과제로는 문턱 에너지 낮추기 및 고온 환경에서의 동작 기능화 등이 있으며 많은 연구실에서 활발히 연구되고 있음. 그 이외에 공진 투명다이오드, 정전유도 트랜지스터, p 도핑 게르마늄 레이저 등 다양한 테라헤르츠 광원이 연구되고 있음
- 공진 투명다이오드의 경우 GaInAs/AlAs 양자 우물 구조를 사용해 펌핑 파장의 3배에 해당하는 1.02THz 펄스를 얻을 수 있음을 증명하였고 이후에 다양한 연구를 확장하는 데 도움이 될 것으로 기대됨. 테라헤르츠 광원개발 외에도, 검출기술 또한 중요한데, 시간 지연을 고려한 검

출기로는 GaAs, electro-optic 효과 등이 사용되고 있고, 반응도 향상과 대면적화가 주요과제로 남아있다. 시간 지연을 고려하지 않는 검출기로는 bolometer, 초전소자, 초전도 검출기 등이 사용되고 있음

○ 시장현황

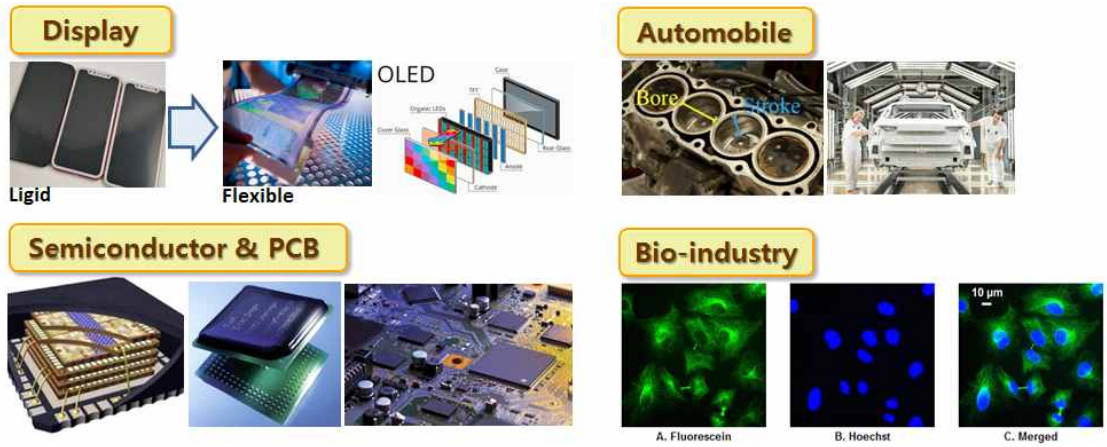
1) 광 간섭계 측정 기술시장

- 광기술은 차세대 산업 분야에서 기계, 전자와의 융합을 통한 첨단 산업의 핵심요소임. 또한 광기술은 과거 국방 분야의 선도로부터 현재 성장동력인 IT, 디스플레이, 자동차, 의료, 반도체 등 국내 기간산업 제품의 품질 및 기능을 향상시켜 고부가 가치를 창출할 수 있는 기초 원천 핵심 기술 및 응용 기술로 활용되고 있으며, 향후 첨단 산업 분야에서 광기술 활용도는 더욱 더 높아질 것으로 예상되고 있음. 2011 년도 지식경제부의 지원으로 한국광학회에서 발간한 "2011 년도 국가광과학기술 로드맵" 에 따르면 광산업의 세계 시장 규모는 2005 년도 270 조원 수준에서 2008 년도 338 조원, 2010 년에는 386 조원으로 꾸준한 성장을 해 왔으며, 2011 년에는 413 조원, 2015 년에는 573 조원, 2020 년에는 850 조원에 이를 것으로 예상하고 있음. 또한, 광기술은 IT, BT, NT 등과 결합하여 새로운 광융합기술로 발전하고 있고, 전자, 에너지, 자동차, 환경, 보안/방위, 의료산업 등과 융합되어 새로운 광융합 산업을 창출하고 있음
- 이러한 광기술의 핵심 요소인 정밀계측 기술은 정밀산업에서 제품의 품질 및 성능 확보에 있어서 매우 중요한 요소 기술로, 그동안 제조 기술의 발달과 더불어 많은 진보를 이루었음. 20 세기 후반부터 제품의 형상이 ㎛ 이하의 정밀도를 요구하기 시작하면서, 기존의 기계, 전자식 계측에 한계가 나타나기 시작하였으며, 비접촉식 정밀 계측이 가능한 광계측(Optical metrology) 기술이 활발히 연구되었으며, 21 세기에 들어오면서 측정 대상물은 더욱 미세해지고 높이 방향의 높은 정밀도를 요구하면서 표면 형상 측정 분야의 광계측 기술이 크게 발전하였음. 특히 간섭계 분야에서 백색광 주사 간섭계(white light scanning interferometer, WSI) 기술은 아래 그림과 같이 다른 광기반 측정 기술에 비해 높은 수준의 측정 정밀도를 보이고 있는데 수 mm 의 측정 영역에서 수 ㎚ 수준의 매우 높은 정밀도를 가지고 있어 현재 산업계에 널리 사용되고 있음



< 광기반 측정 기술의 측정 영역과 정밀도에 대한 분류 >

▪ 이러한 백색광 주사 간섭계는 최근 산업적 핵심 부품들이 보다 집적화되고 다양한 형태로 발전함에 따라 반도체 패턴 측정에서부터 표면 거칠기 측정, 표면 패턴 측정, via hole 측정 등 미세 형상에 대한 삼차원 측정 전반에 널리 적용되었음. 또한 nm 수준의 높은 정밀도 성능과 비파괴 3차원 형상 측정의 장점으로 인해 기존의 반도체나 디스플레이 핵심 부품 및 공정의 정밀 검사 뿐만 아니라 자동차 산업 및 바이오 산업에까지 그 수요가 증가하고 있는 추세가 있음. [그림 18]은 최근 증가하고 있는 WSI 측정 기술의 핵심 응용분야를 보여주고 있음



< WSI 측정 기술의 다양한 산업적 응용 >

2) 하이퍼 스펙트럴 이미징 기술

▪ 초분광영상카메라는 의료용, 군사 탐지용, 항공 원격 탐사, 생명과학 연구 등에서 수요가 점차 증가되면서 광학부품 시장 중 1.6% 점유율로 활성화 되어 있고, 초분광영상을 활용한 연구프로젝트 수가 이에 따라서 점진적으로 증가하고 있으며, 초분광영상 데이터의 정확도의 진보 덕분에 산업계로의 적용이 확대될 것으로 예상되고 있음. 또한, 생명과학과 의료진단 분야에서 초분광영상기술 적용에 가장 적극적인 성장률을 보일 것으로 전망됨 (스마트헬스케어종합지원센터)

▪ 환경연구에서는 초분광영상센서와 항공라이다(LiDAR: Light Detection and Ranging)센서와 데이터융합이 중요한 잠재력으로, LiDAR센서에서의 거리정보와 초분광영상센서에서 얻은 반사 분광정보를 융합해 초분광 데이터의 엄격한 조명보정이 가능할 것으로 예측하여, 지구환경 시스템 모니터링 기술로 매우 그 시장이 점차 커지고 있음

▪ 종양학 및 심장학에서 초분광영상분석이 분자활동을 정확하게 묘사하며, 중추신경계 및 구강암 망막질환 진단에 도움되는 비침습적 검사를 제공하고, 치료에 대한 환자의 반응측정 방법이 제시되어 최상의 치료 제공으로 의료기기분야에서도 연구가 계속 진행되었음

▪ 미네랄 자원탐사, 농업 · 임업 · 지질학 · 광물탐사, 생태학, 해안지대 관리등의 지리정보 탐사, 개발분야에 초분광영상이 원격탐사방법을 통해 연구의 기회가 점진적으로 증가하고 있는 추세가 보임

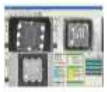
▪ 18년 2월, 프랑스 국립우주연구센터(CNES:Center national d’ etudes spatiales)와 아랍에미리트 우주국(UAESA: United Arab Emirates Space Agency)이 공동으로 초분광영상

위성을 제작하는 등, 초분광 기술과 기존 핵심 기술들간의 융합 기술 시장들이 생겨나고 있음

- 환경분야와 식품, 의료진단, 머신비전, 원격탐사 분야들에 걸쳐 2017년 6190만달러로 평가된 초분광영상기술 시장은 2018년부터 2023년까지 6년동안 연평균 9.79% 성장하여 1억8050만 달러 규모로 성장할 것으로 예측되었음 (Mordor Intelligence LLP 보고서)

3) 테라헤르츠 레이저기술

- 테라헤르츠빔은 0.1 -10 THz의 진동수를 갖는 전자기파이며 아직 산업화 예가 적지만, 미국 MIT (2004년) 세상을 바꿀 10대 신기술, 일본 문부과학상 (2005년) 일본의 10대 기간기술, 한국 LG 경제연구원 (2011년) 미래의 삶을 바꿀 7대 신기술로 선정되었을 정도로 많은 가능성을 지닌 기술임
- 또한 테라헤르츠빔은 적외선과 마이크로파 사이에 위치하여 빛의 직진성과 전파의 투과 특성을 모두 갖고 있어, 금속을 제외한 반도체, 유전체, 종이, 플라스틱, 천, 피부 등의 매질을 매우 잘 투과하는 특성이 있어 다양한 응용분야에 적용이 기대되고 있음. 특히 테라헤르츠파는 X-선과 달리 인체 유해성이 적고, 타겟의 내부 관측이 가능하고, 미세결함이나 내부 미세구조 관측이 가능하다는 장점이 있어 비파괴 검사 분야에서의 수요가 급증하고 있는 추세임
- 또한 마이크로파에 비해 파장이 짧아 고해상도, 고화소 카메라를 소형으로 제작할 수 있는 장점이 있어 미래에 X-선 검사 장비나 초음파 검사장비 시장에서 대체 기술로 활용될 것으로 기대됨

구분	X-선	가시광	적외선	밀리미터파	THz파(T-ray)
용도	내부 비파괴 관측 수하물 보안 검색	일반 영상 카메라	군수용 보안검색용	보안검색/영상진단 군수 및 민수용	보안검색/영상진단 군수 및 정밀 검사
장점	내부 금속 관측 가능	낮은 가격 고해상도 영상	야간 관측/표면온도 중해상도(VGA급)	높은 투과 특성으로 옷/봉투 내부 검사 가능	내부 검사 가능 소형 카메라화 가능 고해상도 가능
단점	고가 및 대형 인체 유해 유리, 플라스틱, 유기물 등은 구별 어려움	내부 관측 불가능	내부 관측 불가능	해상도가 낮음 시스템이 매우 큼 (수 미터) 초고가: >10억 원	연구 개발 초기 단계
영상					

< 파장대역에 따른 이미징 기술에서의 장단점 >

(출처 : ttp://www.ndsl.kr/ndsl/search/detail/report/reportSearchResultDetail.do?cn=KMR2015000307)

- 테라헤르츠 레이저 시스템은 차세대 이미징 시스템으로 구현가능하고 주로 의료/영상, 안전/보안, 농업/식품, 통신, 제조공정/품질제어/공정감시, 환경/에너지, 우주천문 분야와 같은 7개의 분야에 시장을 형성하고 있음. 방출 방향을 조절할 수 있는 테라헤르츠 소자는 초고속 무선통신부터 암 진단 시스템 등 다양한 분야에 응용될 것으로 예상되며, 테라헤르츠 빔을 높은 효율로 집중시킬 수 있는 렌즈가 개발되어 의료영상기술, 보안검색, 비파괴 검사 등의 성능을 향상시킬 것으로 전망됨

< 테라헤르츠 관련 기술 및 업체 >

(출처 : https://www.keri.re.kr/images/kr/sub04/sub04_0406_file78.pdf)

- 국내의 테라헤르츠 시장의 경우 2015년에 30억 원 정도로 추정되지만, 2022년에는 360억 원 정도로, 세계시장의 경우 2015년에 926억 원에서, 2024년에는 7,200억 원에 이를 것으로 추정 된됨. 이러한 급격한 성장의 배경에는 이전에 테라헤르츠 시스템은 개별 광원, 검출기, 광학계 등 단위부품이나 단순히 검사 시스템들의 성능검출 등의 학술연구용으로 정도로만 사용되었으나, 2014년 말부터 레이저 광원이나 카메라 등의 고가 제품이 출시되기 시작했기 때문으로 분석되며, 2019년부터는 테라헤르츠 시스템의 전체 시장 규모가 급격히 증가할 것으로 전망됨
- 시장조사 기관인 BCC 리서치는 2015년에는 테라헤르츠 시장은 주로 이미징에만 국한되어있지만, 2018년부터는 카메라용 센서 시장이 커지며, 2019년에는 현재 테스트 진행 중인 반도체 검사 장비가 본격적으로 투입되기 때문에 이후, 전체 시장 규모가 급격히 성장할 것으로 예측하였음

테라헤르츠 이미징 시스템 시장 전망

(단위: 억 원)

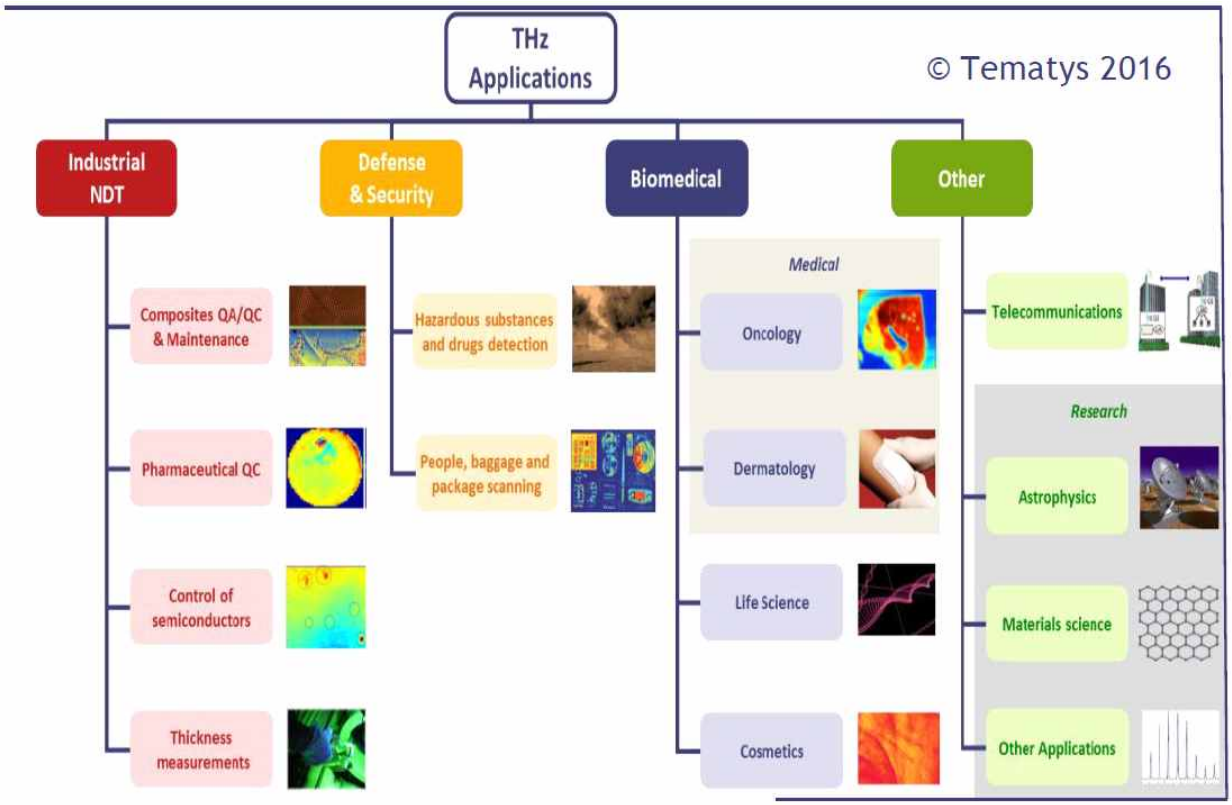
연도 / 개 요	시장 전망			
	2015	2020	2021	2022
세계 시장	926	1,200	1,900	7,200
국내 시장	30	100	190	360

< 테라헤르츠 이미징 시스템 시장 전망 >

(출처1 BCC report, TERAHERTZ RADIATION SYSTEMS : TECHNOLOGIES AND GLOBAL MARTKETS (2014),

출처2 :http://www.ndsl.kr/ndsl/search/detail/report/reportSearchResultDetail.do?cn=KMR2015000307)

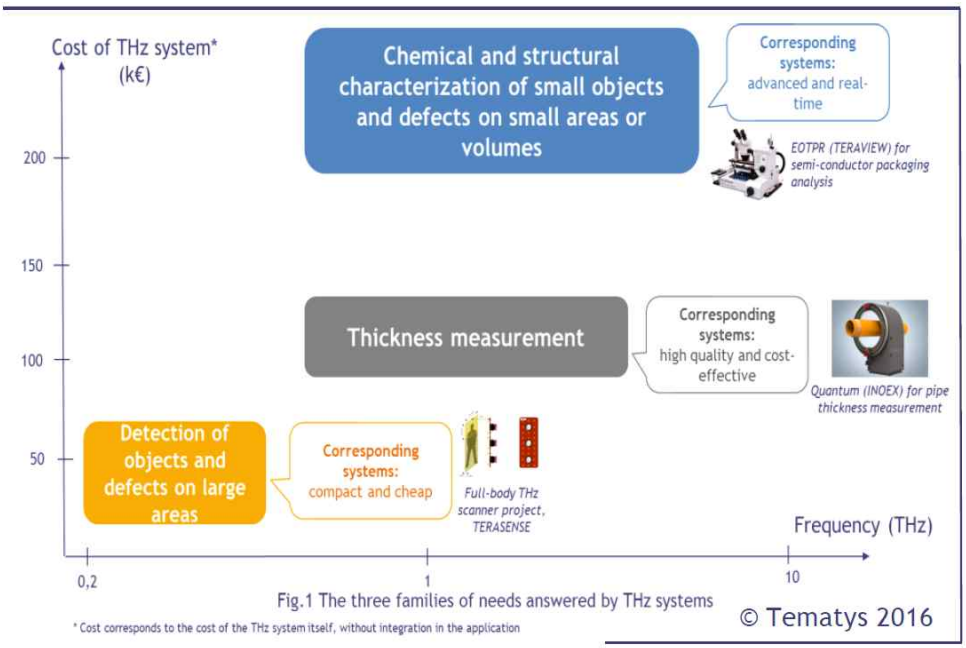
- 국내의 경우 sub-THz(1THz 이하 영역)은 많은 연구가 진행 중이나 해당 영역은 낮은 해상도 때문에 주로 식료품 이물질 검사나 보안검사 용도로 개발되어 시장가치가 낮고, 1~10THz의 경우 파장이 짧고 해상도가 높아 반도체에서 발생하는 100um 이하의 미세결함 또는 미세구조 관측이 가능해 높은 시장가치를 지닐 것으로 예상됨. 하지만 국내에서는 고화소 THz 이미지 센서에서 중요한 1~10THz 대역에 대한 연구는 활발하지 않아, 많은 지원과 관심이 필요해 보임



< 분야별 테라헤르츠 활용 방안 >

(출처 : Tematys, Terahertz components & systems : technology and market trends UPDATE 2016)

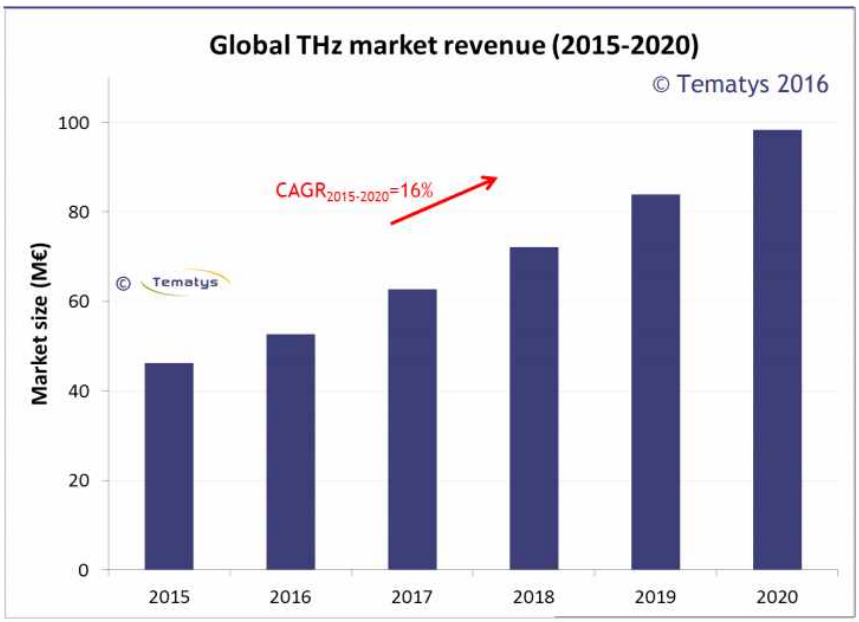
- 최근 시장에서 테라헤르츠 시스템에 요구하는 주요한 3가지 요소가 있다. 소형화와 저렴한 가격, 가격대비 성능, 향상된 성능과 실시간 측정인데, 공급업자는 구체적인 분야별로 각각의 요구를 적절히 충족시켜 물품을 제작하고 있음. (1) 탐지분야(예 : 테라헤르츠 카메라) 에서는 고속으로 대면적을 측정할 수 있는 저렴하고 소형화된 이미징 시스템을, (2) 두께 측정 분야에서는 저렴하고 고속으로 고품질 이미징이 가능한 시스템을, (3) 특정 분야에서는 실시간 화학 및 구조적 특성 연구를 위한 고화질, 고신뢰도 센싱 시스템을 필요로 하고 있음



< 분야별 테라헤르츠 시스템의 가격대와 중요 특성 >

(출처 : Tematys, Terahertz components & systems : technology and market trends UPDATE 2016)

▪ 테라헤르츠 레이저의 세계시장은 2015년에 4,600만 유로였으며, 연평균 16% 정도로 가파르게 성장하여 2020년에는 9,800만 유로 정도로 시장을 형성할 것으로 예측됨



< 테라헤르츠 세계시장 규모와 미래전망 >

(출처 : Tematys, Terahertz components & systems : technology and market trends UPDATE 2016)

○ 경쟁기관현황

▪ 본 연구에서 제안하는 핵심 기술은 크게 3가지로 나눌 수 있으며, 백색광 간섭계(및 모아레 측정)기술과 하이퍼스펙트럴 이미징 분광 기술, 테라헤르츠 레이저 분광 기술로 정의할 수 있음

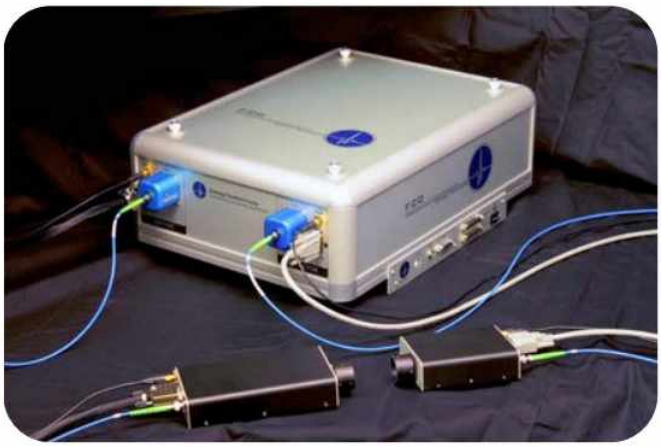
▪ 3차원 형상 측정 기술의 경우, 본 과제의 참여기관인 (주)나노시스템은 백색광 간섭 측정법(White Light Interferometry), 광위상 간섭 측정법(Phase Shifting Interferometry) 등 간섭 광학계를 기반으로 하는 미세표면의 3차원 형상을 나노미터의 분해능으로 측정하는 고성능 측정시스템 개발하여 국내 최고 수준의 기술을 확보하고 있으며, 세계 유수의 광간섭 측정 전문기업인 미국의 "Zygo"社, 독일의 "Bruker"社와 경쟁하면서 국내 시장 50% 이상을 점유하고 있음은 물론 2014년도부터 본격적으로 해외시장에 진출하기 시작하여 현재는 일본, 중국을 비롯하여 유럽시장에도 수출 실적을 올리고 있으므로 주요 국내 경쟁 기관은 없다고 판단되었음

▪ 하이퍼 스펙트럴 이미징 기술의 경우, Headwall Photonics, Inc. (미국), CorningIncorporated (미국), SPECIM, Spectral Imaging Ltd. (네덜란드), Resonon(미국), Telops (캐나다) 등의 회사에서 초분광영상 카메라를 생산중이며 국내에서는 KAIST 김민혁교수팀이 초분광영상 카메라에 대한 기하학적 설계 및 원천기술 개발을 하고 있으나 시제품 평가단계에 있고, 국립농산물품질관리원에서 대역통과필터를 이용해 고 분해능의 카메라를 소형화 하는 연구를 진행중. 국내에서는 초분광영상 카메라를 상용화 한 사례는 확인된 바 없음

▪ 테라헤르츠 레이저는 종종 연구실에서 직접 부품만 구매해 연구 목적에 맞게 구성하는 곳이 있고, 또는 외국 업체에서 완성된 제품을 구매할 수 있으나, 국내에서 테라헤르츠 레이저 시스템을 자체개발하는 업체는 없는 것으로 판단되었음. 레이저업체에서 구매하는 경우 다양한 해

외업체에서 구매할 수 있으며, 가격은 중심 진동수, 빔 파워, 연속파 & 펄스 여부, 용도에 따라 다르므로 주요한 경쟁 기관을 특정하기는 어려움. 연구용의 경우 가격은 수천만 원에서 수억 원에 이르며, 특히 고가의 펨토초 레이저가 필요한 경우, 금액이 많이 상승하게 되며 몇몇 벤더들의 레이저 스펙은 다음과 같음

- Zomega Terahertz (FICO, 펨토초 레이저로 펌핑)



< Zomega FICO terahertz system >
(출처 : Zomega product catalog)

-MenloSystems (TERA K15, 펨토초 레이저로 펌핑)

< Terahertz system (TERA K15) >
출처 : MenloSystems 카탈로그

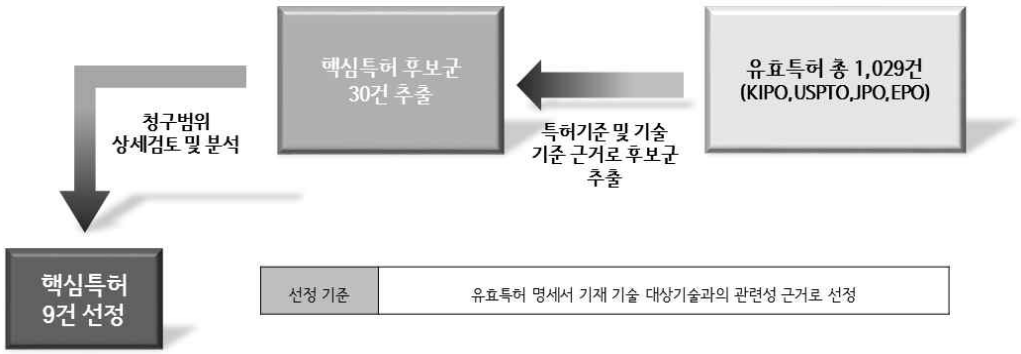
○ 지식재산권현황

1. 핵심특허 선정

1-1. 핵심특허 선정기준 및 선정결과

과일·과채류 품질 측정 및 분석 기술과 유사한 특허를 핵심특허로 선정하였다.

기본적으로 과일·과채류 품질 측정 및 분석 기술을 특징으로 모집단을 선정하였으며, 청구범위 상세검토 및 분석(**적용되는 측정 기술 중심**)을 통해 최종 핵심특허 9건을 선정하였음



< 핵심특허 도출 프로세스 >

<표 4-1> 과일·과채류 품질 측정 및 분석 기술 개발 분야의 핵심특허 선별결과

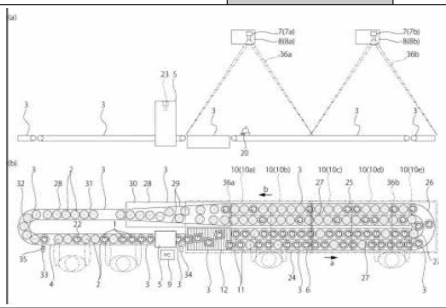
기술분류(중분류)	핵심특허 건수
형상 정보 측정 및 분석 기술 (A)	3
색상 또는 화학적 특성 정보 측정 및 분석 기술 (B)	3
수분 정보 측정 및 분석 기술 (C)	3
총 계	**9**

1-2. 핵심특허 리스트

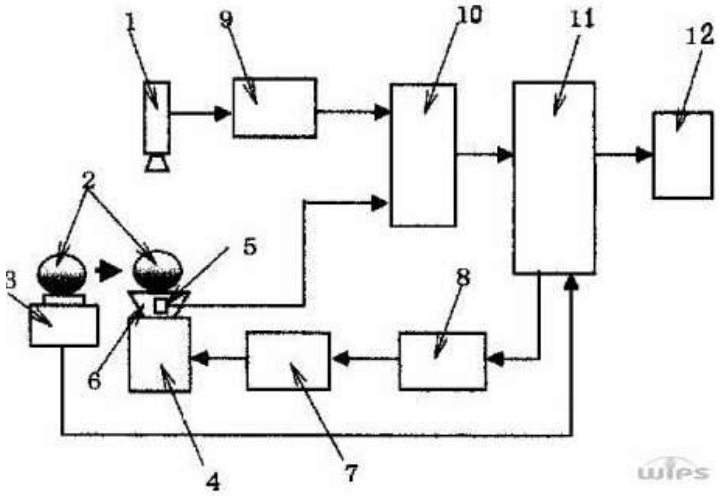
연번	중분류	출원번호 (출원일자)	출원인	권리 상태	발명의 명칭
1	형상 정보 (A)	JP 2016-073683 (2016.03.31)	NISHIKIGAWA	공개	과채 선별 장치
2		JP 1998-274937 (1998.09.29)	PANASONIC	소멸	과일의 텍스처 측정 장치
3		JP 1993-005860 (1993.01.18)	TOKYO GAS	공개	메론의 네트의 데이터수집 장치, 방법 및 메론의 품질평가 방법
4	색상 또는 화학적 특성 정보 (B)	US 15/846706 (2017.12.19)	ALTRIA CLIENT SERVICES	공개	HYPERSPECTRAL IMAGING SYSTEM FOR MONITORING AGRICULTURAL PRODUCTS DURING PROCESSING AND MANUFACTURING
5		KR 2015-0155721 (2015.11.06)	농촌진흥청	등록	결함 검출 시스템 및 결함 검출 방법
6		JP 2009-055779 (2009.03.09)	KOBE UNIV	거절	근적외선 분광법을 이용한 야채 등의 성분의 비파괴 계측법 및 비파괴 계측 장치
7	수분 정보 (C)	KR 2015-0134860 (2015.09.23)	한국과학기술연구원	거절 (재심사중)	테라헤르츠 전자기파를 이용한 고민감도 잔류량 검출방법 및 이에 사용되는 디바이스
8		KR 2012-0097348 (2012.09.03)	한국전자통신연구원	공개	테라헤르츠 파를 이용한 비파괴 작물 생육 진단 장치 및 방법
9		US 11/966057 (2007.12.28)	TSINGHUA UNIV, NUCTECH	등록	Method and apparatus for assessing purity of vegetable oils by means of terahertz time-domain spectroscopy

2. 핵심특허 분석

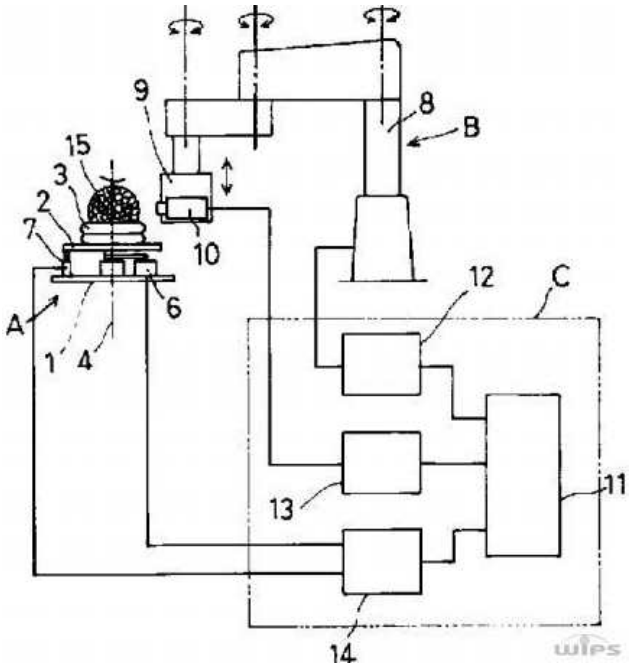
(1) 핵심특허1

발명의 명칭	과채 선별 장치		
출원인	NISHIKIGAWA	중분류	형상 정보 (A)
출원번호 (출원일)	JP 2016-073683 (2016.03.31)	공개번호 (공개일)	JP 2017-185414 (2017.10.12)
등록번호 (등록일)	-	패밀리국가	-
청구항 수 (독립항)	4(1)	법적상태	공개
대표도면			
대표청구항	과채를 얹어 이송시키는 다수의 받침 접시와 이들 받침 접시를 순환 이송하는 이송 컨베이어를 구비하고, 이송 컨베이어의 최초 구간에 받침 접시에 과채를 얹는 공급부가 설치되고 계속되는 구간에 받침 접시로 이송되는 과채의 규격을 계측하는 규격 계측 수단이 설치되고 계속되는 구간에 받침 접시에서 과채를 취출하는 취출부가 설치되고 적어도 동 취출부의 이송 컨베이어는 받침 접시를 옆 2렬 이상에서 이송 가능하며 또한 취출부의 상방에는 동 취출부 전체를 촬영 가능하게 하는 1대 또는 복수 대의 취출부 촬영 카메라와 동 취출부에 동영상을 투사 가능하게 하는 1대 또는 복수 대의 프로젝터가 설치되고 상기 동영상을 생성하는 컴퓨터가 규격 계측 수단과 취출부 촬영 카메라와 프로젝터에 접속되어 설치되고 동 컴퓨터는 상기 취출부에 2 이상이 다른 영역을 임의로 설정 가능하고 각 영역에 임의의 규격을 설정 가능하게 하는 영역 설정 수단과 상기 취출부 촬영 카메라로 연속적으로 촬영되는 화상에서 각 받침 접시의 위치를 연속적으로 계측하고 규격 계측 수단으로부터의 규격 정보를 링크해 각 받침 접시의 위치와 과채의 규격을 지지하는 받침 접시 정보 유지 수단과 상기 영역 설정 수단 및 받침 접시 정보 유지 수단으로부터 각 영역 내를 이동하는 과채에 각각의 영역으로 설정된 규격에 속하는 과채와 속하지 않는 과채에와 구별하는 마커 화상을 과채의 이동에 맞추어 동영상으로서 생성해 프로젝터에 출력 가능하게 하는 동영상 생성 수단을 구비한 것을 특징으로 하는 과채 선별 장치		

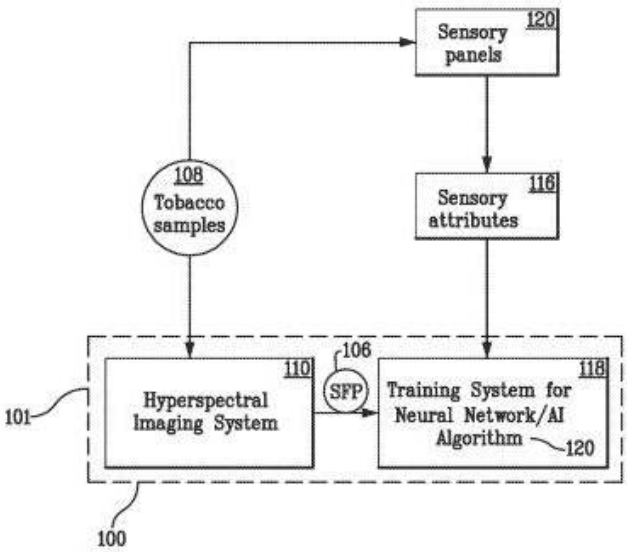
(2) 핵심특허2

발명의 명칭	과일의 텍스처 측정 장치		
출원인	PANASONIC	중분류	형상 정보 (A)
출원번호 (출원일)	JP 1998-274937 (1998.09.29)	공개번호 (공개일)	JP 2000-105226 (2000.04.11)
등록번호 (등록일)	JP 2982802 (1999.09.24)	패밀리국가	KR, US, CN, WO
청구항 수 (독립항)	5(1)	법적상태	소멸
대표도면			
대표청구항	과일의 제2차 공진 주파수 특성과 상기 과일의 중량에 기초하여 상기 과일의 텍스처를 측정하는 과일의 텍스처 측정 장치에 있어서 상기 과일에 부여하는 가진 수단과 상기 가진수단의 가진력 정보를 검출하는 가진 정보 검출 수단과 상기 가진수단에 의해 가진된 상기 과일의 피가진 정보를 검출하는 피가정보 검출 수단과 상기 가진력 정보와 상기 피가진 정보에 기반하여 주파수 해석을 해서, 상기 과일의 전달 함수 특성을 구해 그 전달 함수 특성에서 상기 과일의 제2차 공진점을 구하는 제2차 공진점 산출 수단을 구비하고, 상기 과일의 중량과 상기 제2차 공진 주파수와 상기 제 2차 공진점의 감쇠비보다 상기 과일의 점성값을 산출하는 것을 특징으로 하는 과일의 텍스처 측정 장치		

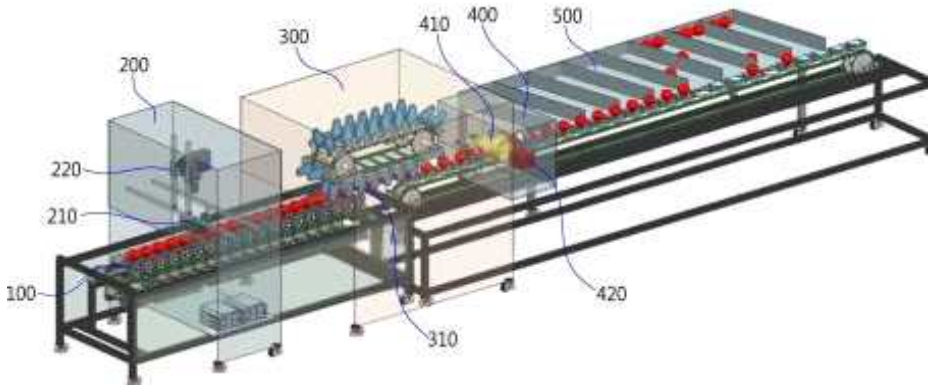
(3) 핵심특허3

발명의 명칭	메론의 네트의 데이터수집 장치, 방법 및 메론의 품질평가 방법		
출원인	TOKYO GAS	중분류	형상 정보 (A)
출원번호 (출원일)	JP 1993-005860 (1993.01.18)	공개번호 (공개일)	JP 1994-213637 (1994.08.05)
등록번호 (등록일)	-	패밀리국가	-
청구항 수 (독립항)	6(2)	법적상태	공개
대표도면			
대표청구항	턴테이블의 상부에 원환형 멜론 재치부를 구성하고. 그 중심축은 턴테이블의 회전축에 맞춤과 동시에 상기 멜론 재치부의 옆측에 적어도 상하 방향으로 위치가 조절 가능한 레이저 변위계를 설치한 것을 특징으로 하는 멜론 과일의 네트 데이터 수집 장치		

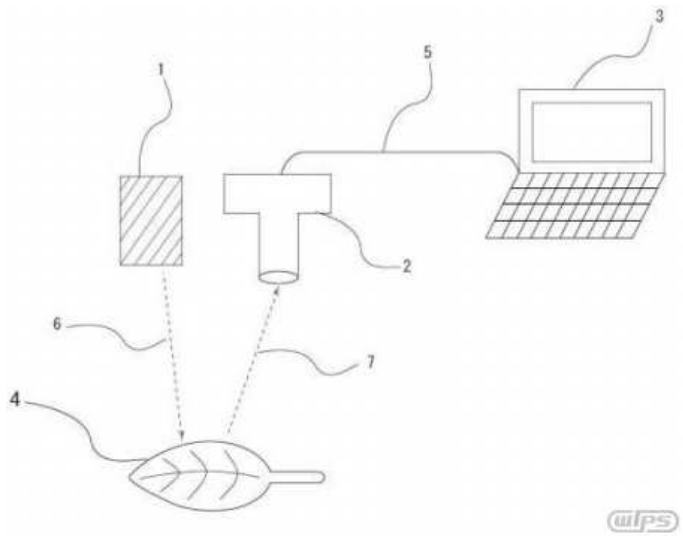
(4) 핵심특허4

발명의 명칭	HYPERSPECTRAL IMAGING SYSTEM FOR MONITORING AGRICULTURAL PRODUCTS DURING PROCESSING AND MANUFACTURING		
출원인	ALTRIA CLIENT SERVICES	중분류	색상 또는 화학적 특성 정보 (B)
출원번호 (출원일)	US 15/846706 (2017.12.19)	공개번호 (공개일)	US 2018-0107857 (2018.04.19)
등록번호 (등록일)	-	패밀리국가	WO
청구항 수 (독립항)	18(1)	법적상태	공개
대표도면			
대표청구항	A method for classifying at least a region of an agricultural product, the method utilizing hyperspectral imaging and comprising: (a) scanning a region along a sample of agricultural product using at least one light source of a single or different wavelengths; (b) generating one or more hyperspectral images from the region; (c) determining a spectral fingerprint for the sample of agricultural product from the one or more hyperspectral images; and (d) determining at least one property including but not limited to a physical, chemical or biological property relating to the scanned region; and (e) assigning a classification code to said region of agricultural product based upon said property.		

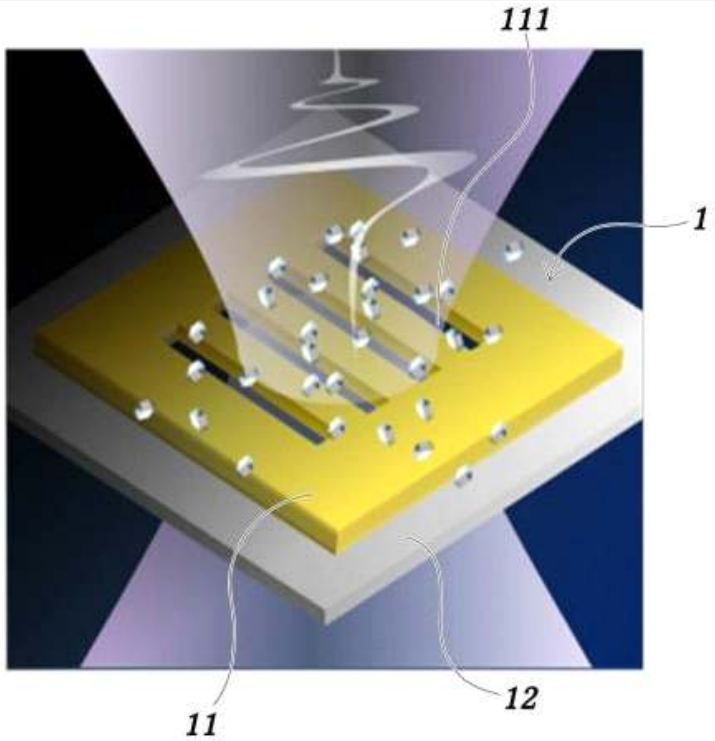
(5) 핵심특허5

발명의 명칭	결함 검출 시스템 및 결함 검출 방법		
출원인	농촌진흥청	중분류	색상 또는 화학적 특성 정보 (B)
출원번호 (출원일)	KR 2015-0155721 (2015.11.06)	공개번호 (공개일)	KR 2017-0056716 (2017.05.24)
등록번호 (등록일)	KR 1750858 (2017.06.20)	패밀리국가	-
청구항 수 (독립항)	13(2)	법적상태	등록
대표도면			
대표청구항	투입된 과일을 회전시키면서 이송하기 위한 롤러 형태의 굴림 장치; 상기 굴림 장치에 의해 회전되는 과일의 전체 표면의 측정을 통해 과일의 외부 결함을 검출하기 위한 외부결함 검출부; 상기 굴림 장치에 의해 회전되면서 이송되는 과일을 선별컵으로 전송하기 위한 전송부; 및 상기 선별컵에 안착된 과일의 내부 결함 및 품질을 측정하기 위한 내부품질 측정부를 포함하며, 상기 굴림 장치는 회전 속도가 다른 2개의 서보 모터와, 각각의 상기 서보 모터에 의하여 각각 다른 회전속도로 회전되는 다수의 롤러와, 상기 롤러들을 연결하는 체인을 포함하며, 각각의 다른 속도로 회전하는 2개의 상기 롤러들은 상기 외부결함 검출부가 과일의 전체 표면을 스캔할 수 있도록 과일들을 회전시키며, 상기 전송부는 집게형 전송장치를 통해 상기 굴림 장치에 의해 이송되는 과일을 집어 들어 상기 선별컵에 올려 놓는 것을 특징으로 하는 결함 검출 시스템		

(6) 핵심특허6

발명의 명칭	근적외선 분광법을 이용한 야채 등의 성분의 비파괴 계측법 및 비파괴 계측 장치		
출원인	KOBE UNIV	중분류	색상 또는 화학적 특성 정보 (B)
출원번호 (출원일)	JP 2009-055779 (2009.03.09)	공개번호 (공개일)	JP 2010-210355 (2010.09.24)
등록번호 (등록일)	-	패밀리국가	-
청구항 수 (독립항)	13(3)	법적상태	거절
대표도면			
대표청구항	파장 400 nm~2500 nm의 범위 또는 그 일부 범위의 파장광을 측정 대상의 채소, 과일, 육류 등의 음식에 조사하고 그 투과광 및/또는 반사광을 검출해 흡광도 스펙트럼을 취득하고 측정 전파 길이 혹은 특정 파장의 흡광도에서 검량선을 이용하여 측정 대상의 목적 성분 농도를 계측하는 비파괴 계측법에 있어서 측정 대상에 대한 파장광의 조사 범위를 소정 영역으로 한정함으로써 선량선의 추정 정밀도를 향상시키는 것을 특징으로 하는 비파괴 계측법		

(7) 핵심특허7

발명의 명칭	테라헤르츠 전자기파를 이용한 고민감도 잔류량 검출방법 및 이에 사용되는 디바이스		
출원인	한국과학기술연구원	중분류	수분 정보 (C)
출원번호 (출원일)	KR 2015-0134860 (2015.09.23)	공개번호 (공개일)	KR 2017-0036891 (2017.04.04)
등록번호 (등록일)	-	패밀리국가	US
청구항 수 (독립항)	8(1)	법적상태	거절 (재심사중)
대표도면			
대표청구항	측정 대상 농약 성분의 고유 흡수 주파수에 상응하는 주파수를 증폭시키도록 패턴이 형성된 메타부를 가지는 센싱칩을 이용하여, 미량의 농약에 테라헤르츠 전자기파를 조사하여 측정 대상 농약 성분의 잔류량을 검출할 수 있는 것을 특징으로 하는 테라헤르츠 전자기파를 이용한 고민감도 잔류량 검출방법		

○ 표준화현황

- 첨단 정밀 광학기술을 과일/과채류의 품질 평가에 활용한 예가 많지 않으므로 이에 대한 표준화 또는 ISO 표준 규격에 대한 근거를 찾기 어려움

나. 연구개발의 필요성

◎ 우리나라 농산물 유통의 주요 문제는 고비용, 산지-소비지 가격 비연동성 등의 문제로 산지 농가가 생산한 농산물이 산지 유통인을 통해 소비지로 운송되어 도매시장에 상장판매 되거나 수매유통업체, 대량 수요처에 판매되어 최종 소매점이나 요식업소에서 소비자에게 최종 구매 소비되는 다단계 유통과정을 거치면서 유통비용이 높게 나타나고 품질의 변화가 발생할 수 있음

◎ 이러한 유통과정의 문제를 해결하기 위해서 생산농가 또는 도매시장과 최종 소비자 간의 직접 거래할 수 있는 직거래 시스템이 활성화되어야 하나, 대부분의 소비자들이 산지 또는 도매시장을 직접 방문하여 품질을 확인하기 어렵기 때문에, 중간 벤더로부터 오프라인으로 유통된 제품을 공급받게 됨. 이러한 다단계의 유통과정에서 중간유통마진이 많이 발생하는 비효율적인 유통체계를 갖게 됨

◎ 소비자가 직접 도매시장을 방문하여 제품을 만져보거나 냄새를 맡거나 하는 등의 오프라인 확인 과정을 거치지 않고도 생산자가 측정한 농산물의 품질 정보를 온라인 상에서 비교하여 거래할 수 있도록 하는 체계적이고 복합적인 농산물(과일 및 과채류_ 품질 정보 측정 기술과 데이터 베이스 확보 기술이 요구됨

◎ 이러한 측정 기술과 데이터 베이스 구축이 가능해지면 생산자와 소비자 간에 온라인으로 농산물의 품질을 확인하거나 구입 및 거래할 수 있는 직거래 시스템이 활성화될 수 있을 것으로 기대하며, 이를 통해 복잡한 유통비용 문제를 해결할 수 있을 것으로 사료됨

◎ 과일 및 과채류의 품질을 판단하는 기준은 냄새, 향 등 후각에 의한 판별기준과 색깔, 크기, 표면 상태 등 시각 및 촉각에 기반한 판별 기준으로 나눌 수 있음. 시각 및 촉각에 의한 판별 기준을 단순히 2차원 이미징 기술(예: 컬러 사진 촬영 등과 같은 2차원 이미징 기술)로는 카메라의 해상도 및 주변 환경 차이에 따라서 과일 및 과채류의 미세한 겉보기 품질 차이나 신선도, 화학적 조성 차이 등을 판단하기 어려우며, 2차원 이미징 기술은 외부 환경(주변 밝기)에 따라 왜곡된 정보를 줄 가능성이 있기 때문에, 좀 더 객관적이고 신뢰성 있는 과채류 품질 측정 시스템이 필요함

◎ 따라서 본 연구진은 도매시장 온라인 고도화를 위하여 “과일 및 과채류의 3차원 형상 정보 측정 및 화학적/물리적 분석이 가능한 정밀 광학 분광 시스템 구현”을 목표하고자 하며, 이를 통해 도매시장 유통 효율화, 직거래 확대 및 거래의 공정성 확보 및 정보 제공 확대를 구현하고자 함

◎ 최종목표와 관련하여 아래와 같은 세 가지 핵심 세부 목표가 존재함

▸ 백색광 간섭계 기술과 모아레 기술을 적용한 과채류 3차원 표면/형상 측정 기술 개발
▸ 하이퍼 스펙트럴 이미징 기반의 과채류 표면 반사 스펙트럴 측정 분광 기술 개발
▸ 테라헤르츠 레이저 기술을 적용한 과채류 표면 수분 측정 분광 기술 개발

◎ 위와 같은 핵심 세부 목표를 달성하기 위한 3세부 연구체계를 구축하고, 능동적이고 체계적인 공동연구를 수행하여, 온라인 유통 경매 시장에서 활용가능한 측정 시제품을 개발하고자 함

◎ 이를 통해, 여러 단계의 물류과정을 거치면서 나타나는 유통비용을 줄이고, 농산물 도매시장 유통의 효율화를 구현할 수 있으며, 판매자가 객관적이고 검증 가능한 품질 정보를 제공하고, 소비자는 다단계 유통과정을 거치지 않고도 질 좋고 원하는 농산물을 온라인으로 구입할 수 있는 품질 측정 시스템을 구현하고자 함

다. 연구개발 범위

(1) 연구개발의 최종목표

2-1. 연구개발의 목표 및 내용

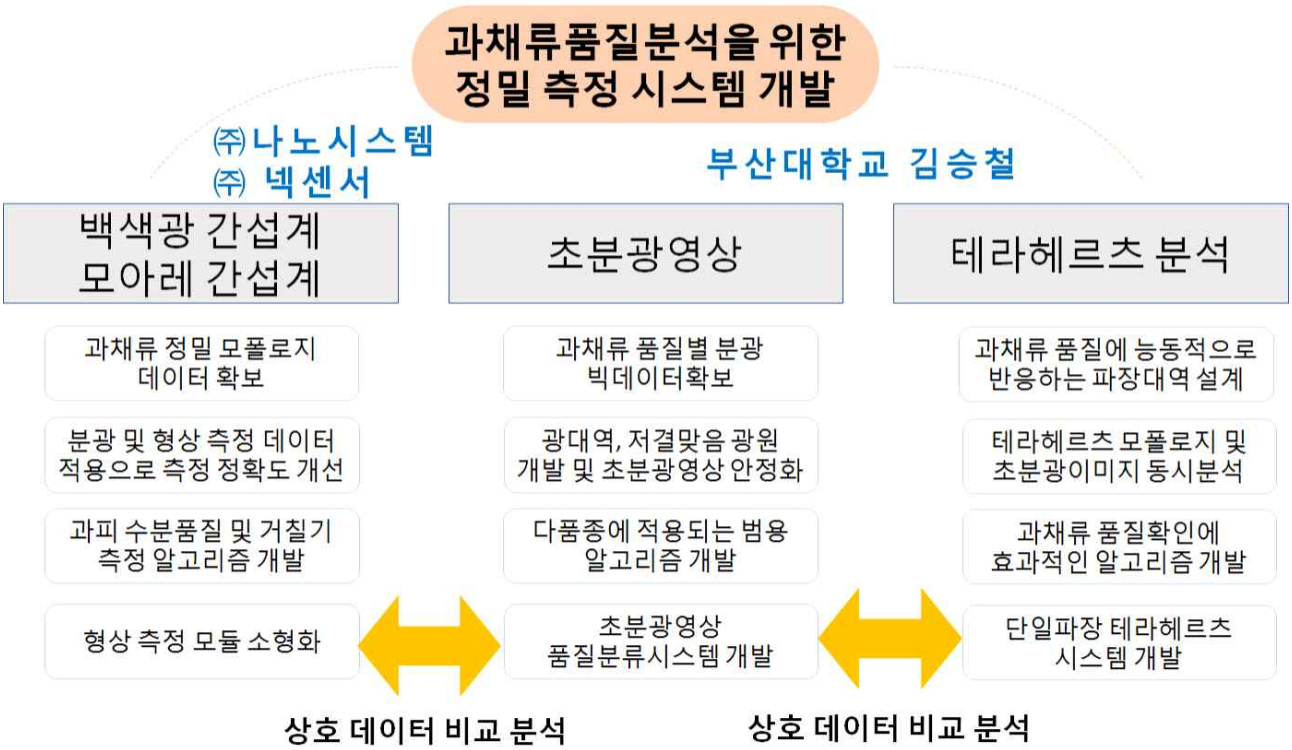
가. 최종목표

○ 도매시장 온라인 경매 시, 생산자 및 소비자(경매인, 소상공인 등)간에 과일·과채류의 품질에 관한 검증 가능한 유용 정보를 제공하기 위하여, 광원의 간섭 원리에 기반한 과일·과채류의 3차원 형상 측정 시스템을 개발하고, 하이퍼 스펙트럴 이미징 기술과 테라헤르츠 레이저 시스템을 통합 적용하여 과일·과채류의 물성(수분 변화량, 갈변, 신선도)등을 동시에 분석할 수 있는 정밀 과채류 분광 측정 시스템을 구축하고자 함. 제안된 정밀 광기술 기반 측정 시스템을 활용하여, 다양한 과일 및 과채류의 표면 상태, 수분 변화 그리고 화학적 조성을 비교 분석할 수 있는 광학 측정 기반 측정 데이터베이스를 구축하고, 이를 실제 경매시장에서 적용가능한 시제품 및 데이터로 활용될 수 있도록 하는 것을 최종 목표로 함

- 단일 형상 측정 영역 : 100 mm x 100 mm(저배율 모아레 기준), 30 mm x 30 mm 이상(고배율 모아레 기준), 4mm×4mm (백색광 간섭계 기준)
- 측정 정밀도 : 50 um(저배율 모아레 기준), 50 um(고배율 모아레 기준),5 nm(백색광 간섭계 기준)
- 측정 속도 : 5 sec 이하(One Field of View 기준)
- 하이퍼 스펙트럴 분광 범위 : 500~1000 nm
- 스펙트럴 분해능 : 5 nm 이하
- 하이퍼 스펙트럴 이미징 라인 스캔 속도 : 850 lines/sec
- 테라헤르츠 파 광원 측정 분광 범위 : 0.2~1.5 THz
- 과채류 형상 측정 시스템 시제품 개발
- 하이퍼 스펙트럴 이미징 측정 시스템 시제품 개발
- 측정 데이터 베이스 확보 : 과일 및 과채류별 각 3종 이상, 과일(사과, 배, 귤 등) 및 과채류(토마토, 호박, 양파 등) 각 3종
- SCI 급 논문 3편 이상, 학회 발표 6건 이상

2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용

가. 연구개발의 추진 전략 · 방법



- 본 과제를 성공적으로 수행하기 위해서는 크게 3가지의 기술(형상측정 기술, 초분광 기술, 테라헤르츠 이미징)기술이 독립적으로 요구됨
- 본 연구팀에서는 과일 및 과채류의 형상 및 표면 측정은 3차원 정밀 측정 기술의 노하우와 경험을 확보하고 있는 ㈜나노시스템과 ㈜넥센서가 주도하여 개발을 수행하며, 부산대학교 연구팀은 광대역 레이저 광원 기반의 정밀 측정 기술, 분광기술 및 테라헤르츠 레이저 기반의 지반 매질 수분 측정 기술 등을 확보하고 있어, 다양한 특성을 갖는 광원 및 시스템을 기반으로 하여, 과일 및 과채류의 광 분광 특성을 연구하고자 함
- 각 연구팀은 해당 분야의 오랜 경험과 노하우를 확보하고 있으므로 형상측정 기술, 분광기술, 테라헤르츠 측정 관련 지식과 경험을 바탕으로 하여, 1차연도에는 각 요소기술을 기반으로 한 플랫폼을 구축하는 데 주력하고, 2차연도에는 구축된 플랫폼을 이용하여 과채류의 색깔, 품종, 신선도, 수분 함량 등 온라인 거래를 위해서 필요한 과일 및 과채류의 품질 정보를 기준으로 하여, 어떤 광학적 특성이 얻어지는 지를 다양한 샘플군을 활용하여 측정 결과 데이터베이스를 구축하고자 함
- 3차연도에는 측정된 데이터 베이스를 바탕으로 하여, 과채류의 통합된 품질 분석 및 정보 제공 플랫폼을 완성하고 이를 실제 시제품으로 활용될 수 있도록 시스템을 안정화하는 연구를 수행하고자 함.
- 빅데이터 기술을 구현하기 위해서는 최소 1000개 이상의 많은 데이터 획득이 필요하고, 측정된 데이터로부터의 통계 처리 및 실제 농산물 전문가로부터 기술의 검증을 받는 과정을 추가함으로써, 품질 등급에 대한 기준치를 설정할 계획임. 또한 도매시장에 유입되는 과채류의 품종에 대한 특성 평가를 광학적으로 수행하여, 품종별로 가장 높은 가격으로 거래되는(상품) 과채류의 특성을 기준으로 하여, 상대적인 평가 방법을 도입할 계획임

- 농산물 품질을 평가하는 요인은 매우 다양하여 광학적으로 측정된 기술을 복합적으로 분석하는 기술이 필요하다. 다양한 광학 측정 결과를 기반으로 하여 과일 과채류의 데이터베이스를 구축하고 머신 러닝 기술을 통해 기존 품질 등급과 잘 부합될 수 있는 분류체계를 구축하기 위한 알고리즘을 연구할 계획이다. 또한, 본 과제의 중요한 성과목표로서 시제품 개발이 필수적이므로, 광학측정 시제품을 개발하여 측정된 결과를 실제 온라인 경매 시장에 데이터로 제시하고, 측정 결과를 바탕으로 하여, 실제 사용자들이 유용한 정보로서 의미 부여를 하는지 여부 등을 의견 수렴을 통해서 개진할 계획이 있다. 많은 제품에 대한 정확한 측정을 위해서 가능한 모든 측정 시스템을 자동화할 예정이며, 상품이 측정 장치와 가능한 접촉되지 않도록 하여, 과일 과채류의 손상을 최소화하는 것을 목표로 하였음

<연구팀 구성 및 운영 전략>

▪ 연구 초기 단계에서는 본 연구에 필요한 장치 구성 및 테스트에 연구 인력을 집중하되, 선행연구 및 연구 동향 파악 그리고, 측정 테스트 베드 구현을 위해 그룹을 나누어 이를 각기 독립적으로 수행하고자 함. 장기적으로는 최종 목표를 효과적으로 달성하기 위해 그룹 내 유기적인 연구 그룹 미팅을 진행하고자 한다. 궁극적으로는 다양한 측정 기술을 기반으로 하여 과채류의 품질을 비교 평가할 수 있는 측정 시스템과 데이터를 확보하여 최종 단계에서 실제 도매시장에서 활용 가능한 측정 분석 플랫폼을 구축하고자 한다. 총 연구 기간에 유기적으로 각 세부 팀 간의 아이디어 및 결과를 적극적으로 공유해 나가며, 연구 방향의 토의/토론을 통해 지속적인 방향설정의 검증 및 재설정을 수행하려고 함

연구개발과제		총 참 여 연 구 원
과제명	도매시장 온라인 경매 고도화를 위한 과일 및 과채류의 3차원 형상 및 물성 분석 광학 측정 시스템 개발	주관연구책임자 (김승철)외 총 8명

기 관 별 참 여 현 황		
구 분	연구기관수	참여연구원수
대 기 업		
중견기업		
중소기업	2	5
대 학	1	4
국공립(연)		
출 연 (연)		
기 타		

부산대학교
도매시장 온라인 고도화를 위한 과일 및 과채류의 3차원 형상 정보 및 물성 분석 광학 측정 시스템 개발
연구책임자 김승철 외 3명
담당기술개발내용
하이퍼 스펙트럴 이미징 과일 과채류 분광 분석 기술 개발, 테라헤르츠 레이저 기술 기반 과일 과채류 수분 분포 측정 및 신선도 측정 기술 개발

넥센서(위탁연구기관)	나노시스템(위탁연구기관)
모아레 간섭계 기술 기반 과일 및 과채류 3차원 형상 측정 기술 개발	백색광 간섭계 원리 기반 과채류 표면 측정 기술 개발
유준호	이근우 외 3명
담당기술개발내용	담당기술개발내용
모아레 간섭 기술 기반 과일 및 과채류 3차원 형상 측정 기술	백색광 레이저를 이용한 과일 및 과채류 표면 형상 정밀 측정 기술

[연차별 추진 일정]

1차년도															
일련번호	연구내용	월별 추진 일정												연구개발비(단위: 천원)	책임자(소속기관)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1	계획수립 및 자료조사													20,000	김승철 (부산대학교)
2	설계도면 제작													20,000	김승철 (부산대학교)
3	하이퍼 스펙트럴 분광기 설치													20,000	김승철 (부산대학교)
4	광대역 레이저 스펙트럼 분광기 구축													20,000	김승철 (부산대학교)
5	테라헤르츠 이미징 및 분석시스템 개발													20,000	김승철 (부산대학교)
6	백색광 간섭계 구성													50,000	이근우 (나노시스템즈)
7	과채류 측정 기술 개발													50,000	이근우 (나노시스템즈)
8	모아레 광학계 구축													50,000	유준호 (넥센서)
9	분석 알고리즘 개발													50,000	유준호 (넥센서)

2차년도															
일련번호	연구내용	월별 추진 일정												연구개발비(단위: 천원)	책임자(소속기관)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1	하이퍼 스펙트럴 분광기 분석 플랫폼 개발													20,000	김승철 (부산대학교)
2	광대역 레이저 광원 구축 및 스펙트럴 이미징 기술 개발													40,000	김승철 (부산대학교)
3	테라헤르츠 분광기술 & 하이퍼스펙트럴 데이터 복합분석 시스템 개발													40,000	김승철 (부산대학교)
4	광대역 레이저 스펙트럼 수분함유량 모니터링 시스템 구축													50,000	김승철 (부산대학교)
5	저배율 간섭렌즈 설계 및 제작													50,000	이근우 (나노시스템즈)
6	백색광 간섭계 성능 평가													50,000	이근우 (나노시스템즈)
7	백색광 간섭계 정밀도 향상 작업													50,000	이근우 (나노시스템즈)
8	모아레 광학계 과채류 측정													50,000	유준호 (넥센서)
9	모아레 광학계 성능 평가 및 개선													50,000	유준호 (넥센서)

3차년도															
일련번호	연구내용	월별 추진 일정												연구개발비 (단위: 천원)	책임자 (소속 기관)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1	하이퍼 스펙트럴 기술 기반 과채류 특성 분석 기술 개발													50,000	김승철 (부산대학교)
2	광대역 레이저 과채류 특성 분석 기술 개발													50,000	김승철 (부산대학교)
3	테라헤르츠 기술 기반 수분 변화 모니터링데이터 베이스 구축													60,000	김승철 (부산대학교)
4	백색광 간섭계 기반 3차원 곡면 및 표면 거칠기 측정 기술 시제품 개발													100,000	이근우 (나노시스템즈)
5	모아레 광학계 시제품 제작													100,000	유준호 (넥센서)
6	성능향상 위한 정합알고리즘 개발													40,000	유준호 (넥센서)

나. 기관별 연구개발 내용 및 결과

세부구분	세부과제명	세부연구목표	연구개발 수행내용	연구결과
주관		하이퍼스펙트럴 시스템 제작 및 빅데이터화를 통한 과채류 내부분석 플랫폼 구축	하이퍼스펙트럴 시스템 제작	- 가시광 파장영역의 초분광 시스템과 근적외선 파장영역의 분광시스템 구축 - 텔레센트릭 렌즈, 선형 이동식 스테이지 적용 및 시스템 패키징
			하이퍼스펙트럴 데이터 분석 S/W 개발	- 초분광 이미징 소프트웨어 개발 - 광학적 캘리브레이션 적용 - 분석소프트웨어 개발
			하이퍼스펙트럴 과채류 분석 데이터베이스 구축	- 당도계, 산도계, 수분측정기를 이용한 과종별 당도, 산도, 수분 결과와 하이퍼스펙트럴 시스템을 이용한 과종별 스펙트럼 데이터베이스 구축 - 데이터 베이스 기반의 당도, 산도, 수분 하이퍼스펙트럴 선형회귀분석 모델개발
			하이퍼스펙트럴 과채류 분석 시스템 평가	- 과종 별로 스펙트럼의 양상 차이 및 각 종 분석 지표들의 파장 분석 가능 - 각 분석 지표들 비교분석을 통해 고속 정밀 농산물 분류 시스템을 통한 분석
		테라헤르츠 시스템 제작 및 분석을 통한 과채류 내부분석 플랫폼 구축	테라헤르츠 시스템 제작	- 원활한 측정을 위한 빔 형성 및 빔 매칭을 위한 광학 시스템 설계 및 하드웨어를 제작 - 오차 제거를 위한 표면(아노다이징) 처리 및 빔 세기 분포 정규화, 속도 동일화 과정 적용한 시스템 구축
			테라헤르츠 시스템 과채류 분석	- 내부상태 또는 수분 및 기타 성분 함량에 대한 비파괴 투과 측정 및 고속 정밀 측정에 따른 상태별 분류가 가능 - 과종별 필요한 분석 지표에 따른 결과를 통해 데이터베이스 구축
			테라헤르츠 과	- 과종 별 품질과 상태를 정밀 판단

			채류 분석 시스템 평가	가능 - 비파괴 투과 측정 및 고속 정밀 측정을 통한 데이터베이스 구축으로 온라인 도소매 시장 적용 가능
협동		백색광 간섭계	백색광 간섭계 시스템 제작	- 간섭 렌즈 설계 및 제작을 통한 측정 영역 확장 - 측정을 위한 소프트웨어 연동 선형 이동 식 스테이지 적용 및 시스템 구축
			백색광 간섭계 데이터 분석 S/W 개발	- 광량비 최적화를 통한 간섭 신호의 신 호대 가시도(Visibility) 향상 - 주파수 영역 분석법을 통한 측정 알고리 즘을 개발 - 가우시안 필터링 알고리즘을 통한 만곡 형상 및 3차원 거칠기 형상 분석 가능
			백색광 간섭계 과채류 분석 데이터베이스 구축	- 과채류의 거칠기 및 스크래치와 같은 결 함 및 수분 함량에 따른 표면 정보 획득 가능 - 표면 형상 정보를 통한 과채류의 신선도와 비교분석 가능
			백색광간섭계 과채류 분석 시스템 평가	- 타 정보대비 시각적인 정보를 선호하 는 소비자의 경향을 만족 - 빠른 시간 내의 비파괴 검사 형식으로 데이터를 확보 가능
		모아레 간섭계	모아레 간섭계 시스템 제작	- Digital Mirror Device(DMD)를 적용한 패턴 조사 광학계를 구축 - White Light LED의 전류를 안정적으로 공급하는 LED 제어 회로 및 DMD칩의 제어 및 구동 회로 시스템 구축
			모아레 간섭계 데이터 분석	- 실질적인 물체의 높이 정보를 얻기 위해 위상 정렬방식 적용

			S/W 개발	- 위상복원 과정에서 QGM 적용을 통한 정밀도 향상 - 측정 및 캘리브레이션 SW 및 측정 데이터 정합 알고리즘 개발 - 검사과정 동안 패턴을 실시간으로 조합하는 검사 소프트웨어 개발
			모아레 간섭계 과채류 분석 데이터베이스 구축	- 과채류의 고칠기 및 스크래이차 와 같은 측정 정보 분석 및 데이터 확보 - 고속 형상 정보 측정 및 기준 거칠기와으 비교분석을 통한 분류시스템 개발
			모아레 간섭계 과채류 분석 시스템 평가	- 해당 모아레 간섭계 이미징 시스템을 적용한 온라인 도매시장에 적용 가능한 시제품을 적용 가능 - 데이터를 확보 및 참조 거칠기 분석을 통한 측정 과채류의 품질 분석 가능

다. 연구 수행 내용

[주관기관 연구과제]

□ **하이퍼스펙트럴 시스템 제작 및 빅데이터화를 통한 과채류 내부분석 플랫폼 구축**

- 하이퍼스펙트럴 시스템 제작
- 하이퍼스펙트럴 데이터 분석 S/W 개발
- 하이퍼스펙트럴 과채류 분석 데이터베이스 구축
- 하이퍼스펙트럴 과채류 분석 시스템 평가

□ **테라헤르츠 시스템 제작 및 분석을 통한 과채류 내부분석 플랫폼 구축**

- 테라헤르츠 시스템 제작
- 테라헤르츠 시스템 과채류 분석
- 테라헤르츠 과채류 분석 시스템 평가

[1협동 연구과제]

□ **백색광 간섭계 시스템 표면분석 시스템 개발을 통한 과채류 외부분석 구축**

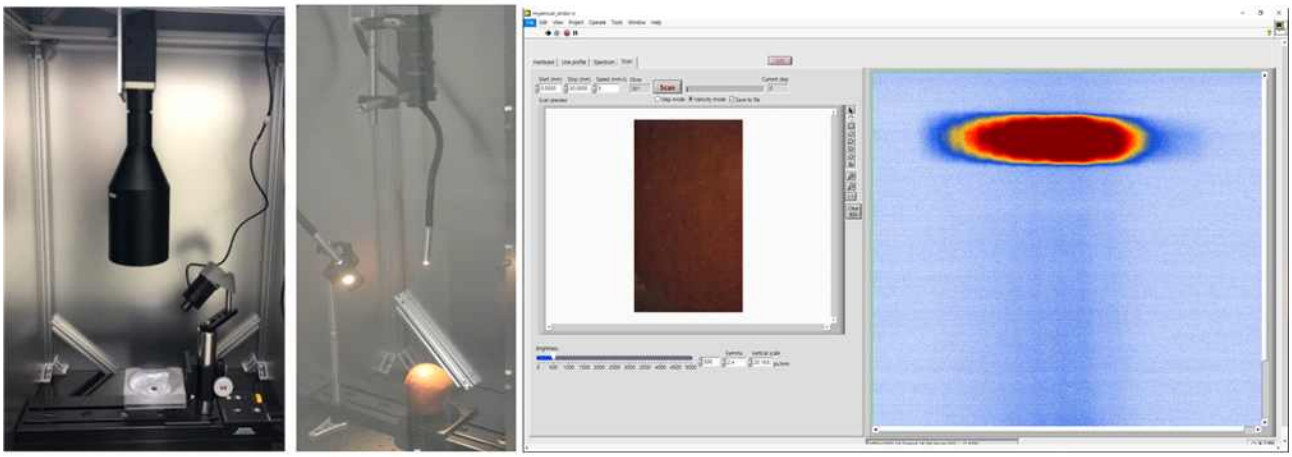
- 백색광 간섭계 시스템 제작
- 백색광 간섭계 S/W 개발
- 백색광 간섭계 과채류 외부분석 및 시스템 평가

□ **모아레 간섭계 시스템 표면분석 시스템 개발을 통한 과채류 외부분석 구축**

- 모아레 간섭계 시스템 제작
- 모아레 간섭계 S/W 개발
- 모아레 간섭계 과채류 외부분석 및 시스템 평가

[주관기관 연구내용]

□ 하이퍼스펙트럴 장비 및 소프트웨어 개발 결과



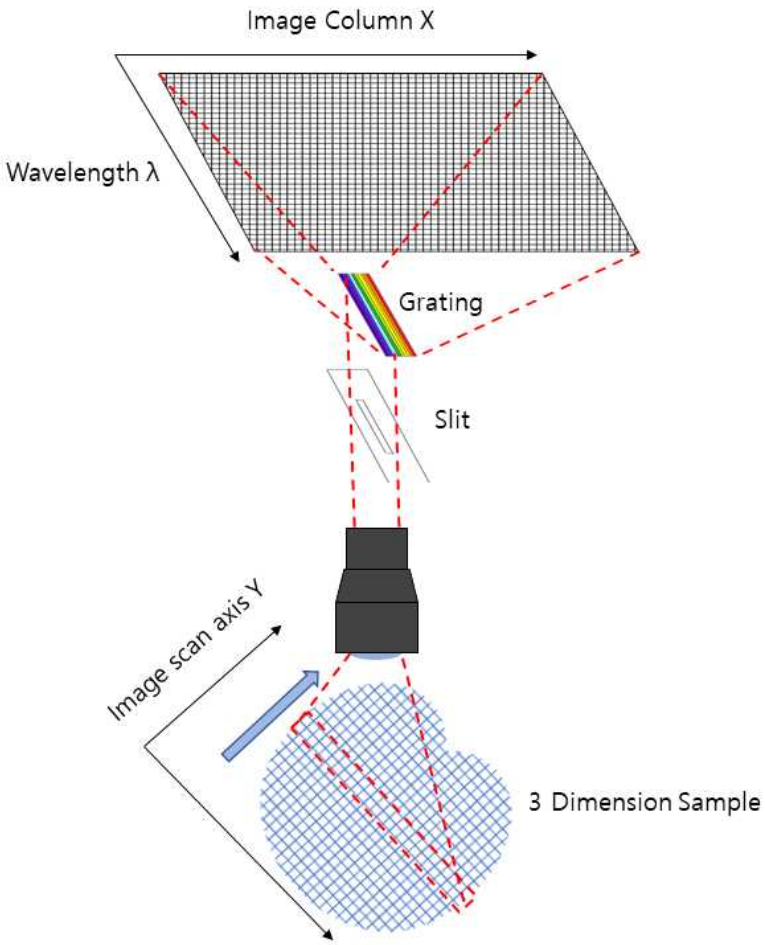
< 개발된 측정 시스템 및 분석 소프트웨어>

□ 하이퍼스펙트럴 시스템 제작 및 빅데이터화를 통한 과채류 내부분석 플랫폼 구축

● 하이퍼스펙트럴 시스템 제작

• 하이퍼스펙트럴 이미징 원리

- 할로겐 램프와 같은 광대역 파장 (300~2700nm)의 광원이 샘플에 반사되면 샘플 특성에 따른 파장 흡수에 의해 반사광 스펙트럼에 변화가 생김
- 반사광을 하기 그림과 같이 1차원 슬릿을 통해 받고 초분광 스펙터(고성능 프리즘)에 입사하면 파장별 굴절률 변화가 극대화되어 1차원 슬릿 정보에 대한 빛의 파장이 초분광되어 발산함
- 발산하는 빛을 렌즈를 통해 CCD 카메라로 수렴하면 반사광의 광대역 파장 이미지를 얻을 수 있음
- 이와 같은 원리를 이용한 이미징 방식을 ” 초분광 이미징 “이라 하며, 이를 이용하여 농산물 및 과채류에서 일어나는 파장 흡수 기반 반사광 스펙트럼을 고속 정밀 분석하여 수분량, 당도, 산도, 표면에 농약 여부, 눈에 보이지 않는 손상 (멍), 경도, 각종 유해성 물질 등과 같은 다양한 지표들을 얻을 수 있음



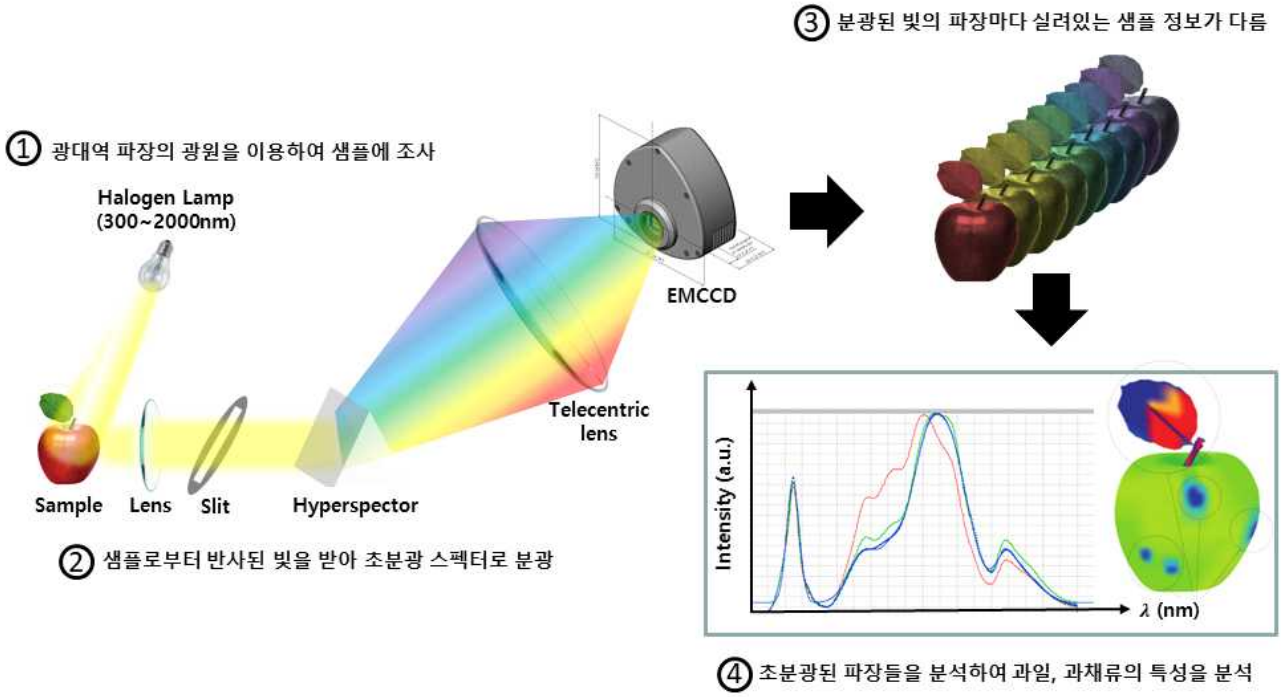
<하이퍼스펙트럴 이미징 메커니즘 모식도>

- **하이퍼스펙트럴 이미징 시스템 구축**

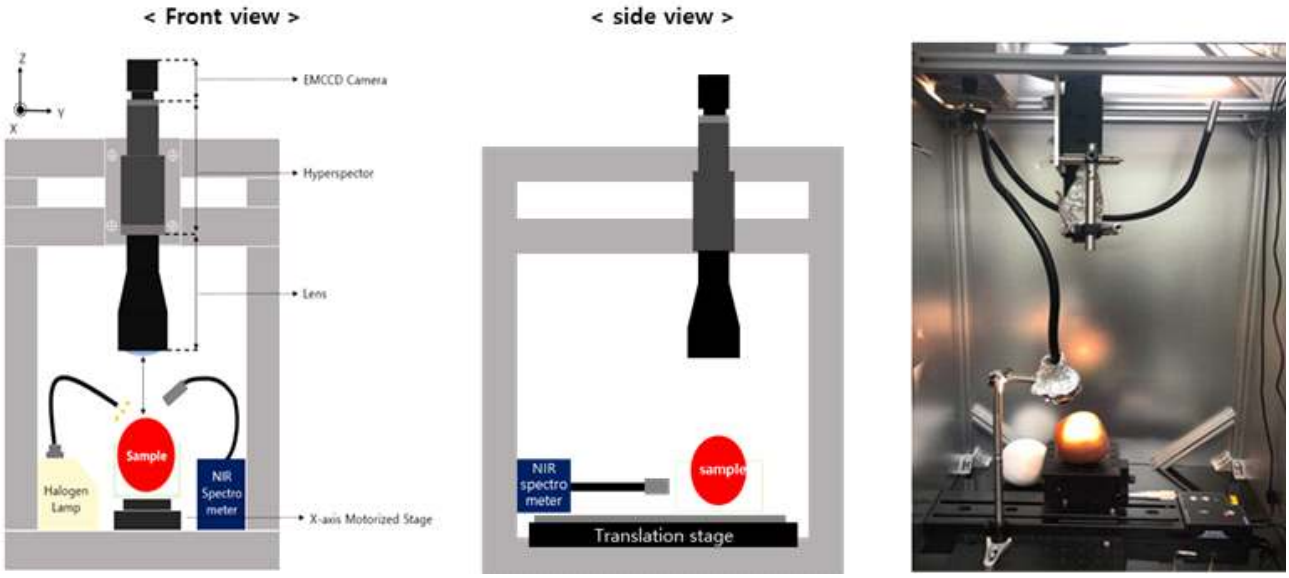
– 하이퍼스펙트럴 영상은 x-y축의 공간상 이미지가 파장 축으로 적층된 구조로써 얻어지는 3d 행렬 바이너리 데이터이며 측정할 때에 3축이 서로 직교하게끔 정렬
– 하이퍼스펙트럴 스펙트로미터는 일렬의 슬릿을 통해 일차원공간의 빛을 받아 분광기를 통해 x-λ축의 2차원 이미지가 생성
– 모터 스테이지가 샘플을 y축으로 0.1mm씩 이동시키며 각 간격에서의 x축에 대한 파장 이미지를 축적시켜 x축-파장-y축의 데이터 수집
– 카메라의 포토다이오드 배열 픽셀이 형성하고 있는 축과 하이퍼스펙트럴 스펙트로미터의 x축-파장이 일치하지 않을 때 단일 픽셀에 대한 스펙트럼의 계산에 오류가 발생하므로 카메라 장치와 하이퍼스펙트럴 스펙트로미터 사이의 정렬작업 수행 완료
– 렌즈 및 하이퍼스펙트럴 스펙터의 슬릿을 통해 0.1mm 이하의 공간 해상도로 하이퍼스펙트럴 이미지를 촬영하기 때문에, 하이퍼스펙트럴 스펙터를 통과한 영상의 조도는 30um 너비의 슬릿을 통과할 때 1/200 이하, 스펙트로미터로 분광되어 질 때에 1/100 이하로 감소함
– 구면의 과일 및 과채류는 광원과의 반사각을 이루는 위치에서 샘플의 광흡수도나 반사도가 아닌 백색 반사광을 나타내기 때문에 반사광을 없애는 광원-샘플-측정장치의 구조를 구축함
– 농산물 같은 경우, 다양한 모양과 크기를 가지고 있기 때문에 일반적인 렌즈의 초점 심도(depth of focus)와 시야(field of view)로는 측정에 어려움이 큼
– 이와 같은 문제를 해결하기 위해, 본 연구단은 초점심도가 깊고 시야가 넓은 텔레센트릭

(telecentric lens)를 이용하여 농산물에 대한 하이퍼스펙트럴 이미징을 수행함

- 이뿐만 아니라, 하이퍼스펙트럴 이미징은 할로겐 램프를 이용하여 광대역 (300~2000nm)파장에 대한 이미징을 진행하는데, 일반 렌즈는 파장별 수차가 발생하여 광대역 파장에 대해서는 정확한 이미징이 불가하나, 텔레센트릭 렌즈는 이와 같은 색수차 문제도 보정하여 본 이미징 시스템에 적합함
- 텔레센트릭 렌즈를 통해 들어온 반사광은 하이퍼스펙터(hyperspector)라는 광학 프리즘 시스템으로 들어오는데, 앞서 설명한 바와같이 단일 미세 슬릿에 대한 반사광을 초분광하여 파장 정보를 읽어들임
- 이때, 미세한 파장 변화 또는 특정 파장에서의 반사광 세기가 약할 경우를 대비하여 일반 CCD, CMOS카메라가 아닌 EMCCD (electron-multiplying CCD)카메라를 이용하여 미세한 세기 측정에 용이하도록 함



<하이퍼스펙트럴 이미징 시스템을 이용한 농산물 측정 전체 메커니즘>



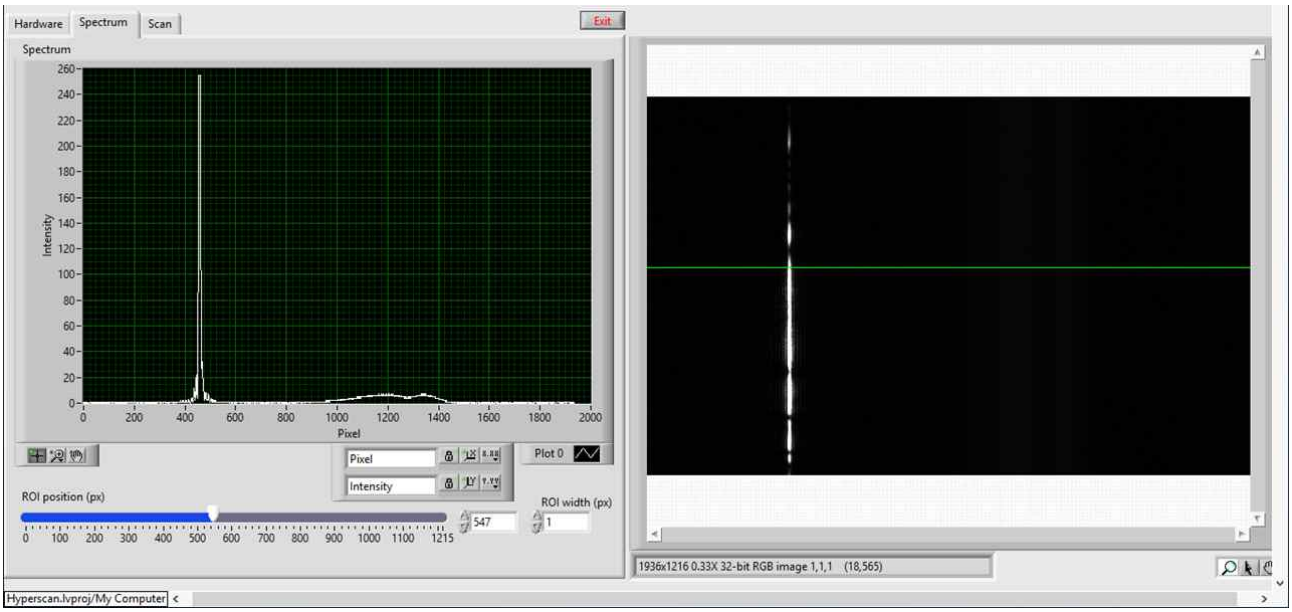
<하이퍼스펙트럴 이미징 시스템 설계 모식도(좌)와 실제 구축 시스템(우)>

- 근적외선~적외선 대역에서의 농산물 및 과채류의 여러 특성을 나타내는 분석 지표파장이 많이 포함되어 있기에 이 파장 대역의 추가 분석을 위하여 상기 그림과 같이 하이퍼스펙트럴 이미징 시스템 내에 근적외선 스펙트럼 분석기 (near infrared spectrometer)를 설치함
- 근적외선 스펙트럼 분석기는 950~1700nm파장 대역의 스펙트럼 정보 수집이 가능하여 샘플에서 나타날 수 있는 분석 지표파장을 모두 커버할 만큼의 광대역 파장 포용성을 지님
- 샘플의 초분광 측정이 완료되는 지점에 근적외선 스펙트럼 분석기 디텍팅 팁을 두어 하이퍼스펙트럴 이미징이 완료된 후 순차적으로 근적외선 분석이 이루어지도록 시스템을 구성함
- 상기 시스템을 통해 수집된 농산물 및 과채류의 반사광은 이미징 데이터는 LabVIEW 소프트웨어 코딩을 이용하여 이미지 전체에 대한 스펙트럼 또는 분석 영역을 지정하여 그 부분에서의 파장 스펙트럼 분석을 진행함
- 본 연구단이 구축한 하이퍼스펙트럴 이미징 시스템은 과종별로 스펙트럼의 양상이 뚜렷하게 차이나는 것을 볼 수 있고, 근적외선 스펙트럼 분석기의 결과 또한 차이가 나타나는 것을 볼 수 있음
- 앞서 언급한 농산물 및 과채류의 수분량, 당도, 산도, 표면에 농약 여부, 눈에 보이지 않는 손상 (멍), 경도, 각종 유해성 물질 등과 같은 다양한 지표들에 대한 분석 지표파장을 사전 문헌 조사를 통해 선정되어 있으므로, 이 시스템을 통해 얻은 파장 스펙트럼 결과를 대입하여 각 지표 별 가중치를 도출하고, 이를 다중회귀곡선 분석법을 이용하여 분류함
- 그리고 시스템을 이용한 초분광 측정과 동시에 측정 샘플의 당도, 산도, 수분량 등을 상용화된 제품으로 측정하여 실제 시스템의 분류 정확도를 비교 검증함
- 제안 기술이 탑재된 시스템을 이용하여 다양하고 많은 농산물 및 과채류 샘플 측정을 통해, 빅데이터 획득 및 분석하여 앞서 언급한 여러 지표들에 대해 높은 정확도로 분류할 수 있음
- 본 연구단은 이와 같이 업그레이드된 하이퍼스펙트럴 이미징 시스템을 이용하여 다양한 농산물들을 비파괴 측정하여 분류하고자 하는 수분량, 산도, 당도, 경도, 잔류 농약 등과 같은 특성들에 대한 분석 지표파장을 기존에 연구되어온 자료들과 서적들을 참고하여 선정 후, 실제로 본 연구단이 구축한 하이퍼스펙트럴 이미징 시스템을 이용하여 측정했을 때의 파장 스펙트럼을 비교 분석하여 각 분류 파라미터들에 따른 결과를 비교분석하여 고속 정밀 농산물 분류 시스템을 구축함

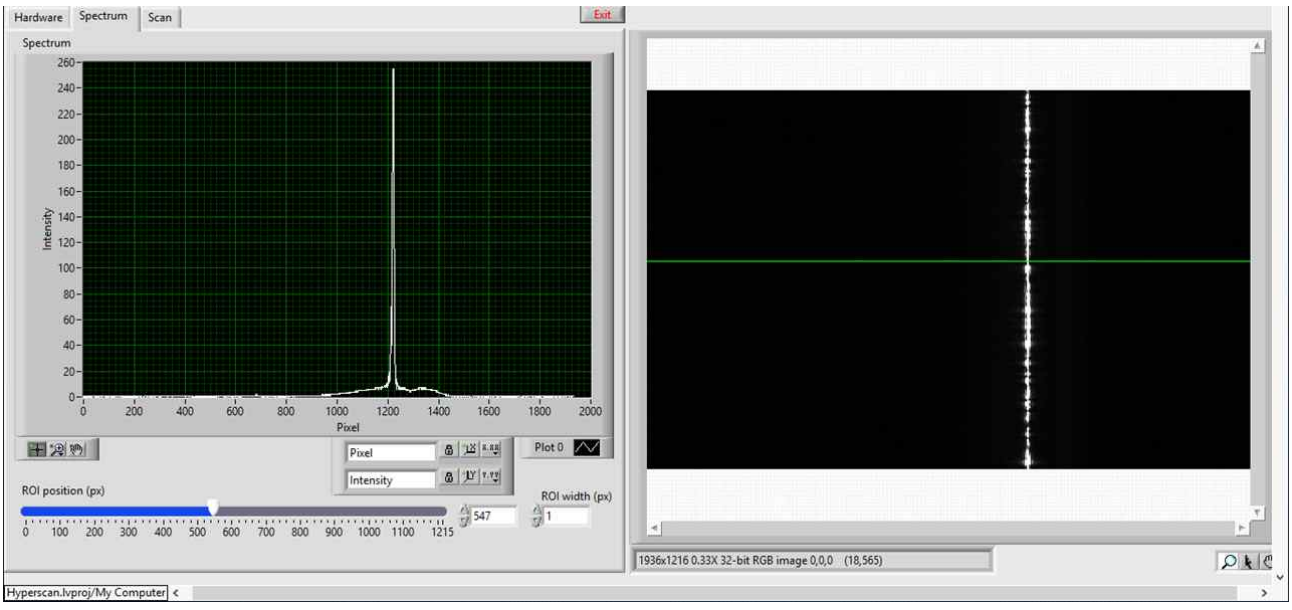
● 하이퍼스펙트럴 데이터 분석 S/W 개발

• 파장 calibration

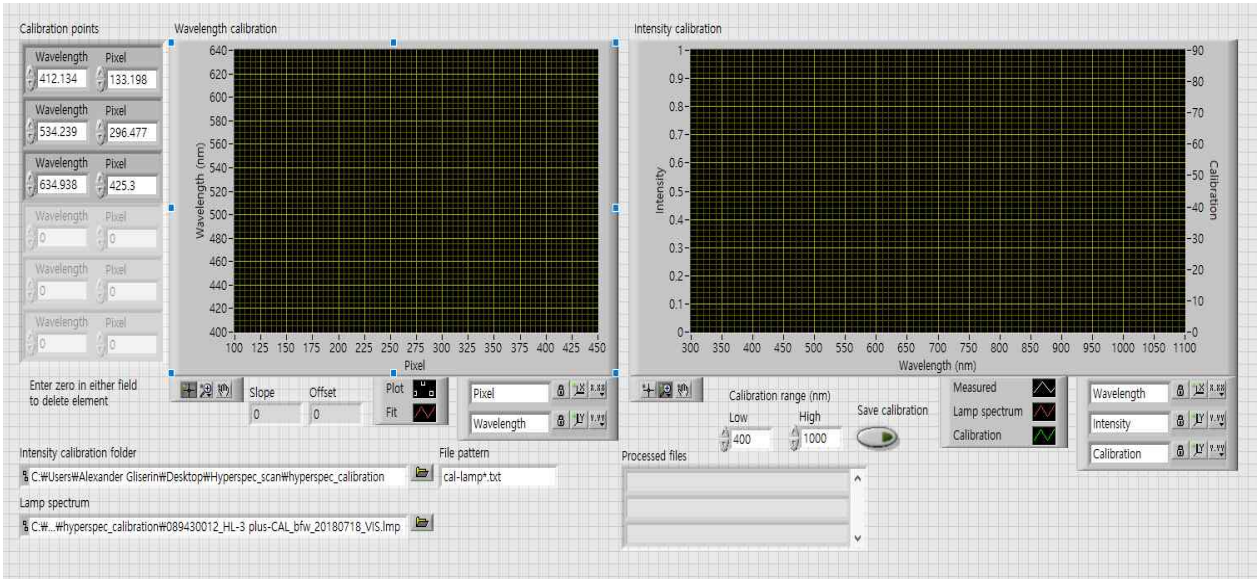
하이퍼스펙트럴 이미징에서의 시스템은 피대상체의 반사광이 하이퍼스펙트럴 스펙트로미터를 지나 분산되어 EMCCD에 pixel line별로 파장을 가지게된다. 정밀한 이미징을 위해서는 반드시 파장별 calibration 과정을 통해 pixel line별 부여되는 파장을 정확하게 지정해야함. 이를 위해서 먼저 고정밀 스펙트로미터를 이용해서 단일파장레이저의 파장을 확인하고 이를 제작한 하이퍼스펙트럴 시스템에 넣어주어 pixel line별로 파장을 지정해주는 과정을 진행하였다. 이때 412, 534, 632 nm의 파장의 레이저를 이용해 먼저 고정밀 스펙트로미터로 파장을 확인하고 하이퍼스펙트럴 시스템에서의 pixel line별 데이터를 확인하였음

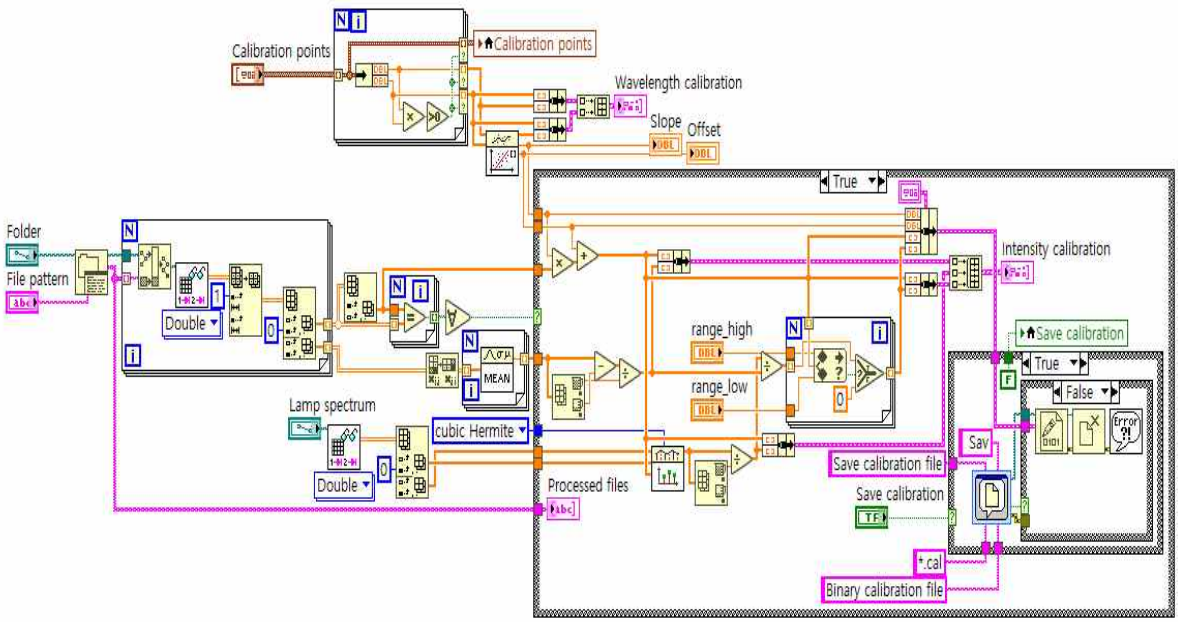


< 하이퍼스펙트럴 시스템에서 412 nm 파장이용시의 pixel line 데이터 결과 >



< 하이퍼스펙트럴 시스템에서 632 nm 파장이용시의 pixel line 데이터 결과 >





< pixel line별 파장 calibration 소프트웨어 >

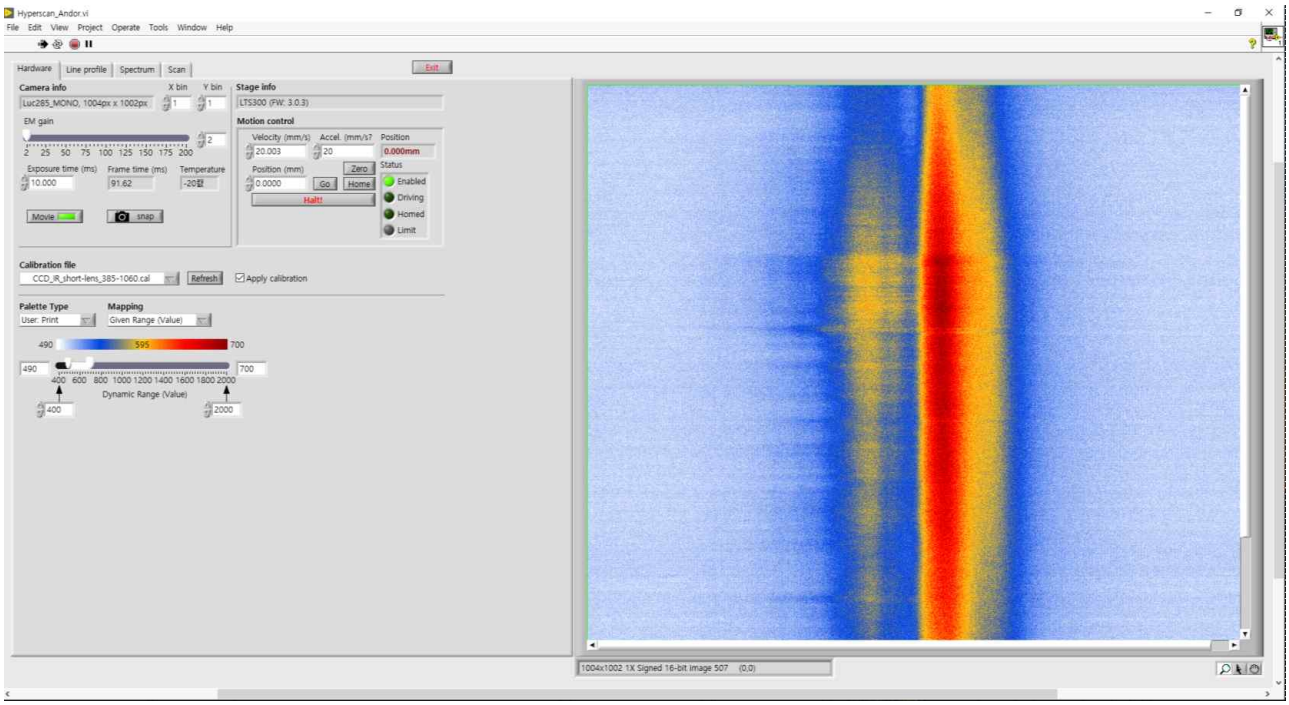
- **하이퍼스펙트럴 이미징 시스템 software 제작**

하이퍼스펙트랄 스펙트로미터는 30um 크기의 슬릿폭을 가지고있고, 슬릿폭을 지나 들어오는 반사광이 하이퍼스펙트랄 스펙트로미터내의 분산장치에의해 파장별로 나누어지게된다. 이때 슬릿폭만큼의 피대상체의 이동을 시켜주며 이미징을 진행할 때 고정밀 하이퍼스펙트랄 데이터획득이 가능하다. 이를위해서 피대상체의 이동부의 제어 소프트웨어와 동시에 스펙트럼 정보를 획득 시스템을 제작하여 구동해야한다. 슬릿폭만큼의 이동과 스펙트럼 지속적인 스펙트럼 획득 소프트웨어를 제작하여 하이퍼스펙트럴 이미징 시스템을 구현하였음

소프트웨어는 빛의 diverging 현상을 해결하기위해 EMCCD의 gain 값을 조절할 수 있도록 구성하였다. 또한, 동시에 데이터를 획득하는 Exposure time을 조절할 수 있게 함으로써 적절한 세

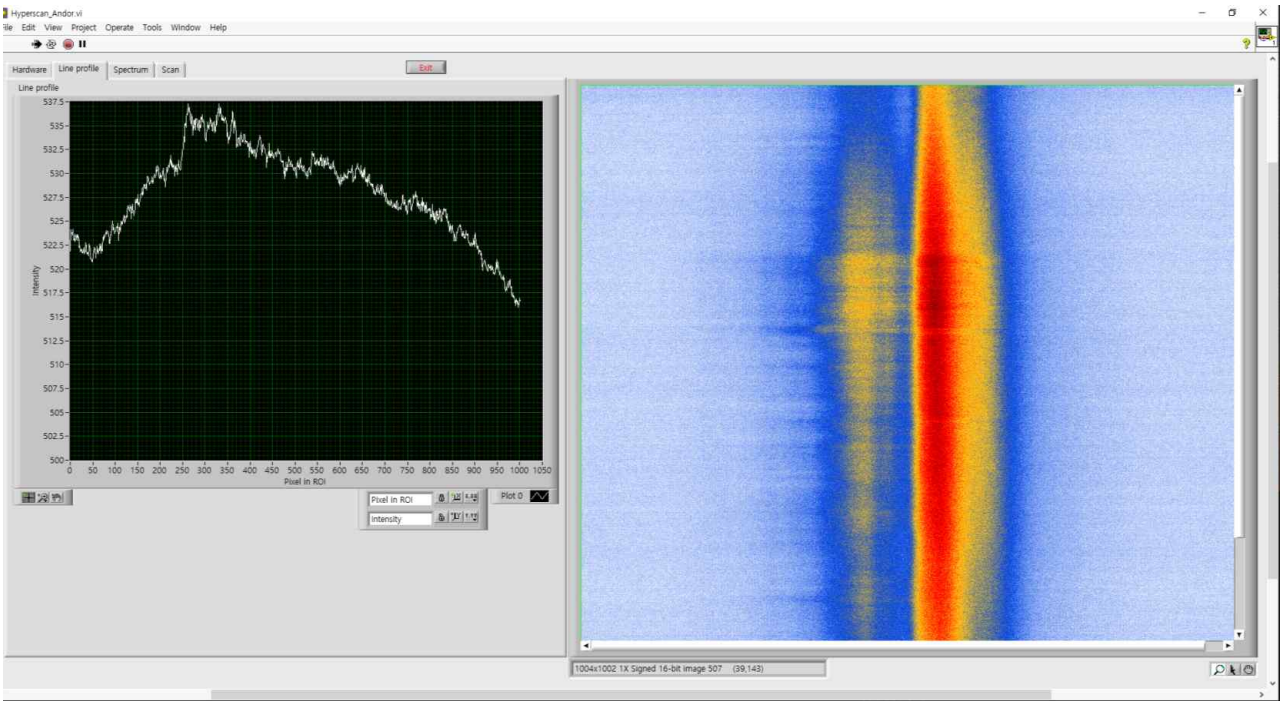
기의 광량을 유지할 수 있도록 제작하였다. 또한, 피대상체의 이동하는 위치를 시스템적으로 이동이 가능하도록 motion control 부를 설계하였으며 이때 피대상체의 위치 및 이동속도를 조절이 가능하도록 구성하였음

pixel line 별 데이터는 파장별 데이터를 의미하므로 하이퍼 스펙트럴 이미징 시스템을 이용해서 측정된 피대상체의 복원을 위해 CIE 1976 색 공간 기법을 적용하여 파장별로 색을 배정하고 이를 통합하여 이미지를 재구성하는 시스템을 제작하였음

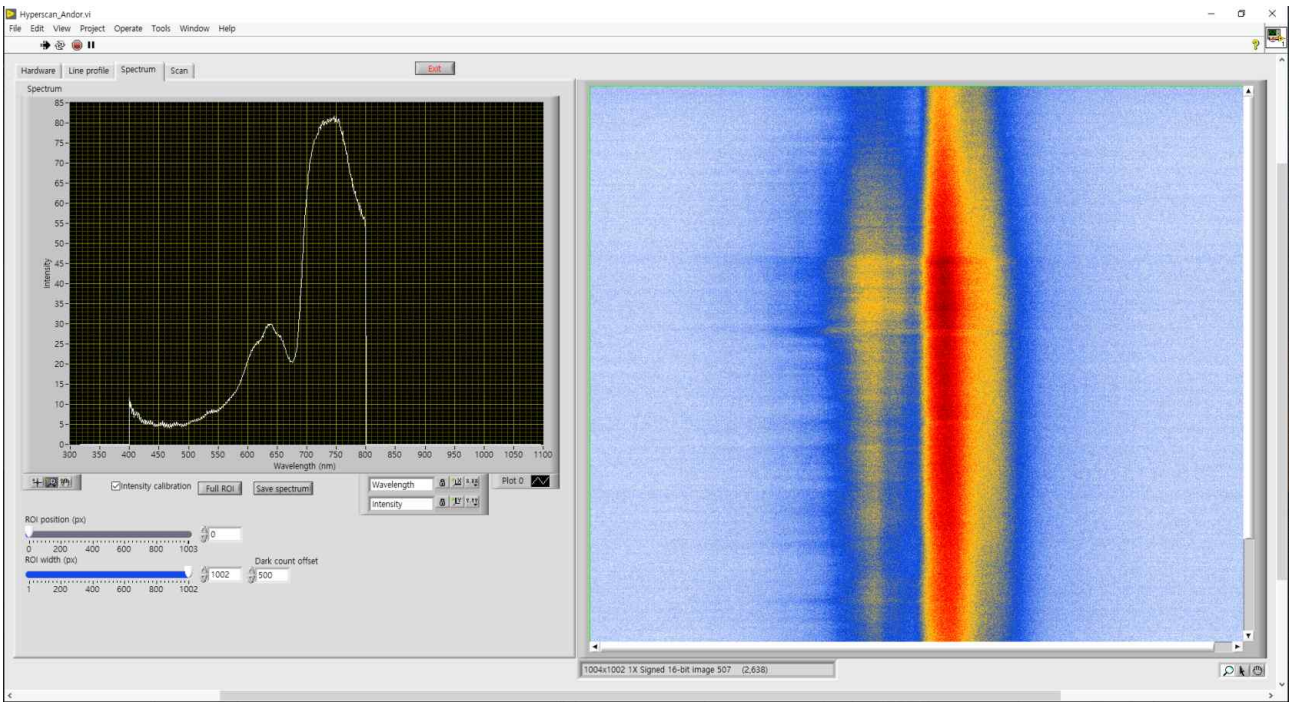


< 하이퍼 스펙트럴 이미징 소프트웨어 하드웨어 컨트롤파트 이미지 >

측정장치 line data와 실제 파장의 calibration을 위해 단일파장 pixel line 별 데이터를 calibration 소프트웨어를 제작하였음. 또한, 위치별로 스펙트럼의 분포를 확인하기 위해 ROI 지역을 설정할 수 있도록 소프트웨어를 제작하여 ROI 지역 설정 및 크기를 조절해가며 분포를 확인할 수 있도록 시스템을 구현하였음



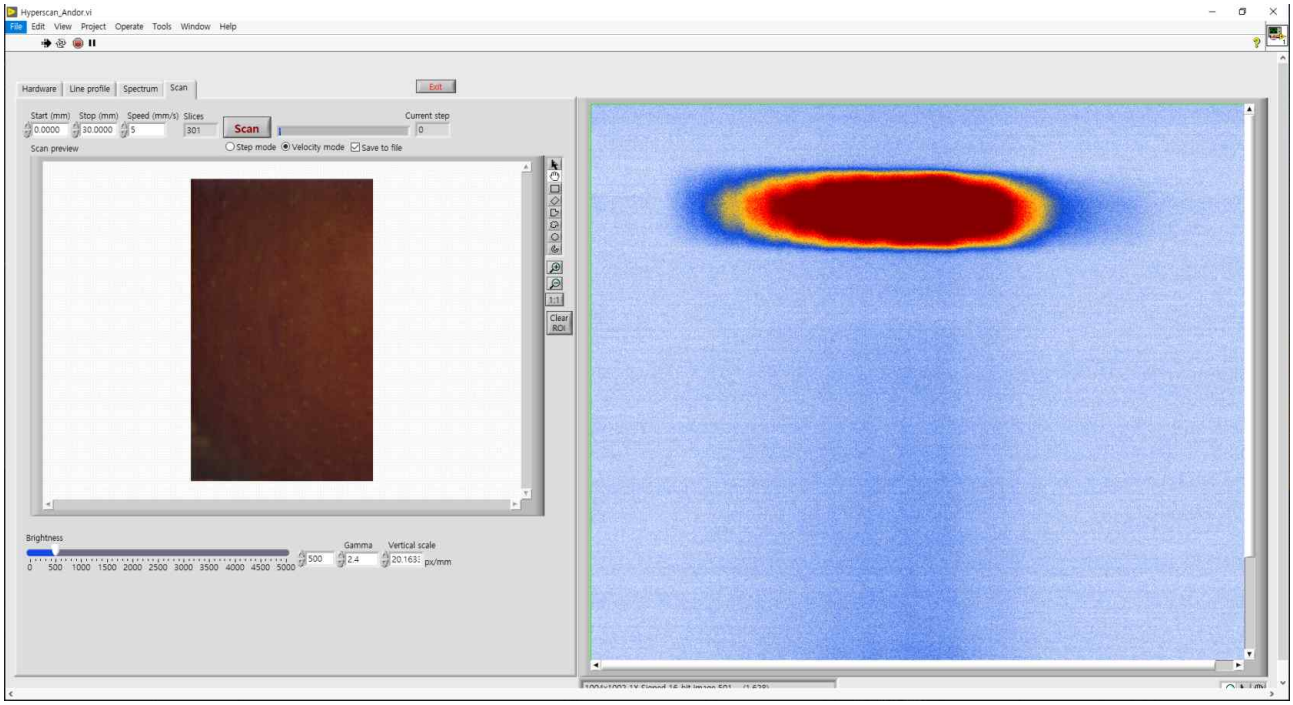
< 하이퍼 스펙트럴 이미징 line pixel intensity 확인부 >



< 하이퍼 스펙트럴 이미징 공간축 spectrum intensity 확인부 >

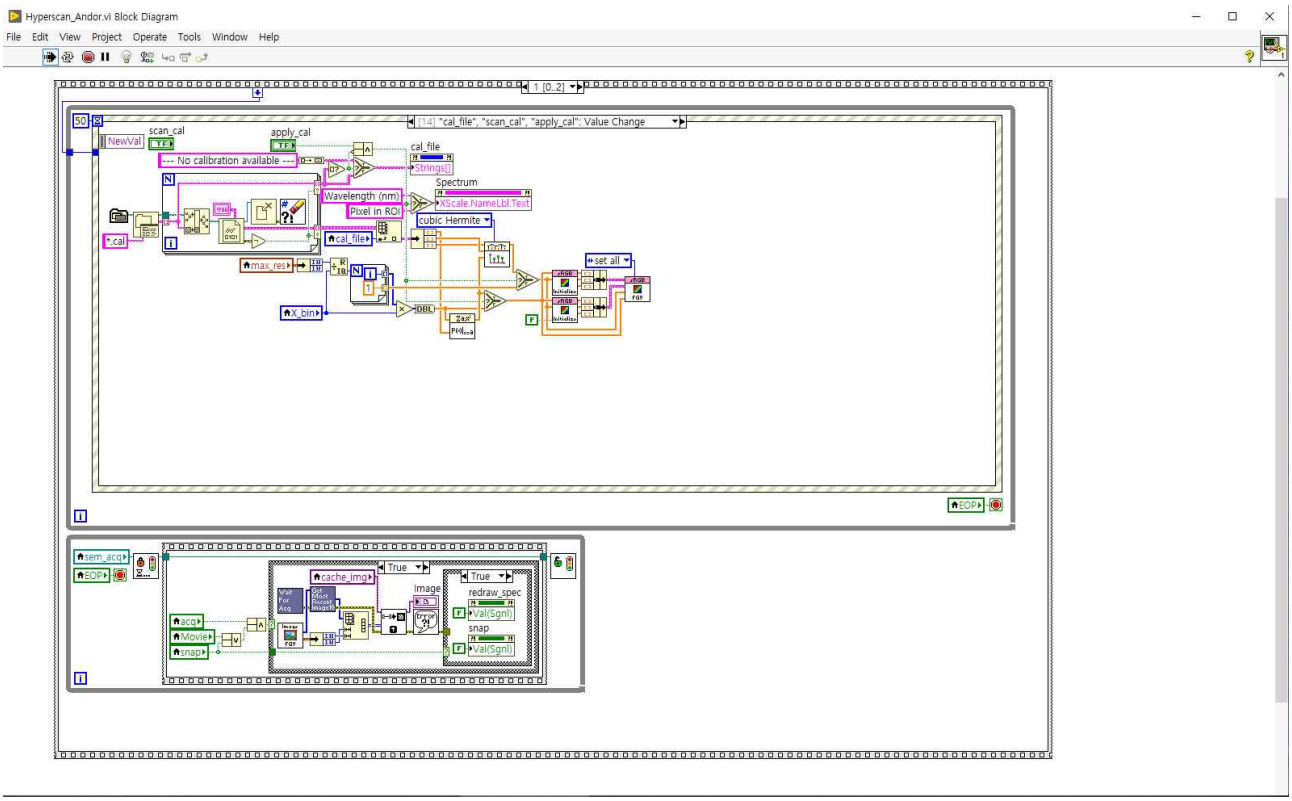
소프트웨어의 스캔 부에서는 스캔의 시작지점 및 정지지점을 설정할 수 있도록 제작하였고, 스캐닝의 속도 또한 조절할 수 있도록 시스템을 구현하였다. 이동 스테이지의 속도와 데이터의 획득속도를 calibration 하는 과정에서 사용하는 선형이동장치의 제조사인 thorlabs의 spec sheet과 calibration guide line을 이용하여 시스템을 제작하였다. 스캐닝의 방법은 크게 두 가지로 step mode와 velocity mode를 설정하였음. 빠른 스캐닝 방법을 위해서 scanning mode를 이용해서 하이퍼 스펙트럴 이미징이 가능하고 또한 정밀 측정을 위하여 step mode가 가능하도록 구성하여다. velocity mode는 5mm/s의 속도로 촬영을 함으로써 고속 측정이 가능하고 5mm/s의 속도에서는 정확한 하이퍼 스펙트럴 이미징이 가능함을 반복테스트를 이용하여 확인하였다. step mode에서는 하이퍼 스펙트럴 스펙트로미터의 슬릿의 크기인

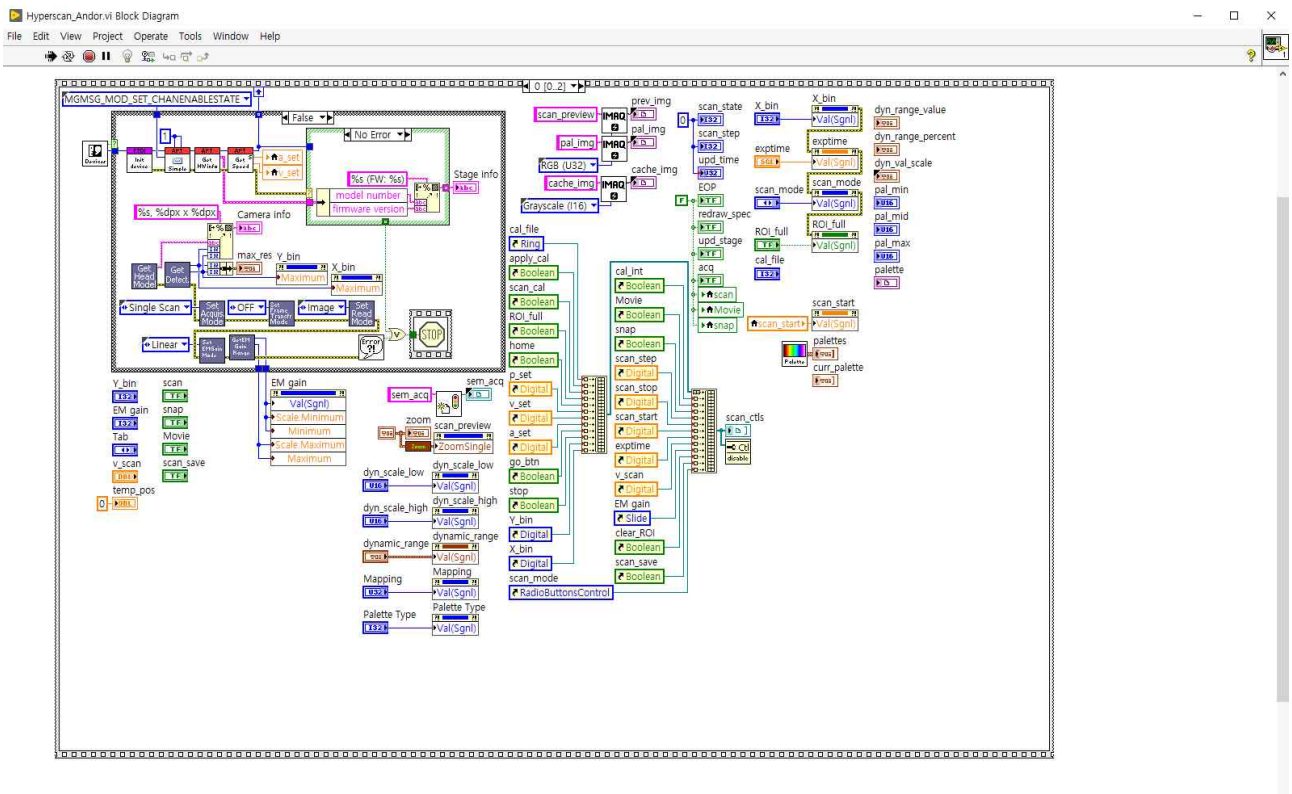
60um씩 움직이며 촬영을 진행하여 아주 고해상도의 데이터를 얻을 수 있음. 또한, CIE 1976 색기법을 적용하여 얻어지는 각 파장별 이미지를 모두 더하여 이미지를 재구성하도록 시스템을 구현하였음



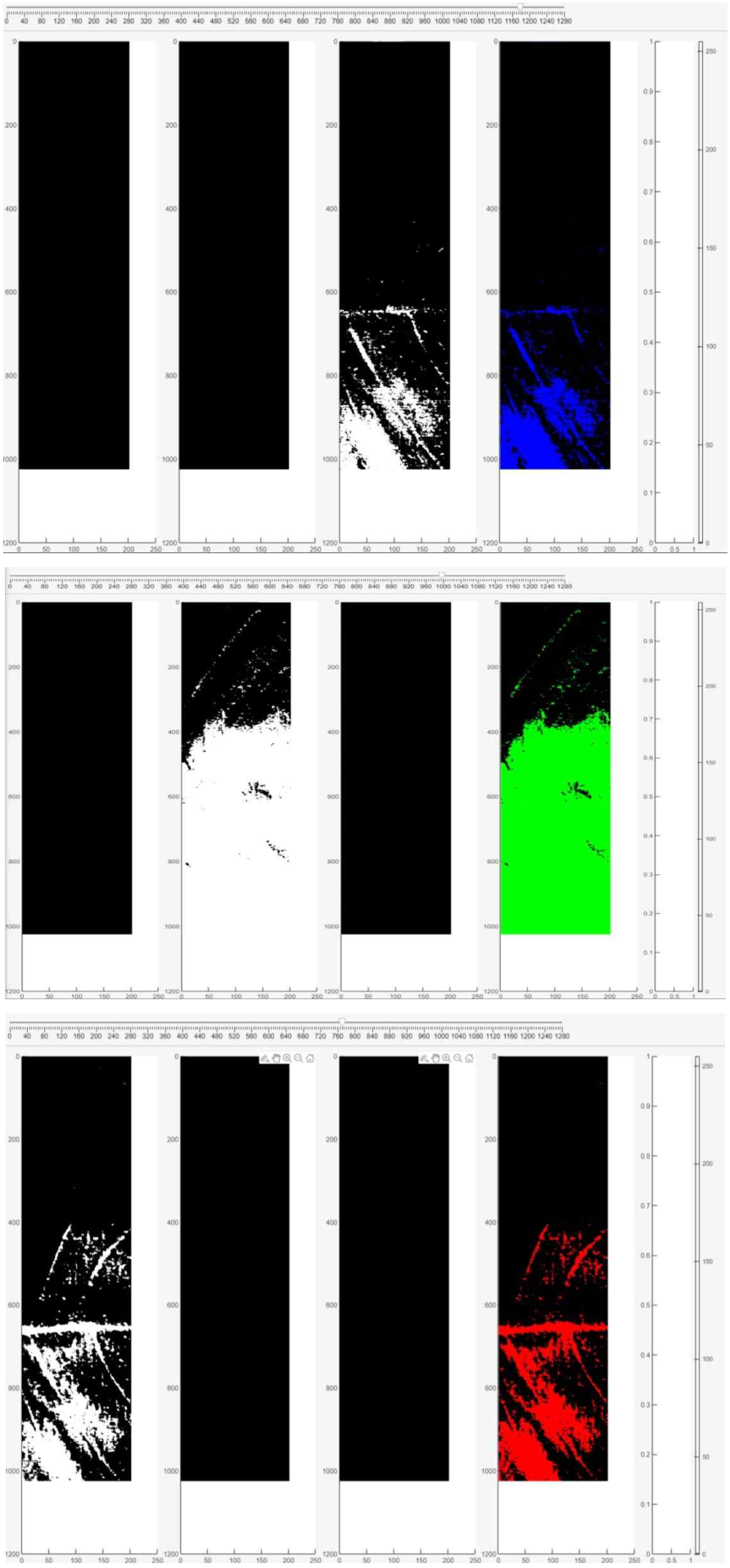
< 하이퍼 스펙트럴 이미징 velocity mode 이용 CIE 1976 기법을 적용하여 재구성한 촬영 이미지 >

상기 언급한 기능들을 구현하기 위해서 랩뷰를 이용해서 소프트웨어 제작을 진행하였고 아래 그림과 같은 프로그램 다이어그램을 제작하여 소프트웨어를 구현하였음





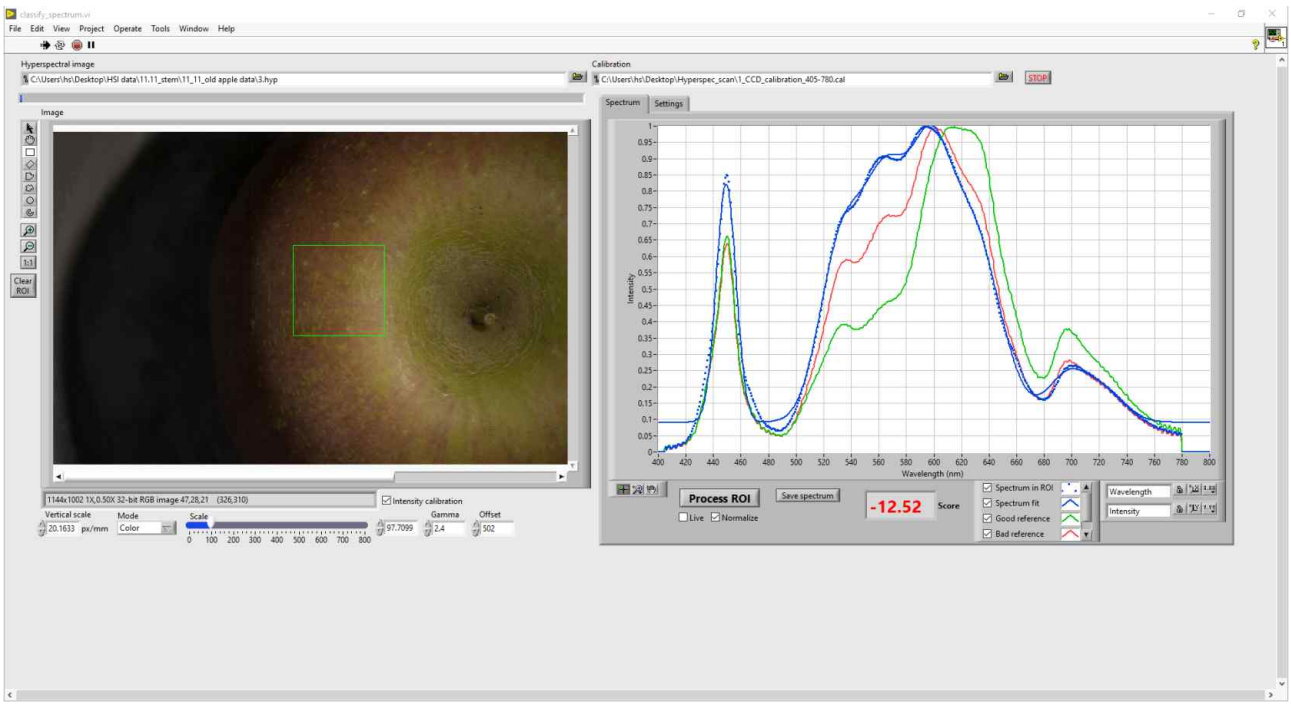
< 하이퍼 스펙트럴 이미징 소프트웨어 설계부 이미지. >

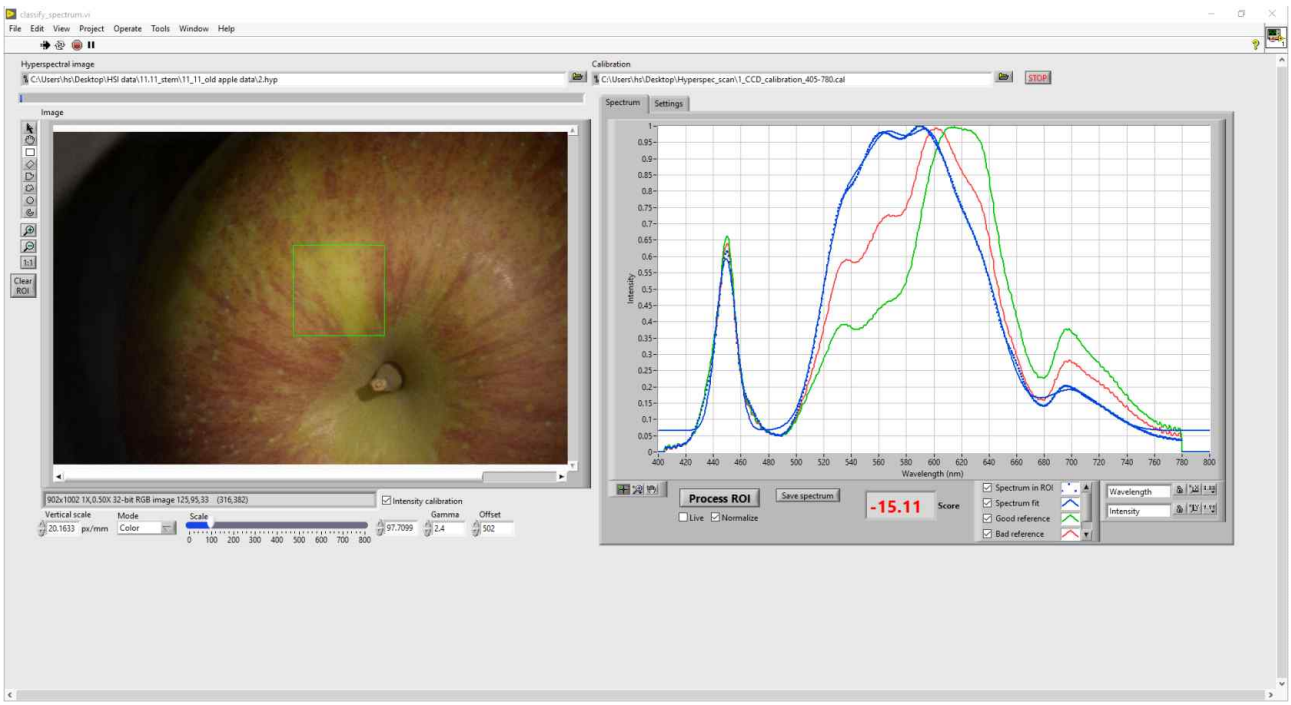


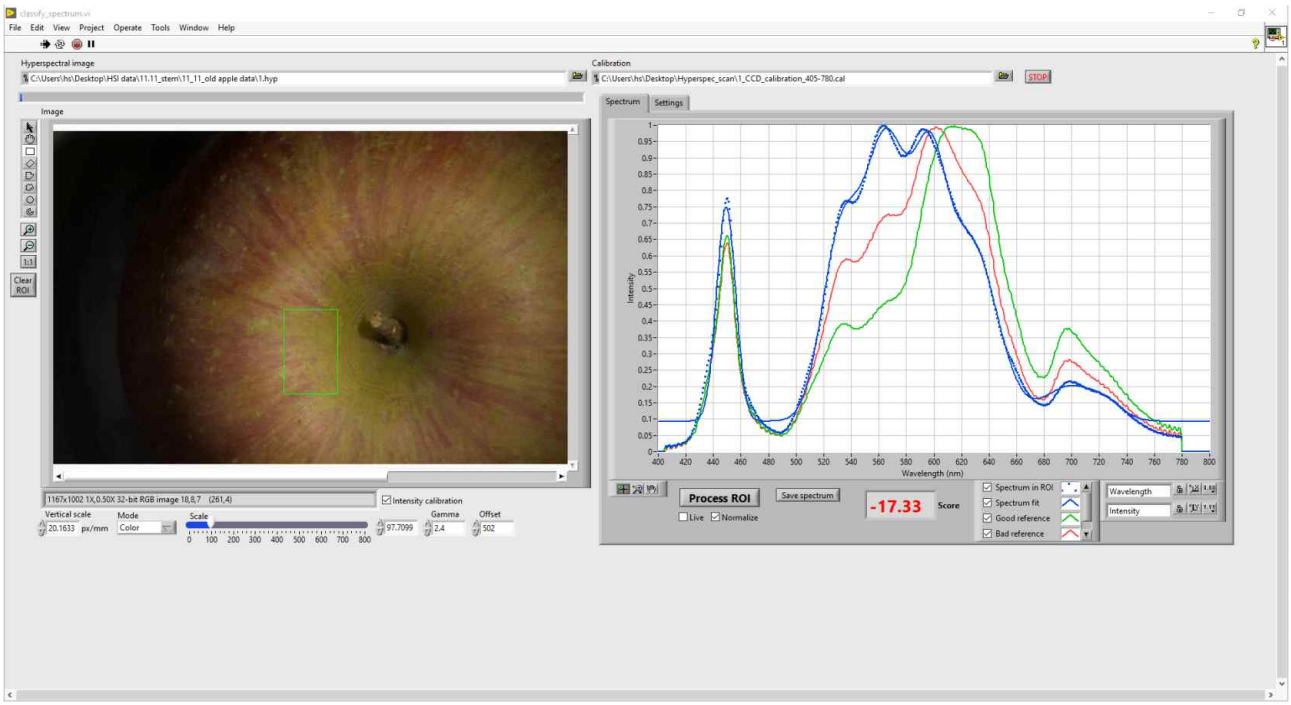
< 하이퍼 스펙트럴 이미징 시스템을 이용한 파장별 분석 >

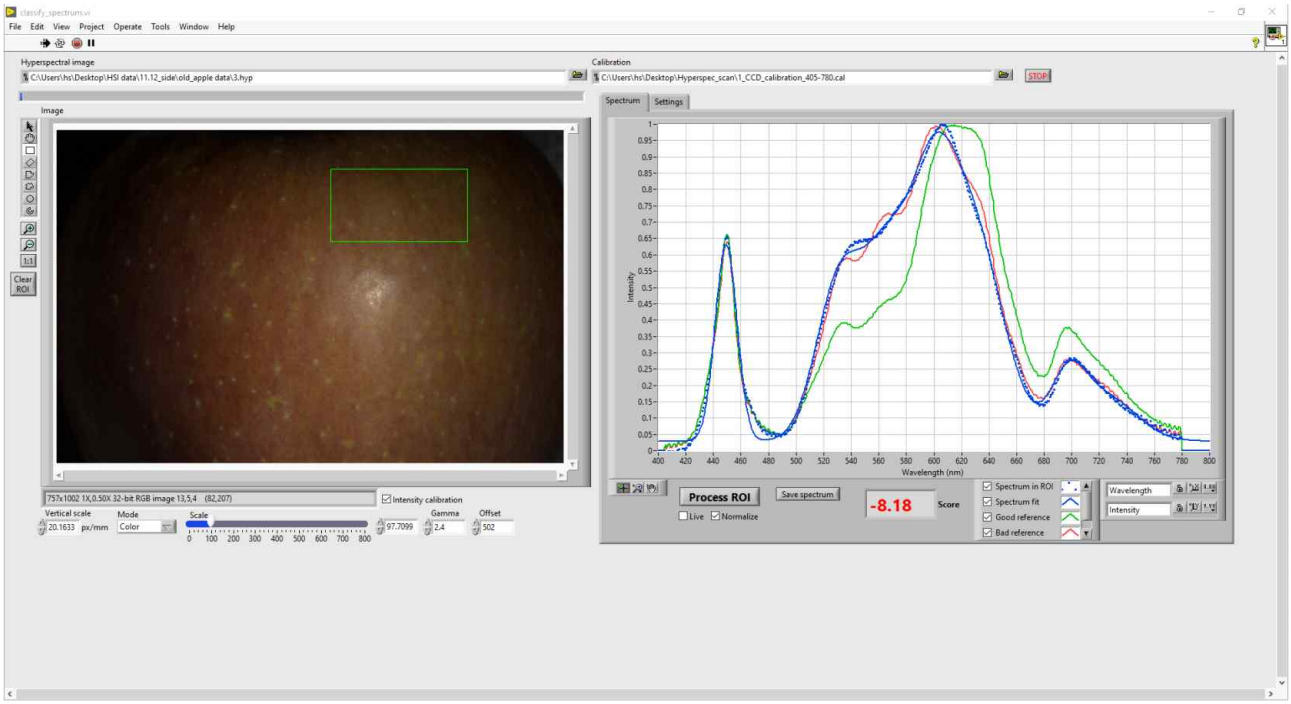
• **하이퍼 스펙트럴 이미징 과채류 색도 및 표면결함 기반 과채류 품질 분석 소프트웨어 개발**

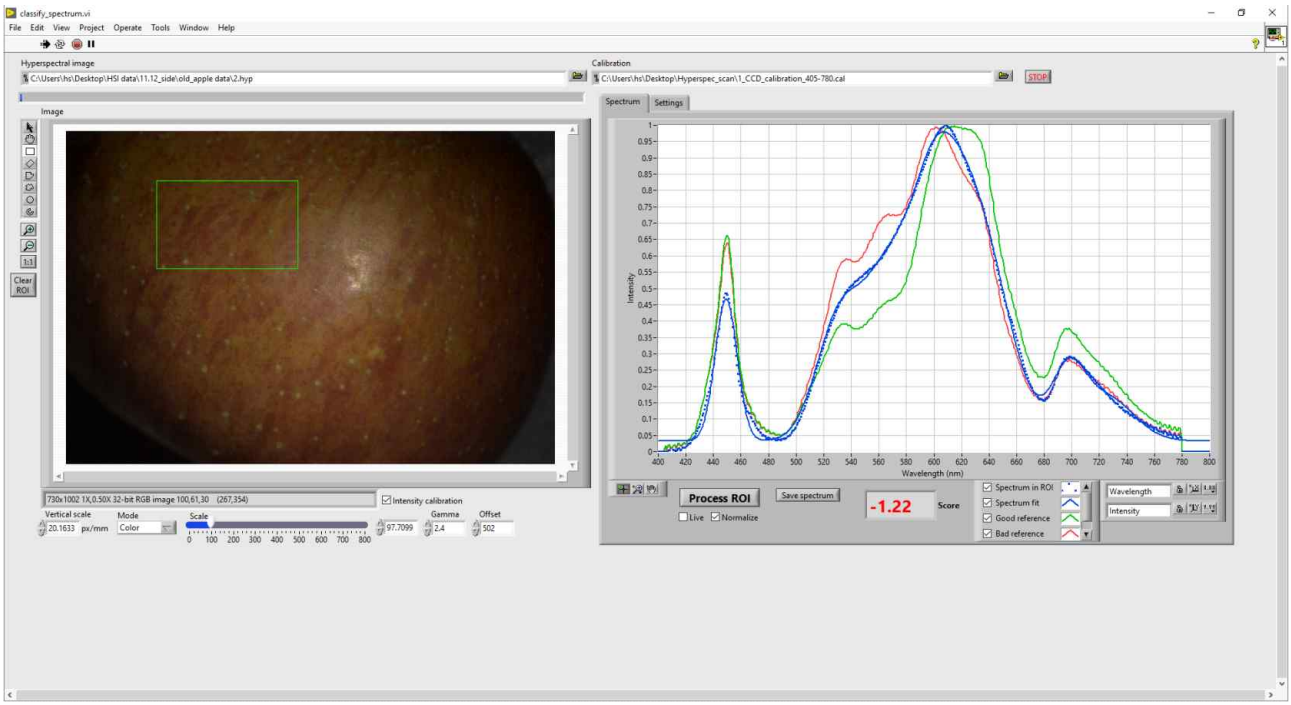
제작한 하이퍼 스펙트럴 분석 시스템을 이용해서 측정한 과채류의 표면을 파장별 정보로 변환하여 과채류의 채집시간이 지나며 발생하는 표면의 건조와 주름에 의한 색도, 결함으로 인한 색도 변화를 기반으로 하여 과채류의 품질 점수를 판별하는 소프트웨어를 개발하였다. 다수의 좋은 상태의 사과를 측정하고 이를 기반으로 reference를 제작하여 측정 ROI 지역에서의 평균 스펙트럼을 reference spectrum과 비교하는 방식의 색도 및 표면결함 기반 과채류 품질 분석 소프트웨어를 제작하였음

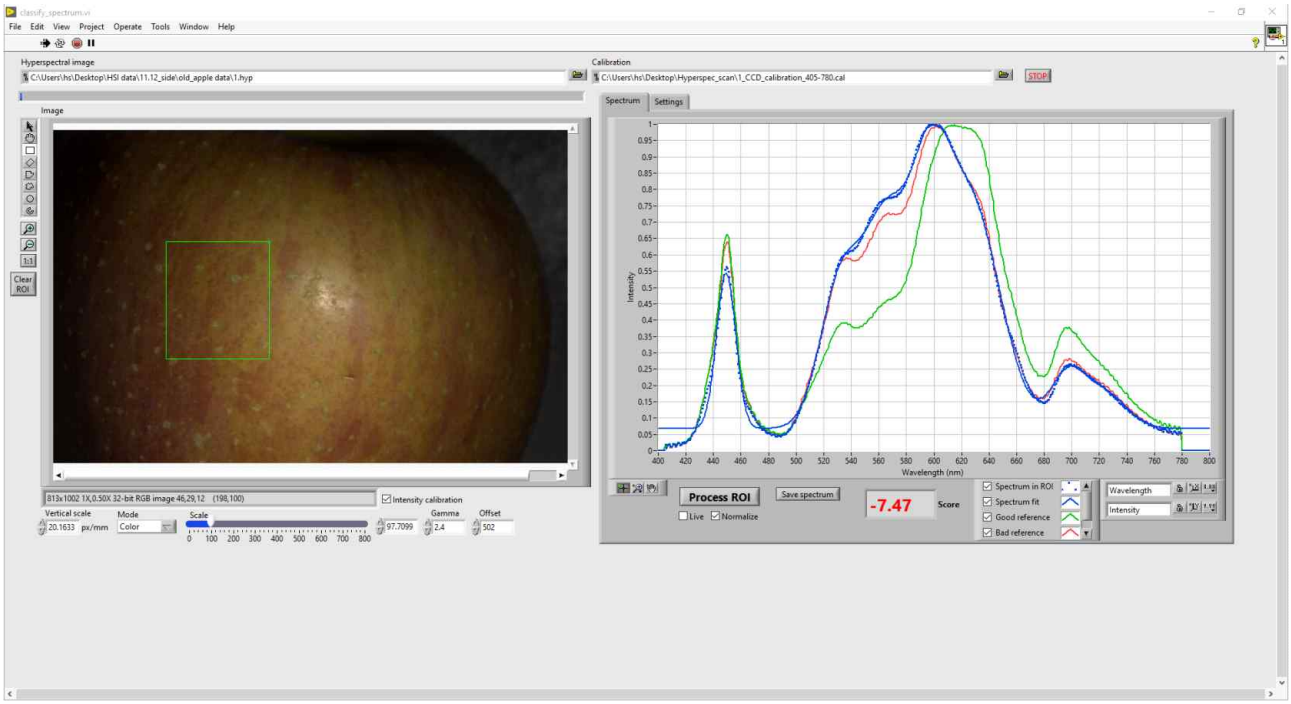


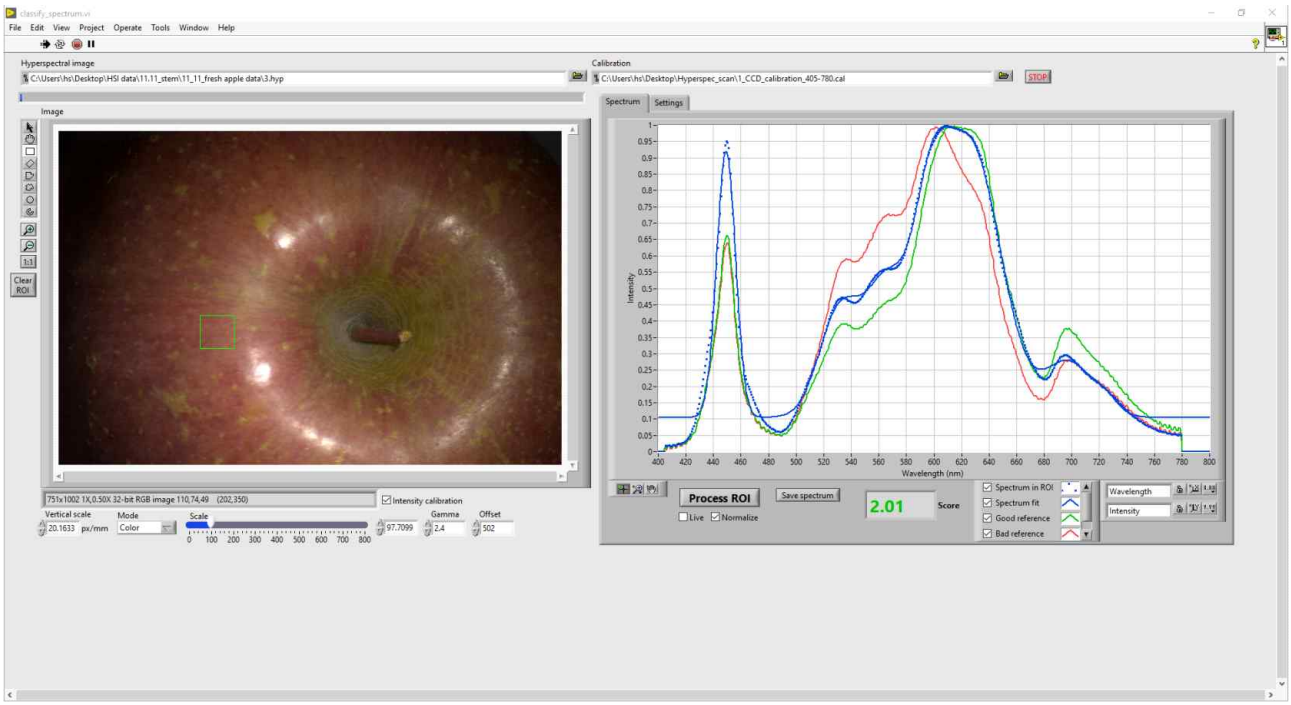


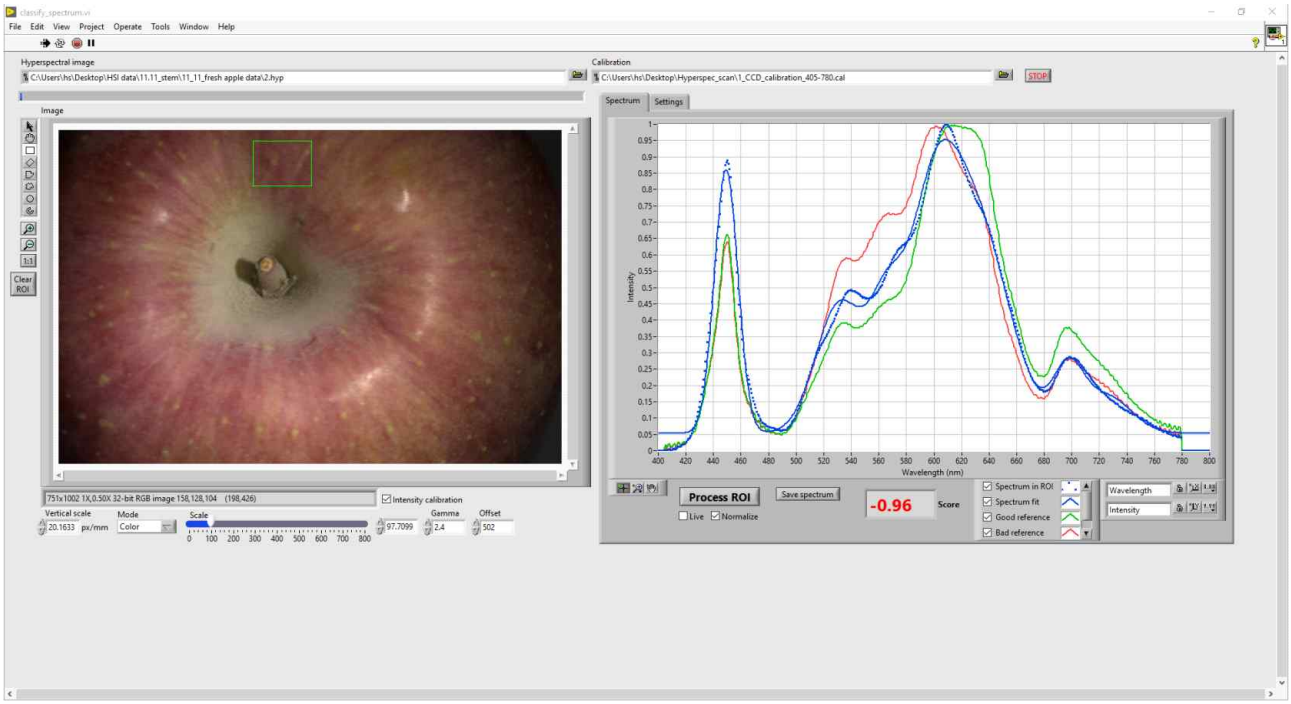

File Edit View Project Operate Tools Window Help
Hyperspectral image
C:\Users\hs\Desktop\HSI data\11_11_stem\11_11_old apple data\1.hyp
Image
Calibration
C:\Users\hs\Desktop\Hyperspec_scan\1_CCD_calibration_405-780.cal
STOP
Spectrum
Settings
Intensity
Wavelength (nm)
Process ROI
Save spectrum
-17.33
Score
Live
Normalize
Spectrum in ROI
Spectrum fit
Good reference
Bad reference
Wavelength
Intensity
Clear ROI
Vertical scale
Mode
Scale
Gamma
Offset
Color
Intensity calibration

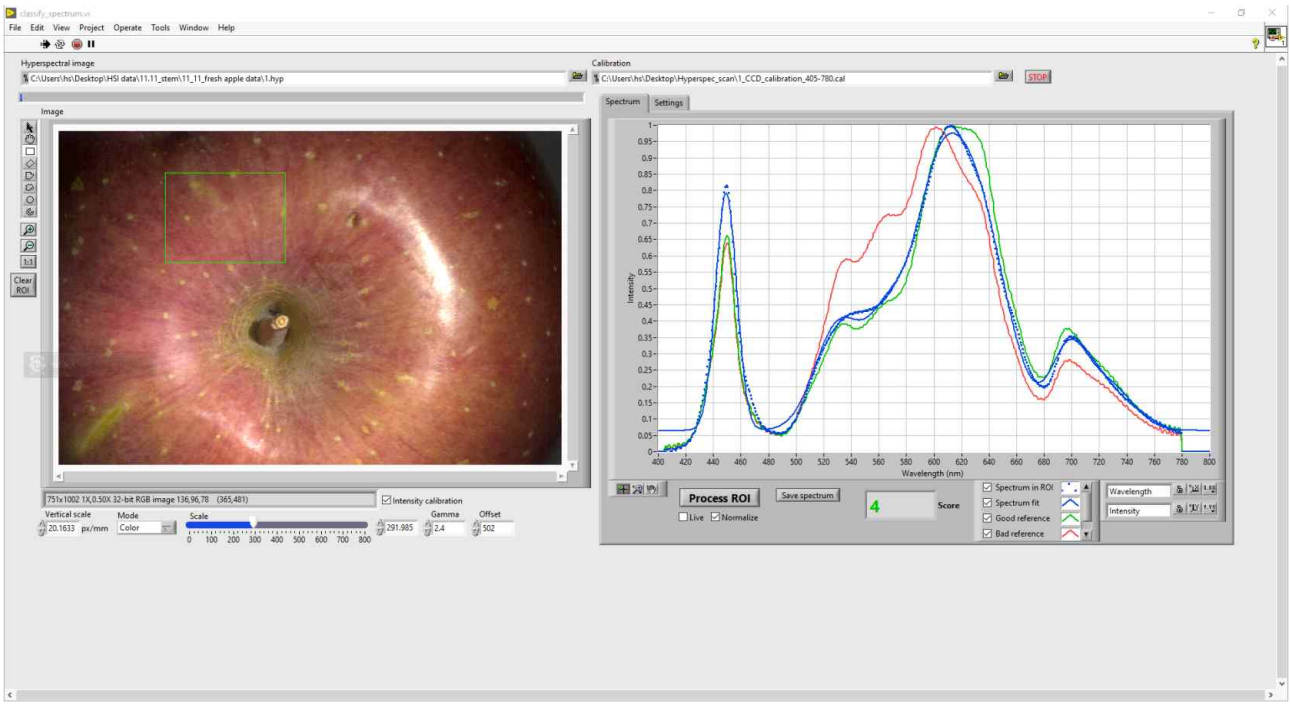

File Edit View Project Operate Tools Window Help
Hyperspectral image
C:\Users\hs\Desktop\HSI data\11_12_side\old_apple data\3.hyp
Image
Calibration
C:\Users\hs\Desktop\Hyperspec_scan\1_CCD_calibration_405-780.cal
STOP
Spectrum
Settings
Intensity
Wavelength (nm)
Process ROI
Save spectrum
-8.18
Score
Live
Normalize
Spectrum in ROI
Spectrum fit
Good reference
Bad reference
Wavelength
Intensity
Clear ROI
Vertical scale
Mode
Scale
Gamma
Offset
Color
Intensity calibration

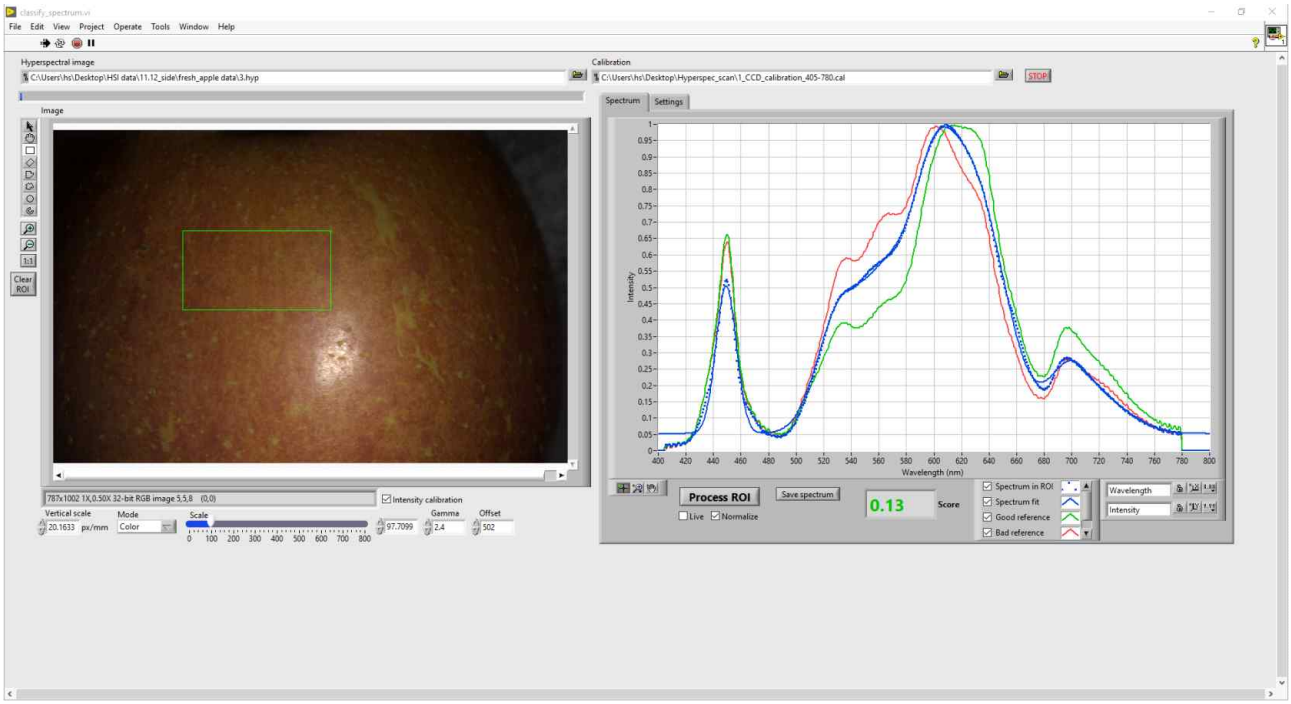

classify_spectrum.vi
File Edit View Project Operate Tools Window Help
Hyperspectral image
C:\Users\hs\Desktop\HSI data\11,12_side\old_apple data\2.hyp
Image
Calibration
C:\Users\hs\Desktop\Hyperspec_scan\1_CCD_calibration_405-780.cal
STOP
Spectrum
Settings
Intensity
Wavelength (nm)
Process ROI
Save spectrum
-1.22
Score
Live
Normalize
Spectrum in ROI
Spectrum fit
Good reference
Bad reference
Wavelength
Intensity
Clear ROI
730x1002 1X,0.50X 32-bit RGB image 100,61,30 (267,354)
Intensity calibration
Vertical scale
Mode
Scale
Gamma
Offset
20.1633 px/mm
Color
97.7099
2.4
502

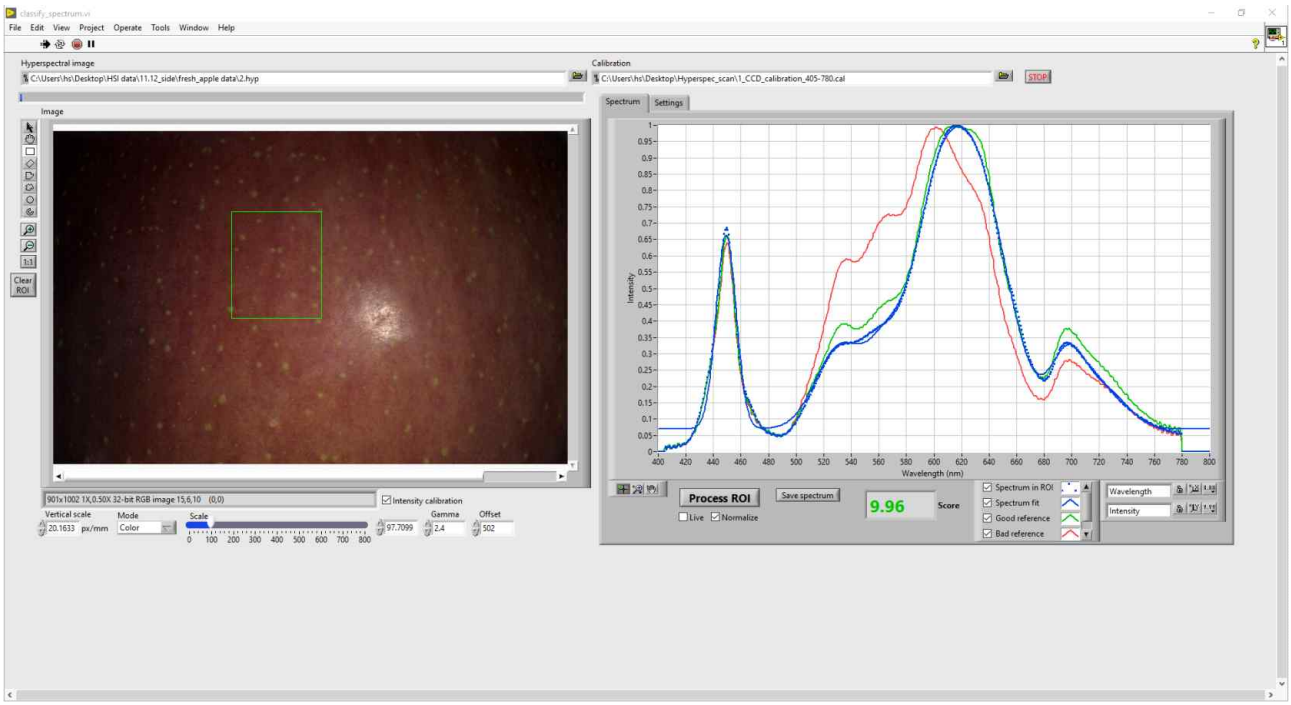

classify_spectrum.vi
File Edit View Project Operate Tools Window Help
Hyperspectral image
C:\Users\hs\Desktop\HSI data\11,12_side\old_apple data\1.hyp
Image
Calibration
C:\Users\hs\Desktop\Hyperspec_scan\1_CCD_calibration_405-780.cal
STOP
Spectrum
Settings
Intensity
Wavelength (nm)
Process ROI
Save spectrum
-7.47
Score
Live
Normalize
Spectrum in ROI
Spectrum fit
Good reference
Bad reference
Wavelength
Intensity
Clear ROI
813x1002 1X,0.50X 32-bit RGB image 46,29,12 (198,100)
Intensity calibration
Vertical scale
Mode
Scale
Gamma
Offset
20.1633 px/mm
Color
97.7099
2.4
502

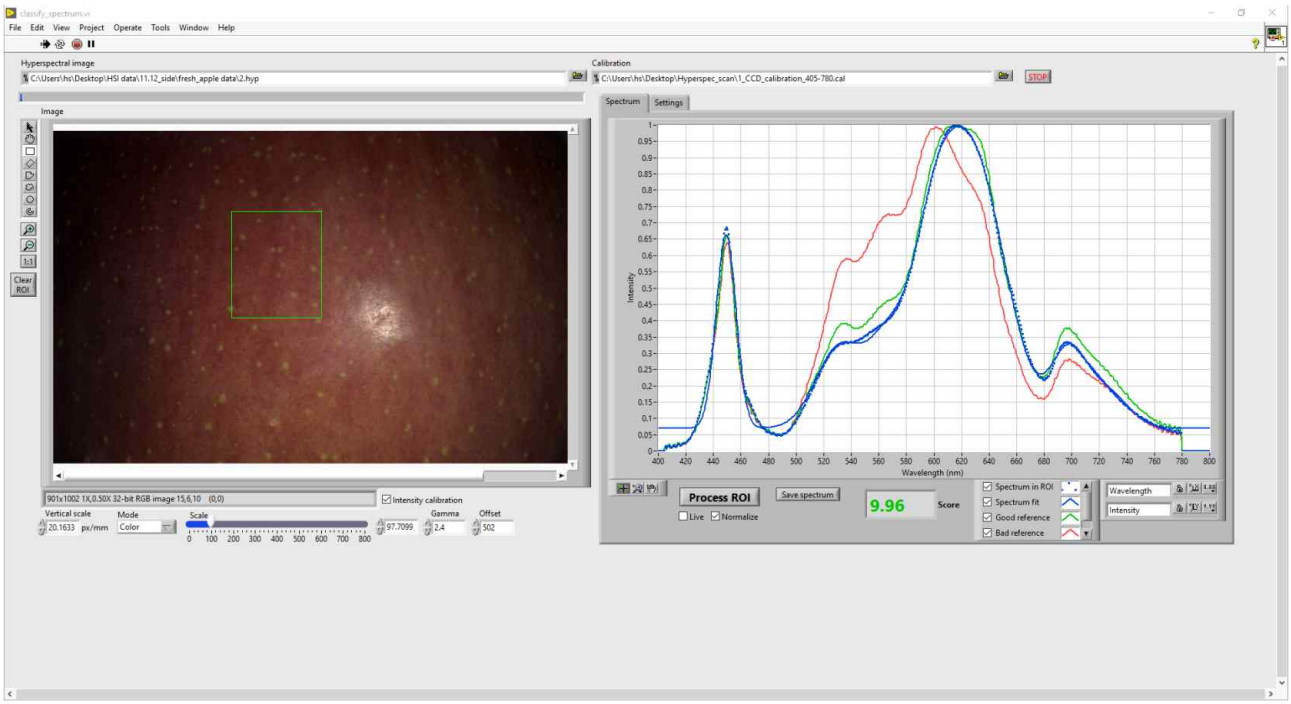

File Edit View Project Operate Tools Window Help
Hyperspectral image
C:\Users\hs\Desktop\HSI data\11.11_stem\11_11_fresh apple data\3.hyp
Image
Calibration
C:\Users\hs\Desktop\Hyperspec_scan\1_CCD_calibration_405-780.cal
STOP
Spectrum
Settings
Intensity
Wavelength (nm)
Process ROI
Save spectrum
2.01
Score
Live
Normalize
Spectrum in ROI
Spectrum fit
Good reference
Bad reference
Wavelength
Intensity


File Edit View Project Operate Tools Window Help
Hyperspectral image
C:\Users\hs\Desktop\HSI data\11.11_stem\11_11_fresh apple data\2.hyp
Image
Calibration
C:\Users\hs\Desktop\Hyperspec_scan\1_CCD_calibration_405-780.cal
STOP
Spectrum
Settings
Intensity
Wavelength (nm)
Process ROI
Save spectrum
-0.96
Score
Live
Normalize
Spectrum in ROI
Spectrum fit
Good reference
Bad reference
Wavelength
Intensity


File Edit View Project Operate Tools Window Help
Hyperspectral image
C:\Users\hs\Desktop\HSI data\11_11_stem\11_11_fresh apple data\1.hyp
Image
Calibration
C:\Users\hs\Desktop\Hyperspec_scan\1_CCD_calibration_405-780.cal
STOP
Spectrum
Settings
Intensity
Wavelength (nm)
Process ROI
Save spectrum
Live
Normalize
4
Score
Spectrum in ROI
Spectrum fit
Good reference
Bad reference
Wavelength
Intensity
Clear ROI
Vertical scale
Mode
Color
Scale
Gamma
Offset
Intensity calibration


File Edit View Project Operate Tools Window Help
Hyperspectral image
C:\Users\hs\Desktop\HSI data\11_12_side\fresh_apple data\3.hyp
Image
Calibration
C:\Users\hs\Desktop\Hyperspec_scan\1_CCD_calibration_405-780.cal
STOP
Spectrum
Settings
Intensity
Wavelength (nm)
Process ROI
Save spectrum
Live
Normalize
0.13
Score
Spectrum in ROI
Spectrum fit
Good reference
Bad reference
Wavelength
Intensity
Clear ROI
Vertical scale
Mode
Color
Scale
Gamma
Offset
Intensity calibration





< 과채류의 색도 및 표면결함 기반의 품질 측정 시스템 구현 >

● **하이퍼 스펙트럴 및 근적외선 분광법 과채류 분석 데이터베이스 구축**

• 당도계, 산도계, 수분 측정기를 이용한 과종별 당도, 산도, 수분 결과와 하이퍼 스펙트럴 시스템, 근적외선 분광 시스템을 이용한 과종별 스펙트럼 데이터베이스 구축

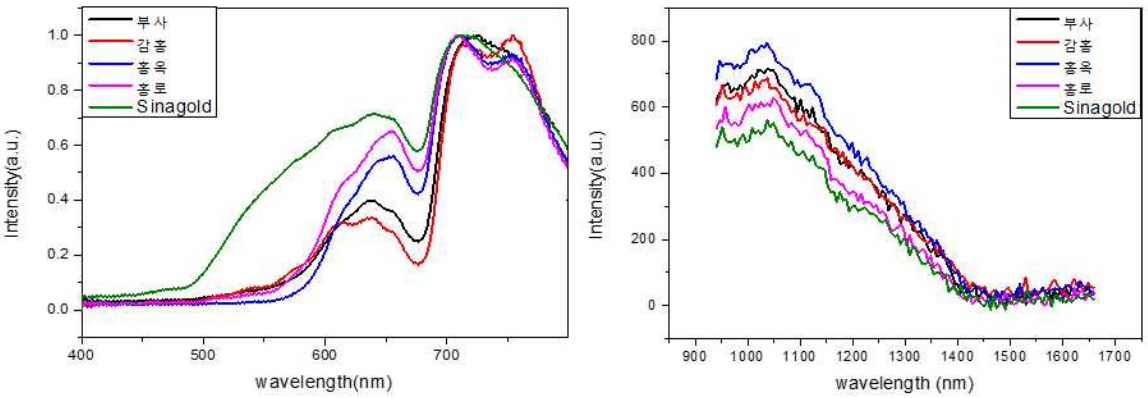
- 하이퍼 스펙트럴 이미징을 이용해서 농작물 및 과채류의 공간별, 파장별 3차원 데이터를 획득하고 이를 실제 측정데이터와 함께 빅데이터 모델을 제작함으로써 피 측정 물체의 외부 및 내부정보를 획득이 가능함
- 물체의 외부정보는 수요자들이 제품을 판단하는 중요한 지표 중의 하나로 과채류 및 농작물의 색도와 표면 결함 등을 가시광 대역의 하이퍼 스펙트럴 이미징을 통해서 분석이 가능함
- 당도, 산도, 수분과 같은 내부정보는 하이퍼 스펙트럴 이미징과 근적외선 분광법을 이용해서 예측할 수 있다. 이미 선행연구 된 당도, 산도, 수분과 같은 내부정보와 밀접한 관계를 가진 파장들을 값과 당도, 산도, 수분 측정기를 이용해 측정되는 실측값과의 데이터화를 함으로써 모델링이 가능함
- 선형회귀분석 방법은 과채류의 당도, 산도, 수분과 같은 데이터를 이용해서 예측값을 구해내는 하나의 방법임

• 사과 과종별 분석

- 하이퍼 스펙트럴 방법을 이용해서 과종별 반사도를 확인함으로써 과채류의 종류를 판별할 수 있다. 각 각의 과종들이 고유한 특성에 의해 달라지는 과종별 반사도를 확인함으로써 과종의 종류를 예측이 가능함
- 과채류의 종류를 하이퍼 스펙트럴 방법을 이용해서 판별하기 위해 부사, 홍옥, 감홍, 홍로, sinagold 총 5개의 과종을 다중분석 및 과종별 여러 개의 샘플에서 데이터를 획득함으로써 데이터를 획득하였음.
- 과종의 종류에 따라 다른 반사도를 가지는 것을 확인하기 위해서 과종의 종류를 제외한 모든 변위를 일정하게 하여 데이터획득을 진행하였음
- 부사, 홍옥, 감홍, 홍로, sinagold를 하이퍼 스펙트럴 이미징 방법을 이용해서 파장별 반사도를 획득하고, 파장별 반사도를 CIE 1931 색도 분포표를 이용해서 재구성하여 만들어낸 이미지임

< 하이퍼 스펙트럴 시스템을 이용한 과종별 이미징 결과 >

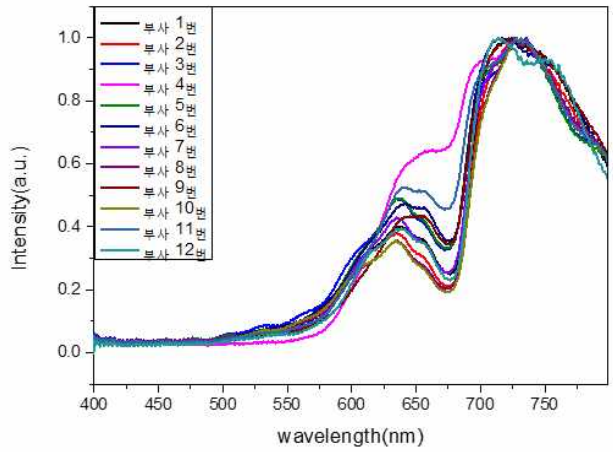
- 하이퍼 스펙트럴 이미징 및 근적외선 분광 방법을 이용해서 한 개의 샘플에서 각각 5개 포인트, 5개 샘플을 이용해서 총 25개의 스펙트럼을 평균을 획득함으로써 각각의 과종이 가지는 평균적인 스펙트럼을 측정하였음.
- 아래 이미지의 (좌) 그림은, 각각의 과종 들의 가시광 영역에서의 평균적인 스펙트럼을 의미함.
- 과종별로 확연하게 다른 반사 스펙트럼을 가지는 것을 확인 가능하고 고속의 하이퍼 스펙트럴 이미징 방법을 이용해서 과종을 구분이 가능함을 알 수 있음.
- 하기 이미지의 (우) 그림은, 근적외선 대역의 과종별 평균적인 반사 스펙트럼을 의미한다. 평균적인 과종별 근적외선 반사 스펙트럼의 차이를 확인할 수 있다. 과채류 및 농작물의 내부정보와 밀접하게 반응하는 파장 대역은 근적외선 대역에서 주로 분포하기 때문에 근적외선 분광법을 이용해서 과채류의 내부정보와 관련된 파장 대역의 데이터획득이 가능함

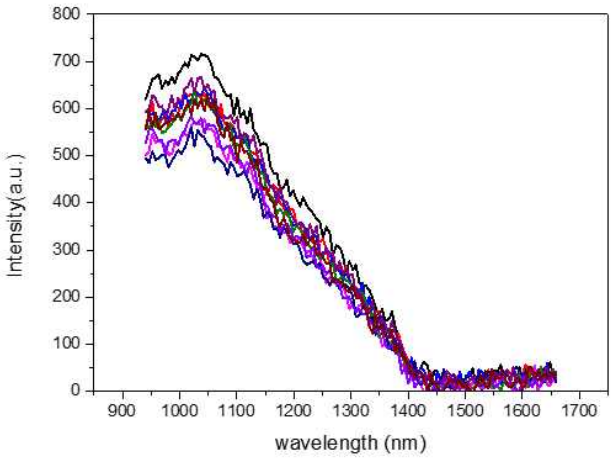


< 하이퍼 스펙트럴 시스템 및 근적외선 분광 시스템을 이용한 과종별 스펙트럼 >

• 과종별 하이퍼 스펙트럴, 근적외선 분광법 분석 및 당도, 산도, 수분 측정기를 이용한 결과값 데이터화

– 부사

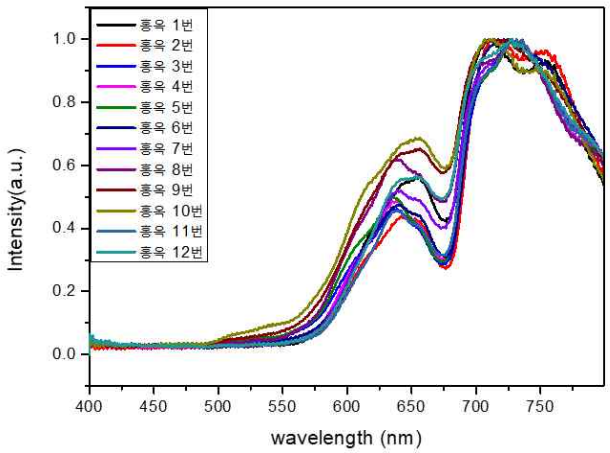


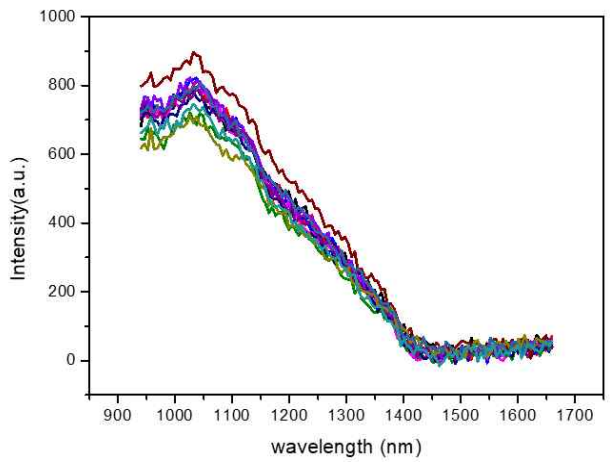


	당도(Brix)	산도(pH)	수분량(%)
부사 1	12.8	4.22	75.1
부사 2	15.2	4.03	76.9
부사 3	14.0	4.04	78.9
부사 4	13.3	4.65	82.5
부사 5	14.2	4.4	80.2
부사 6	13.8	4.14	76.6
부사 7	12.4	3.95	83.2
부사 8	12.3	4.05	78.2
부사 9	16.6	4.03	72.3
부사 10	13.2	4.03	80.4
부사 11	16.1	4.11	76.6
부사 12	12.0	4.41	87.5

< 부사 하이퍼 스펙트럴, 근적외선 분광 정보 및 실제 측정값 데이터화 >

– 홍옥

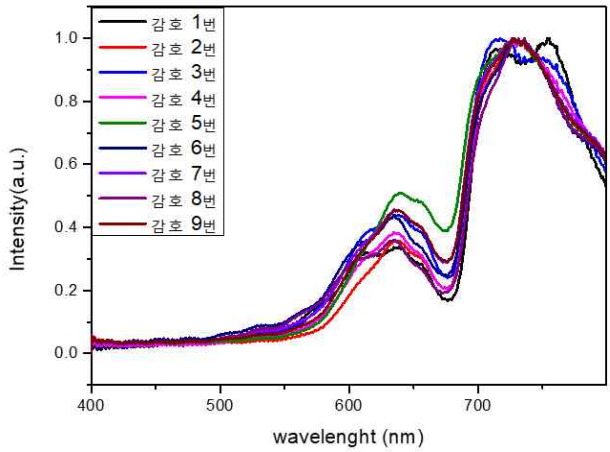


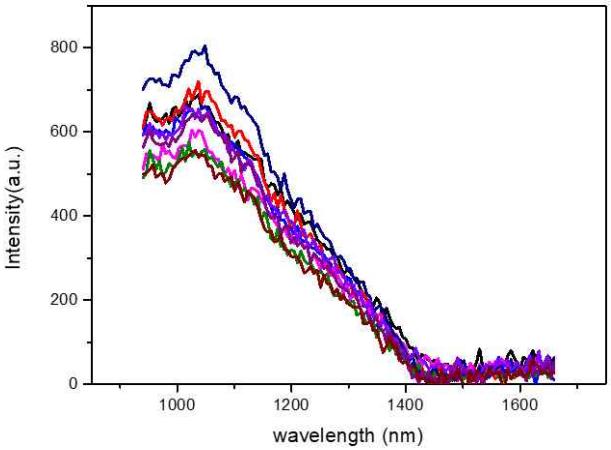


	당도(Brix)	산도(pH)	수분량(%)
홍옥 1	12.4	4.84	89.5
홍옥 2	12.5	5.01	80.6
홍옥 3	12.5	4.72	78.1
홍옥 4	14.0	5.45	78.2
홍옥 5	13.0	3.72	79.5
홍옥 6	12.5	3.84	86.1
홍옥 7	11.7	3.81	74.4
홍옥 8	13.9	3.55	73.5
홍옥 9	11.8	3.75	80.0
홍옥 10	13.2	4.03	80.4
홍옥 11	12.3	3.77	84.8
홍옥 12	13.1	3.81	88.5

< 홍옥 하이퍼 스펙트럴, 근적외선 분광 정보 및 실제 측정값 데이터화 >

– 감홍

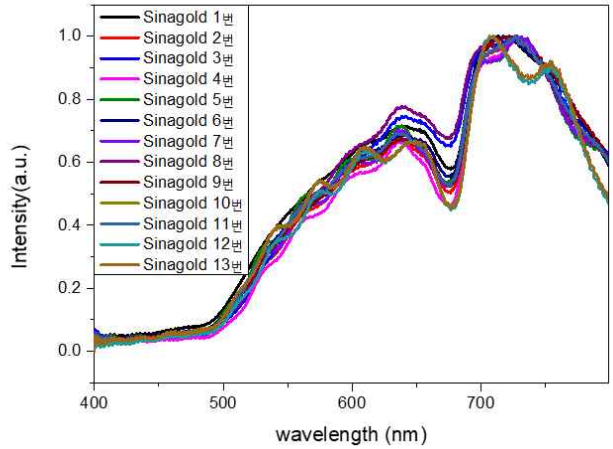


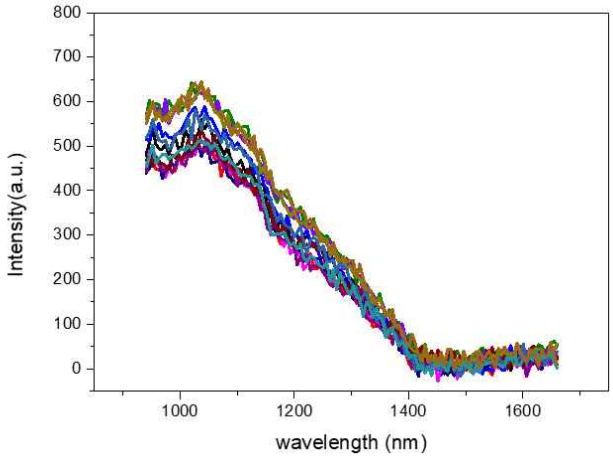


	당도(Brix)	산도(pH)	수분량(%)
감홍 1	12.1	4.18	79.9
감홍 2	14.3	4.31	77.3
감홍 3	15.5	4.19	72.0
감홍 4	14.5	3.87	69.2
감홍 5	16.0	4.36	74.6
감홍 6	15.3	3.96	77.8
감홍 7	14.5	4.12	75.3
감홍 8	15.2	4.23	81.1
감홍 9	14.9	4.04	77.8

< 감홍 하이퍼 스펙트럴, 근적외선 분광 정보 및 실제 측정값 데이터화 >

– Sinagold





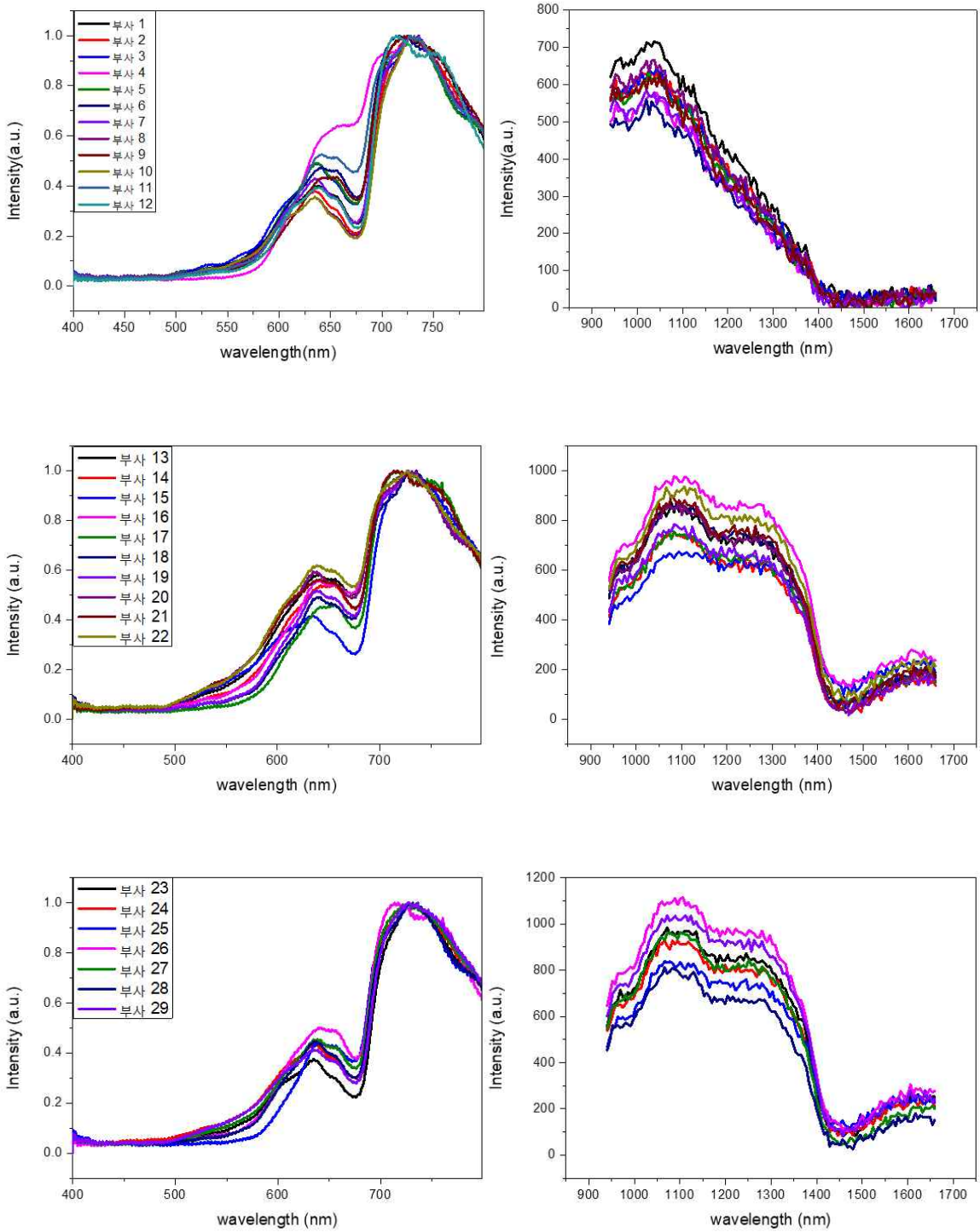
	당도(Brix)	산도(pH)	수분량(%)
Sinagold 1	14.4	3.68	77.4
Sinagold 2	12.4	3.82	82.4
Sinagold 3	13.5	3.84	84.9
Sinagold 4	13.8	3.77	78.1
Sinagold 5	13.1	3.87	86.3
Sinagold 6	12.5	3.98	88.1
Sinagold 7	13.2	3.71	79.5
Sinagold 8	14.0	3.82	86.0
Sinagold 9	13.7	3.85	85.9
Sinagold 10	13.3	3.72	86.3
Sinagold 11	15.0	3.72	80.6
Sinagold 12	13.3	3.69	81.4

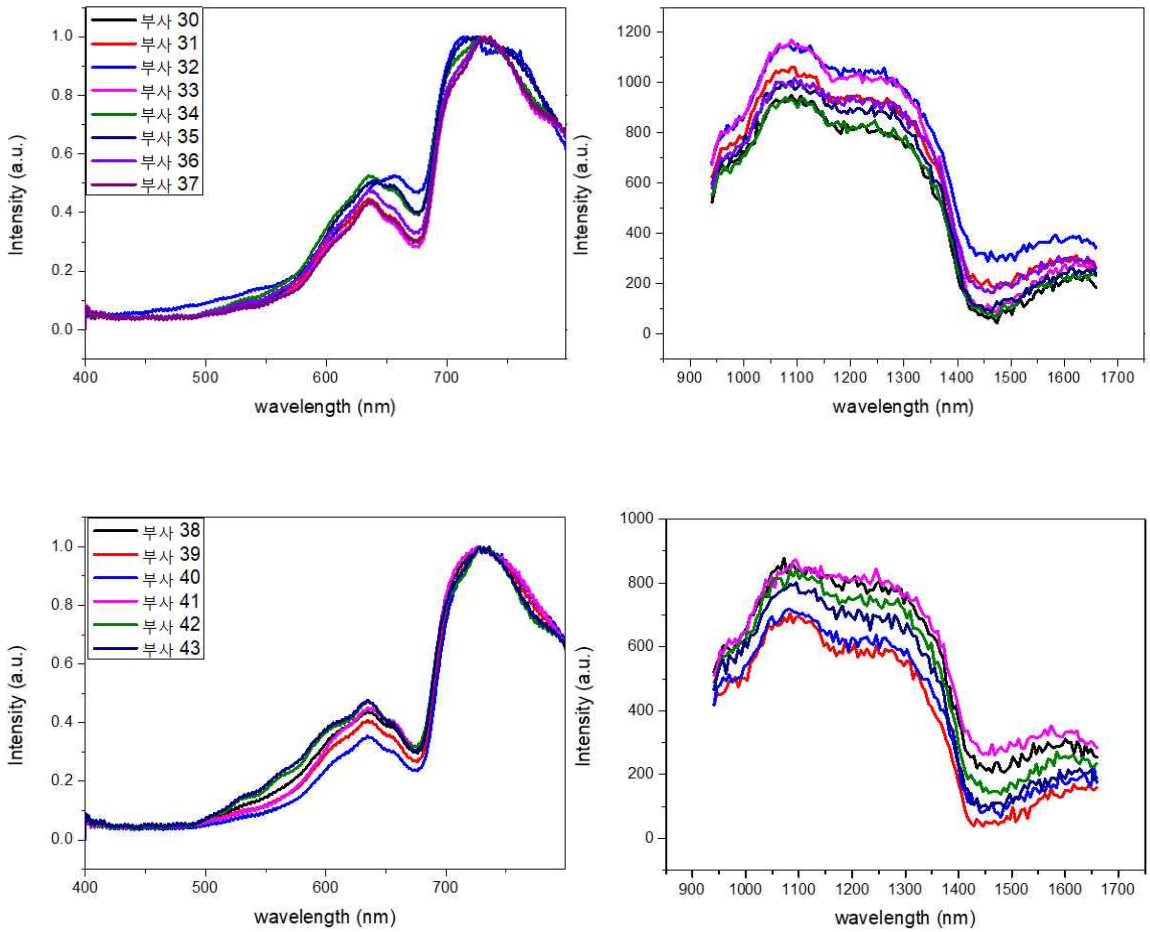
< Sinagold 하이퍼 스펙트럴, 근적외선 분광 정보 및 실제 측정값 데이터화 >

.

• **부사 스펙트럼 데이터 및 당도, 산도, 수분 측정값 데이터베이스화**

하이퍼 스펙트럴 및 근적외선 분광 방법을 기반으로 한 과채류 당도, 산도, 수분, 산도와 같은 내부정보를 예측하기 위해서는 피 대상체의 반사 스펙트럼을 획득하고 침습적인 방법으로 측정되는 상용화된 당도 측정기, 산도 측정기, 수분 측정기를 이용해서 각각의 내부정보를 획득하여 데이터베이스화하였다. 획득한 데이터를 기반으로 선형회귀모델과 같은 알고리즘에 적용을 통해서 내부정보 예측 모델의 제작이 가능하다. 이를 위해서 많은 샘플의 정보를 획득하고 데이터베이스화하기 위해 실험을 진행하였음.



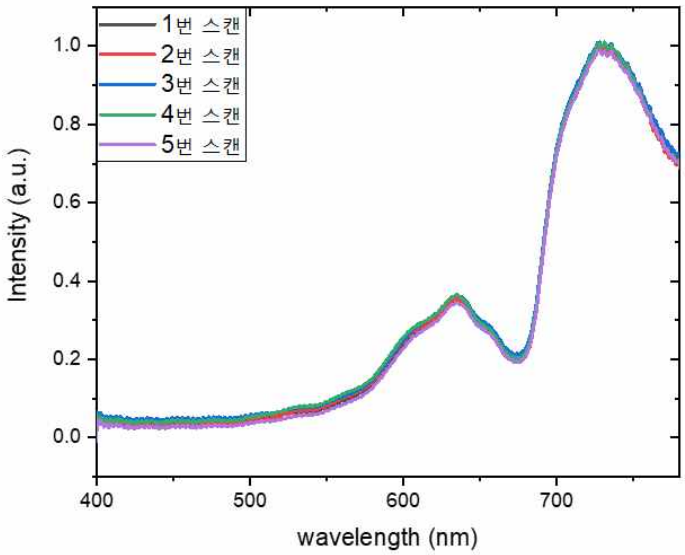


< 하이퍼 스펙트럴 이미징 및 근적외선 분광법을 적용한 부사의 반사 스펙트럼 >

	당도(Brix)	산도(pH)	수분량(%)
부사 13	14.9	4.08	81.8
부사 14	13.6	4.16	84.1
부사 15	11.3	4.18	85.1
부사 16	13.8	4.13	82.3
부사 17	12.3	4.35	86.4
부사 18	14.3	4.53	83.9
부사 19	12.9	4.16	85.4
부사 20	14.0	4.00	80.9
부사 21	14.6	4.16	80.9
부사 22	13.8	3.95	79.9
부사 23	10.5	4.12	90.6
부사 24	12.9	4.23	86.4
부사 25	13.5	4.03	81.1
부사 26	13.1	4.06	84.1
부사 27	16.6	4.12	83.3
부사 28	14.0	4.02	88.2
부사 29	15.8	3.95	82.0
부사 30	12.6	4.05	82.3
부사 31	13.0	4.41	88.2
부사 32	11.2	4.52	88.4
부사 33	13.9	4.24	89.9
부사 34	12.5	4.00	89.8
부사 35	12.7	4.19	88.3
부사 36	13.4	4.09	82.9
부사 36	13.2	4.51	83.2
부사 37	12.8	4.25	82.3
부사 38	14.2	4.23	84.6
부사 39	10.8	4.40	90.6
부사 40	13.3	4.14	88.5
부사 41	14.2	3.97	85.7
부사 42	14.1	4.20	84.0
부사 43	11.9	4.12	87.4

<당도 측정계, 산도 측정계, 수분 측정계를 이용한 샘플의 측정값 데이터>

• 하이퍼스펙트럴 스캔의 신뢰도를 위한 데이터 재현성 테스트



< 부사 사과 1종의 5회 스캔을 통한 재현성 검증 >

– 하이퍼 스펙트럴의 재현성을 확인하기 위해 부사 1종의 하이퍼스펙트럴 스캐닝 반복을 통해 재현성을 확인하였음. 테스트 결과 5번의 스캔에서 98% 이상의 유사도를 가지는 스펙트럼을 확인하였고, 이를 통해 테스트한 사과 고유의 스펙트럼 결과의 신뢰성을 확인하였음

• 과채류 당도, 산도, 수분함유량 분석 선행 연구조사

	sensitive wavelength (nm)
당도(sugar content)	890, 980, 932, 902, 880, 818, 956, 858
수분함유량(moisture content)	948, 1016, 838, 1048
산도(acidity content)	1012, 946, 872, 1056, 952

< 당도, 산도, 수분함유량 높은 반응성의 파장 >

reference : Murakami, Makoto, Jun-ichi Himoto, and Kazuhiko Itoh. "ANALYSIS OF APPLE QUALITY BY NEAR INFRARED REFLECTANCE SPECTROSCOPY: Measurement of moisture, sugar and apple acid content in different varieties using a single calibration equation." Journal of the Faculty of Agriculture, Hokkaido University 66.1 (1994): 51-61.

– 하이퍼 스펙트럴 및 분광학적 반사도를 이용해서 과채류의 내부정보 예측을 위해 각각의 당도, 산도, 수분함유량 민감파장 선행연구를 조사하였음. 조사된 선행연구에서는 다양한 사과 과종에서의 분광학적 반사도 스펙트럼 분석을 통해 파장별 흡수도를 조사하였음을 확인하였음. 선행 연구되어진 각각의 내부정보와 관련된 파장들을 회귀분석에서 확률변수로 가정하고 알고리즘 제작을 진행중임

– 상기 언급하였던 그림 < 하이퍼스펙트럴 시스템 및 근적외선 분광 시스템을 이용한 과종별 스펙트럼 >에서 과종별로 크게 다른 스펙트럼은 사과의 모양, 크기, 색과 같은 정보뿐만 아니라 당도, 수분함유량, 산도와 같은 내부정보들도 포함되어있음. 통계학적인 회귀 모델을 제작함으로써 과종별 내부정보 분석이 가능함

• 개발 및 테스트 중인 당도, 산도, 수분 측정값과 하이퍼스펙트럴 스펙트럼을 이용한 단순선형 회귀 모델

$$\begin{bmatrix} Acidity_{apple\ group1} \\ Acidity_{apple\ group2} \\ Acidity_{apple\ group3} \\ Acidity_{apple\ group4} \\ Acidity_{apple\ group5} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1012\ wavelength\ Reflectance_{apple\ group\ 1} \\ 946\ \ wavelength\ Reflectance_{apple\ group\ 2} \\ 872\ \ wavelength\ Reflectance_{apple\ group\ 3} \\ 1056\ wavelength\ Reflectance_{apple\ group\ 4} \\ 952\ \ wavelength\ Reflectance_{apple\ group\ 5} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} x_{1012} & x_{946} & x_{872} & x_{1056} & x_{952} \end{bmatrix}$$

< 단순 선형 회귀 모델을 위한 행렬 이미지 >

```
clc;
syms beta
 syms a1
 syms a2
 syms a3
 syms a4
 syms a5

beta = [ a1, a2, a3, a4, a5];

R = double(regression1)
G = pinv(R)

beta = G'*appleacid

A = beta'*data
save
```

작업 공간

이름	값
A	6.0373
a1	1x1 sym
a2	1x1 sym
a3	1x1 sym
a4	1x1 sym
a5	1x1 sym
appleacid	[3.7000;3.5000;3....
beta	[0.4134;-270.886...
data	[1;0.0720;0.1325;...
G	5x5 double
R	5x5 double
regression	4x5 double
regression1	5x5 double

<Moore-Penrose inverse of symbolic matrix>

```
[U,S,V] = svd(A,'econ');
s = diag(S);
if nargin < 2
    tol = max(size(A)) * eps(norm(s,inf));
end
r1 = sum(s > tol)+1;
V(:,r1:end) = [];
U(:,r1:end) = [];
s(r1:end) = [];
s = 1./s(:);
X = (V.*s.')*U';
```

< 단순 선형 회귀 모델 프로그래밍 수식 이미지 >

– 부사의 하이퍼스펙트럴 분광학적 데이터와 각각의 계측기를 이용해 측정된 값들을 단순선형 회귀 모델 제작을 통해서 예측모델을 개발하고자 함. 적절한 통계적 분석을 위해서는 다중회귀 분석을 해야 하지만 테스트를 위해 단순선형 회귀 모델을 먼저 제작하고자 하였음. 25종의 부사를 비슷한 레벨의 산도로 5개의 산도 그룹을 나누고 하이퍼스펙트럴을 통해 측정된 반사 스펙트럼을 평균하였음. 상기 이미지와 같은 단순 행렬을 제작함으로써 파장별 상관계수를 MATLAB 프로그래밍을 통해 구현하였음. 역행렬 계산을 위해 Moore–Penrose inverse of symbolic matrix method를 사용하였음. 계산된 상관계수를 이용한 단순회귀 모델에 계측기를 사용해 측정한 사과의 반사도를 대입하여 결과를 내보았고 파괴적 방법을 통해 측정된 결과와 약 20%의 오차를 확인하였음. 다중회귀 모델 제작과 공분산성 문제 분석을 통해 분석과 알고리즘 정립이 필요함을 확인하였음

• 하이퍼스펙트럴 방법을 적용한 과채류 경도(firmness) 분석 선행 연구조사

TABLE 2.
SENSITIVE WAVELENGTHS FOR INTERNAL QUALITY ANALYSES OF "FUJI" APPLES SELECTED BY GENETIC ALGORITHM (GA) AND CORRELATION COEFFICIENT METHOD (COR.) USING STANDARD NORMAL VARIATE (SNV) AND SAVITZKY–GOLAY (S–G) PREPROCESSING

Quality parameter	Selecting methods		Sensitive wavelengths (nm)		
			600–750	751–915	916–1,100
SSC (°Brix)	SNV	GA	647, 679, 692, 701, 745	769, 786, 840, 878, 889, 906, 914	942, 961, 1,030, 1,060
	S–G		680, 692, 701, 728, 748	760, 808, 828, 884, 901	920, 962, 997, 1,023, 1,052
	SNV	cor.	643, 680, 694, 729, 744	760, 779, 808, 821, 883	918, 961, 994, 1,007, 1,018, 1,048
	S–G		643, 678, 694	759, 880, 904	918, 961, 1,048
Firmness (N/cm^2)	SNV	GA	624, 651, 669, 690, 721	780, 808, 871, 890, 902	921, 951, 980, 1,001, 1,030, 1,061, 1,093
	S–G		606, 690, 698, 710	780, 880	940, 994, 1,021
	SNV	cor.	614, 645, 678, 697, 749	766, 781, 797, 829, 841, 867, 889, 908	924, 930, 956, 970, 991, 1,008, 1,022, 1,033, 1,044, 1,070, 1,090
	S–G		606, 630, 678, 703	880	939, 987, 1,027
Water content (%)	SNV	GA	636, 679, 690, 740	760, 777, 808, 816, 841, 880, 910	940, 970, 980, 1,001, 1,031, 1,064
	S–G		634, 691, 700, 731, 753	760, 778, 808, 818, 843, 884, 910	921, 940, 970, 983
	SNV	cor.	638, 681, 698, 730, 752	762, 777, 810, 815, 843, 864, 911	922, 943, 968, 995, 1,035, 1,047, 1,084
	S–G		639, 678, 694, 721	908	1,060, 1,079

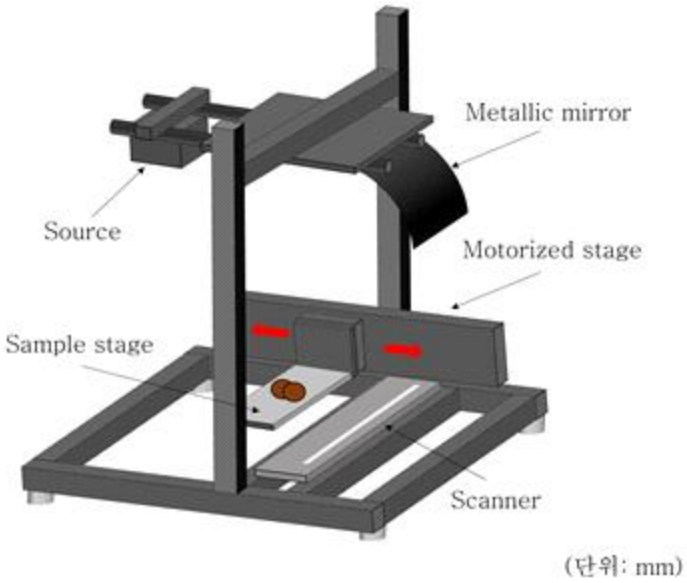
SSC, soluble solid content.

< sugar contents, firmness, water content sensitive wavelength for internal quality analysis of fruit >
reference : Qing, Z., B. Ji, and M. Zude. "Wavelength selection for predicting physicochemical properties of apple fruit based on near-infrared spectroscopy." Journal of food quality 30.4 (2007): 511–526.

– 부산 농수산 청과 실무진과의 회의를 통해 현장에서 과채류의 내부정보 판단 중 경도(firmness)의 측정이 가장 필요한 것으로 확인하였고, 하이퍼스펙트럴 분광 방법을 적용하여 경도를 분석한 사례가 있는지 조사하였음. 조사결과 분광학적인 방법을 통해 경도를 분석한 연구와 이와 연관된 파장들을 선정한 자료를 조사 완료하였음

– 과채류의 경도 예측 알고리즘을 제작하기 위해서 추가적으로 경도 측정 장비를 구매하여 본 연구단이 제작한 하이퍼스펙트럴 스펙트럼 결과를 통해 알고리즘을 제작하기 위한 계획을 가지고 있음, 추가적으로 제작된 알고리즘의 신뢰성을 테스트하기 위해서 strandard error of cross volidation (SEVC) 방법을 적용하려함

□ 테라헤르츠 시스템 개발 결과



<광학 구도와 이미징에 용이하도록 설계한 시스템 모식도>

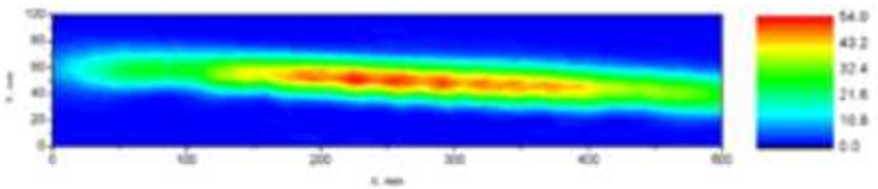
< 실제 구축한 테라헤르츠 이미징 시스템 사진 >

□ 테라헤르츠 시스템 제작 및 분석을 통한 과채류 내부분석 플랫폼 구축

● 테라헤르츠 시스템 제작

- 테라헤르츠파(terahertz wave)는 0.3~3THz (10^{12} Hz) 주파수 대역의 전자기파를 지칭함
- 테라헤르츠파는 파장이 수십 마이크로미터에서 수 밀리미터 수준까지 되며, 대기를 구성하는 여러 기체 요소들에 의한 흡수가 일어나고, 특히 수분에 의한 흡수가 강함
- 그리고 상대적으로 두껍지 않은 비전도성 물질에 대해서는 투과도가 높아 샘플에 대한 테라헤르츠파의 투과율을 이미징하여 비파괴 내부 상태 분석 등과 같은 분야에 응용이 활발함
- 이와 같은 기술을 이용하여, 농산물의 수분 함량 정도, 내부 공갈, 산도, 해충 영향, 유해물질 등을 비파괴적으로 테라헤르츠 투과 검사를 진행하여 제품의 품질을 빠르고 정밀하게 판단할 수 있음
- 본 연구단이 구축한 테라헤르츠 소스와 광학 구성도는 아래와 같음

< 테라헤르츠 이미징 시스템의 광학 구성도(좌)와 테라헤르츠 빔 진행 양상(우) >



<테라헤르츠 광원 앞 단일 슬릿과 빔 분산 거울을 통해 변형된 빔 모양>

- 빠르고 다수의 농산물 및 과채류 분석을 위해 비교적 작게 발생하는 테라헤르츠 빔을 이미징 스캔에 유리하도록 넓혀주는 과정을 광학 부품들을 이용하여 진행함
- 우선, 테라헤르츠 발광부에 설치되어있는 금속 단일 슬릿은 일정한 모양으로 발생하는 빔을 단일 슬릿 회절현상을 이용하여 슬릿을 거쳤을 때 빔이 바닥과 수평한 모양으로 분산되도록 함
- 분산된 테라헤르츠 빔을 금속 빔 분산 거울을 통해 한 번 더 확장해 디텍터에 입사되도록 함
- 이때, 확장 변형된 테라헤르츠 빔이 디텍터의 너비보다 커지게 되면 빔 손실 및 기측정영역을

벗어날 수 있으므로 단일 슬릿과 빔 분산 거울의 스펙에 맞게 테라헤르츠빔의 Optical path length의 설계값을 상기 그림과 같이 설정하여 이를 기준으로 시스템 하드웨어를 구축함

– 최종적으로 설계된 테라헤르츠 이미징 시스템과 실제 구축한 시스템은 아래와 같음

< 테라헤르츠 이미징 시스템 >

– 하드웨어를 구성하는 모든 알루미늄 프로파일들은 불필요한 빔의 반사 또는 산란에 의해 데이터 왜곡 현상이 일어날 것을 방지하기 위해 아노다이징 처리를 하여 진행함

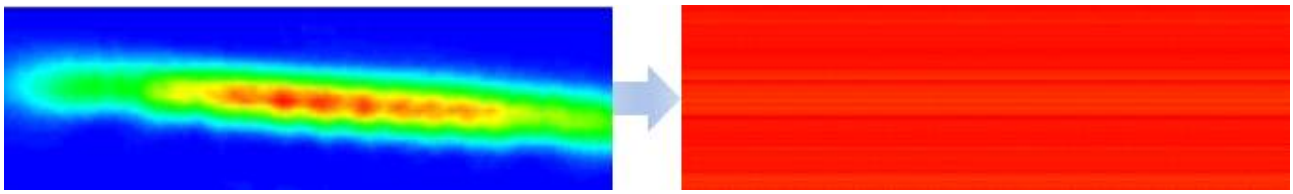
– 샘플 스테이지는 테라헤르츠파가 투과하기 좋은 2mm 두께의 투명 아크릴판으로 만들어 진행함

– 이는 모터 스테이지에 부착되어 이미징할 때 모터 스테이지가 움직이며 샘플 스테이지 위에 있는 측정 샘플들을 테라헤르츠파가 스캔할 수 있도록 함

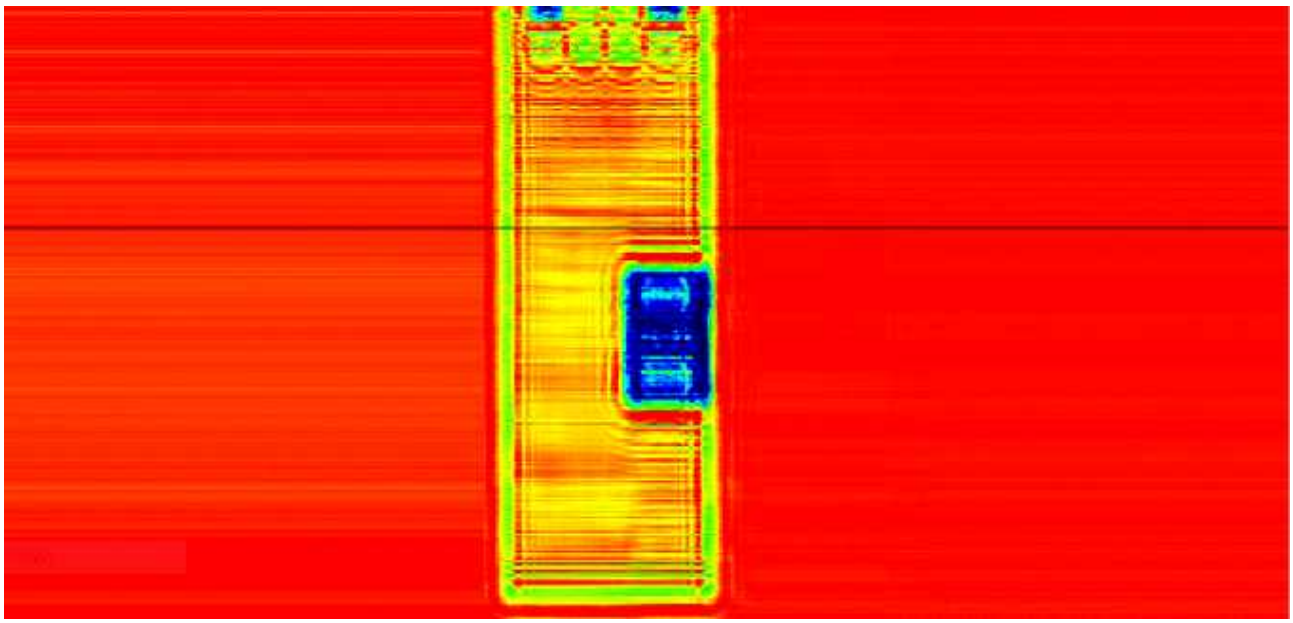
– 완성된 하드웨어를 구성하는 측정 관련 모든 시스템은 컴퓨터 소프트웨어를 통해 구동되며, 정확한 샘플 측정을 위해서 이미징 디텍터의 공간적 테라헤르츠 빔 분포 정규화(normalization)를 진행하여 비교적 넓은 영역에서 다양한 위치의 샘플들을 동일한 빔 분포를 통해 위치 의존성을 떨어뜨려 넓은 샘플 스테이지 위에 있는 모든 샘플들이 원활하게 정확 정밀 측정이 가능하도록 함

– 그리고 이미징 디텍터가 측정하는 샘플링 속도와 모터 스테이지가 샘플들을 이동시키는 속도를 정확하게 맞추어 주는 캘리브레이션 과정을 통해 이미징 결과에 왜곡이 없고 정확성을 높일 수 있게 함

– 이미징 디텍터 샘플링 속도와 모터 스테이지 속도를 캘리브레이션 해주지 않을 경우, 실제 측정하는 샘플의 크기, 즉 공간상에 세기 분포 측정에 왜곡이 생겨 부정확한 측정일 뿐만 아니라, 사이즈가 큰 샘플 또는 한 번에 여러 개의 샘플을 측정할 경우 어느 위치의 샘플이 문제가 있는지 정확하게 확인할 수 없으므로 측정에 따른 품질 분류가 문제가 발생함



< 테라헤르츠 빔 분포 정규화 전(좌)과 후(우)의 공간에 따른 세기 분포 >

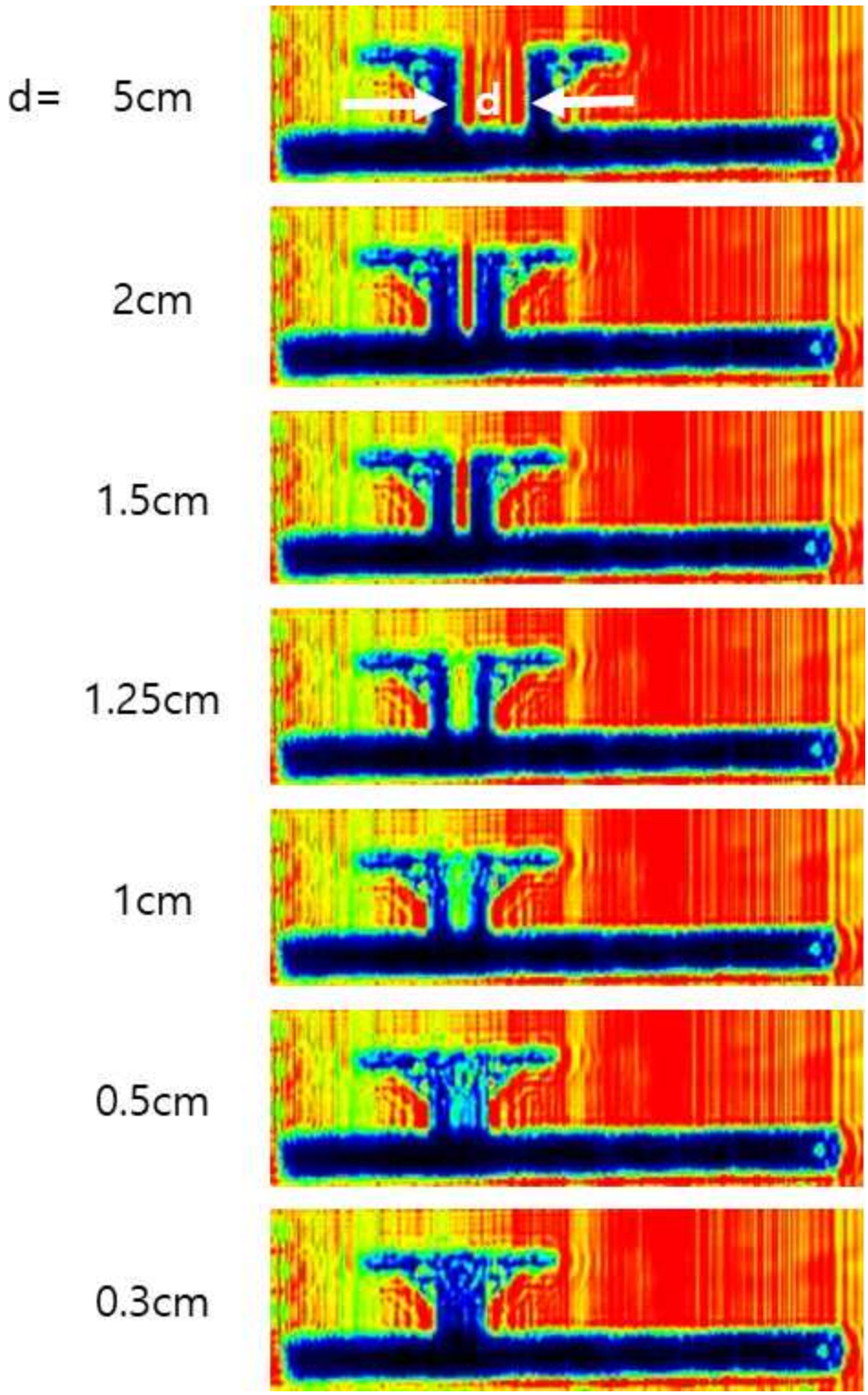


< 이미징 디텍터 샘플링 속도와 모터 스테이지 속도 캘리브레이션을 통한 이미징 최적화 >

- 상기 그림은 아크릴 샘플 스테이지 위에 금속판을 올려놓은 이미지로 이미징 디텍터의 샘플링 속도와 모터 스테이지 속도를 정확하게 맞춰주는 과정을 통해 실제 금속판의 가로-세로 비율과 이미징된 금속판의 가로-세로 비율이 정확히 맞음을 통해 캘리브레이션이 완료됨을 확인함
- 이처럼 하드웨어적 소프트웨어적으로 최적화된 테라헤르츠 시스템을 이용하여 다양한 농산물 및 과채류들을 측정 분석하여 비파괴 품질 판단을 진행함

● **테라헤르츠 시스템 과채류 분석**

– 농산물 샘플 측정에 앞서, 본 연구단이 구축한 테라헤르츠 이미징 시스템의 공간 해상도를 분석하기 위해 2개의 금속 구조체의 간격을 인위적으로 조정해가며 이미징하여 한계 해상도를 분석함



< 금속 자와 2개의 구조체를 두어 둘 사이의 거리에 따른 공간 해상도 분석 >

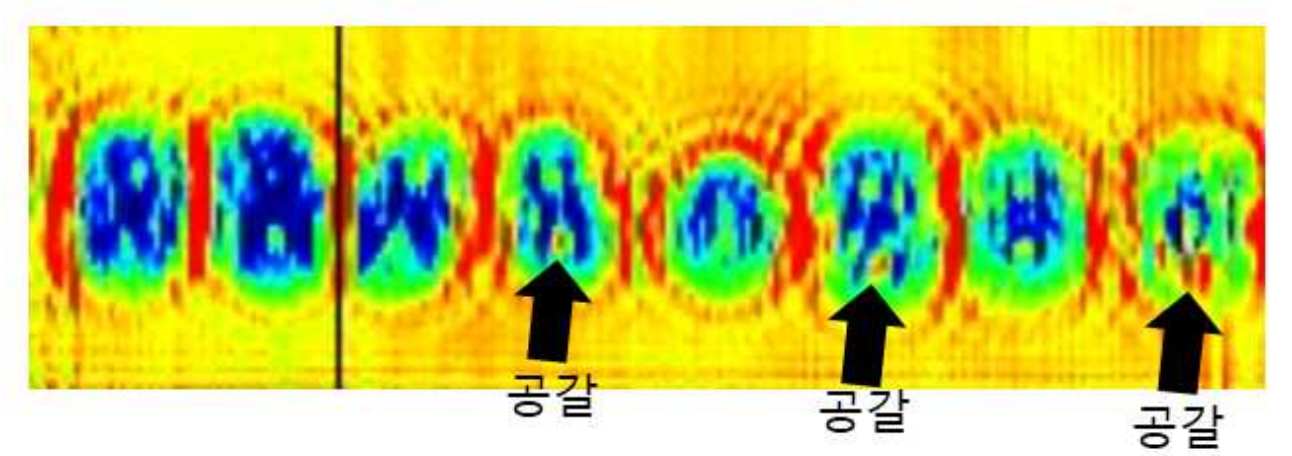
– 위 데이터는 30cm 금속 자와 기역자 형태의 두 금속 구조체가 샘플 스테이지 위에 올라가 있는 상태로, 두 금속 구조체의 평평한 면을 마주 보도록 하고 쇠자를 통해 둘 사이의 거리를 보며 이미징을 진행함

– 데이터를 보면, 0.5cm 간격까지 문제없이 무난하게 공간적으로 분간할 수 있음을 확인할 수 있고, 그 이하부터는 테라헤르츠 파의 공간적 한계 분해능보다 작기 때문에 정확한 분석이 어려울 것으로 확인함

– 이 지표를 통해 뒤에 측정할 농산물 및 과채류들 사이의 간격 조정과 한계 분해능 이하 사이즈의 샘플은 측정이 분가함을 미리 예측하여 진행할 수 있음

– 농산물 및 과채류 대다수의 사이즈가 5mm 이하의 경우는 거의 없으므로 측정할 때의 샘플 간격만 고려하여 배치하면 측정 불가한 샘플은 거의 없음을 알 수 있음

– 본 연구단은 구축한 테라헤르츠 시스템을 이용하여 각종 견과류, 잎채소들을 이용하여 상태에 따른 이미징 데이터 분석뿐만 아니라 인위적으로 불순물 처리 등의 경우를 만들어 측정된 데이터 분석도 진행함



< 다양한 상태의 땅콩 테라헤르츠 이미징 >

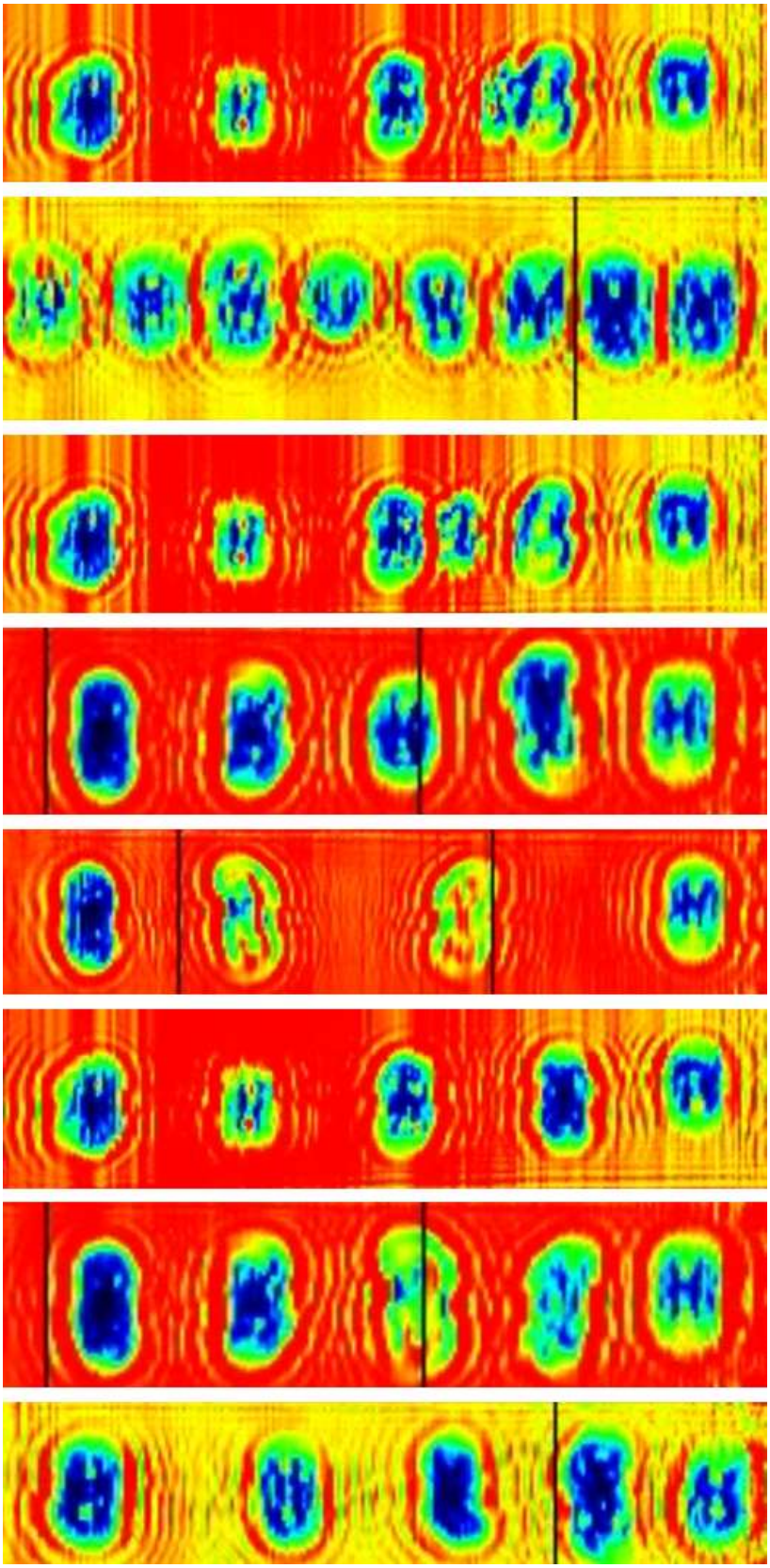
– 위 데이터는 내부상태를 알 수 없는 다양한 땅콩 여러 개를 한 번에 테라헤르츠 이미징한 결과임

– 일반 이미지를 보면 땅콩 내부상태를 전혀 알 수 없지만, 테라헤르츠 이미지를 보면 겉껍질 내 땅콩이 알차게 들어있을 경우 테라헤르츠파의 투과율이 낮아져 그 영역에서 세기가 낮아지는 것을 알 수 있음 (이미지 내 세기는 파란색에서 빨간색으로 갈수록 투과가 잘되어 디텍팅 세기가 강한 것을 의미)

– 이를 통해 땅콩의 공갈 정도를 유추할 수 있음. 측정한 땅콩의 경우 껍질 내 땅콩 알맹이가 두 개 들어가 있어야 공갈이 없는 정상 품질의 상품인데, 데이터를 보면 알 수 있듯이 두 알맹이가

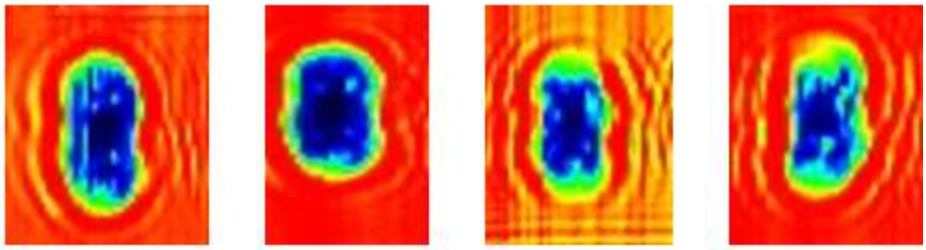
아닌 한 개만 들어있을 경우 다른 한쪽에는 공갈이 생겨 테라헤르츠가 투과가 잘됨. 그래서 그 영역에서는 디텍팅 세기가 강하여 빨간색으로 나타나는 것을 알 수 있음

- 실제로 측정 후 땅콩 껍질을 까본 결과 테라헤르츠 시스템이 보여준 결과와 정확하게 일치하는 것을 확인함

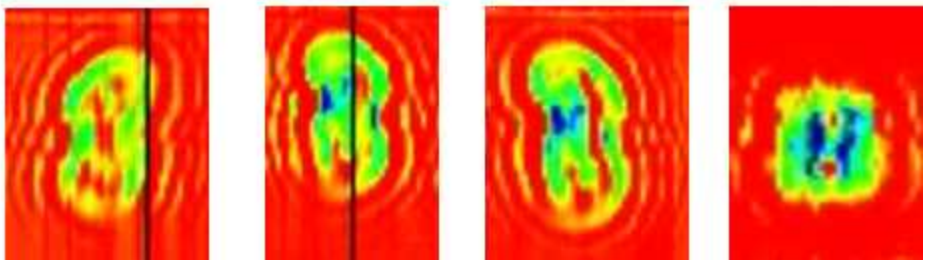


< 여러 땅콩 샘플의 연속적 테라헤르츠 이미징 데이터 모음 >

정상 품질 땅콩

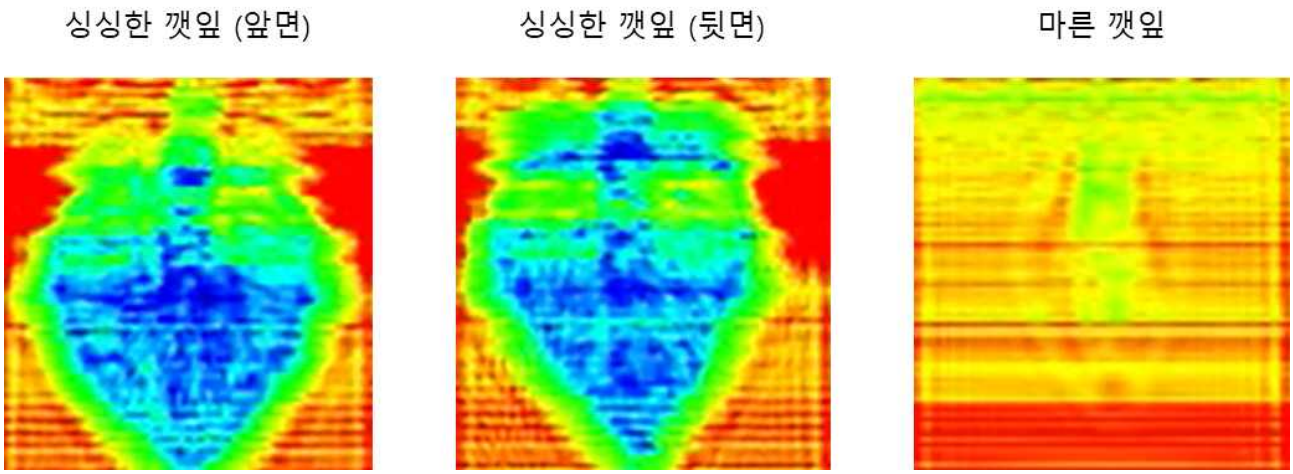


이상 품질 땅콩(공갈)



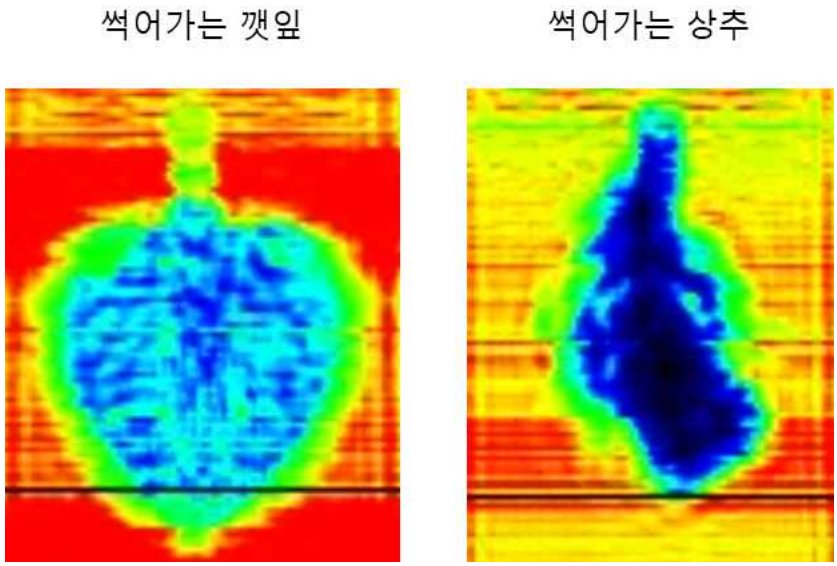
< 정상 품질의 땅콩과 이상 품질 땅콩의 분류 >

- 본 연구단은 구축한 테라헤르츠 이미징 시스템을 이용하여 수십 개의 땅콩 샘플을 이미징하여 그중 몇 데이터들을 모아봄
- 다중 데이터 분석을 통해 땅콩 껍질 내 공갈에 대한 테라헤르츠 이미지 분석 데이터 양상을 상기 그림과 같이 확정 지음
- 그림을 보면 알 수 있듯이 알맹이가 있어야 할 자리에 땅콩이 잘 있으면 테라헤르츠 투과가 잘되지 않아 디텍터가 읽어 들이는 테라헤르츠 세기가 약하여 파랗게 이미징되는 것을 알 수 있음
- 하지만 공갈이 있는 땅콩의 경우 테라헤르츠파 투과가 잘되어 디텍터가 세기를 강하게 읽어 들이기 때문에 그 부분에만 빨간색 분포를 가짐
- 측정 샘플 중, 품질상태가 많이 안 좋은 땅콩의 경우 2개의 땅콩 공간이 모두 비어 있는 경우를 확인할 수 있음
- 이뿐만 아니라, 해충과 같은 벌레들은 체내 수분량이 높기 때문에 테라헤르츠파의 투과율이 낮아 상품 내 존재 여부들을 확인할 수 있고, 해충이 파먹고 나가게 되면 이 또한 내부에 미세 공갈 발생 원인이 되기 때문에 테라헤르츠파의 투과율을 통해 판단이 가능함
- 본 연구단이 개발한 테라헤르츠 이미징 시스템을 이용하면 견과류 같은 경우 다량의 샘플을 고속으로 정밀하게 투과 분석하여 내부에 있는 공갈 및 해충 존재 여부들을 비파괴적으로 분석할 수 있게 되어 품질이 안 좋은 특정 상품들만 분류하면 고품질 상품들만 모아서 판매할 수 있기 때문에 좋은 분류 판단 지표가 될 것임
- 본 연구단은 테라헤르츠 시스템을 이용하여 잎채소 측정도 진행함



< 싱싱한 깻잎과 시간이 지남에 따라 수분이 날아간 마른 깻잎 테라헤르츠 이미지 비교 >

- 잎채소의 경우, 두께가 두껍지 않아 테라헤르츠 이미징에 유리하여 보다 더 정밀한 분석이 가능함
- 상기 그림을 보면 알 수 있듯이, 싱싱한 깻잎 같은 경우 전체적으로 수분 함량이 퍼져있기 때문에 테라헤르츠파의 흡수 분포가 고르게 되어 있어 디텍터에서의 세기가 떨어지는 것을 볼 수 있음
- 하지만 공기중에 오래 노출되면서 수분이 날아가게 되면 깻잎이 마르게 되고 그만큼 수분 함량이 줄어들어 테라헤르츠 빔이 덜 흡수되어 디텍터에서의 세기가 고르게 강해지는 것을 볼 수 있음



< 썩는 과정에서의 깻잎과 상추의 테라헤르츠 이미지 >

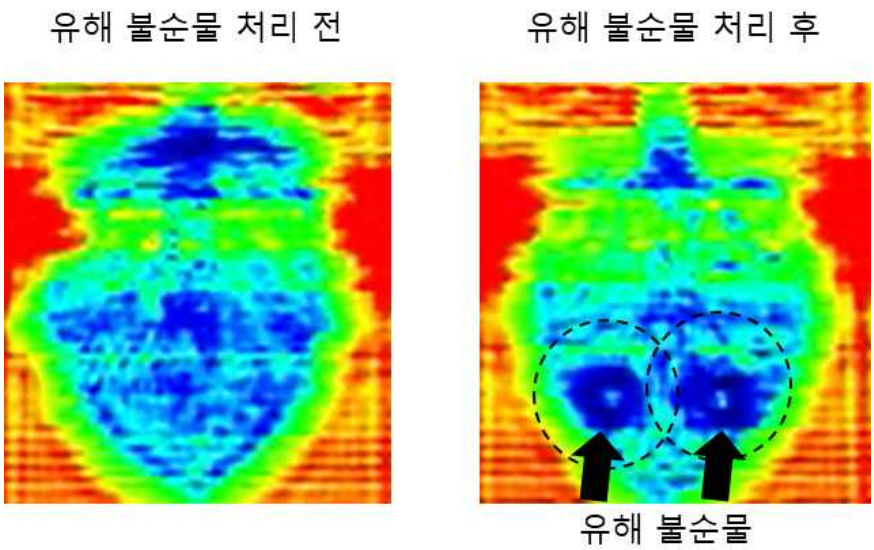
- 농산물의 경우, 재배된 같은 종의 상품들이 겹겹이 쌓여 보관되고, 대부분 재배하는 계절이 여름이기 때문에 사실상 잎채소의 상태는 보관시간이 지날수록 말라가는 것이 아니라 높은 온습도와 환경에 의해 썩게 됨

– 이러한 점을 테라헤르츠 이미징 시스템으로 확인하기 위해, 높은 온습도에 약 7일 이상 인위적으로 썩을 수 있게 보관한 깻잎과 상추를 측정하여 테라헤르츠 이미징 데이터의 양상을 확인함

– 상기 그림은 썩어가는 깻잎과 상추의 테라헤르츠 이미지로, 품질상태가 좋은 정상 잎채소일 때의 테라헤르츠 세기 분포보다 파란 부분이 강해지고 분포가 많아지는 것을 확인할 수 있음

– 이는 높은 온습도에 의해 잎채소 내 수분 함량이 포화하고 이러한 상태가 유지됨에 따라 썩어가며 물러지기 때문에 정상상태일 때보다 썩은 상태일 때가 수분 함량이 높아짐

– 테라헤르츠 빔의 흡수가 더 많아지게 되어 디텍터가 받아들이는 세기가 약해짐



< 깻잎에 유해 불순물 처리에 따른 테라헤르츠 이미지 비교 >

– 친환경 및 유기농이 강조되는 현시점에서, 농산물에 유해한 불순물(잔류 농약, 등)이 처리되어 있는가에 대한 확인이 필요함

– 본 연구단은 이와 같은 불순물 유무에 대해 테라헤르츠 이미징 시스템을 활용하면 불순물의 특성상 테라헤르츠 빔의 흡수율이 일반적인 수분보다 높을 것으로 예상하고 인위적으로 깻잎 샘플에 불순물 처리를 진행하여 처리 전후에 대한 비교분석을 진행함

– 농산물에서 주로 검출될 수 있는 잔류 농약과 같은 불순물들은 대부분 계면활성제 성분과 같은 특수 성분들이 포함되어 이에 대한 테라헤르츠파의 흡수가 물보다 강하게 일어남

– 상기 그림을 보면, 유해 불순물을 깻잎 아래 두 점으로 찍은 다음 약 하루 정도 말린 후 측정한 데이터를 처리 전 상태와 비교함. 말리지 않고 측정할 경우 유해 불순물도 용액 상태로 사용하기 때문에 일시적인 수분량 증가에 의해 데이터가 왜곡될 수 있음 (말리지 않으면 물을 표면에 처리해도 테라헤르츠 흡수율이 높아져 유해 불순물 검출에 대한 의미가 없어짐)

– 그림에서 볼 수 있듯이 유해 불순물을 처리하기 전에는 정상적인 깻잎과 같이 고르게 수분이 분포해 있는 데이터 양상을 보이는 반면에 유해 불순물 처리하여 말린 깻잎의 경우, 하루 정도 말렸기 때문에 전체적인 수분 함량이 줄었지만 유해 불순물이 처리된 포인트에서는 테라헤르츠파 흡수율이 굉장히 강한 것을 볼 수 있음

– 본 연구단은 앞서 진행한 실험들을 토대로, 잎채소의 품질 정도를 판단할 수 있는 지표들을 설정할 수 있음

– 전체적인 신선도 같은 경우 잎채소 전체적인 수분 함량 분포 정도를 비교하여 수분 함량이 적

은 경우 마른 상태, 너무 높은 경우 썩은 상태임을 분류할 수 있음

– 잎채소 표면 전체에 대한 수분 함량은 동일하지만 특정 영역 또는 군데군데 테라헤르츠파의 흡수율이 강할 경우 잎채소에 불순물이 남아있음을 판단할 수 있음

● 테라헤르츠 과채류 분석 시스템 평가

– 본 연구단이 개발한 테라헤르츠 이미징 시스템은 농산물의 내부상태 또는 수분 및 기타 성분 함량에 대한 비파괴 투과 측정이 가능하여 농산물 품질 고속 정밀 측정에 따른 상태별 분류가 가능함

– 원활한 측정을 위해 광학 회절 부품 및 미러를 통한 테라헤르츠 빔을 변형하였고, 디텍터와의 정확한 공간적 빔 매칭을 위해 광학 구도를 설계하여 하드웨어를 제작함

– 모든 부품은 불필요한 반사 및 산란에 대한 영향을 제거하기 위해 아노다이징 처리를 했으며, 소프트웨어를 조정하여 빔 세기 분포 정규화, 디텍터 샘플링 속도와 모터 스테이지의 속도 동일화 과정을 거쳐 최적의 테라헤르츠 이미징 시스템을 구축함

– 본 이미징 시스템의 경우 분해능이 약 0.3cm 정도까지 가능하여 보통 수 cm 이상인 농산물들에 대해서는 정밀 측정 특성이 유지 가능함

– 견과류의 경우, 내부 공갈이 생기기 쉬운데 직접 까보지 않는 이상 내부상태를 확인하기 어렵다는 점이 있지만, 테라헤르츠 이미징 시스템을 이용하여 비파괴 내부 검사를 하면, 테라헤르츠파의 흡수율의 차이가 공갈일 경우와 알맹이가 채워져 있는 경우에 확연하게 다르다는 점을 이용해 측정 견과류의 품질을 판단할 수 있음

– 잎채소의 경우, 마른 상태, 정상상태, 썩은 상태, 불순물 처리 상태 등 다양한 상태들이 존재하는데, 테라헤르츠 이미징 시스템을 적용하여 각 상태별 테라헤르츠파 흡수율과 흡수 분포를 분석함으로써 분류할 수 있는 기준을 제시함

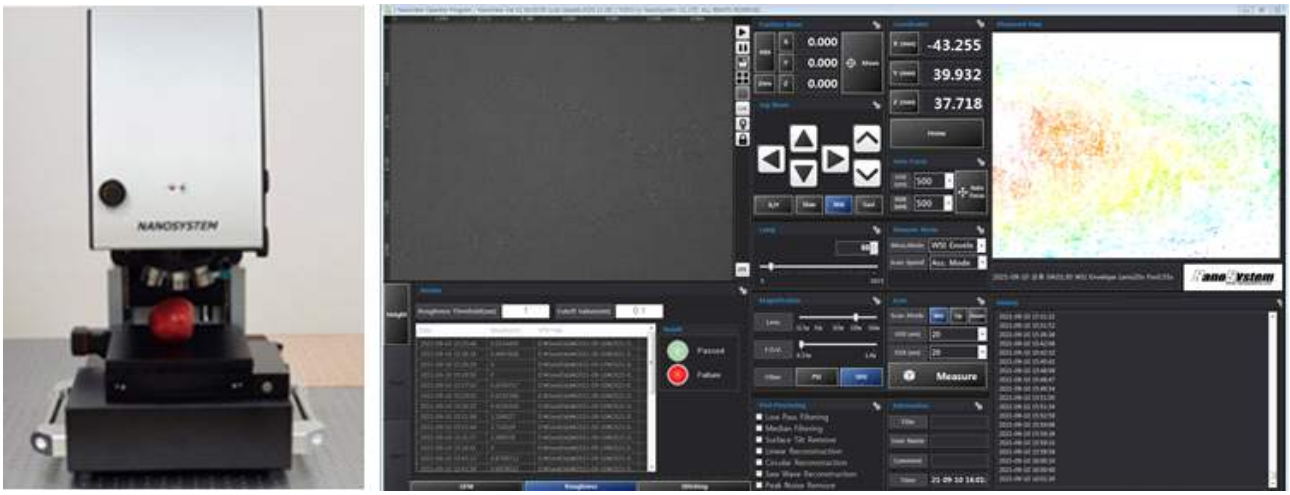
– 마른 경우, 전체적인 수분 함량이 적고 썩은 경우는 전체적으로 수분 함량이 많은 점을 감안하여 측정한 샘플의 균일 테라헤르츠파 세기 분포를 통해 마름, 정상, 썩음 상태를 분류함

– 또한, 잔류 농약과 같은 불순물의 경우 테라헤르츠파가 일반적인 수분보다 높은 흡수율을 가져 그 부분에서만 세기가 급격하게 감소하는 것을 이용하여 전체 세기가 아닌 부분적 세기 감소의 양상을 가지면 불순물이 처리되어 있음을 확인할 수 있음

– 앞서 견과류 또한 마찬가지로 수분 함량 정도를 통해 썩은 견과류는 따로 분류 가능하며, 해충에 의한 내부 미세 공갈 및 해충 존재 여부도 확인이 가능함

[1협동 연구내용]

□ 백색광 간섭계 시스템 및 소프트웨어 개발 결과



< 개발된 측정 시스템 및 분석 소프트웨어 >

□ 과채류 광학적 표면분석 시스템 개발을 통한 과채류 외부분석 구축

● 백색광 간섭계 시스템 제작

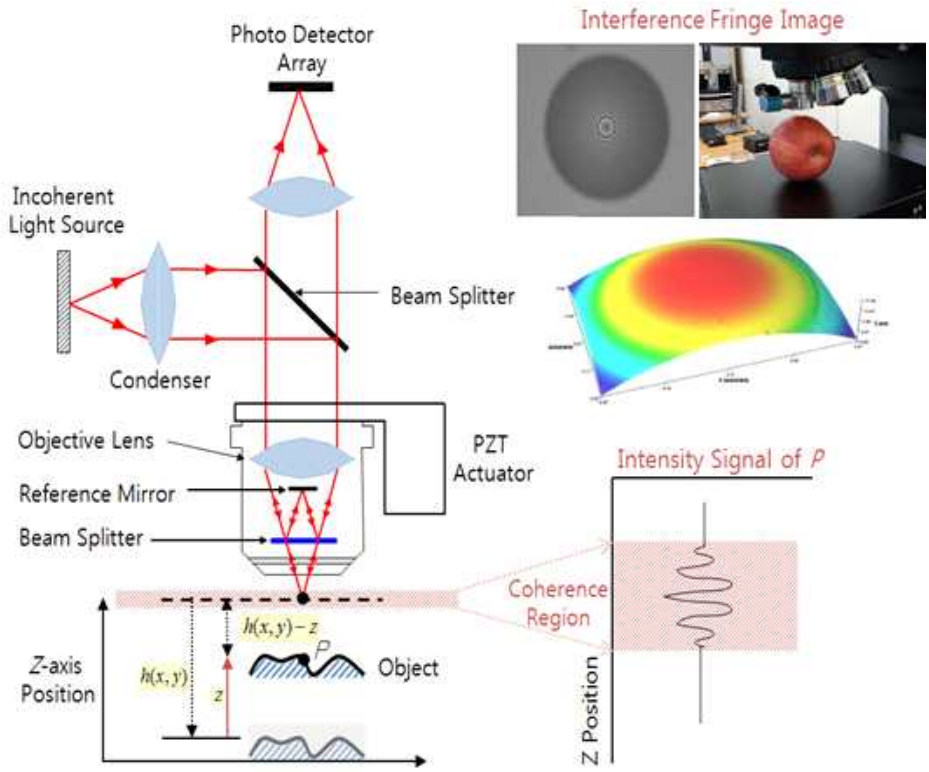
• 백색광 간섭계 원리

– 조명광이 간섭 렌즈 내에 있는 광분할기(Beam Splitter)를 통과할 때 분리되어 기준면(Reference Mirror)과 측정면(Surface of object)에 각각 조사된 후 반사된 광이 다시 광분할기에서 만나게 될 때. 두 광의 이동 거리 간 차이로 인해 빔 사이에 위상차가 발생하는데, 두 광이 지나간 거리가 동일하게 되는 위치에서 조명광원의 반파장 주기에 해당하는 간섭무늬(Interference Fringe)가 발생함

– 이러한 간섭무늬는 두 광의 경로차이에 의해 발생하므로 측정면의 높이정보를 포함하고 있음

– 광학식 측정방식으로 측정 대상에 물리적인 손상을 남기지 않으며, 나노미터 수준의 정밀도를 가지고 측정된 정보를 3차원 이미지로 형태를 재구성할 수 있음

– 미세한 표면 조도(거칠기, Roughness) 변화나 나노 수준의 패턴 단차에 대한 정보를 간단하게 얻을 수 있어 소비자들에게 표면형상, 거칠기 등의 농산물의 표면 형상에 관한 유용한 정보를 제공 할 수 있음



• 백색광 간섭계 이미징 시스템 : 백색광 주사 간섭계 기반의 3차원 형상측정 알고리즘들의 성능 평가

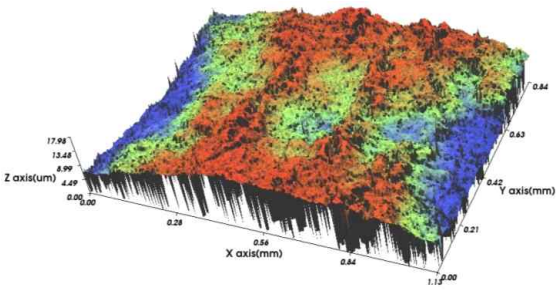
– 과채류의 3차원 형상 및 표면조도 측정 기술의 정밀도를 향상시키기 위해 최적의 알고리즘을 도출하고자 함

– 백색광 주사 간섭계 기반의 3차원 형상측정 알고리즘은 크게 포락선 정점 검출법(Envelope peak detection), 위상 정점 추출법(Phase peak detection based on Sandoz algorithm)으로 나눌 수 있음.

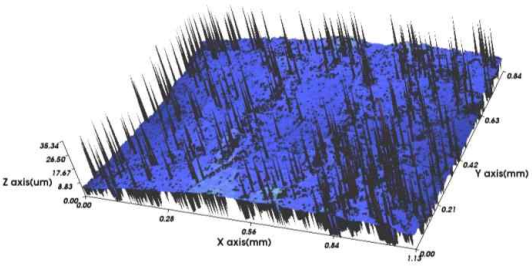
– 아래 그림은 포락선 정점 검출법과 위상 정점 추출법의 각각의 알고리즘을 사용하여 사과의 3차원 표면 형상을 측정한 결과를 나타냄

– 위상 정점 검출법의 경우에는 측정결과에서 알 수 있듯이 형상 데이터가 포락선 정점 검출법으로 측정한 형상 데이터에 비해 측정 Noise 성분이 많아 선명한 형상 및 거칠기 정보를 획득하는데 어려움이 있다.

– 따라서 사과 등 과채류의 거친 표면 및 급격한 기울기를 갖는 형상일수록 포락선 정점 검출법을 사용하여 3차원 형상을 측정하는 것이 보다 효율적이고 정확한 측정 결과를 얻을 수 있음



< 포락선 정점 검출법 >



< 위상 정점 검출법 >

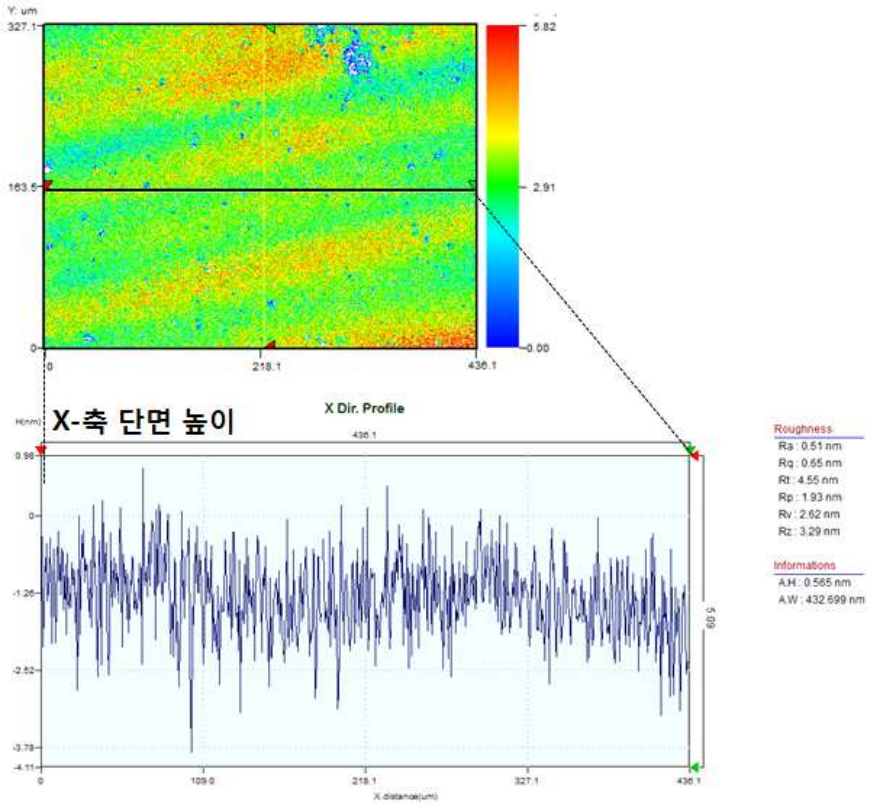
– 기존의 위상 정점 추출법의 경우, 포락선 정점 검출법에 비해 진동을 비롯한 외부 환경에 민감하게 반응함

– 본 연구단은 이를 보완하여 주파수 영역 분석법(Fourier Domain Analysis, FDA) 기반의 향상된 위상 정점 추출법을 적용하여 환경적 외란에 둔감하면서도 포락선 정점 검출법에 비해 그 측정 정밀도가 우수한 측정 알고리즘을 개발함

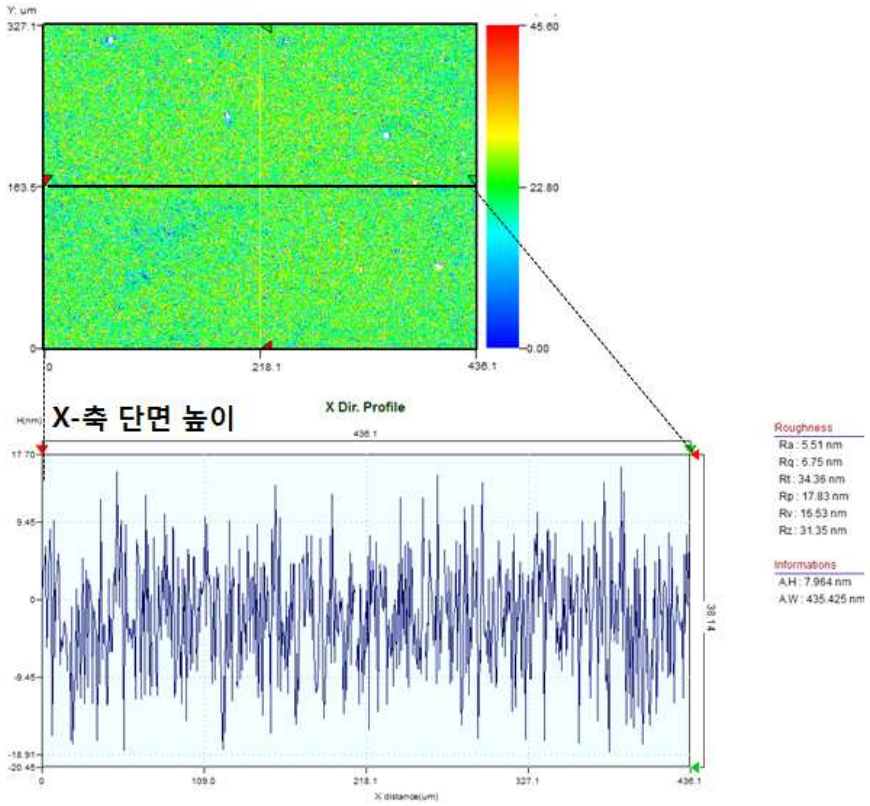
– 아래 그림은 각각 주파수 영역 분석법 기반의 향상된 위상 정점 추출법과 기존의 포락선 정점 검출법을 통해 평면거울의 표면 형상을 측정한 결과임

– 주파수 영역 분석법(FDA) 기반의 향상된 위상 정점 추출법의 경우, 기존의 포락선 정점 검출법에 비해 보다 정밀한 높이 단차 측정이 가능하며 평면 거울의 표면 형상의 경우, 높이 편차가 최대 4nm (Peak-to-Valley) 이하의 값을 나타내며 거칠기 평균의 경우, 0.51nm 의 측정 성능을 보임

– 기존의 포락선 정점 검출법으로 평면 거울의 표면 형상을 측정할 경우, 높이 편차가 최대 34nm (Peak-to-Valley) 이하의 값을 나타내며 거칠기 평균의 경우, 5.51nm 의 측정 성능을 보임을 알 수 있음



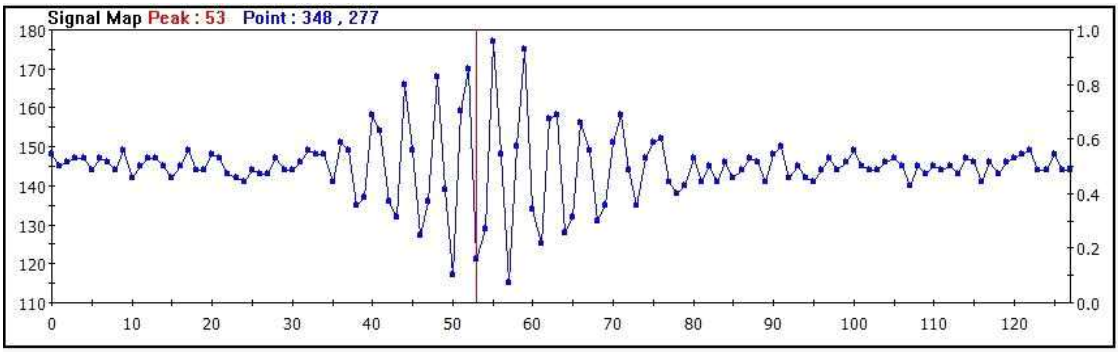
< 주파수 영역 분석법(FDA) 기반의 향상된 위상 정점 추출법을 통하여 측정된 평면 거울의 표면 형상 측정 결과 >



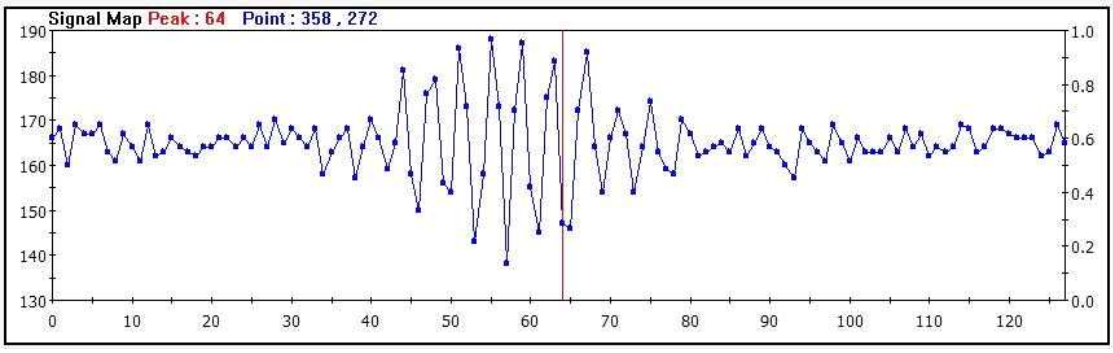
< 기존의 포락선 정점 검출법을 통하여 측정된 평면 거울의 표면 형상 측정 결과 >

• 간섭계 측정을 통해 획득한 간섭신호의 신호 대 가시도(Visibility) 향상

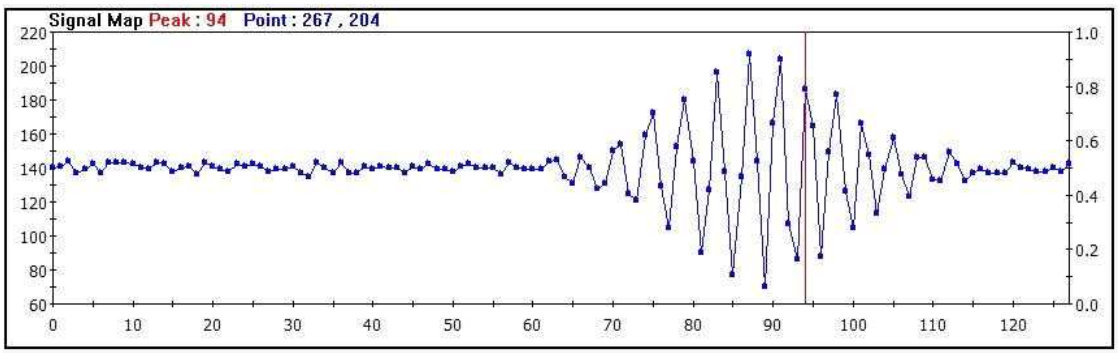
– 마이켈슨 간섭계 기반의 광간섭 계측 기술이 경우 기준 거울(Reference Mirror)에서 반사된 기준광과 측정면(Surface of object)에서 반사된 측정광의 경로차로 인해 일어나는 간섭을 통해 간섭신호를 얻게 됨
– 이때, 간섭신호의 Envelop 크기가 클수록 신호의 신호 대 잡음비(Signal to Nosie Ratio, SNR) 또한 커지는데 이를 간섭신호의 가시도(Visibility)로 정의함
– 이론적으로 기준광과 측정광의 광량이 같을 때 가시도가 가장 크며, 과채류와 같이 표면의 광반사도가 낮은 측정 대상물의 경우, 낮은 가시도로 인해 신호 대 잡음비 또한 낮아지게 됨
– 신호 대 잡음비가 낮으면 결과적으로 측정 정밀도가 떨어져 따라서 기준광과 측정광의 광량비를 효과적으로 일치시키는 것이 정밀도 향상을 위해 중요함
– 본 연구단은 최적의 가시도를 위하여 전체 광량에 대한 기준광의 비를 바꿔가며 과채류를 측정하여 최적의 광량비를 찾고자 하였음
– 과채류의 표면에서 반사되어 돌아오는 측정광량을 기준광 대비 95% 크게 가져감으로써 획득 간섭신호의 가시도를 최적으로 향상시킴



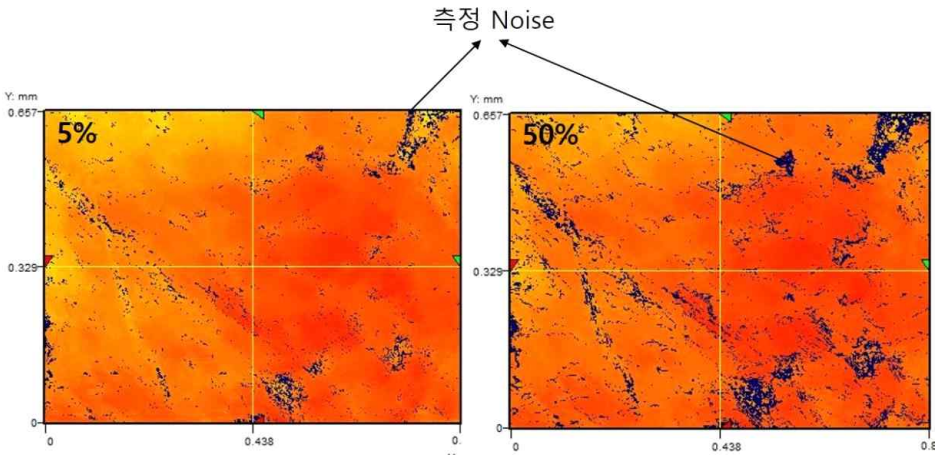
<전체 광량에 대한 기준광 비율 : 85%; Visibility = 0.15>



<전체 광량에 대한 기준광 비율 : 50%; Visibility = 0.22>



< 전체 광량에 대한 기준광 비율 : 5%; Visibility = 0.53 >



< 전체 광량에 대한 기준광 비율(5%, 50%) 에 따른 사과의 3차원 표면 형상 측정 결과 >

• 측정 영역 확장을 위한 간섭렌즈 설계 및 제작

– 측정 목표인 4mm 이상의 측정 영역에서 5nm 이하의 측정 정밀도를 갖으면서 측정된 3D 형상 데이터에서 만곡 형상 및 거칠기 데이터를 추출, 보다 정확한 과채류 표면의 거칠기 정보를 추출할 수 있는 정밀 3D 광학 현미경 시스템 개발을 목표로 함

– 백색광 간섭계의 경우 대물렌즈의 배율에 따라 최대 측정 가능 영역(Field of view)이 정해진다.

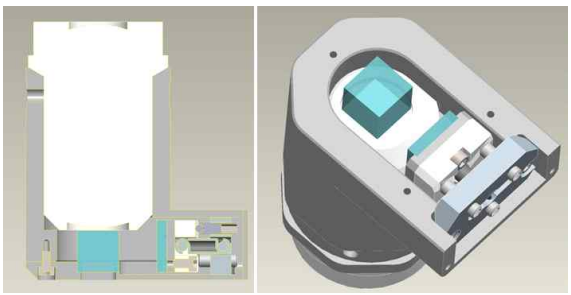
– 과채류의 신선도를 평가하기 위해선 보다 넓은 영역을 측정할 필요가 있음

– 마이켈슨 타입의 간섭렌즈의 경우, 기준거울과 측정물체가 광분할기(Beam splitter)를 경계로 광축이 수직으로 나뉘게 되고 이로 인해 렌즈 구성이 상대적으로 복잡해지고 광학계의 크기 또한 커지게 되어 상대적으로 제작에 어려움이 있음. 하지만 기준거울 크기에 제한이 상대적으로 덜해 측정 영역 또한 상대적으로 확장되어 ×5 배율 이하의 저배율 렌즈로써 사용가능함.

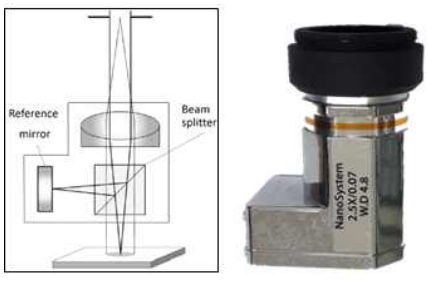
– 4 mm (대각선 방향) 이상의 측정 영역 확장을 위해 마이켈슨 간섭계 타입의 ×2.5 배율 간섭렌즈의 설계를 수행하였으며, 최적의 간섭계 구성을 통해 색수차 및 구면수차를 최소화함

– ×2.5배 대물렌즈의 경우, 개구수(Numerical Aperture) 는 0.07이며 비구면 렌즈 배열은 Plano-convex 렌즈를 사용하였음

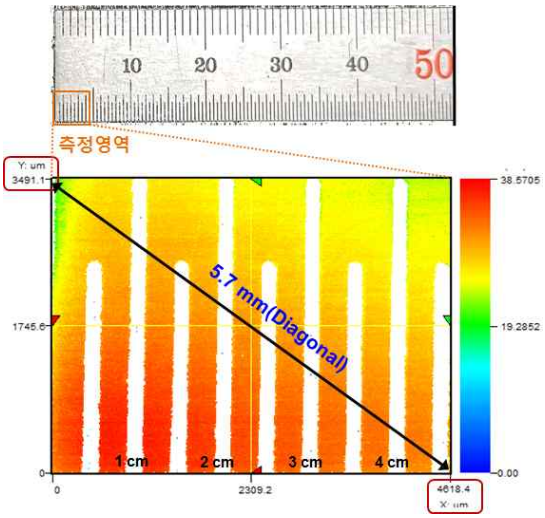
– 구면수차와 색수차를 최소화한 기준거울 및 광분할기(Beam Splitter) 배치 및 마이켈슨 간섭계 구성을 통해 최상의 광효율을 갖는 ×2.5배 저배율 간섭 대물렌즈를 제작함



<×2.5배 저배율 간섭 대물렌즈의 HW 설계>

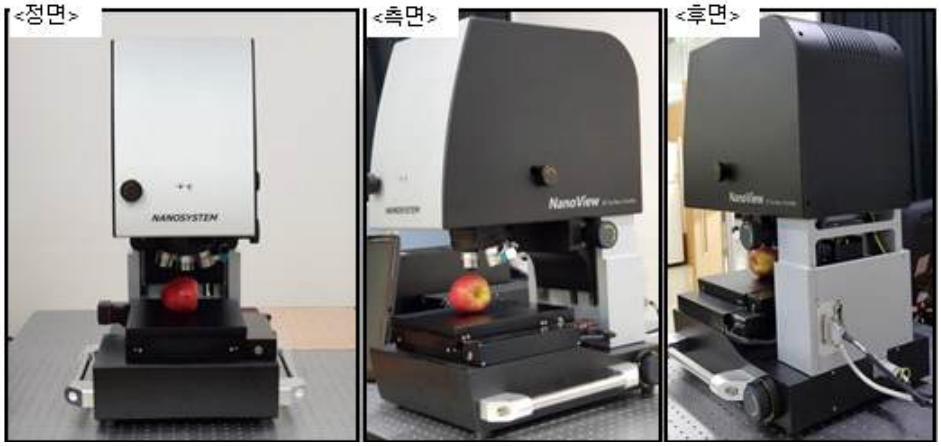


<×2.5배 저배율 간섭 대물렌즈의 제작>



< 기준자 측정을 통한 측정 영역 성능 검증 >

• **과채류의 정밀 3차원 표면 형상 측정기 시제품 제작**



<초정밀 3D 형상 및 표면 거칠기 측정 장치>

- 과채류의 3차원 정밀 표면 형상을 측정하기 위한 측정 시제품 제작
- 소프트웨어와 연동하여 X, Y축 스테이지를 자동으로 움직일 수 있는 시스템을 구축하였음

● **백색광 간섭계 S/W 개발**

– 측정 장비의 운용 프로그램에 분석 프로그램을 통합하였음

– X, Y, Z 스테이지를 움직일 수 있어 과채류의 측정하고자하는 위치에서 데이터를 얻기 용이함

– 프로그램을 사용하여 배율을 조절할 수 있게 하였음

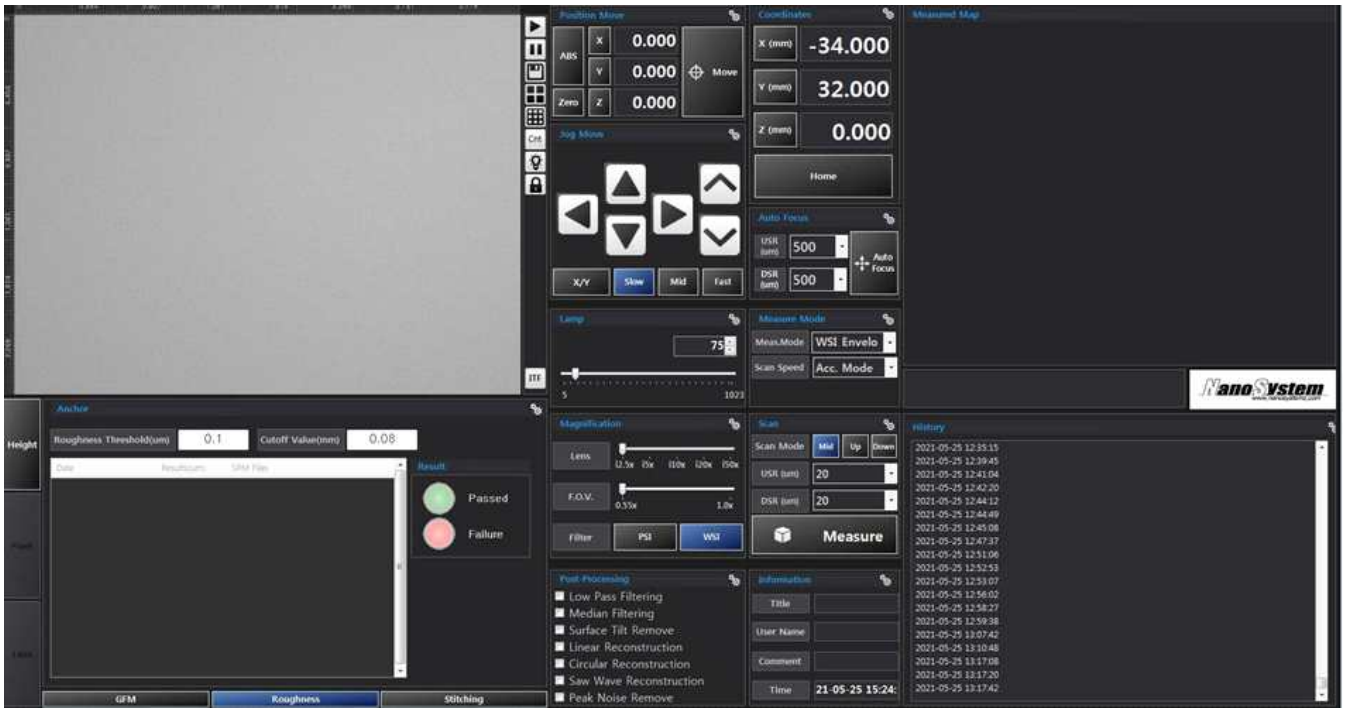
– 거칠기 데이터 분석 프로그램을 통합하여 왼쪽 하단에서 별도의 분석 프로그램을 거치지 않아도 거칠기 정보를 알 수 있음

– 또한, “Passed”, “Failure” 표시를 해주어 기준에 따라 과채류를 자동으로 분류하고 결과를 직관적으로 볼 수 있도록 함

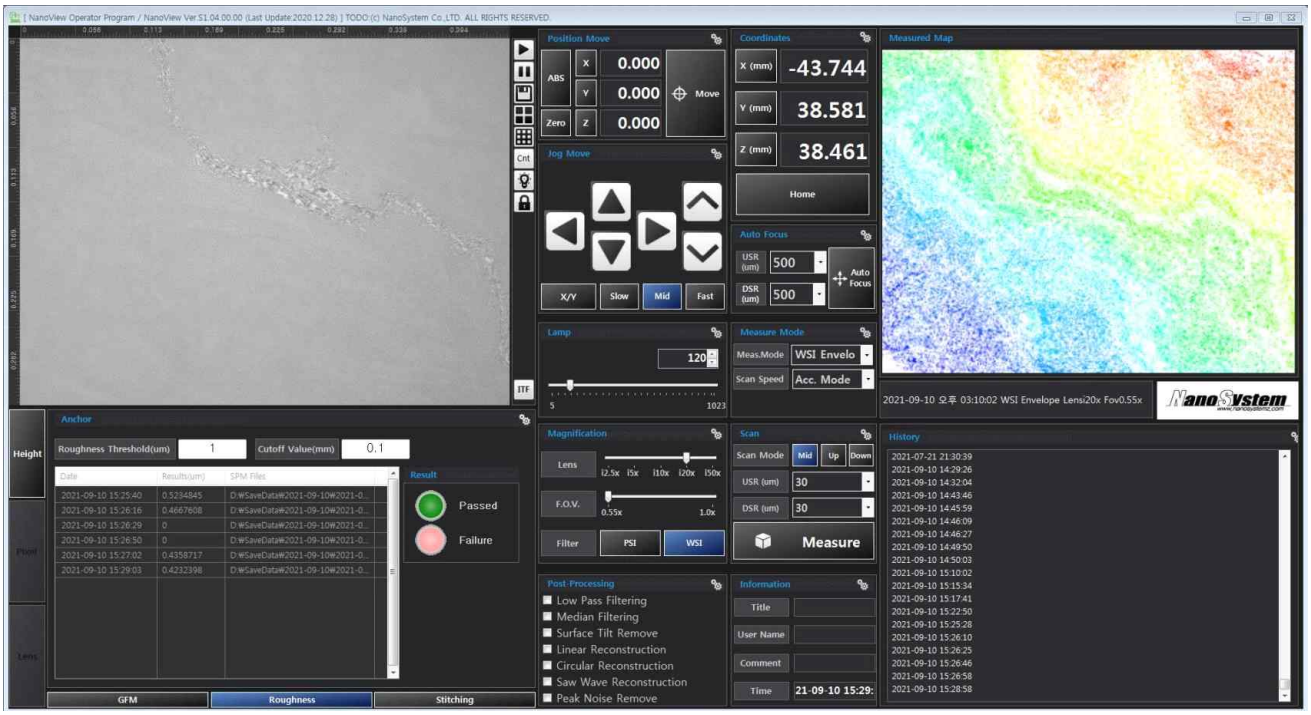
– Roughness Threshold에 기준이 될 Roughness를 입력할 수 있음

– 기준이 되는 과채류의 거칠기 수치를 정하고, 기준 이하일 때는 “Passed”, 거칠기 수치가 기준보다 높은 수치를 나타내면 “Failure”가 표시됨

– 따라서 소비자는 짧은 시간에 과채류를 측정하고, 과채류를 손쉽게 등급에 따라 분류할 수 있음



< 백색광 간섭계 측정과 분석 프로그램이 통합된 소프트웨어 UI >

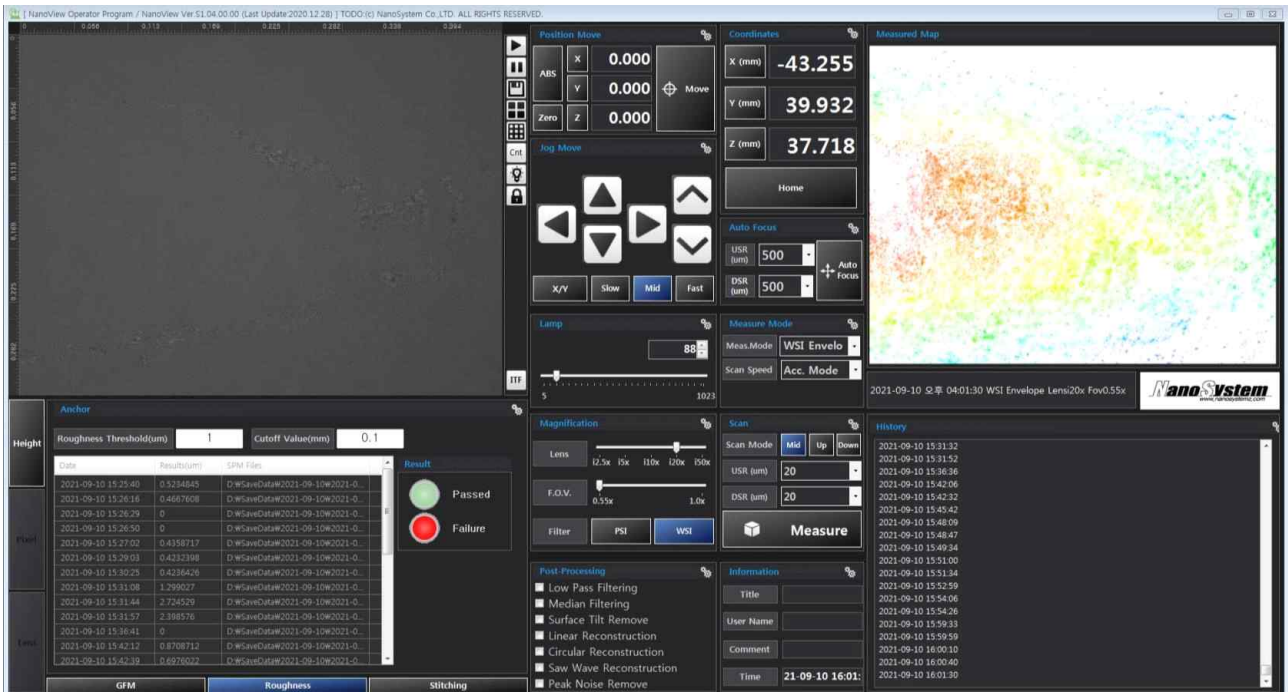


< 기준 Ra 이하의 정상적인 사과 표면 측정 >

– 위의 그림에서는 표면 거칠기가 Roughness Threshold에 설정해둔 기준 거칠기보다 낮아 초록불이 들어오며 “Passed”가 표시됨

– 왼쪽 하단에는 측정 일자와 거칠기 정보를 나타내고 있음

< 표면에 스크래치 사과 >



< 표면에 스크래치 사과를 측정 >

- 위의 그림은 표면에 스크래치가 난 사과와 그 사과를 측정했을 때 프로그램에 나타나는 결과임.
- 스크래치가 난 사과는 스크래치 부분에서 사과의 다른 표면과 높이 차이가 급격하게 생기기 때문에 Ra가 매우 증가하게 됨
- 위에서 정상적인 사과와 Roughness Threshold는 동일하게 설정하였지만 Ra 값이 Cutoff Value를 초과하여 빨간 불이 표시되며 “Failure”를 나타냄

• 소프트웨어의 표면 분석 기술

– 측정된 3차원 표면 형상으로부터 표면 거칠기 정보를 추출하고 수치적으로 분석하기 위한 분석 기술이 개발되었음

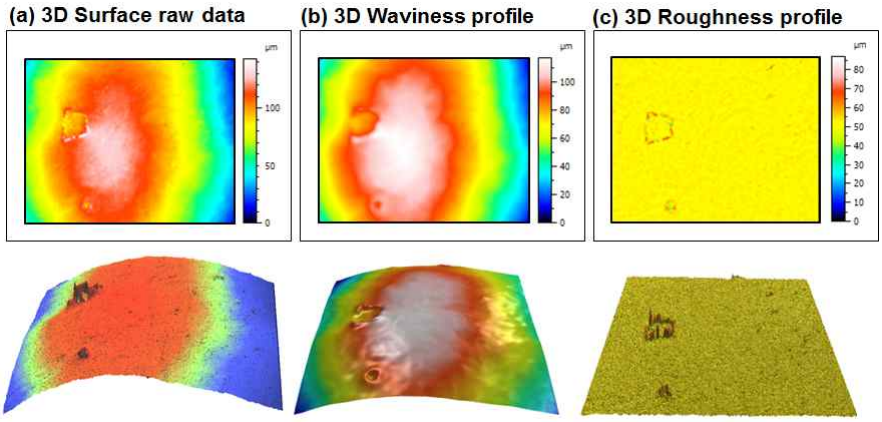
– 시편의 3차원 표면 형상은 만곡(Waviness) 형상 정보와 표면 거칠기(Roughness) 정보로 분리됨

– 거친 표면형상에서 만곡 형상 정보의 경우, 보다 매끈한 형상을 보이며, 측정형상에서 만곡형상을 뺀 나머지가 표면 거칠기 정보가 됨

– 만곡 형상의 경우 상대적으로 공간주파수가 낮아 동일한 면적 하에서 높이의 변동이 공간상에서 상대적으로 서서히 일어나게 되고 거칠기 정보의 경우 동일 면적의 공간상에서 높이 변동이 보다 급격히 일어나게 되어 공간주파수가 높음

– 이렇게 다른 X-Y 축 면적에 대한 공 간주파수 정보를 보이는 두 개의 형상 특성을 공간 주파수 상에서 적적한 차단 필터(Cutoff filter) 를 사용하여 분리할 수 있게 되고 이렇게 분리된 표면 거칠기 정보를 분석하여 수치화하게 되면 과채류의 표면 형상 정보로부터 거칠기 정도를 수치적으로 평가할 수 있음

– 아래 그림은 80 μm 의 공간 주파수를 통한 가우시안 필터링 알고리즘을 통하여 측정된 사과의 3차원 표면 형상으로부터 만곡 형상 및 3차원 거칠기 형상 정보를 성공적으로 분리한 것임



< (a) 측정된 사과의 3차원 표면 형상 데이터, (b) 공간 필터를 통해 분리된 만곡 형상 정보, (c) 최종적으로 획득한 3차원 형상의 거칠기 정보 >

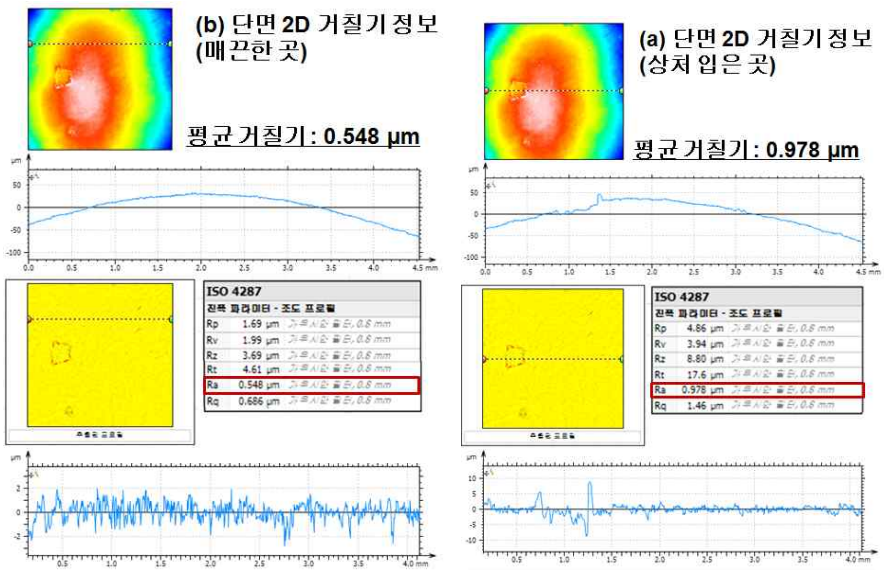
- 거칠기 정보는 국제 규격인 ISO 4287 거칠기 규격에 따라 6개의 주요 거칠기 변수(Ra, Rq, Rp, Rv, Rt, Rz)를 측정 결과로부터 도출함

- Ra : Roughness Average. $R_a = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left|Z_i - \overline{Z}\right|$

- Rq : Root-Mean-Square Roughness. $R_q = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(Z_i - \overline{Z}\right)^2}$

- Rp : Maximum Peak Height.
- Rv : Maximum Valley Depth.
- Rt : Maximum Peak-to-Valley Height. (Rt = Rp - Rv)
- Rz : 10 consequitive points Height

- 상처난 곳의 경우에는 평균 거칠기 : 978 nm, 매끈한 표면의 경우에는 548 nm 의 평균 거칠기 성분을 분석함



< (a) 상처난 곳의 거칠기 정보 분석 결과, (b)매끈한 곳의 거칠기 정보 분석 결과 >

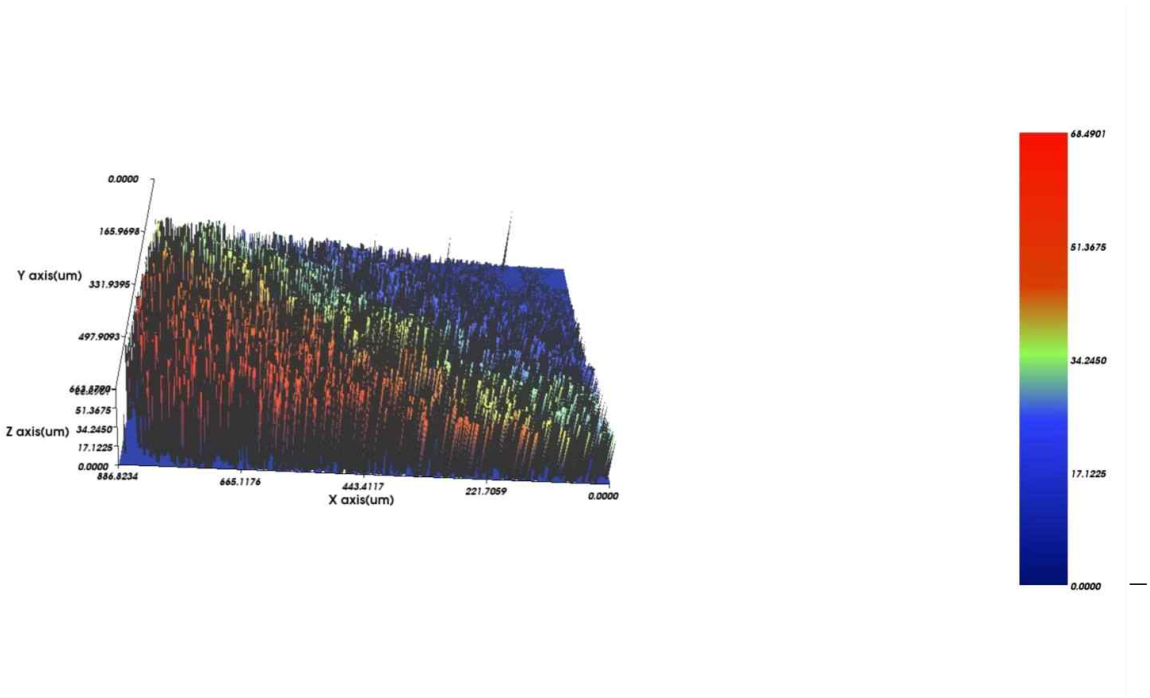
● **백색광 간섭계 과채류 외부분석 및 시스템 평가**

- 본 연구단이 개발한 백색광 간섭계는 과일 및 과채류의 표면 형상을 측정하여 표면 거칠기와 같은 요소들을 비파괴적으로 측정할 수 있음
- 보통, 과일 및 과채류는 크기와 형태가 다양하기 때문에 정확한 표면 거칠기 측정을 위해서는 측정 샘플의 대면적 기하학 구조를 보상해줘야 함
- 이를 위해 본 연구단은 두 측정 시스템에 과일 및 과채류의 만곡 형상과 표면 거칠기 형상 정보를 분리할 수 있는 소프트웨어 및 코딩을 개발하여 적용함
- 그 결과 성공적으로 측정 샘플의 만곡 형상과 거칠기 정보를 정확히 분리하여 데이터를 추출할 수 있게 되었고, 이는 샘플의 표면 거칠기를 정밀하게 측정할 수 있게 하여 거칠기를 통한 농산물의 신선도 판별을 실현할 수 있게 함
- 본 연구단은 위와 같은 정밀한 시스템을 통해 실시간으로 측정되는 샘플의 품질을 판별해주는 소프트웨어적 시스템을 User Interface에 아래와 같이 삽입하여 본 제품을 이용하여 농산물을 계측하는 모든 유저들이 쉽고 쉽게 이해할 수 있도록 함

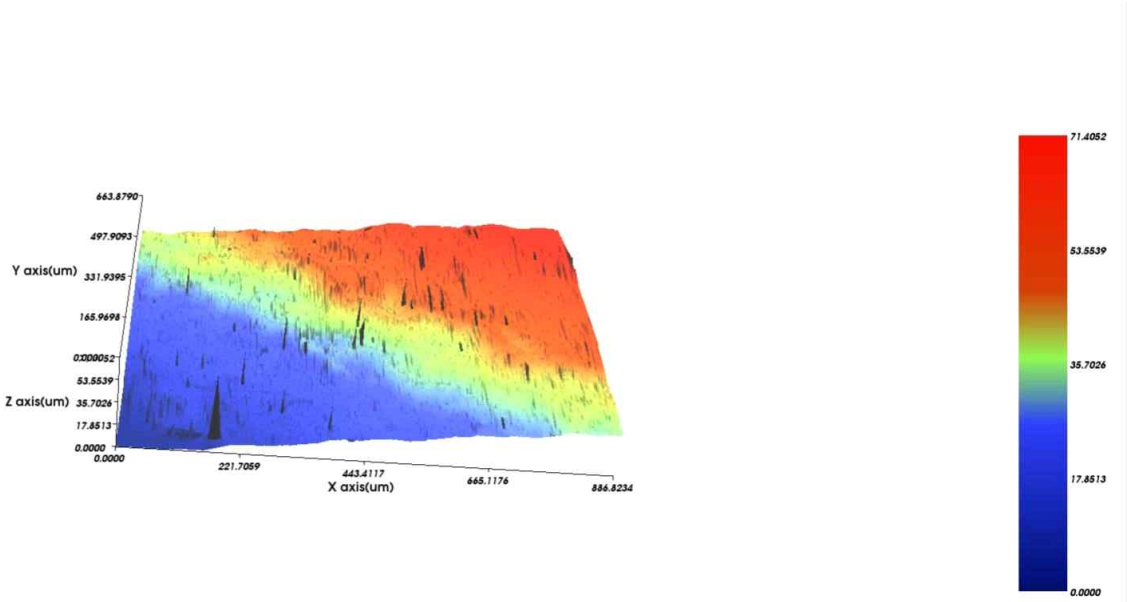
< User Interface 내에 적용되어 있는 품질 판별 시스템 >

- 위 판별 시스템은 보증된 신선도가 높은 샘플들을 여러개 측정하여 도출된 결과값의 평균을 기준으로 설정하고, Unknown 제품들을 측정하면서 앞서 측정한 평균을 기준으로 측정 제품의 품질을 판별해줌

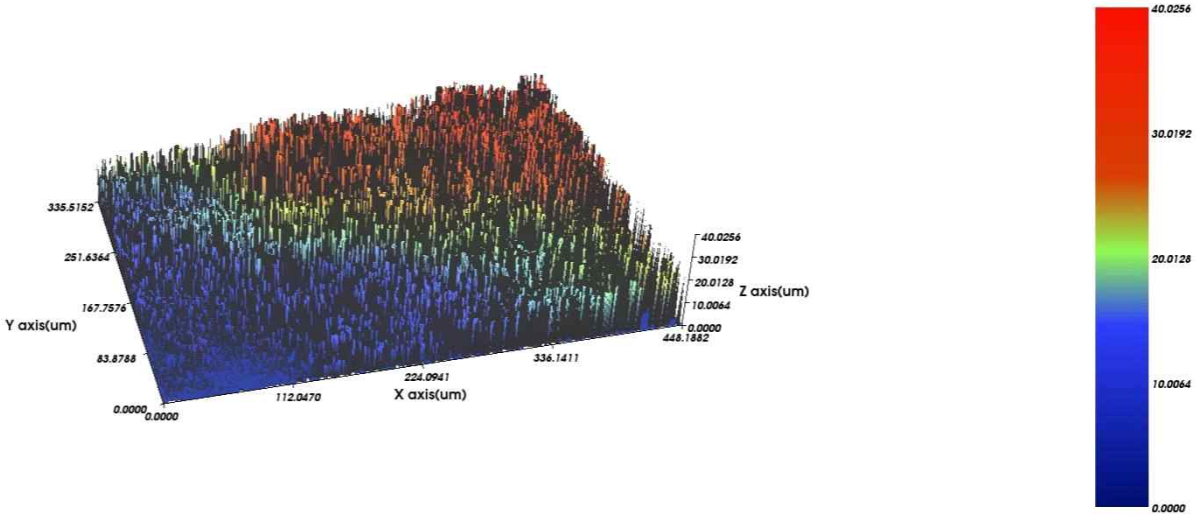
• **배율별 사과 표면 형상 측정**

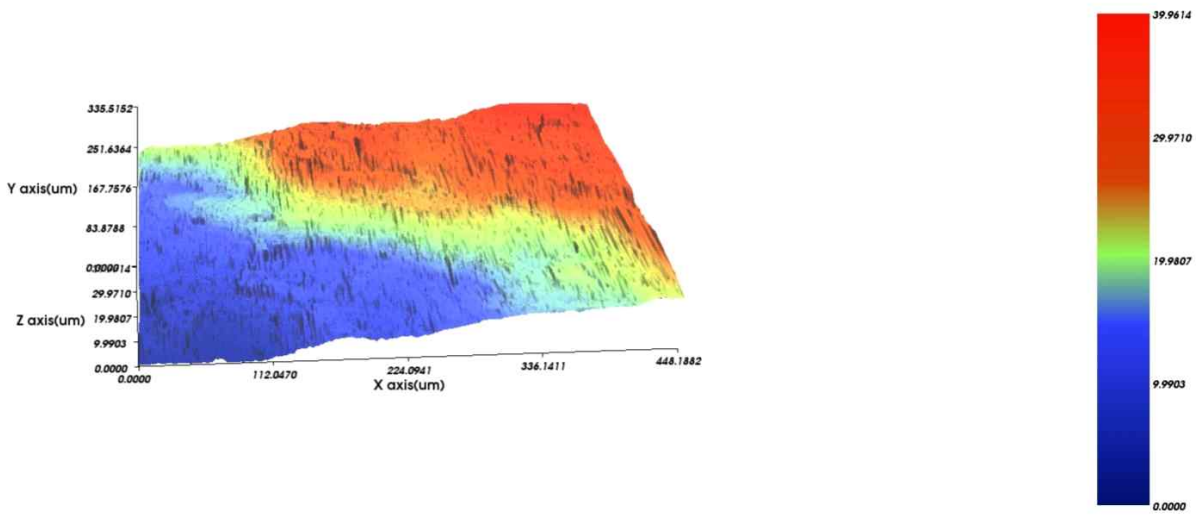


10배율

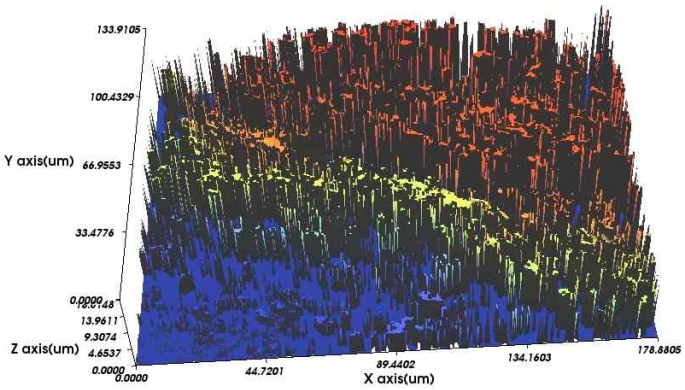


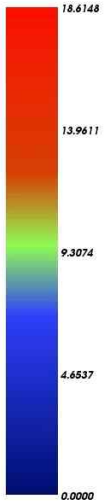
- 20배율

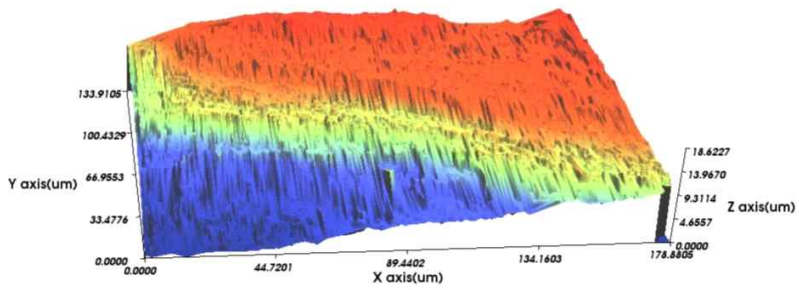

335.5152
251.6364
167.7576
83.8788
0.0000
Y axis(um)
0.0000
112.0470
224.0941
336.1411
448.1882
X axis(um)
40.0256
30.0192
20.0128
10.0064
0.0000
Z axis(um)
40.0256
30.0192
20.0128
10.0064
0.0000

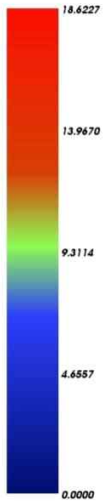

335.5152
251.6364
167.7576
83.8788
0.000914
29.9710
19.9807
9.9903
0.0000
Y axis(um)
Z axis(um)
0.0000
112.0470
224.0941
336.1411
448.1882
X axis(um)
39.9614
29.9710
19.9807
9.9903
0.0000

- 50 배율

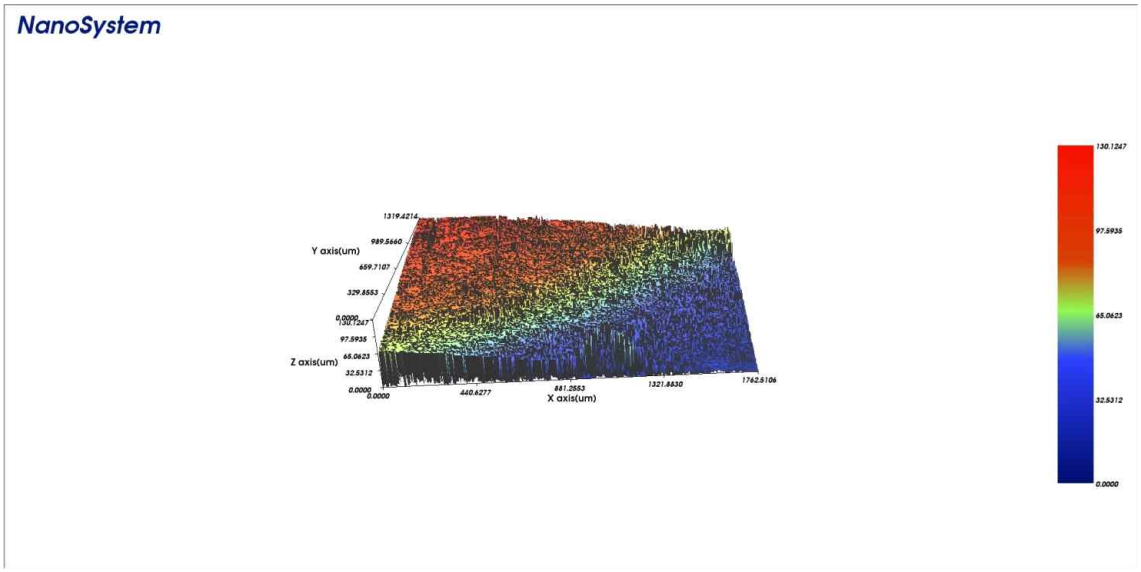

133.9105
100.4329
66.9553
33.4776
0.0000
Y axis(um)
18.6148
13.9611
9.3074
4.6537
0.0000
Z axis(um)
0.0000
44.7201
89.4402
134.1603
178.8805
X axis(um)

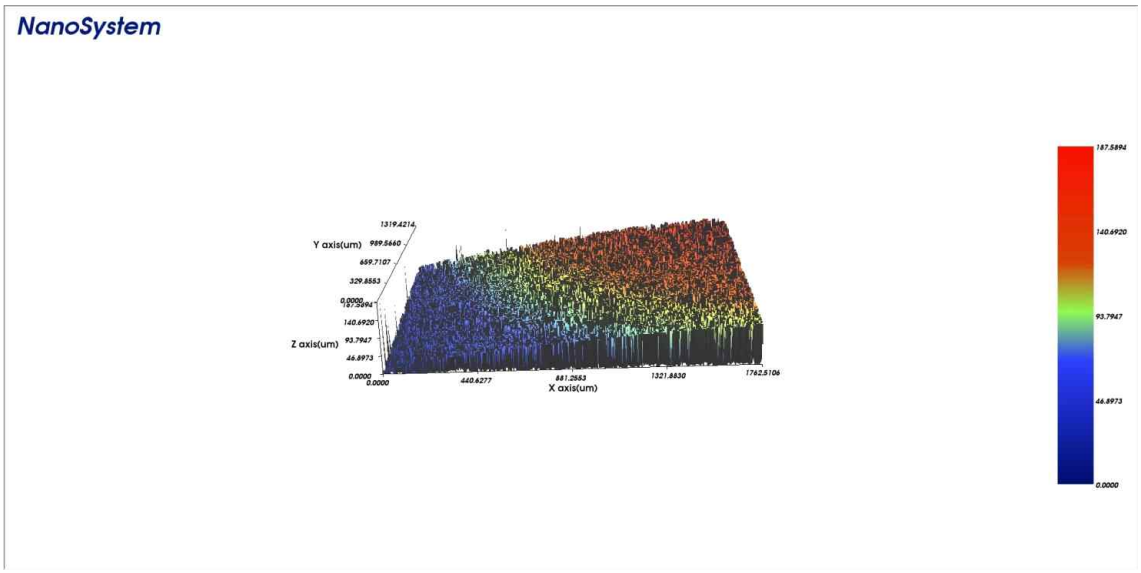

18.6148
13.9611
9.3074
4.6537
0.0000

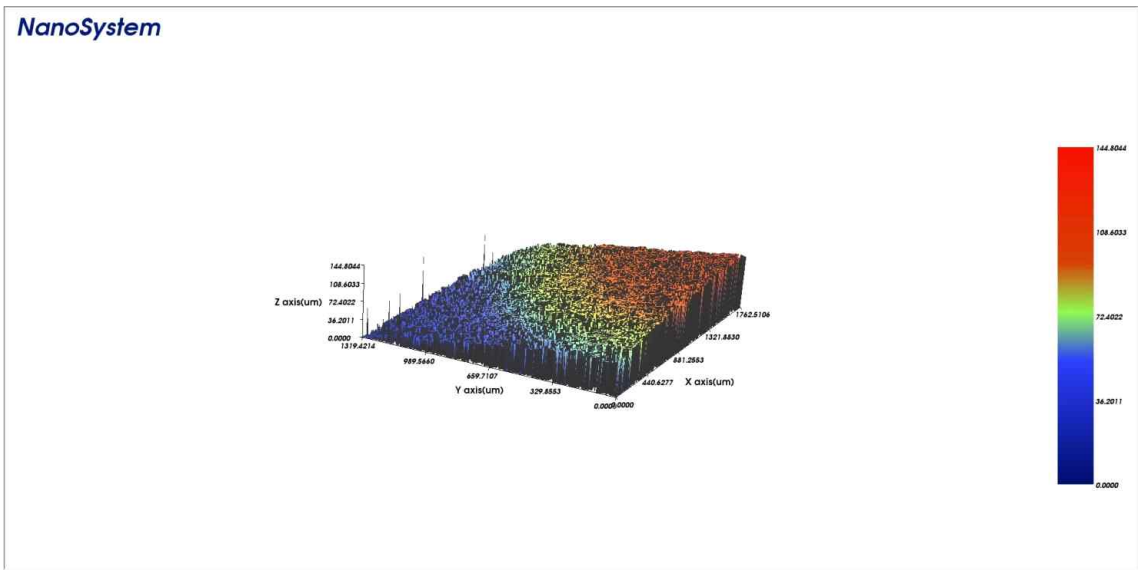

133.9105
100.4329
66.9553
33.4776
0.0000
Y axis(um)
18.6227
13.9670
9.3114
4.6557
0.0000
Z axis(um)
0.0000
44.7201
89.4402
134.1603
178.8805
X axis(um)


18.6227
13.9670
9.3114
4.6557
0.0000

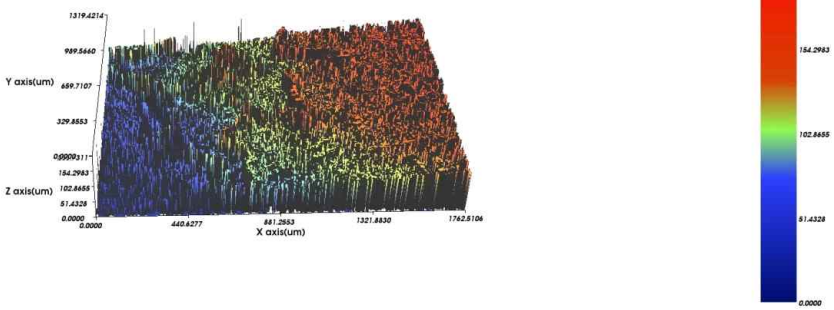
• 정상적인 사과의 표면 형상 측정 이미지



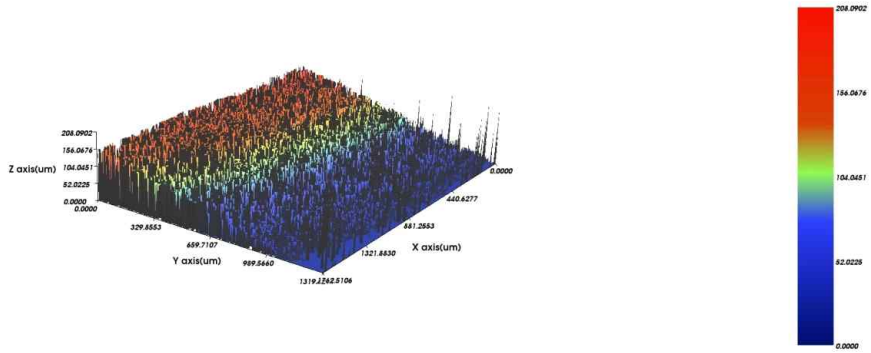




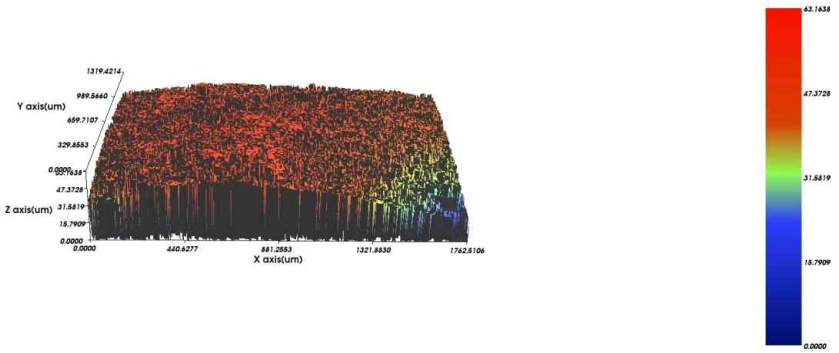
NanoSystem



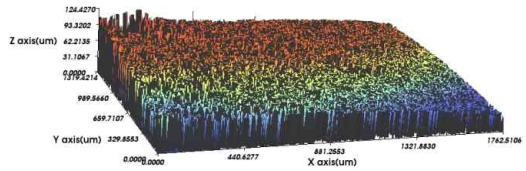
NanoSystem

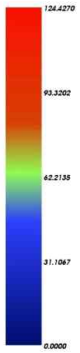


NanoSystem

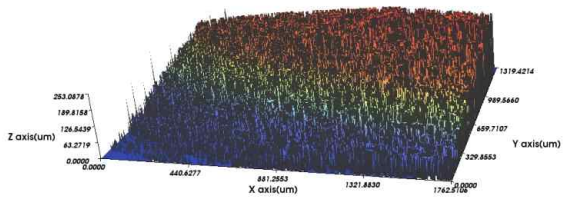


NanoSystem

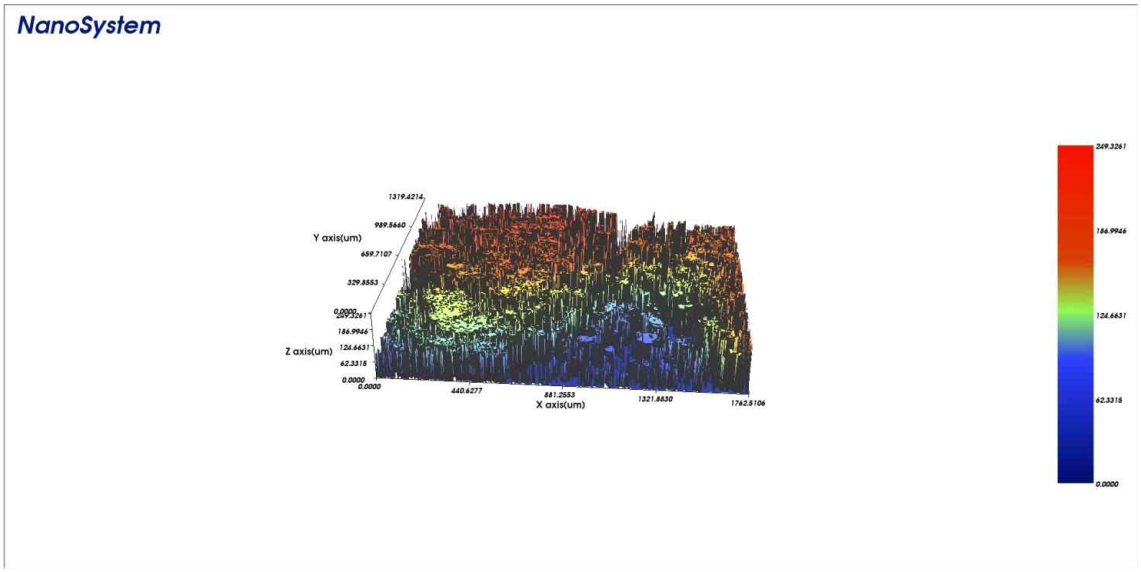


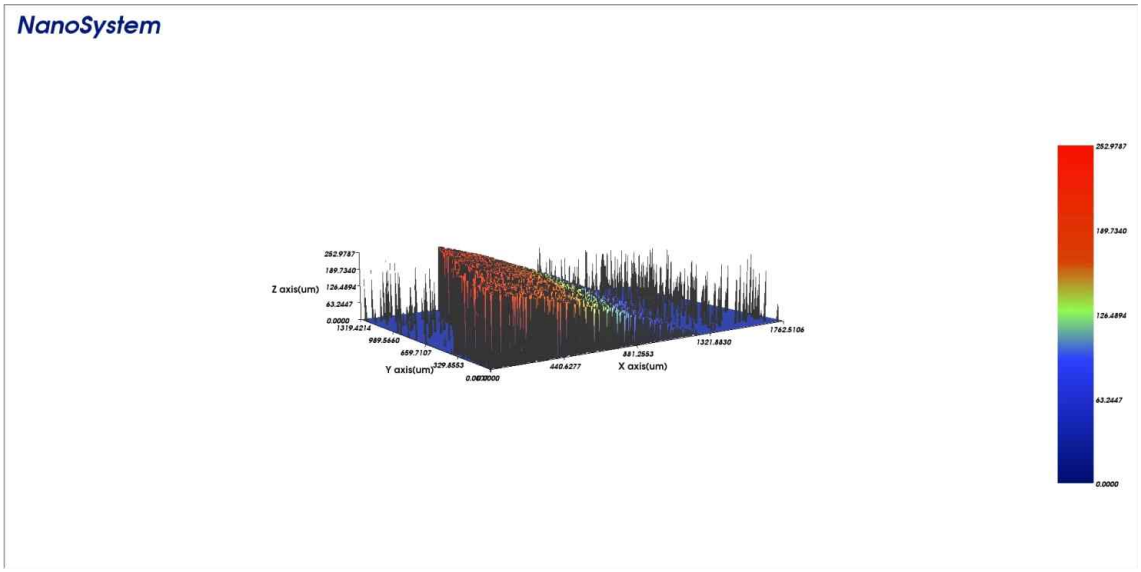


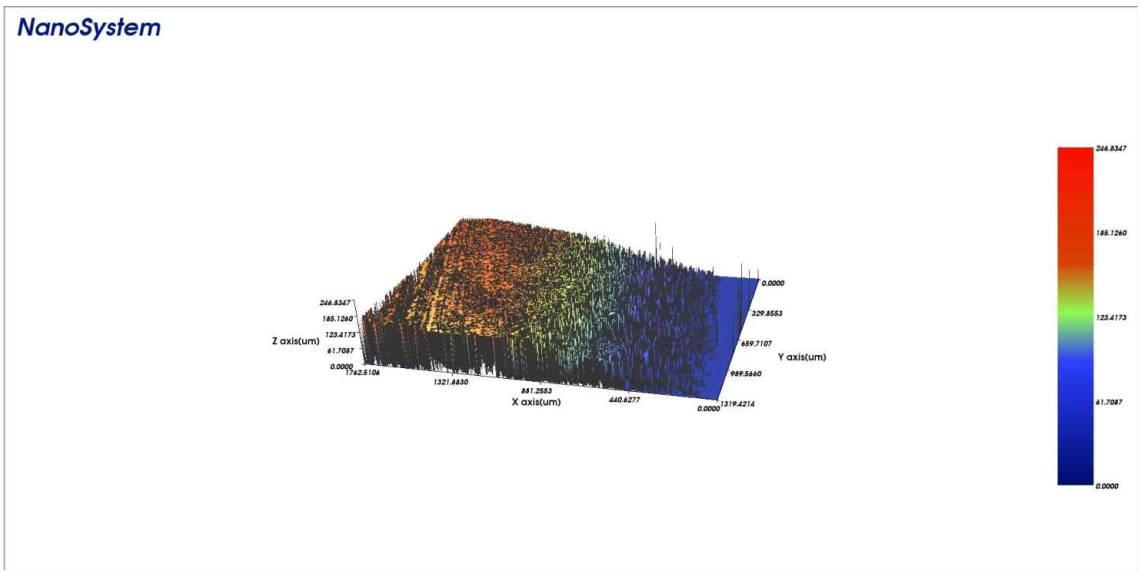
NanoSystem



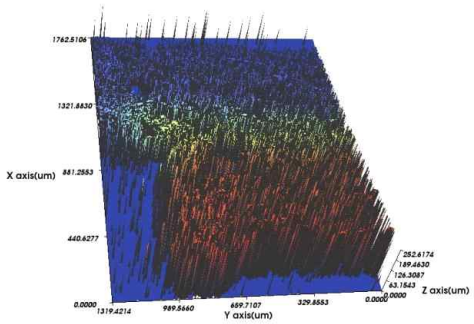
• 스크래치가 난 사과의 표면 형상 측정 이미지

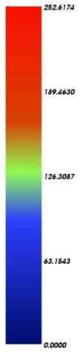




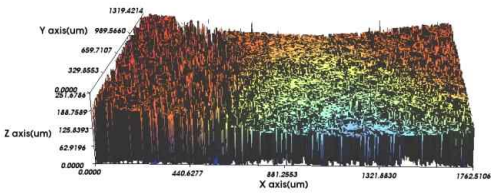


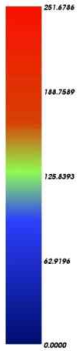
NanoSystem



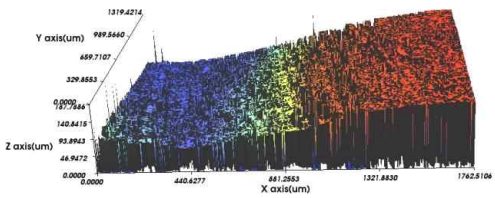


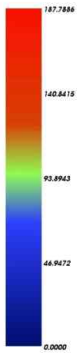
NanoSystem

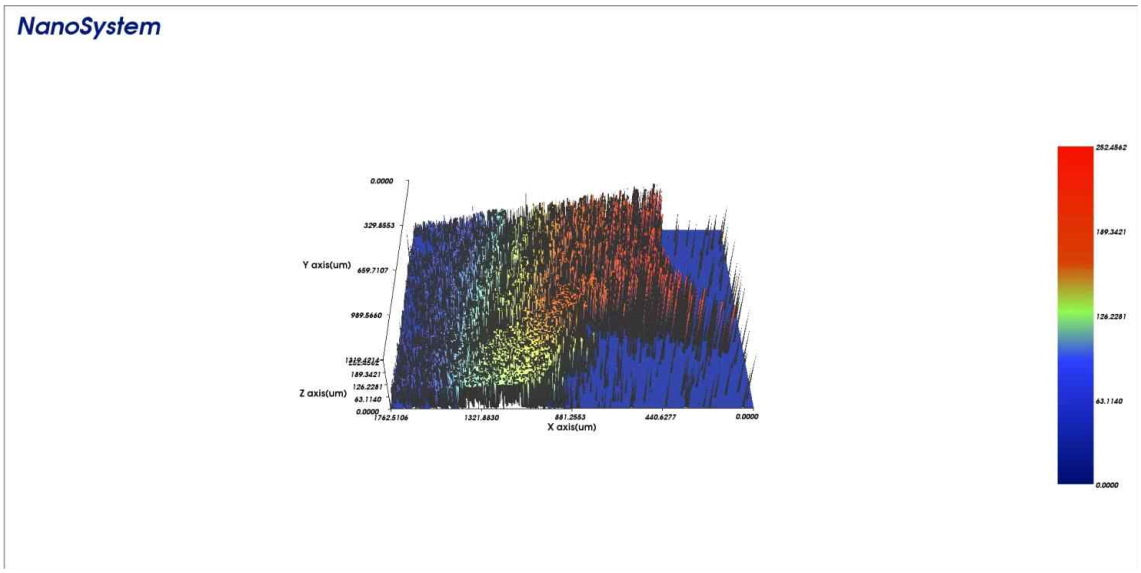


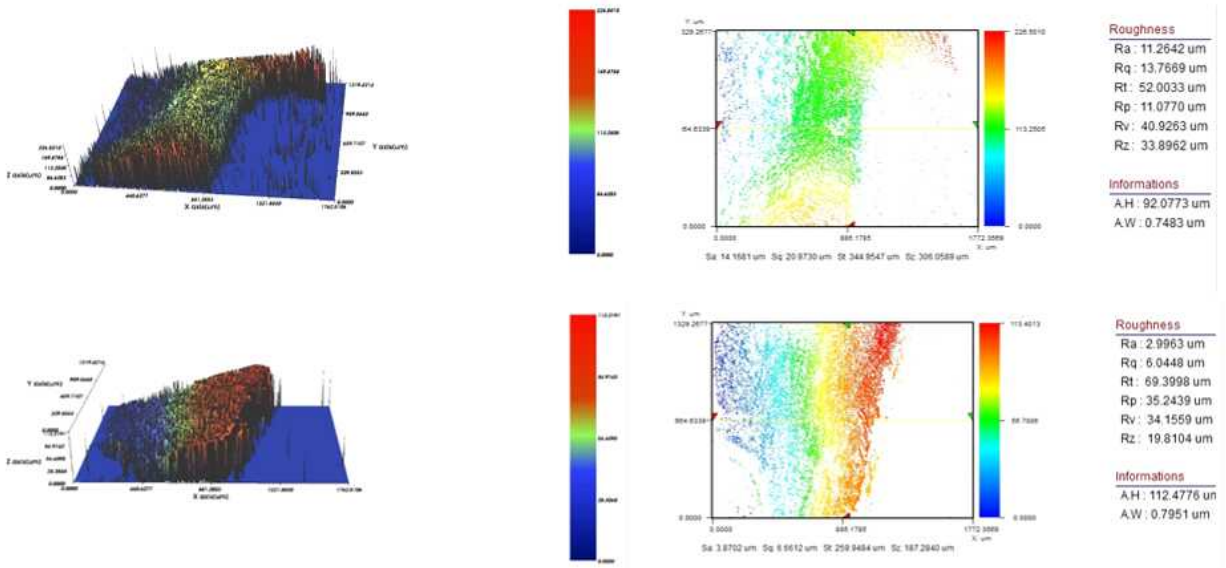


NanoSystem









< (위) 스크래치가 난 사과와 (아래) 매끈한 사과의 표면 형상과 거칠기 (Roughness) 정보>

– 측정 결과 빠른 시간 안에 표면에 손상을 남기지 않고 정밀하게 사과의 표면 정보를 얻을 수 있었다.

– 정상적인 사과는 대체로 높이분포가 매끄러움을 볼 수 있다. 반면, 스크래치가 난 사과에서는 스크래치가 있는 위치에서 높이 분포가 눈에 띄게 불연속적이게 됨을 확인하였음.

– 3차원 형상으로 확인할 수 있을 뿐만 아니라 표면의 거칠기를 수치적인 데이터로 얻을 수 있다. 거칠기는 정보는 ISO 4287 규격에 따른 Ra (Roughness average)로 정의된다. Ra 값이 클수록 표면이 거칠다는 것을 의미함.

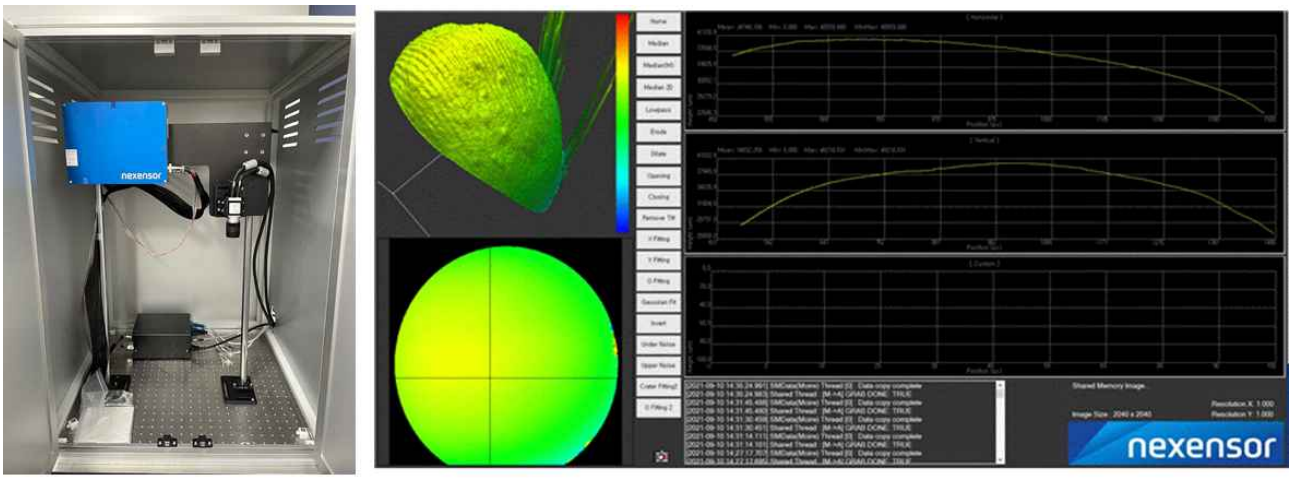
– 그림 ■을 보면 스크래치가 난 사과에서는 Ra 값이 11.2642um, 매끈한 사과에서는 Ra 값이 2.9963um로 확연하게 차이가 나는 것을 알 수 있음.

– 백색광 간섭계를 이용한 표면 정보는 물리적인 손상뿐만 아니라 수분에 따른 정보도 포함할 수 있다. 수분이 부족하거나 오래된 사과의 표면은 대체로 매끈하지 않아 백색광 간섭계로 분석하였을 때 정상적인 사과와 표면 형상에서 차이가 있음.

– 그러나 물리적 손상으로 인한 것인지 수분이 부족한 것인지는 판단하기 힘들기 때문에 정확한 분석을 위해서 케이스에 따른 다량의 측정 결과를 통해 데이터베이스 구축이 필요할 것이라 생각됨

● 모아레 간섭계 시스템 제작

□ 백색광 간섭계 시스템 및 소프트웨어 개발 결과



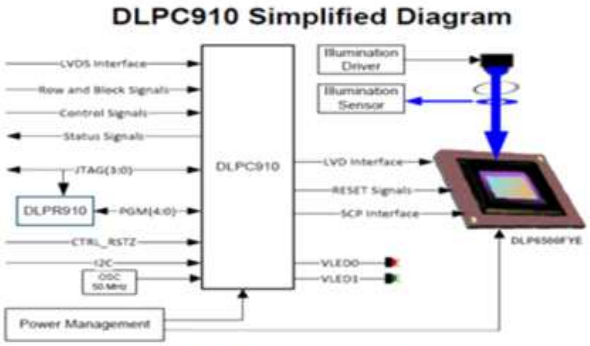
< 개발된 측정 시스템 및 분석 소프트웨어 >

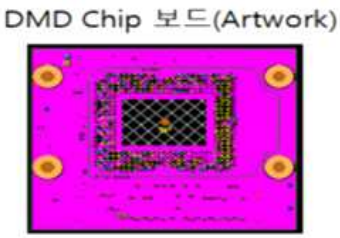
• 모아레 간섭계 이미징 원리

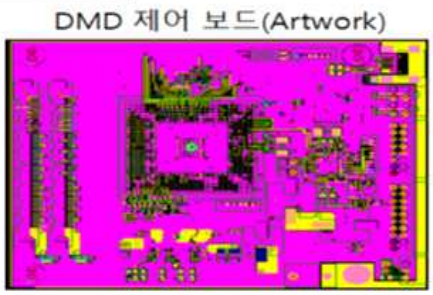
- 표면에 조사 하는 패턴에 의하여 물체에 직접 접촉 없이 측정 표면 변화에 따라 형성된 패턴과 기준 패턴의 간섭을 통해 측정함
- 모아레 간섭계에서 생성되는 패턴은 두 파동이 서로 영향을 받아 주파수 차이만큼 주파수 폭이 일정한 주기로 변화하는 맥놀이 현상에 의해 생성. 패턴 투영 방식은 광축에 수직으로 이동하여 위상 천이된 데이터를 얻어 3차원 형상을 측정
- 인접한 두 점 사이 위상의 높이 단차가 ¼ 보다 높으면 2π모호성 문제가 발생하며, 이를 보정하기 위해 위상 정렬이 필요함
- 일정한 주기 패턴을 측정 대상에 조사하여 3차원 형상측정 가능하며 패턴 생성을 위한 광학계를 필요로함. 이를 구현하기 위해 측정 대상의 수직축으로 특정 각도 만큼 기울어져 조사 되어야 하며, LED에서 발광한 빛이 투영 광학계를 거쳐 Target에서 투영되는 과정을 통해 데이터를 얻음

• 모아레 간섭계 이미징 시스템 구축

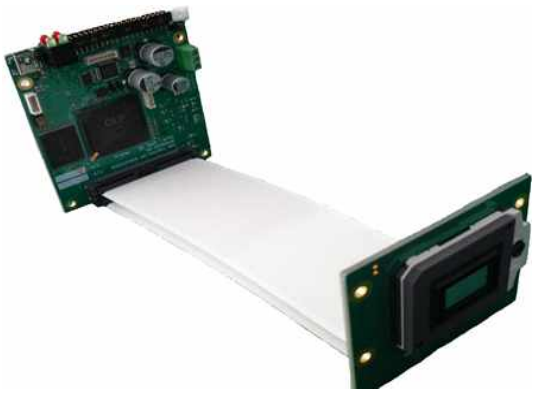
- 높은 해상도를 갖는 Digital Mirror Device(DMD)와 패턴 투영렌즈로 구성된 패턴조사 광학계 개발함
- White Light LED의 출력 안정성을 확보하기 위해 LED 제어 회로를 개발 및 Texas Instrument사의 1920 x 1080의 해상도와 Mirror 크기가 7.9 um x 7.9 um인 DMD 칩의 제어 및 구동 회로를 개발함
- Digital Mirror Device (DMD)는 Texas Instrument사의 DLP6500 모델을 사용, 회로는 DLP6500 칩을 장착하는 회로와 DLP6500 칩을 제어하는 회로(DLPC900)를 사용함



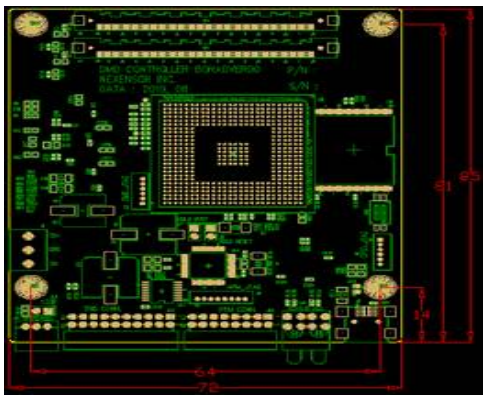


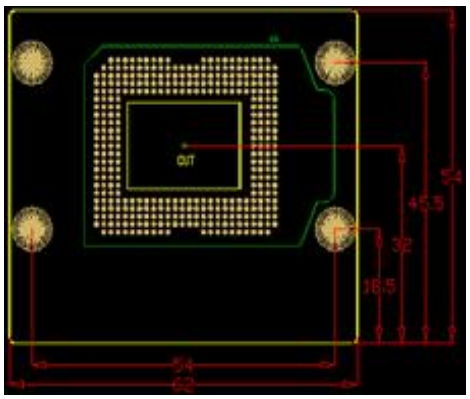


< 패턴조사용 Digital Mirror Device 제어 회로 >

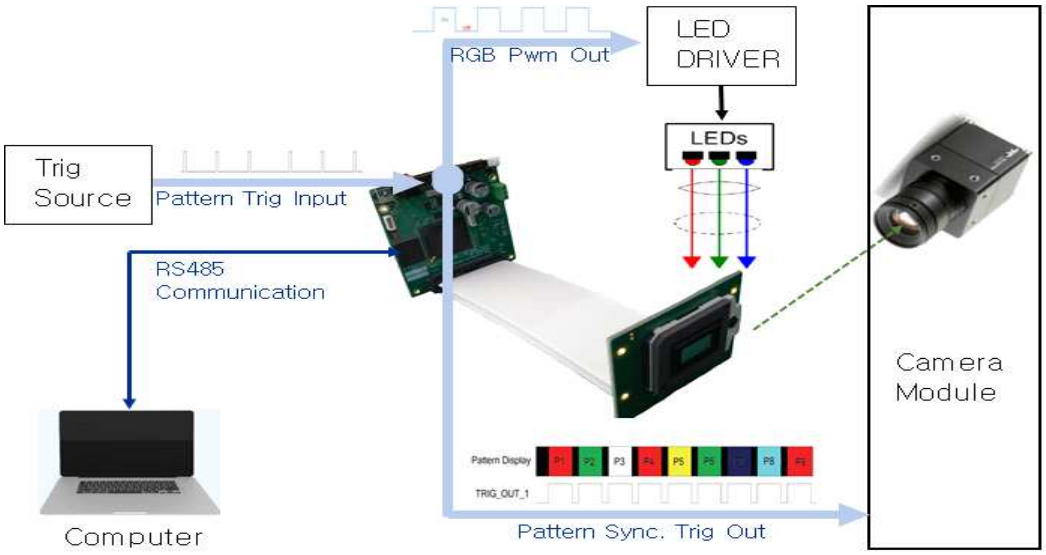


< 개발된 LED 제어 회로 및 DLPC900-DLP6500 Board Connection >



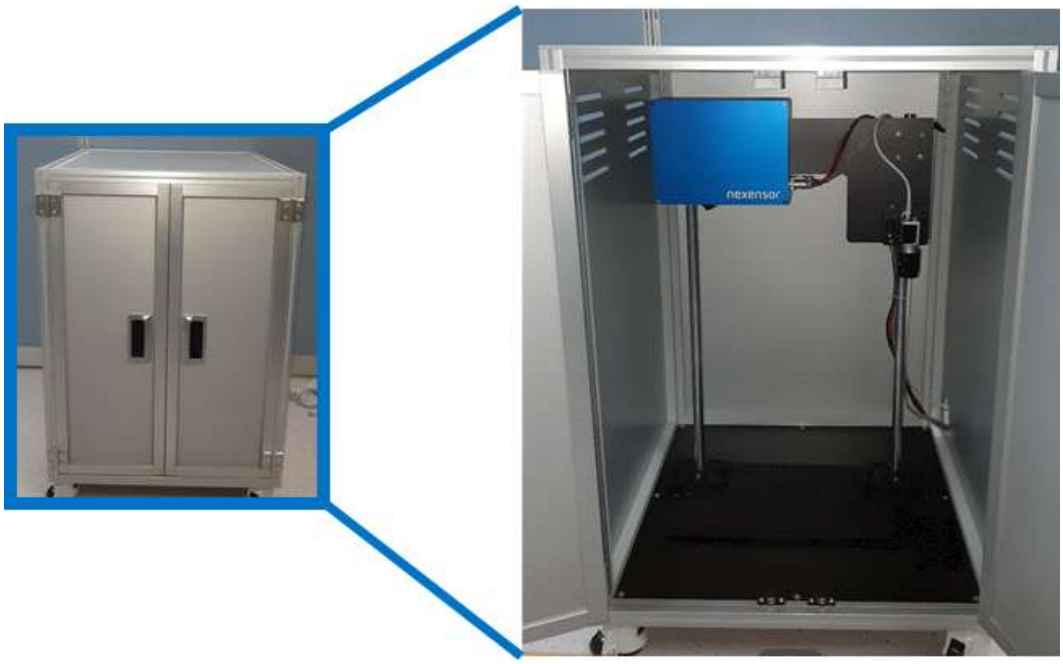


< 사용한 DLP900 Board 및 DLPC6500의 dimesion >



< DMD 회로 구성 >

- LED에서 발광한 빛이 투영 광학계를 거쳐 Target에서 투영되는 과정을 광학 설계를 통해서 시뮬레이션하고 이를 반영하여 렌즈를 선정하여 광학 설계를 통해 시스템을 구축함
- 모아레 원리 구현을 위한 측정 대상의 수직 축으로 특정 각도 만큼 기울어져 조사, 외곽 부분 영상 외곽 부분 영상 선명도가 중심에 비해 낮음으로 보정을 필요로함. 이를 위해 Shiempflug 원리를 적용하여 결상 광학계를 설계함.



< 모아레 간섭계 이미징 측정 시스템 >

● **모아레 간섭계 S/W 개발**

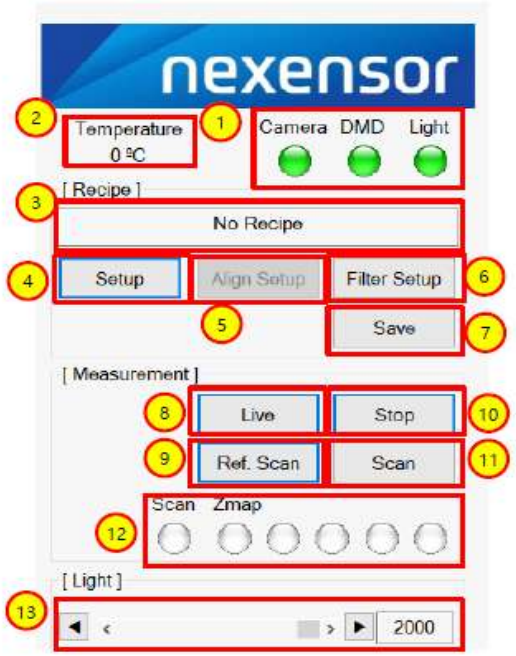
제작한 모아레 간섭계 측정 시스템을 이용해서 측정한 과채류의 3D 표면 형상 정보의 이미지를 제공하는 소프트웨어를 개발하였다. 3D 표면 형상이 좋은 사과를 측정하고 이를 기반으로 reference 데이터를 얻고 측정 ROI 지역에서의 이미징을 통해 표면 형상 및 결함을 통한 시각적으로 판별 가능한 데이터를 제공하도록 과채류 품질 분석 소프트웨어를 제작하였음

• 모아레 간섭계 시스템 측정 User interface

– 제작한 모아레 간섭계 시스템의 장비 측정 운용 프로그램에 분석 프로그램을 통합한 SW 개발하고 직관적으로 사용 가능한 User interface를 제공

– 기준 3D 형상 데이터에 따른 과채류 표면의 시각 정보를 “PASS”, “REJECT”로 분류하여 확인

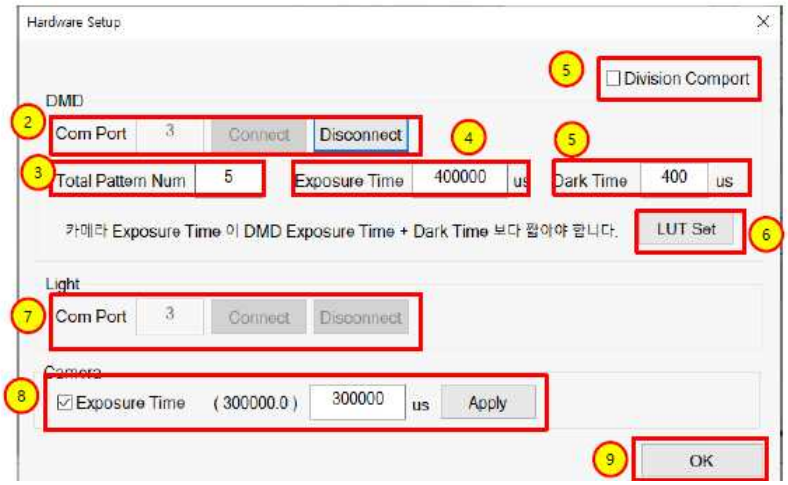
가능



1. 카메라 및 하드웨어 연결 여부 표시
2. 현재 Temperature 정보 표시
3. 현재 Recipe 정보 표시
4. Scan 관련 Parameter 설정
5. Align ROI Setup
6. 3D, Phase, Ref. Phase Filtering 설정
7. 현재 Recipe 저장
8. 카메라 Live 모드
9. Ref. Phase 획득 Scan 시작
10. 카메라 Live Stop
11. Scan 시작
12. Thread 상태 표시
13. 조명 조절

< 측정 시스템 컨트롤을 위한 User interface (1) >

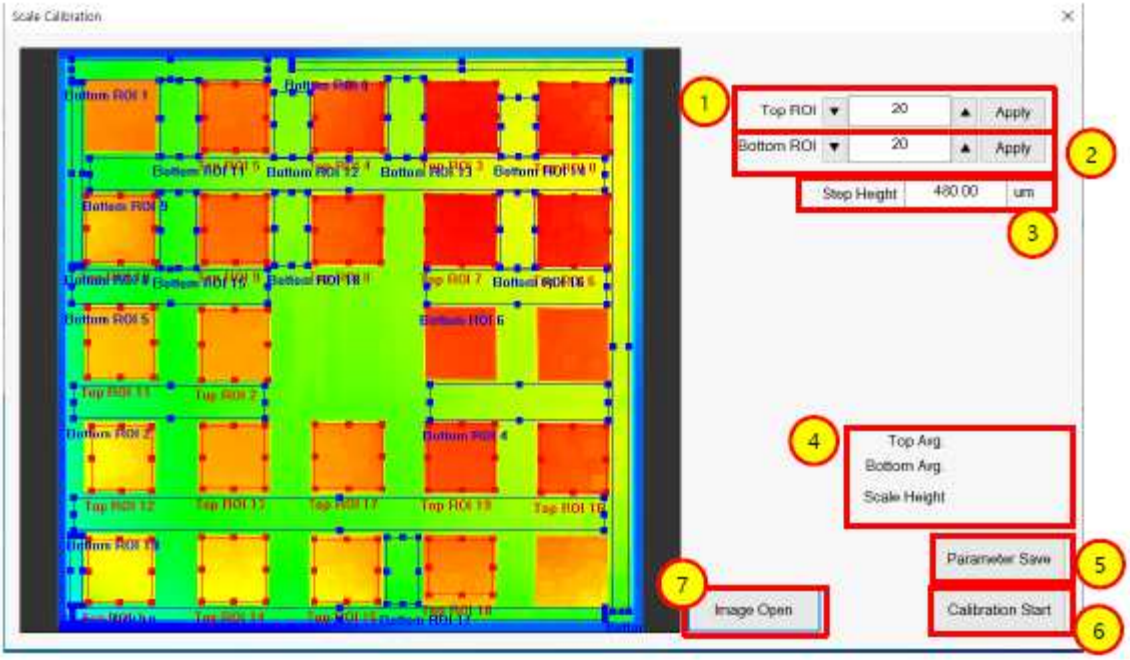
– 개발한 측정 시스템의 컨트롤을 위한 User interface를 통해 카메라 및 하드웨어 연결 여부 표시 및 Temperature, 현재 Recipe 정보 표시하고 Scan 관련 Parameter등의 설정이 가능하도록 표시하여 사용의 직관성을 높임



1. Comport 분리 여부
2. DMD 시리얼 연결
3. 총 패턴 개수
4. DMD 노출시간(us)
5. DMD Dark 시간(us)
6. 설정값 DMD에 Set
7. 조명 시리얼 연결
8. Camera 노출시간 (us)
9. OK

< 측정 시스템 컨트롤을 위한 User interface (2) >

– 제공된 User interface를 통해 과채류의 표면에 조사할 패턴 갯수 및 DMD 노출 시간, DMD Dark 시간, Camera 노출 시간 설정이 가능함

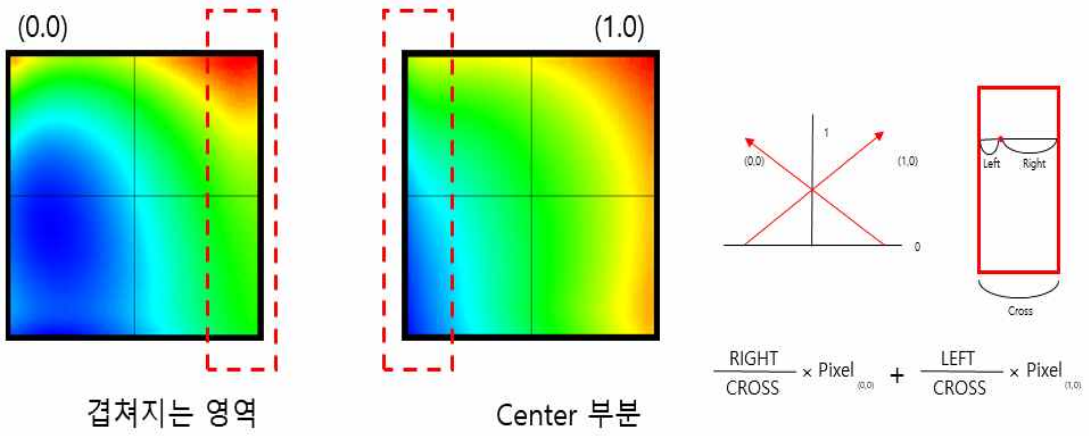


< 측정 시스템 컨트롤을 위한 User interface (3) >

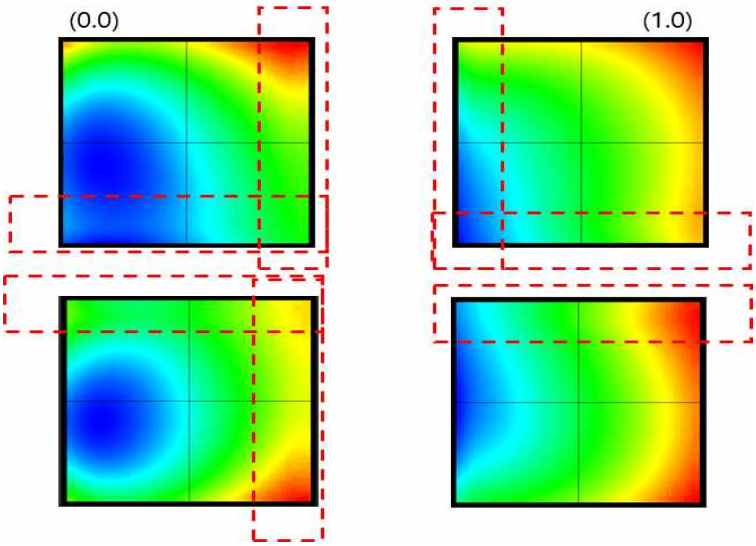
– 제공된 User interface를 통해 이미지의 각 영역별 ROI 개수 선택 및 실제 Step Height과 같은 변수를
입력하여 측정한 결과 값을 측정
– 측정한 시각 데이터의 결과 값을 Scale calibration 작업을 통하여 실제 값으로 보정 가능

• **측정 software의 정합 알고리즘**

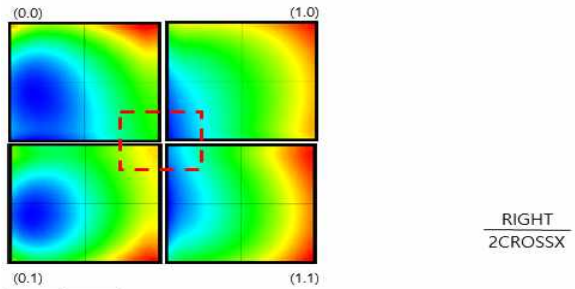
– 정합 알고리즘 형성을 위해 XY 좌표값을 갖는 각 부분에 대한 3차원 형상측정 데이터를 획득, 각 부분 형상의 크기가 다른 경우, 내부 보정을 통해서 크기를 일치함
– 평면 fitting을 통해서 회전 및 옵셋 값 및 평면 방정식의 계수(a, b, c)를 획득 후 각 부분 형상을 결합. 공통되는 부분의 평면 방정식의 계수가 동일하도록 최적화를 하여 3차원 형상을 추출함
– 측정 데이터의 정합 알고리즘은 각 영역별 계산 후, 겹치는 부분 데이터는 겹치는 중심 부분 X 축 방향과 Y축 방향 가중치를 고려 계산함

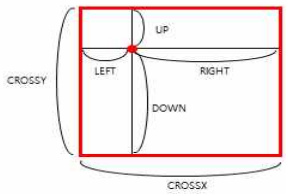


< 정합 알고리즘 기능 소개 (2) – 겹치는 부분 데이터 가중치 고려 계산 >



< 정합 알고리즘 기능 소개 (1) - 각 영역별 계산 >





$$\frac{RIGHT}{2CROSSX} \times B + \frac{LEFT}{2CROSSX} \times D + \frac{UP}{2CROSSY} \times A + \frac{DOWN}{2CROSSY} \times C$$

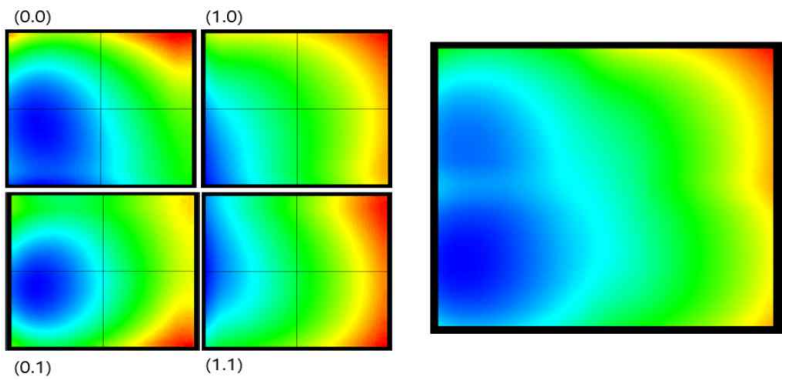
$$A = \frac{RIGHT}{CROSS} \times Pixel_{(0,0)} + \frac{LEFT}{CROSS} \times Pixel_{(1,0)}$$

$$B = \frac{UP}{CROSS} \times Pixel_{(1,0)} + \frac{DOWN}{CROSS} \times Pixel_{(1,1)}$$

$$C = \frac{LEFT}{CROSS} \times Pixel_{(1,1)} + \frac{RIGHT}{CROSS} \times Pixel_{(0,1)}$$

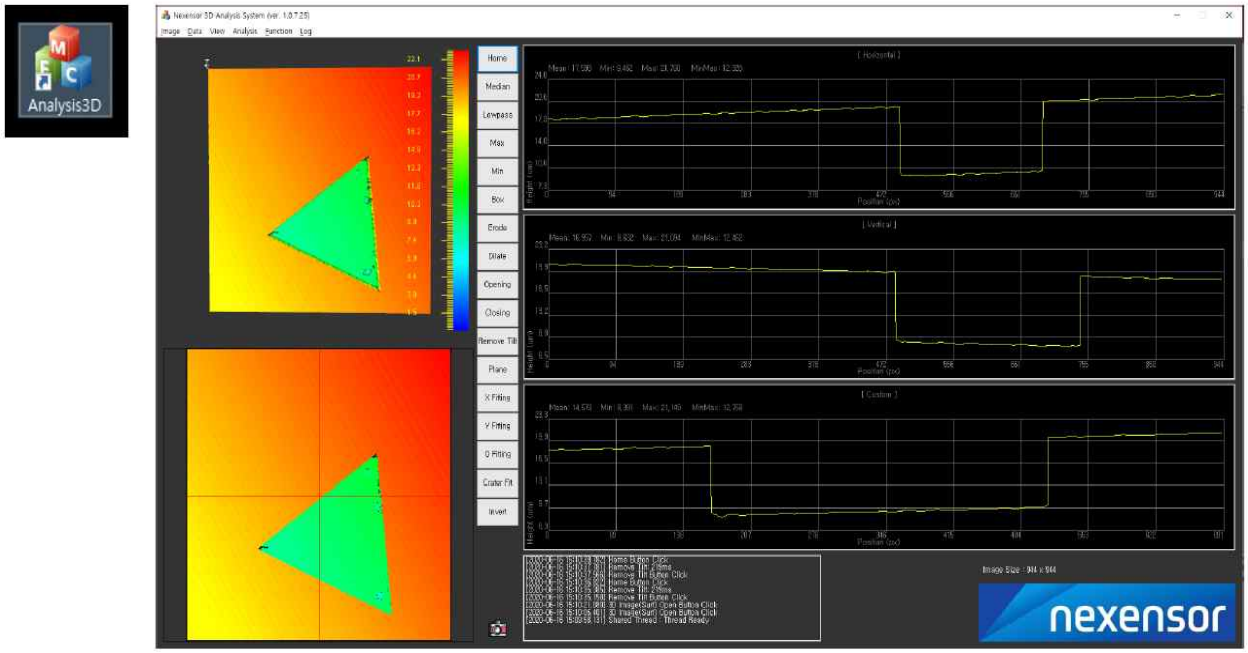
$$D = \frac{UP}{CROSS} \times Pixel_{(0,0)} + \frac{DOWN}{CROSS} \times Pixel_{(0,1)}$$

< 정합 알고리즘 기능 소개 (3) - 겹치는 중심 부분 데이터 x축 y축 방향 가중치 고려 >



< 정합 알고리즘 기능 소개 (4) - 보정 결과 이미지 >

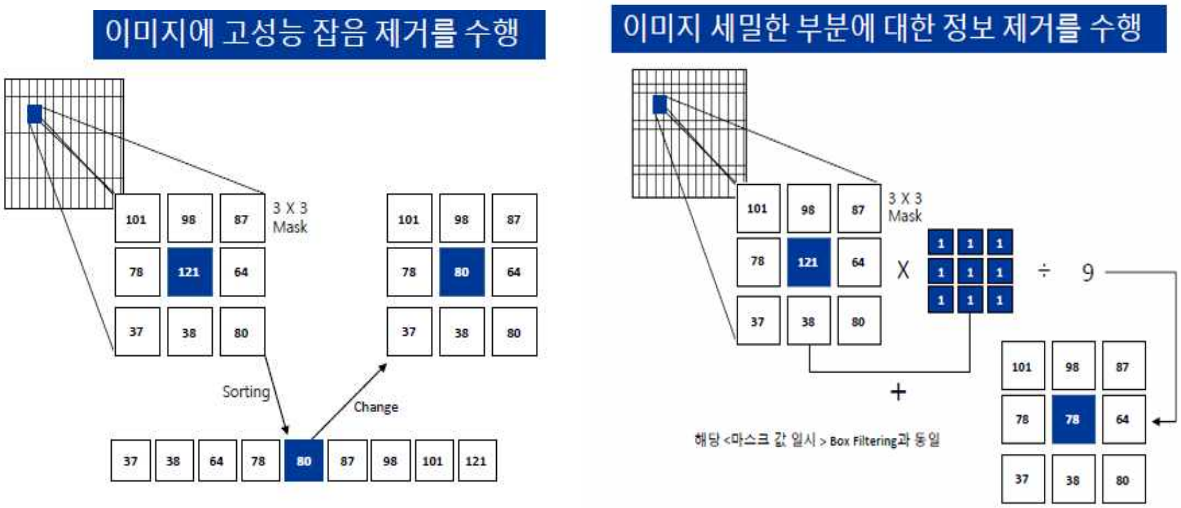
• 모아레 간섭계 시스템 분석 software 및 User interface



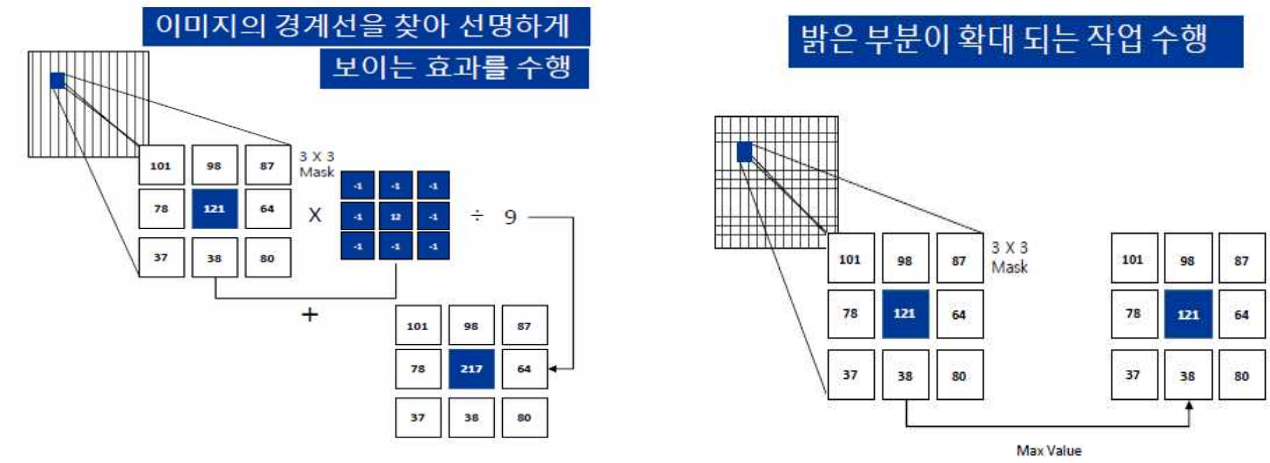
< 모아레 간섭계 시스템 분석 SW>

– filtering, interpolation, capture 기능의 분석 도구를 이용하여 형태의 profile을 통한 분석이 가능함

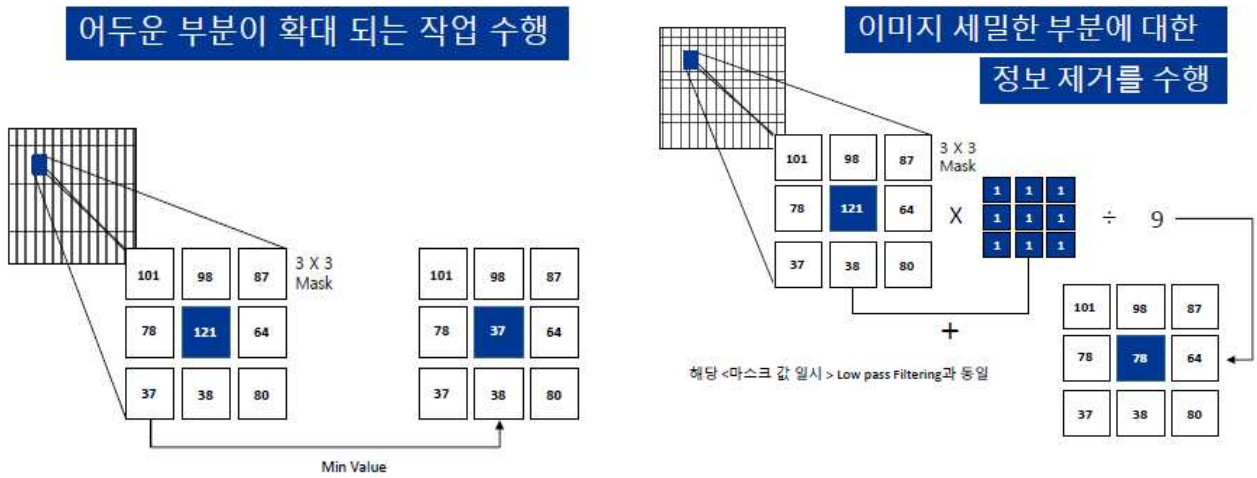
– 반복 횟수와 알고리즘을 지정하여 2D 영상을 저장 후, 높이를 구할 부분의 Use Volume을 선택하여 ROI를 생성, Crater fitting시 최고 높이 값을 fitting하여 이미지 높이 평균 값, PV 값, 표준 편차(Std) 값을 통해 영상정보 확인 가능함



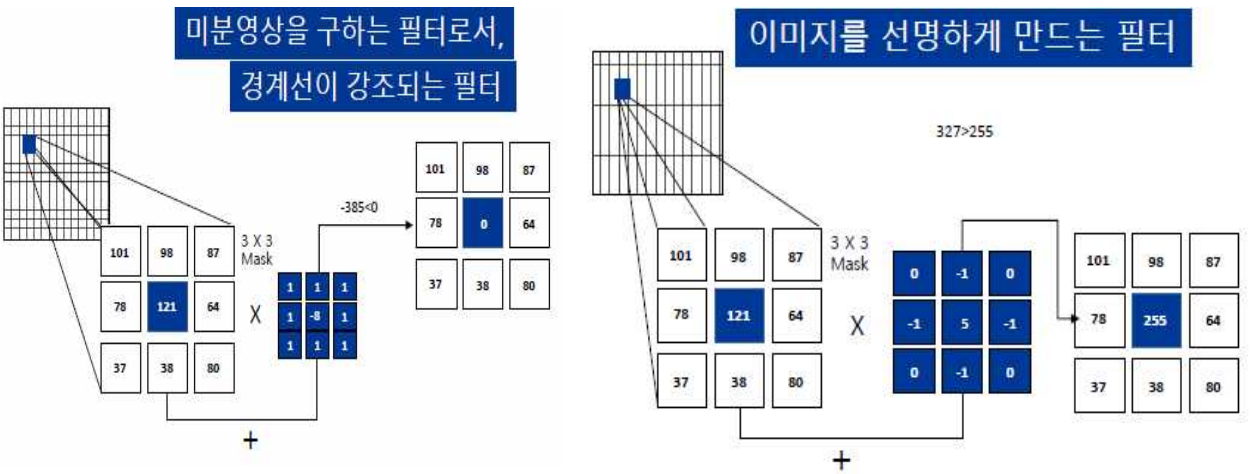
< 측정 시스템 filtering (1) : Median filter와 Low pass filter 과정 >



< 측정 시스템 filtering (2) : High Pass Filter와 Max Filter 과정 >



< 측정 시스템 filtering (3) : Min Filter와 Box Filter 과정 >



< 측정 시스템 filtering (4) : Laplace Filter와 Sharpen Filter 과정 >

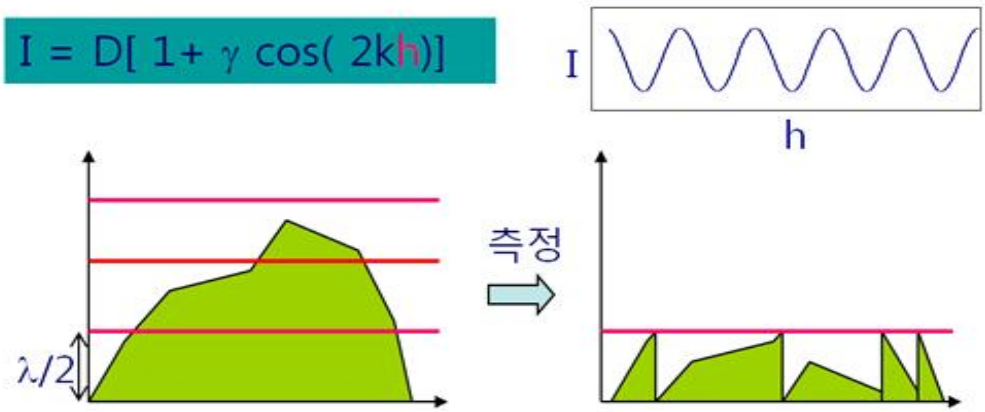
– 측정 시스템의 이미징 filtering 기능에는 Median Filter 및 Low Pass Filter, High Pass Filter, Max Filter, Min Filter, Box Filter, Laplace Filter, Sharpen Filter 등의 18개의 필터

기능이 포함되어 측정된 3D 표면 형상 이미지의 선명도를 높임

• **모아래 위상 정렬 문제 해결 및 속도 개선**

– 위상 천이법으로 획득된 위상은 아크탄젠트(Arctangent) 과정으로 $-\pi \sim +\pi$ 사이의 상대적인 위상 값을 얻게됨. 이를 이용하여 실질적인 물체의 높이 정보를 얻기 위해 위상 정렬(Unwrapping)방식을 적용하여 형상을 복원함

– 위상 정렬방식으로 Quality가 높은 값들부터 위상복원을 수행하여, 위상값이 높은 그룹들을 형성 후 다시 위상복원을 하는 방법으로 측정대상물에 위상값이 존재하지 않을 때, 위상복원 과정에서 복원 실패 없이 안정적인 3차원 형상을 복원하는 Quality guided method(QGM)를 적용함

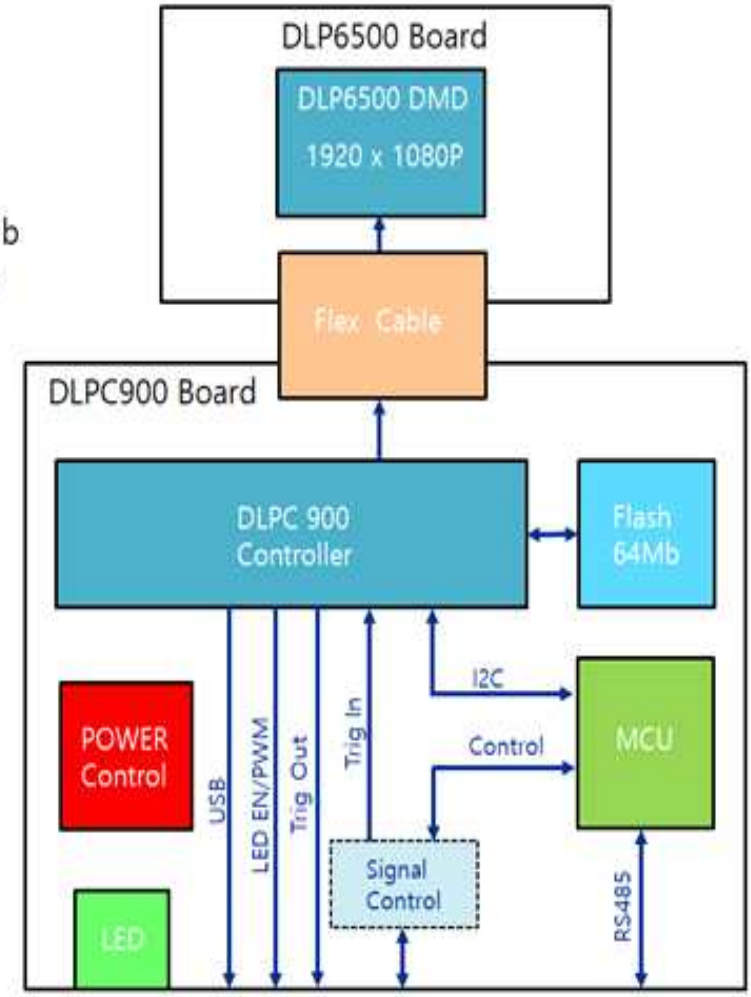


< 위상 정렬을 하지 않은 위상 추출 알고리즘의 문제 >

– 제작된 회로에 BMP 파일로 패턴을 만들어 회로 내의 Flash memory에 다운로드 함, 최대 2 Mega bite의 영상을 최대 64장을 다운로드 가능하며, 이를 위한 DMD를 운용할 수 있는 윈도 응용 프로그램을 개발하였음

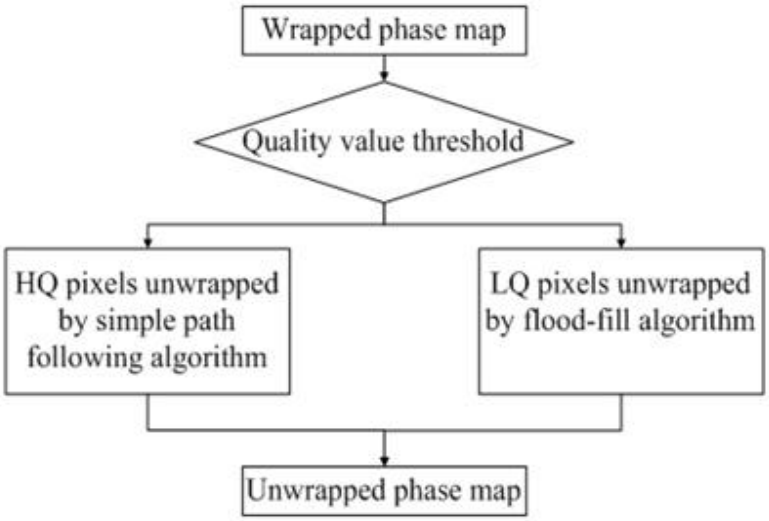
< 개발된 DMD를 제어하기 위한 응용 프로그램 >

* DLP6500BFYE DMD
  - 1920 x 1080 Micro-mirror
  - 420 nm ~700 nm Visible Light
  - Driving Using DLPC900 Controller
* Flash Rom of Full Access 48Mb
  - Max 8bit 50 Patterns can be stored
* Full function of DLPC900 in Pre-Stored Pattern Mode
  - Trig In/Out Support
  - LED Enable/PWM Support
  - Download Program using TI EVM Program with USB
* Auto-Standby Function
* RS485 communication
  - All Registers can be access with RS485 Communication
* 8bit-247Hz Pattern Rates
* 32Kb EEPROM Support



< DMD Block Diagram >

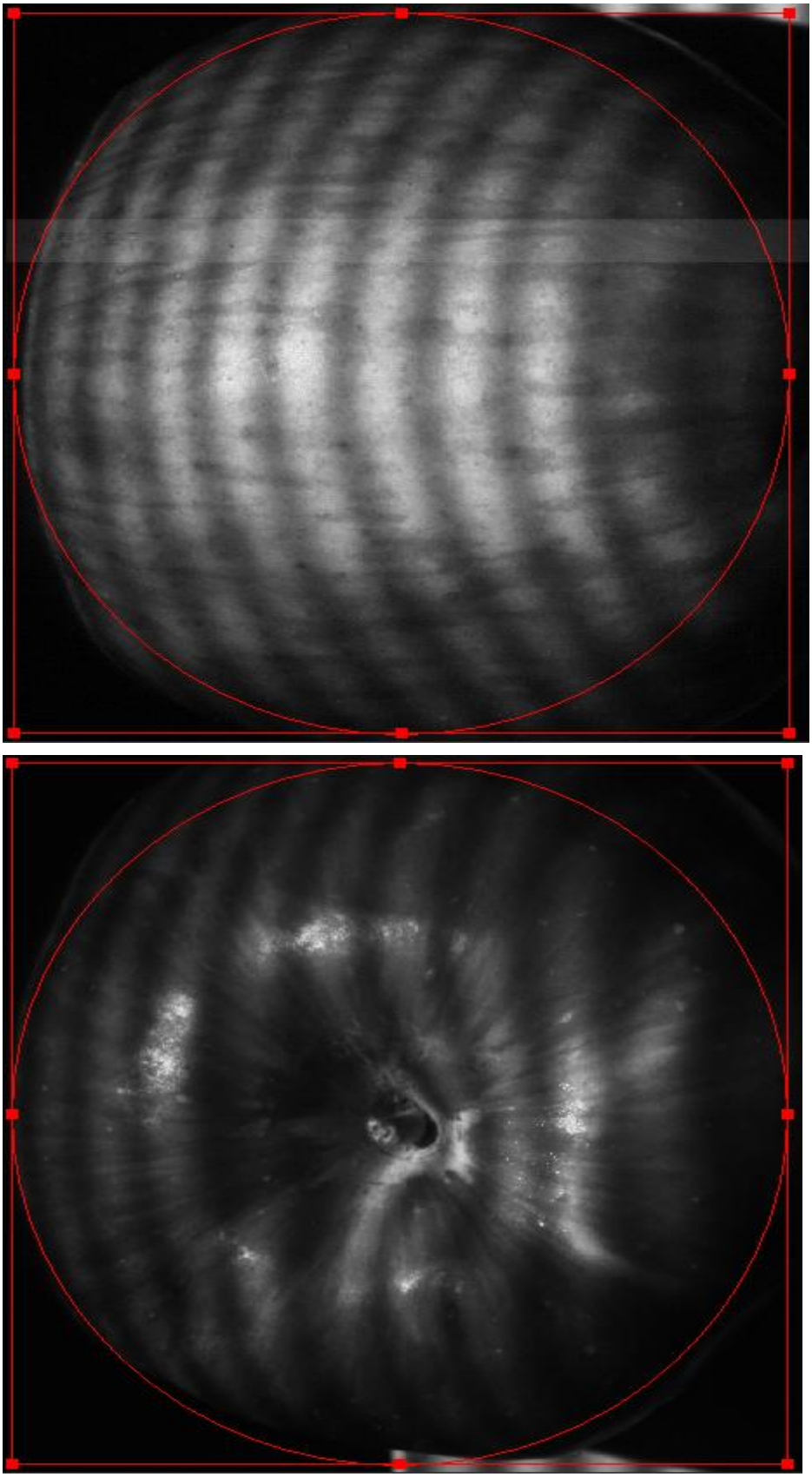
– 모아레 측정을 위한 측정 및 calibration SW 측정 및 측정 데이터 정합 알고리즘 개발을 완료함. 검사 소프트웨어는 패턴 생성부, 패턴 획득부, 위상 추출부, 영상 분석부로 구성이 되어 있으며, 패턴 생성부는 스크린의 크기와 위상천이를 수행하는 횟수를 고려하여 패턴을 생성하여 메모리에 저장을 하고 검사과정 동안 필요한 패턴을 실시간으로 조합함


Wrapped phase map
Quality value threshold
HQ pixels unwrapped by simple path following algorithm
LQ pixels unwrapped by flood-fill algorithm
Unwrapped phase map

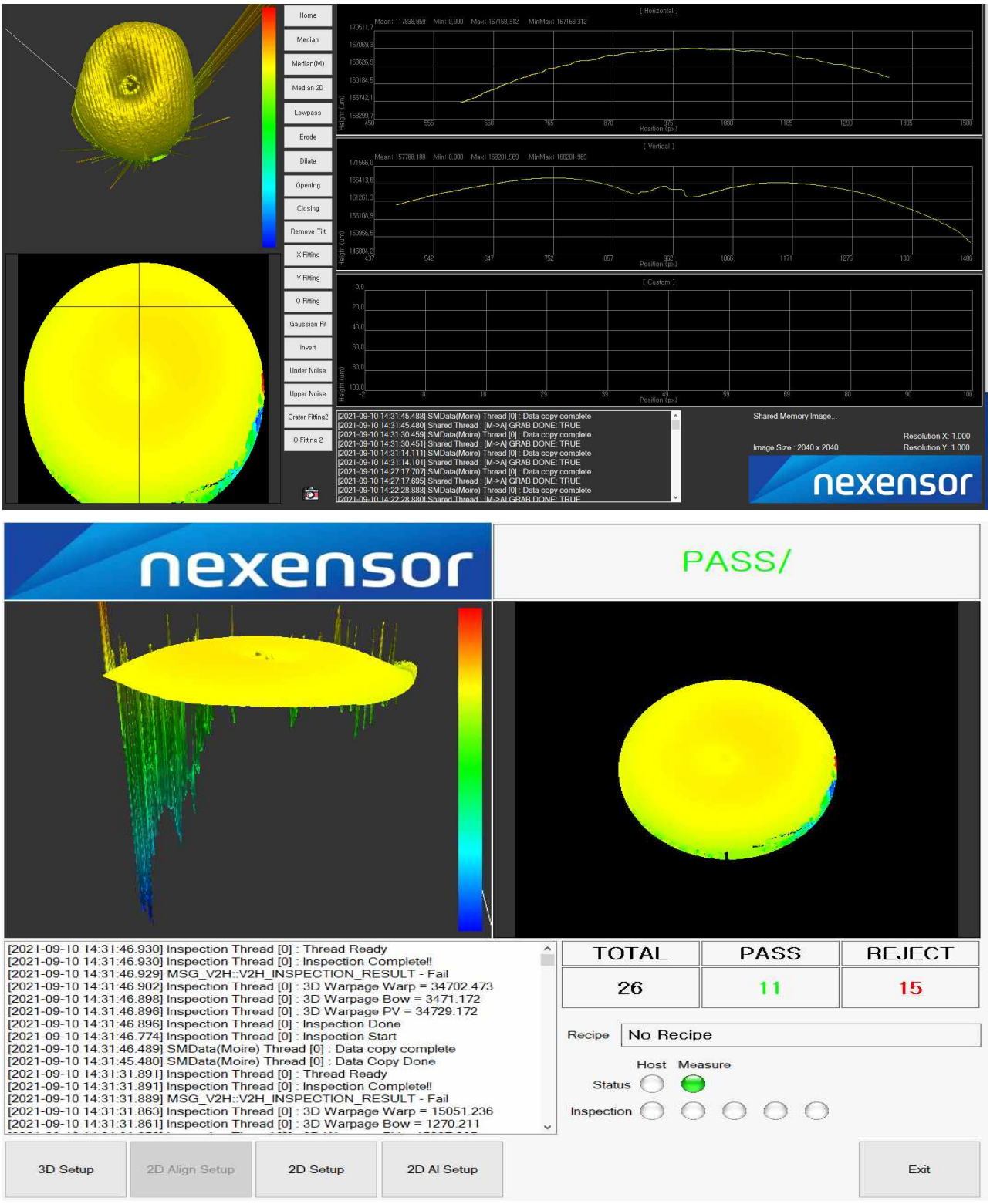
< 위상복원 알고리즘 >

● **모아레 간섭계 과채류 외부분석 및 시스템 평가**

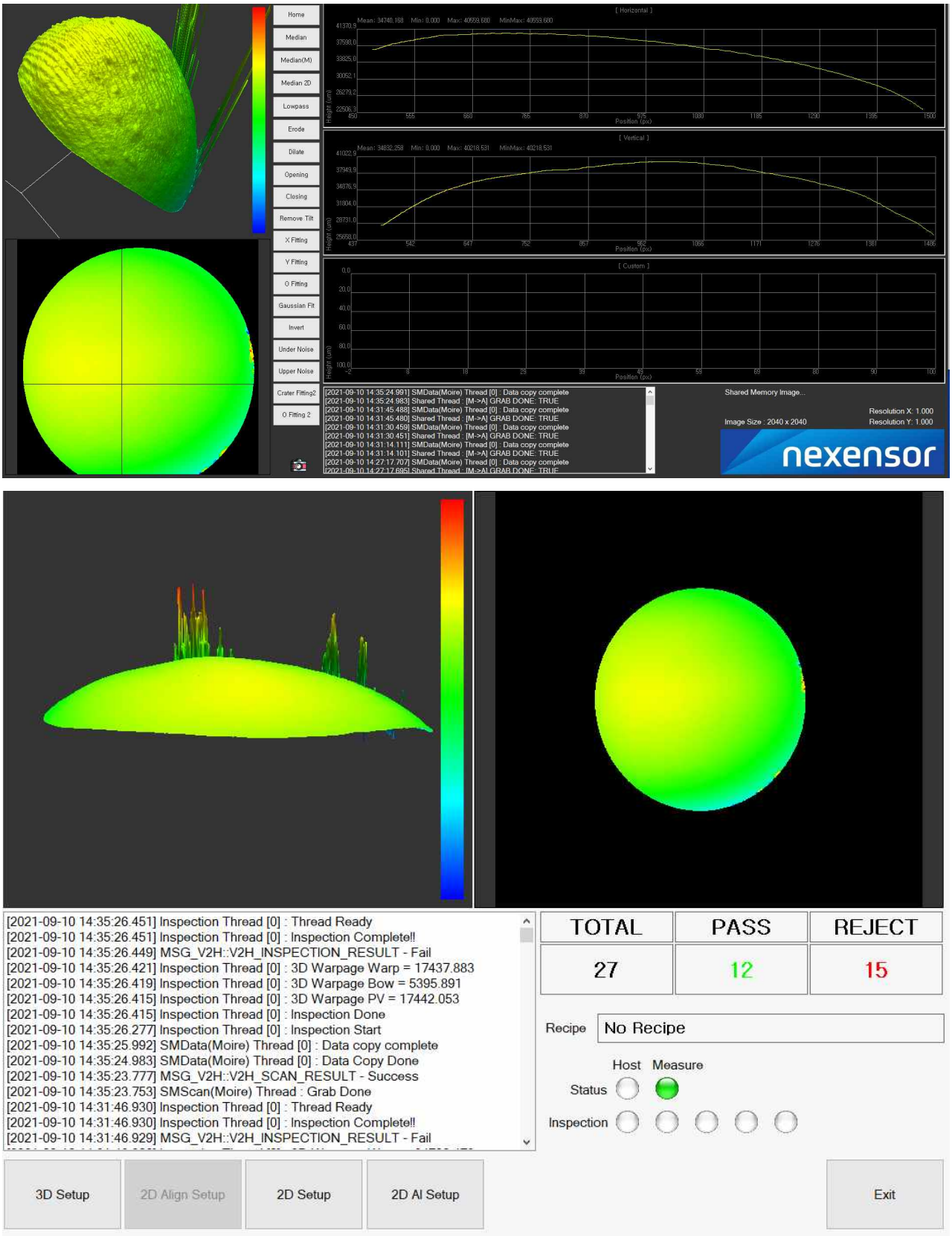
백색광 간섭계와 마찬가지로 소비자 선호가 높은 시각 정보에 기반한 과채류의 표면 데이터를 확보하였음. 제작한 모아레 간섭계 시스템을 통해 사과의 3차원 표면 형상 정보를 얻었음



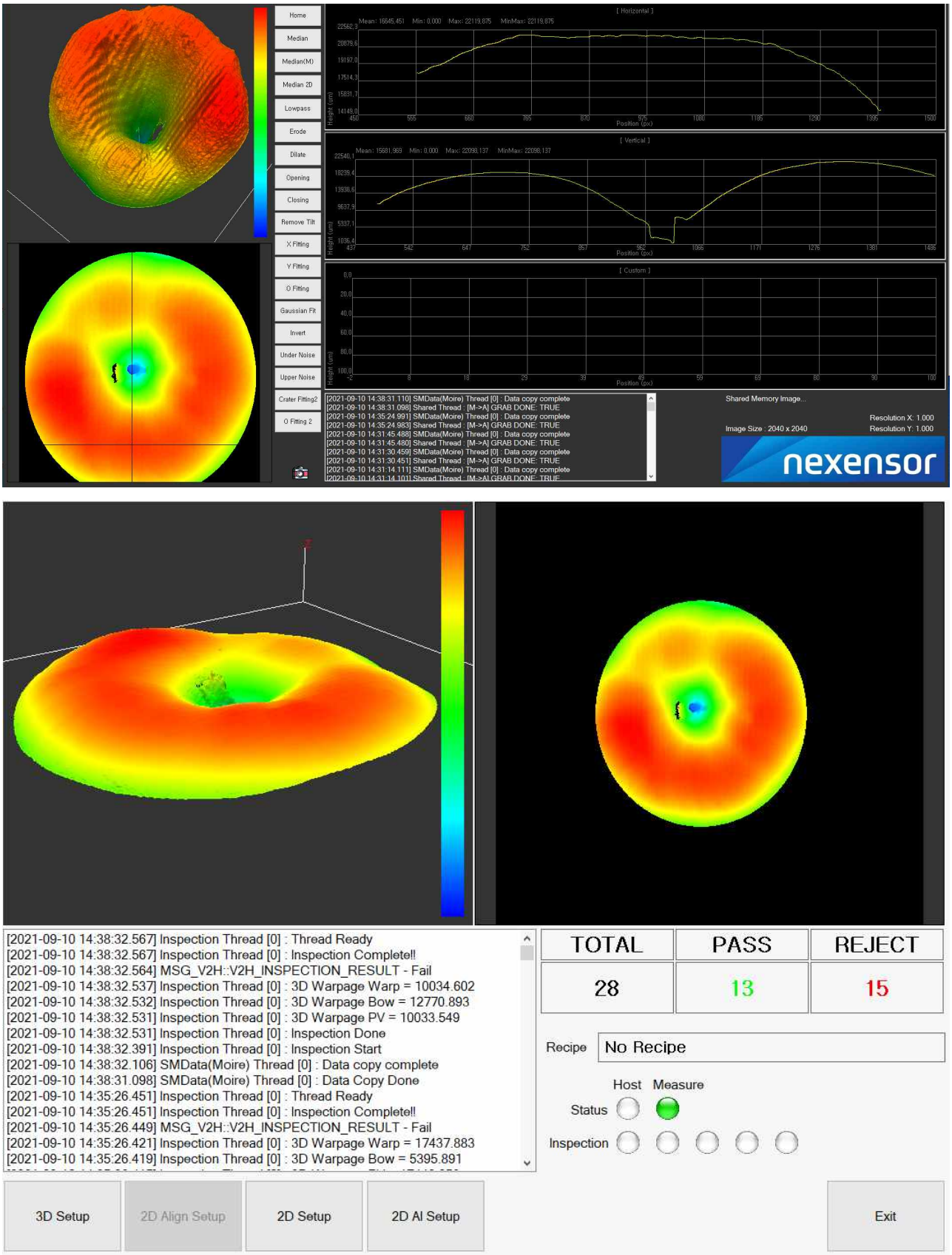
< 사과의 표면에 조사한 간섭무늬 형상 >



< 사과의 아랫면 3차원 표면 형상 데이터 >



< 사과의 옆면 3차원 표면 형상 데이터 >



< 사과의 윗면 3차원 표면 형상 데이터 >

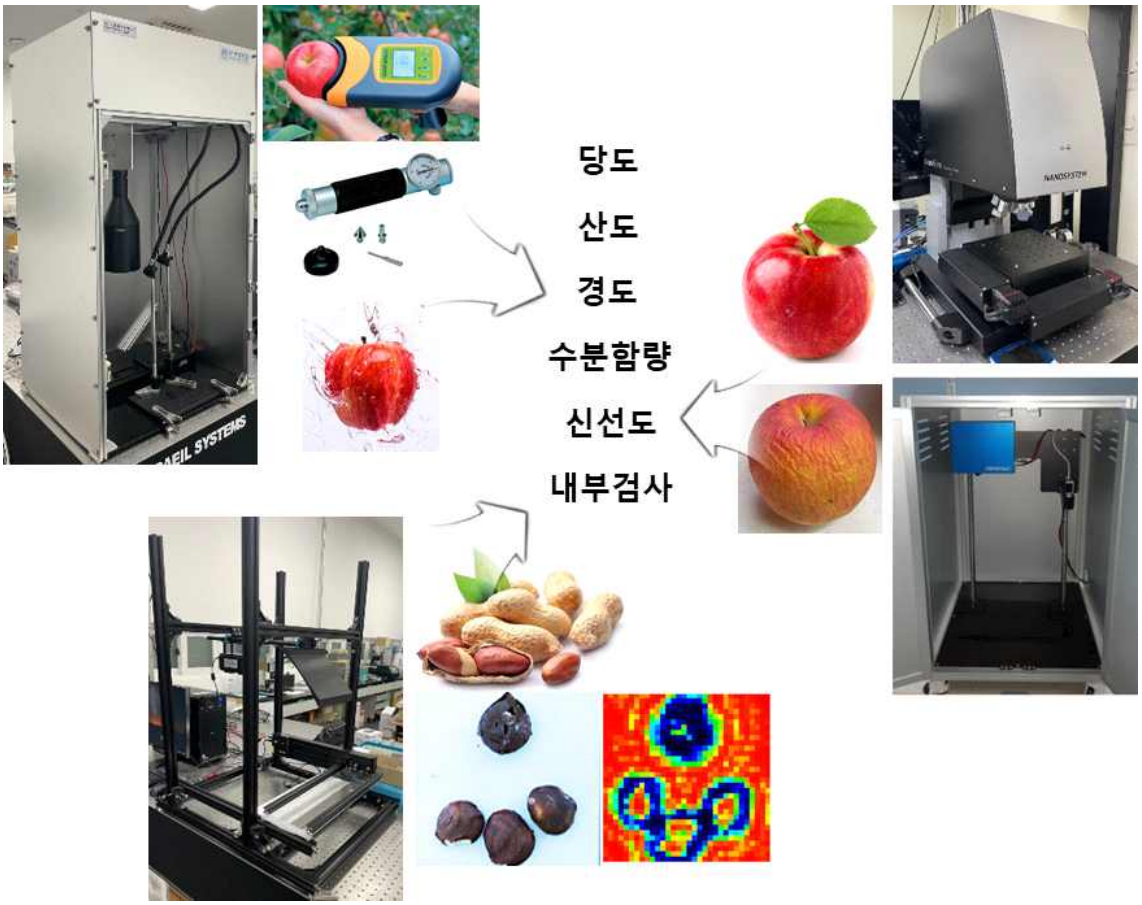
- 본 연구단이 개발한 모아레 간섭계 이미징은 일정한 주기의 패턴을 측정 대상에 조사하여 광원의 간섭 원리에 기반한 과일· 과채류의 3차원 형상 측정 이 가능함.
- White Light LED로서 전류를 안정적으로 공급하는 LED 제어 회로를 개발 및 DMD칩의 제어 및 구동회로를 개발 및 DMD를 운용할 수 있는 윈도 응용 프로그램을 개발하여 출력 안정성을 확보함.
- 대면적 3D 측정이 가능한 DMD 회로 개발 및 DMD 컨트롤 S/W를 통해 과일 및 과채류의 측정이 필요한 온라인 도소매 시장을 비롯한 다양한 시장에 적용 가능할 것
- DMD미러 구조 및 Shiempflug 원리를 적용하여 시뮬레이션 하고 이를 반영하여 결상 광학 설계하여 모아레 광학계 구성시 발생할 수 있는 문제 해결함.
- 정밀도 향상을 위하여 3차원 정합 알고리즘 개발 및 모아레 위상 정렬 문제 및 속도 개선을 위하여 위상 정렬 방식으로 Quality guided method(QGM)를 적용하여 형상 복원을 함으로써 이를 해결함
- 본 연구단은 해당 모아레 간섭계 이미징 시스템을 적용하여, 온라인 도매시장에 적용 가능한 시제품을 완성하고 이를 실제 적용 및 특정 샘플군에 따른 측정 결과 비교 및 다양한 종류의 과일 및 과채류의 측정 결과를 데이터 베이스화 하여 신뢰성 있는 비교 데이터를 확보하여 기술 개선 및 고도화를 통해 통합형 광학 측정 시스템을 완성시키고자 함

<결론>

● **4가지 광 계측 시스템의 측정 지표 및 목표**

- 본 연구단은 과제기간 동안 하이퍼스펙트럴 이미징 시스템, 테라헤르츠 이미징 시스템, 백색광 간섭계, 모아레 간섭계와 같은 총 4가지 정밀 광계측 시스템을 구축함
- 백색광 간섭계와 모아레 간섭계는 빛을 이용하여 농산물의 표면 및 형상에 대한 정보를 비파괴적으로 얻어내는 기술로, 보통 과일 및 과채류와 같이 수분 함량이 높은 농산물의 경우 수확 후 시간이 오래될수록 수분이 공기중으로 날아가게 되어 표면이 마르는 현상이 생기는데, 이때 표면이 쭈글쭈글해지게 됨. 본 연구단은 이러한 점을 백색광 간섭계와 모아레 간섭계의 표면 거칠기 측정을 통해 빠르고 정밀하게 측정함
- 즉, 백색광 간섭계와 모아레 간섭계는 과일 및 과채류의 표면 거칠기 측정을 통해 신선도를 판별하는 시스템임을 명시함
- 테라헤르츠 이미징 시스템의 경우는 측정 농산물의 내부 공갈 및 결함에 대한 정보를 얻어내는 비파괴 광계측 시스템으로, 신선도와는 별개로 제품의 정상 및 비정상 여부를 판별해주는 역할을 함
- 하이퍼스펙트럴 이미징 시스템의 경우, 300 ~ 2000 nm 수준의 광대역 파장을 갖는 빛을 초분광하여 각각 파장에서 발생하는 다양한 스펙트럼 정보를 정밀하게 추출하고 이 파장들에 대한 의미를 분석하여 측정 제품의 정보를 비파괴적으로 정밀하게 검출하는 시스템임
- 본 계측 시스템은 과일 및 과채류의 당도, 산도, 경도, 수분 함량과 같은 총 4가지 요소 각각 연관된 민감 파장들을 다양한 연구 문헌들을 기반으로 선정하였으며, 초분광 측정 값을 앞서 선별된 파장들을 토대로 정밀 분석한 결과 기존의 침습적 기기들을 통해 구해낸 4가지 요소들과 하이퍼스펙트럴 이미징 시스템을 통해 비파괴적으로 측정한 결과가 연관성이 깊음을 확인함
- 결론적으로, 본 연구단이 개발한 비파괴 검사법 중 백색광 간섭계와 모아레 간섭계는 과채류의 신선도를 표면 거칠기를 통해 예측하고, 테라헤르츠 이미징 시스템은 제품의 비정상 여부를 판별하며, 하이퍼스펙트럴 이미징 시스템은 과일 및 과채류의 당도, 산도, 경도, 수분 함량을 통해

품질을 판별함



< 정밀 광 계측 시스템 기반 품질 예측 >

라. 연구 수행 성과

3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

가. 연구개발 목표

도매시장에서의 과일 및 과채류의 온라인 경매 활성화를 위해 정밀 광학 기술을 적용하여 과일/·과채류의 품질을 정량적, 복합적으로 데이터베이스화 할 수 있는 측정 분석 시스템을 연구 개발하고자 함. 세부적으로 광 간섭현상을 응용한 과일/과채류의 정밀 3차원 형상 측정 시스템과 화학적 조성 비교 분석을 위한 광대역 레이저 광원 기반 하이퍼 스펙트럴 이미징 그리고 테라헤르츠 레이저 반사 측정 시스템을 개발하고자 함. 최종적으로는 개발된 시스템을 활용하여 과일/과채류의 품질 상태를 평가하거나, 분별할 수 있는 시스템을 구축하여 실제 온라인 경매시장에서의 적용을 목표로 함

나. 연구개발 목표 달성여부

1) 연구수행 결과

(1) 정성적 연구개발성과

백색광 간섭계 기술과 모아레 기술을 적용한 3차원 표면/형상 측정 기술 개발

- 유통 과정 전/후 과정에서의 과채류 및 과일의 보존도와 신선도 변화 모니터링을 위한 백색광 간섭계 측정 원리 기반 과채류 표면의 형상 정보 측정 기술 개발
- 과채류 수분 변화량에 따른 과채류 거칠기 비교 분석 모니터링 알고리즘 개발
- 모아레 측정 기법을 적용한 과채류의 3차원 형상 측정 기술 개발
- 표면 측정 영역 확장을 위한 스티칭(Stitching) 알고리즘 개발
- 표면 모폴로지 변화량과 수분 변화량과의 품질 비교 분석 데이터베이스 구축

하이퍼 스펙트럴 이미징 기반의 표면 컬러 스펙트럴 측정 기술 개발

- 과채류·과일의 변질 및 부패 과정에서의 수분 감소, 화학적 조성 변화량을 감지하기 위한 광대역 레이저 스펙트럼 기반 광파장 범위 500~1000 nm에서의 과채류 하이퍼 스펙트럴 측정 기술 개발
- 과채류·과일의 종류, 표면 오염 및 품질 변화에 따른 광 반사/흡수 스펙트럼 데이터베이스 구축 개발
- 결맞음 광대역 레이저 광원을 이용한 과채류 스펙트럴 이미징 및 성분 비교 데이터베이스 구축
- 하이퍼 스펙트럴 이미징 기술 기반의 과채류 품질 비교 분석 알고리즘 개발

테라헤르츠 레이저 기술을 적용한 표면 수분 측정 기술 개발

- 반사형 테라헤르츠 레이저 이미징 측정 기술 개발
- 반사형 테라헤츠르 레이저 측정 기술을 적용한 과채류 수분 분포 비교 측정 연구
- 테라헤르츠 레이저파의 반사 및 흡수 분석 기술과 2차원 스캐닝 기술 통합 과채류·과일 표면의 수분 변화 2차원 이미징 시스템 구현 및 변질 속도 모니터링
- 하이퍼 스펙트럴 이미징과 상관관계 비교 분석을 통한 과채류의 성분 비교 분석 데이터베이스 구축

(2) 정량적 연구개발성과

정량적 연구지표 관련 성과

평가 항목 (주요성능[1])			단위	전체 항목에서 차지하는 비중[2] (%)	연구개발 전 국내 성능수준	연구개발 목표치	달성률 (%)
					성능수준	1단계 (YYYY~YYYY)	
1	모아레 간섭계	저배율 단일형상 측정 영역	mm	5	-	100 x 100	100
2		고배율 단일형상 측정 영역	mm	5	-	100 x 100	100
3		저배율 측정 정밀도	um	5	100	50	100
4		고배율 측정 정밀도	um	5	100	50	100
5		측정속도	second	20	10	5	100
6	백색광간섭계	단일형상 측정 영역	mm	5	10 x 10	40 x 40	100
7		측정 정밀도	nm	10	-	5	100
8		측정속도	second	15	10	5	100
9	하이퍼 스펙트럴 분석장치	분광범위	nm	5	-	500 - 1000	100
10		스펙트럴 분해능	nm	5	-	5	100
11		라인스캔 속도	lines/ second	15	-	850	100
12	테라헤르츠 분석장치	광원 측정 영역	THz	5	-	0.2 ~ 1.5	100
합계	-		-	100	-	-	100

사업화지표 관련 성과

연구 수행기간 동안, 초기 계획서의 사업화지표 관련 목표(예: 특허출원, 특허등록, 등)를 성공적으로 달성하였으나, 농림식품기획기술평가원에서 진행하는 신기술인증이 반려되어 인증을 위한 공인인증기술서 및 자체시험인증서를 제작 중에 있음

	사업화지표					
	지식재산권		기술실시(이전)		사업화	기술인증
	특허출원	특허등록	건수	기술료	제품화	
1차년도	1					
2차년도	2	1				
3차년도	0	1	1	1	1	0
계획 소계	3	2	1	1	1	0
목표	3	2	1	1	1	1
달성여부	달성완료	달성완료	달성완료	달성완료	달성완료	사업화 단계에서의 지연

연구기반지표 관련 성과

연구 수행기간 동안, 초기 계획서의 연구기반지표 관련 목표(예: 논문 출판, 학술발표, 홍보전시 등)를 달성하기 위해 성실히 과제를 수행하였음. 발표한 논문 저널의 영향력 지수(IF)는 3.25 로 목표 지수 5 보다는 낮으나 이는 변동하는 IF의 지수에 의한 영향이며, 본 사업의 주 목적은 논문 발표가 아닌 현장 기술 적용 가능성 검토 및 상용화 적용 가능성 검토의 응용적인 목적이 주요하다고 판단되어 이에 주력하였음. (총 4가지의 측정 시제품 개발 완료)

	연구기반지표						
	논문		학술발표	교육지도	인력양성	정책활용.홍보	
	SCI	평균IF				정책활용	홍보전시
1차년도	-	-	-		-		
2차년도	-	-	1	-	-		
3차년도	1	3.25	1	-	-	-	1
계획 소계	1	3.25	2	0	0	0	1
목표	1	5	2	-	-	-	1
달성여부	달성완료	추가 논문 작성중	달성완료	-	-	-	달성완료

(3) 세부 정량적 연구개발성과

[과학적 성과]

□ 논문(국내외 전문 학술지) 게재

번호	논문명	학술지명	주저자명	호	국명	발행기관	SCIE 여부 (SCIE/비SCIE)	게재일	등록번호 (ISSN)	기여율
1	Fiber-Optics Localized Surface Plasmon Resonance Sensors Based on Nanomaterials	Sensors	Seunghun Lee	21	Switzerland	MDPI	SCIE (IF: 3.275)	2021. 1	1424-8220	16.7%

□ 국내 및 국제 학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표자	발표 일시	장소	국명
1	CLEO: QELS_Fundamental Science 2020	이현수	10-15 May 2020	온라인 발표	미국
2	한국정밀공학회 2021 년도 춘계학술대회	정태인	2021. 5	온라인 발표	대한민국

□ 기술 요약 정보

연도	기술명	요약 내용	기술 완성도	등록 번호	활용 여부	미활용사유	연구개발기관 외 활용여부	허용방식
2021	백색광 간섭계 기술	과채류의 표면 정밀 분석	과채류 분석 가능		O			
2021	모아레 기술	과채류 3차원 이미징	과채류 분석 가능		O			
2021	하이퍼 스펙트럴 이미징 기술	과채류의 표면 스펙트럼 측정	과채류 분석 가능		O			
2021	테라헤르츠 기반 이미징	과채류의 수분 함유량 분석	과채류 분석 가능		O			

[기술적 성과]

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

번호	지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재)	국명	출원				등록			기여율	활용 여부
			출원인	출원일	출원 번호	등록 번호	등록인	등록일	등록 번호		
1	나비넥타이 형상을 갖는 편광 장치를 이용한 편광 분석방법	대한민국	부산대학교 산학협력단	2020. 05.29	1020200065156		김승철, 박종균, 이현수, 정태인, 김산, 김규정, 알렉산더 글리제린, 안희상	2021. 03.16	1022305020000	80%	
2	병렬처리를 이용한 기판내 박막의 두께측정 방법 및 이를 이용한 두께 측정 장치	대한민국	㈜넥센서	2019. 10.07	1020190124097		유준호	2021. 04.30	1022492470000	20%	√

○ 지식재산권 활용 유형

번호	제품화	방어	전용실시	통상실시	무상실시	매매/양도	상호실시	담보대출	투자	기타
1		O								
2	O	O								

□ 기술 및 제품 인증

번호	인증 분야	인증 기관	인증 내용		인증 획득일	국가명
			인증명	인증 번호		

[경제적 성과]

□ 시제품 제작

번호	시제품명	출시/제작일	제작 업체명	설치 장소	이용 분야	사업화 소요 기간	인증기관 (해당 시)	인증일 (해당 시)
1	하이퍼 스펙트럴 이미징 기반 표면 스펙트럴 측정 시스템	2021.04.	부산대학교	부산대학교 공동연구기기동 301호	과채류의 표면 스펙트럼 측정을 통한, 품질 분석에 활용	2년	-	-
2	테라헤르츠 레이저 기반 표면 수분측정 시스템	2021.05.	부산대학교	부산대학교 공동연구기기동 301호	과채류의 수분 함유량을 분석하여 품질 및 변질 관련 연구	1.5년	-	-
3	백색광 간섭계 기반 표면측정 시스템	2021.06.	나노시스템	부산대학교 공동연구기기동 301호	과채류의 표면 변형을 통한 품질 비교	1.2년	-	-
4	모아레 간섭 기반 3차원 형상측정 시스템	2021.06.	넥센서	부산대학교 공동연구기기동 301호	과채류의 3차원 데이터베이스 구축 및 품질분석	1.2년	-	-

□ 기술 실시(이전)

번호	기술 이전 유형	기술 실시 계약명	기술 실시 대상 기관	기술 실시 발생일	기술료 (해당 연도 발생액, 천원)	누적 징수 현황
-	전용실시권	나비넥타이 형상을 갖는 편광 장치를 이용한 편광 분석방법 기술	넥센서	2021.06.01	5,000	-

* 내부 자금, 신용 대출, 담보 대출, 투자 유치, 기타 등

□ 사업화 현황

번호	사업화 방식[1]	사업화 형태[2]	지역[3]	사업화명	내용	업체명	매출액		매출 발생 연도	기술 수명
							국내 (천원)	국외 (달러)		
1	기술이전	신제품 개발	대전	나비넥타이 형상을 갖는 편광 장치를 이용한 편광	음각의 나노 구조어레이에 편광을 조절한	넥센서	-	-	-	-

				분석방법 기술 특허 전형실시권	투과파장 조절기술					

□ 사업화 계획 및 무역 수지 개선 효과

성과			온라인 도매시장 활성화를 위한 광학적 내외부분석 시스템 개발		
사업화 계획	사업화 소요기간(년)		5		
	소요예산(천원)		500000		
	예상 매출규모(천원)		현재까지	3년 후	5년 후
			100000	250000	500000
	시장 점유율	단위(%)	현재까지	3년 후	5년 후
		국내	1	2.5	5
		국외	0.1	0.5	1
	향후 관련기술, 제품을				
	응용한 타 모델, 제품 개발계획		초분광기술 기반의 과채류 품종 및 영역 확장		

□ 고용 창출 계획

순번	사업화명	사업화 업체	고용창출 인원(명)			합계
			1차 년도	2차 년도	3차 년도	
1	과채류 3차원 형상 고속 측정 시스템	넥센서	4	2	9	15
2	과채류 3차원 미세 형상 측정 시스템	나노시스템	2	0	0	2
합계			6	2	9	17

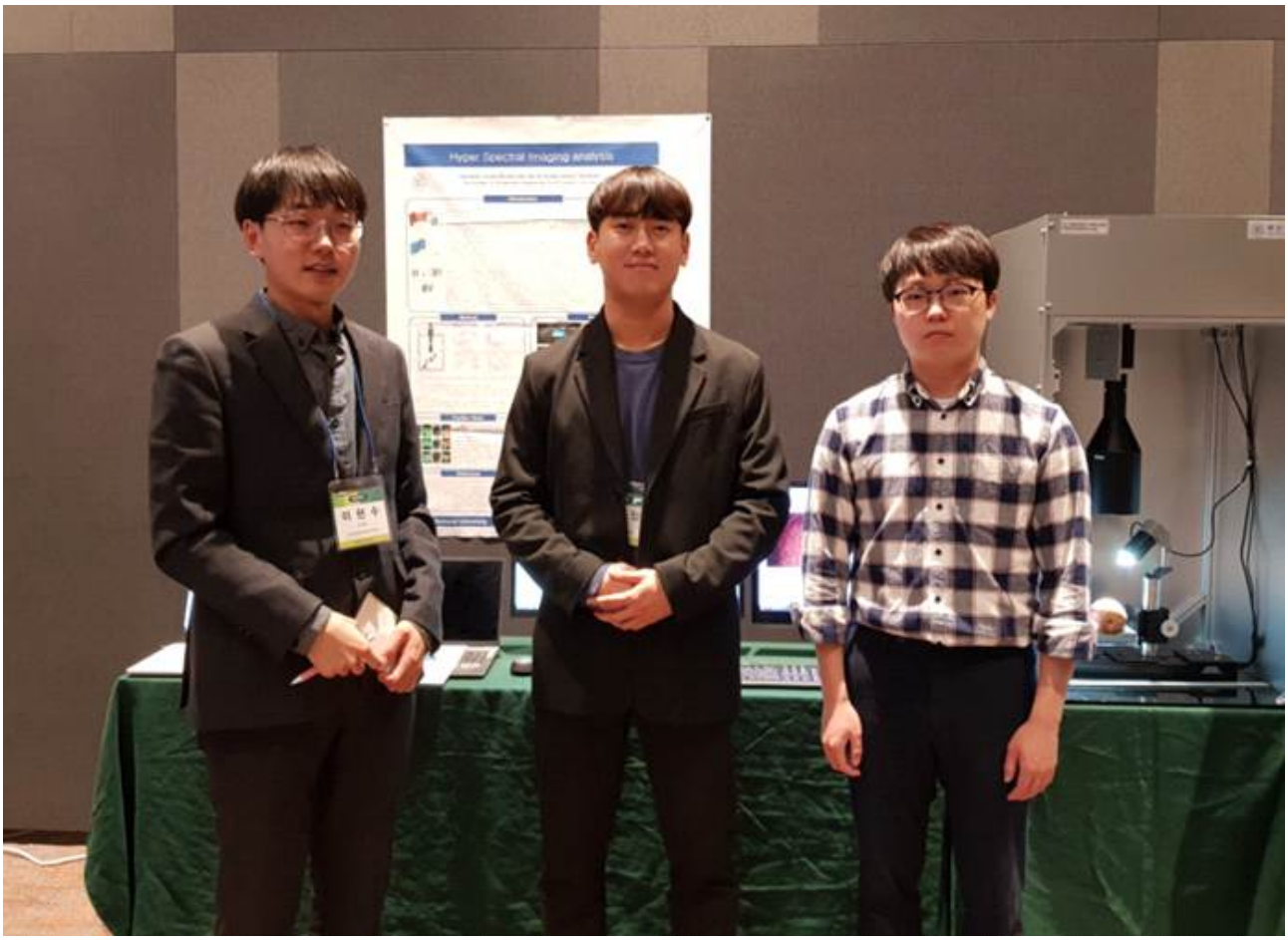
□ 전문 연구 인력 양성

번호	분류	기준 연도	현황										
			학위별				성별		지역별				
			박사	석사	학사	기타	남	여	수도권	충청권	영남권	호남권	기타
1	부산 대학교	2021		1			1				1		

□ 홍보 실적

번호	홍보 유형	매체명	제목	홍보일
1	현장 시연 및 전시	2019년 농산물 도매시장 워크숍	Hyper Spectral Imaging analysis 시연 및 전시	2019.10.
2	온라인 시연 및 전시	나노피아2020 제 7회 나노융합 산업전	부산대학교 UAPL	2020.11.

1) 2019년 농산물 도매시장 워크숍



2) 나노피아2020 제 7회 나노융합 산업전 홍보 증빙 이미지

(4) 계획하지 않은 성과 및 관련 분야 기여사항

- 온라인 도매시장 고도화를 위한 연구진과 부산 청과류 도매 실무자 간담회 및 개발 시제품 시연회

2) 목표 달성 수준

추 진 목 표	달 성 내 용	달성도(%)
정성적 목표 -백색광 간섭계 기술과 모아레 기술을 적용한 3차원 표면/형상 측정 기술 개발 -하이퍼 스펙트럴 이미징 기반의 표면 컬러 스펙트럴 측정 기술 개발 -테라헤르츠 레이저 기술을 적용한 표면 수분 측정 기술 개발 -과채류·과일 품질 모니터링 통합형 3차원 형상 정보/물성 측정 시작품 제작 **정량적 목표** 특허출원 3건, 특허등록 2건, 기술이전 1건, 기술인증 1건, 제품화 1건, SCI 논문(IF: 5) 1편, 학술발표 2회, 홍보전시 1회	**정성적 목표** 과제 수행 기간 동안, 하이퍼 스펙트럴 이미징 기반 과채류 표면 스펙트럴 측정시스템, 테라헤르츠 레이저 기반 표면 수분측정 시스템, 백색광 간섭계 기반 표면측정 시스템, 모아레 간섭 기반 3차원 형상측정 시스템을 성공적으로 구축하였음 **정량적 목표** 특허 출원 3건 달성, 특허등록 2건 달성, 기술이전 1건 달성, 제품화 1건 달성, 학술발표 2회 달성, 홍보전시 1회 달성, SCI 논문 1편 달성하였으나 발표된 논문의 저널의 영향력지수(IF)는 목표치보다 낮았음. 기술인증은 달성하지 못하였음	정성적 목표 ○ 100% 정량적 목표 ○ 90%

4. 목표 미달 시 원인분석

1) 목표 미달 원인(사유) 자체분석 내용

과제 기간(33 개월) 동안 두 업체(넥센서, 나노시스템)와의 협업을 통해 4개의 장비(백색광 간섭계, 하이퍼 스펙트럴 이미징, 테라헤르츠 시스템, 모아레 간섭계)를 개발하였음.
각각의 장비 설계 및 실험 및 테스트를 완료하여 시제품을 제작한 후에 농림식품기술기획평가원 신기술 인증 지원 및 진행(접수번호 2021350659)하였으나 평가원으로부터 관련 특허등록증 및 공인인증서, 자체시험 실적확인서를 요청받았음, 이후 특허등록 및 기술 이전 준비 과정에서 시간이 소요되어 과제 종료 이후 시점에 맞추어 신기술 인증 신청이 어려운 상황임. 이에 공인인증 및 자체시험 실적확인서를 위한 데이터를 획득 중에 있음 (COVID19등의 상황으로 인해 현장 실무자 들과의 협업이 매우 제한된 문제가 있었음)

2) 자체 보완활동

개발했던 장비들을 소형화 모듈 제작 및 단일 플랫폼 제작을 위한 시스템 설계 중에 있고, 농림식품기술기획평가원 신기술 인증을 받기 위해 요청받은 특허 등록을 완료하고 공인인증 및 자체시험 실적확인서를 제작 중에 있음

3) 연구개발 과정의 성실성

과제 기간 동안, 초기에 설정한 정성적 목표와 정량적 목표 달성을 위해 성실히 수행하였음. 또한, 초기에 설정한 목표를 대부분 달성하였음. 과제 개발 2차년도부터 시작된 covid19로 인해서 관련 워크샵이나 농산물 도매시장 실무자 간담회를 통한 기술 개선 미팅이 매주 제한되었고 현장 실증 등의 기술 실용화 활동이 제한되었음. 이에 내부적으로 측정 기술의 신호 정확도 및 측정시간을 단축하기 위해 알고리즘 개발 등의 보완 연구를 진행하였음. 현장 실증 등을 통한 기술 인증 데이터 부족으로 인한 특허 등록 등의 계획이 지연되었으며, 이에 달성하지 못한 기술인증을 위해 공인인증을 위한 데이터 확보를 진행하고 있음

5. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

다양한 기술을 활용하여, 보다 복합적이고 정밀한 방법으로 과채류 특성 및 품질을 평가하는 방법을 제시하였음. 이는 국내에 새로운 과채류 품질 평가 기준을 제안하며 과채류 도매시장 유통 활성화에 기여할 것임

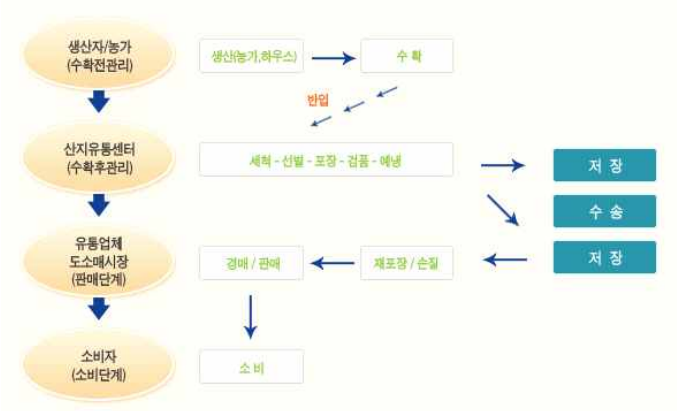
6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획

연구개발성과의 관리 및 활용 계획

사업 기간동안 개발한 기술(백색광 간섭계, 하이퍼 스펙트럴 이미징, 테라헤르츠 수분 분석, 모아레 간섭계)을 활용하여 과채류 품질 데이터베이스를 구축하고, 국내의 과채류 도매시장 활성화를 위한 단일 시제품을 제작하고자 함. 개발된 기술의 사업화를 진행중에 있고 최근 기술이전을 달성하였음, 차후 기술 단일화 연구를 진행하여 기술이전 및 사업화를 진행할 계획임

수행 기술의 실질적 농업 활용 가능성 및 향후 계획

- 일반적으로 생산자로부터 재배된 농산물은 소비자에게 판매되기까지의 과정에서 발생할 수 있는 손상 및 부패를 방지하기 위해 “수확후 관리”라는 농산물 신선도 유지를 위한 각종 조치들을 행함
- 수확후 관리 시스템은 아래 모식도와 같은 구조로 이뤄짐



< 수확후 관리의 구조 >

- 보통 과일 및 과채류와 같은 농산물들은 수분함량이 높고, 조직이 부드러우며 살아있는 생물이기 때문에 물질대사가 계속 진행될뿐더러 미생물들에 의한 부패가 쉽게 일어날 수 있기 때문에 수확 후에 높은 확률로 손실이 쉽게 일어남
- 그래서 일반적으로 세척 후에 전처리기술을 통해 농산물을 저장, 출하하기 전에 품목의 특성에 맞게 품질을 보전해주는 과정을 거침
- 이후 농산물의 품질을 등급화하기 위해 수확한 농산물을 정해진 기준에 따라 구분하는 과정을 거치는데 이 과정을 선별 과정이라 지칭함
- 선별 과정에서는 당도, 무게, 색상, 형상에 대한 선별을 진행하여 같은 등급인 제품들끼리 그룹을 만들어 저장 및 수송함
- 본 연구단이 개발한 정밀 광계측 시스템들의 경우, 본래 목적은 3단계인 유통업체 도소매시장에서 경매 및 판매를 할 때에 측정 데이터를 기반으로 판단 지표들을 제공함으로써 대면 시장에서 제품 품질의 판단 기준 고도화뿐만 아니라 비대면 시장에서도 직접 오감을 통해 제품을 보지 않더라도 충분히 신빙성있는 광계측 지표들을 통해 편리한 시장 이용이 가능하게 하는 것을 목표로 했음
- 하지만 “한국농수산식품유통공사”와 같은 전문 유통관리 및 현지 근무자들로부터 자문을 받은 결과, 앞서 목표한데로 진행하는 것도 괜찮지만 오히려 2단계인 산지유통센터의 선별 과정에 본 연구단이 개발한 광 계측 시스템들을 적용하면 무게의 경우 시스템 내 샘플 스테이지에 중량계를 적용하면 되고, 당도, 색상, 형상에 대한 정보를 정밀한 광계측을 통해 얻어낼 수 있으며, 색상의 경우 기존에 판별하는 용도의 색 정보뿐만 아니라 하이퍼스펙트럴 이미징을 통한 외적인 추가 정보들도 수집할 수 있기 때문에 농업에서의 활용성이 더 극대화될 것 같다는 의견을 받음
- 또한, 과제를 통해 개발한 하이퍼스펙트럴 이미징, 테라헤르츠 이미징, 백색광 간섭계, 모아레 간섭계를 각기 따로 설치하여 측정하기 보다는 시스템의 일체화를 통해 연속적으로 제품의 다양한 품질을 측정하여 시스템을 거쳐나오면 모든 제품의 품질 관련 정보들이 한번에 나오는 일체화 시스템으로 적용하면 충분히 이용가치가 있을 것으로 판단한다는 의견을 받음
- 결론적으로, 본 연구단은 수확된 농산물의 종류에 적합한 시스템들을 산지유통센터에서 쉽게 사용할 수 있도록 시스템의 간소화 및 고속화를 진행할 예정이며 센터 내에서 간편히 테스트할 수 있도록 계측 시스템을 렌트 형식으로 배포하여 사용 후기 및 장기 이용에 대한 의사를 얻을 수 있도록 할 계획
- 센터에서 시스템의 이용가치가 인정될 경우, 농산물 유통량을 감당할 만큼의 시스템 개수를 늘리기 위해 사업화를 진행한 업체들과 협업하여 대량 생산 플랫폼을 구축할 예정이며, 여러 센터에 적용할 예정

[별첨 1]

자체평가의견서

1. 과제현황

		과제번호		2018-399	
사업구분	첨단생산기술개발사업				
연구분야	농축산물 가공/품질 계측(LB0803)			과제구분	단위
사 업 명	첨단생산기술개발사업				주관
총괄과제	기재하지 않음			총괄책임자	기재하지 않음
과 제 명	도매시장 온라인 경매 고도화를 위한 과채류 및 과일 3차원 형상·물성 이미지 상용화 기술 개발			과제유형	응용
연구개발기관	부산대학교			연구책임자	김승철
연구기간 연구개발비 (천원)	연차	기간	정부	민간	계
	1차년도	2018. 12. 21. ~ 2019. 9. 20.	300,000		300,000
	2차년도	2019. 9. 21. ~ 2020. 9. 20.	400,000		400,000
	3차년도	2020. 9. 21. ~ 2021. 9. 20.	400,000		400,000
	계	2018. 12. 21. ~ 2021. 9. 20.	1,100,000		1,100,000
참여기업	넥센서, 나노시스템				
상 대 국	-	상대국연구개발기관		-	

2. 평가일 : 2021. 9. 10.

3. 평가자(연구책임자) :

소속	직위	성명
부산대학교 광메카트로닉스공학과	부교수	김승철

4. 평가자(연구책임자) 확인 :

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

확 약	김승철

Ⅰ. 연구개발실적

1. 연구개발결과의 우수성/창의성

■ 등급 : 매우 우수

과제 수행 기간, 하이퍼 스펙트럴 이미징 기반 과채류 표면 스펙트럼 측정시스템, 테라헤르츠 레이저 기반 표면 수분측정 시스템, 백색광 간섭계 기반 표면측정 시스템 모아레 간섭 기반 3차원 형상 측정 시스템의 시제품을 성공적으로 구축하였음. 초정밀 하이퍼 스펙트럴 이미징 분석을 위해 파장과 카메라 line 별 calibrator 소프트웨어뿐만 아니라 고속분석이 가능한 하이퍼 스펙트럴 시스템을 제작 및 데이터 확보를 완료하였음. 모아레 간섭계 3차원 과채류 표면 형상 시스템을 제작하였을 뿐만 아니라 5초 이내의 고속촬영과 측정 결과의 거칠기를 기준으로 분류가 가능한 소프트웨어 제작을 완료하였음. 백색광 간섭계를 이용해 과채류 표면의 미세 결함 및 주름을 5nm 이내의 정밀도로 측정이 가능한 시스템을 제작하였음

2. 연구개발결과의 파급효과

■ 등급 : 매우 우수

하이퍼 스펙트럴 시스템, 모아레 간섭계 시스템, 백색광 간섭계, 테라헤르츠 수분 측정 시스템의 개발은 과채류에 적용하여 온라인 도매시장에 신뢰도를 올리기 위한 과채류의 내외부 정보를 제공이 가능할 뿐만 아니라 다양한 분야에 적용이 가능함. 특히 초분광 시스템은 최근 드론과 같은 소형 무선 비행물체에 적용하여 넓은 지역에서의 농작물 및 오염물 분석에 활용이 되고 있다, 개발한 초분광 시스템은 소형화를 통해 해당 분야로의 확장이 가능하고 뿐만 아니라 이와 관련된 산업 전반의 기초기술로 사용될 수 있음. 모아레 간섭계 및 백생관 간섭계 시스템은 과채류의 3차원 형상 측정을 통해 활용이 가능할 뿐만 아니라 반도체 산업 및 미세 가공 산업에서의 품질 검증 시스템과 같이 다양한 미세 측정 분야로 확장이 가능함

3. 연구개발결과에 대한 활용가능성

■ 등급 : 매우 우수

연구 개발 제품 적용에 있어 사업화 진행 가능성 및 계획

- 본 과제를 진행하면서 개발된 제품들 중 하이퍼스펙트럴 이미징 시스템은 과제 내에 협업했던 “넥센서” 회사에 기술이전한 바가 있음
- 이뿐만 아니라, 현재 기술이전한 내용을 바탕으로 부산대학교 산학협력단을 통해 하이퍼스펙트럴 이미징 시스템을 사업화할 계획을 추진함
- 사업화 진행을 위해 제품적으로 보완할 사항으로는 제품의 슬림화, 측정 고속화, 시스템의 경제성 극대화, 농수산 유통시장에서 필요로 하는 경도, 당도, 산도, 신선도와 같은 요소들을 정확히 판별할 수 있도록 많은 데이터베이스를 구축하는 일과 같은 사항들을 정리하여 사업화에 최적화된 시스템을 향후 1~2년 내에 마무리하고자 함
- 결론적으로, 하이퍼스펙트럴 이미징 시스템을 재구성하여 유통이 빠른 농수산 시장에서 효율적으로 적용될 수 있게 사업화를 계획 및 진행중임

기술이전계약서

■ 계약명 : 나비넥타이 형상을 갖는 편광 장치를 이용한 편광 분석방법 기술 특허 전용실시권

2021년 06월 01일

계약당사자

(갑)
주 소 : 부산광역시 금정구 부산대학로 63번길 2
기 관 : 부산대학교 산학협력단
단 장 : 최 정 민 (인)

(을)
주 소 : 대전광역시 유성구 유성대로 1689번길 70(전민동, KT대덕2 연구센터)3동 404, 407호
회사명 : ㈜넥센서
대 표 : 유 준 호 (인)

1/7

< 사업화 진행을 위한 기술이전 계약서 >

4. 연구개발 수행노력의 성실도

■ 등급 : 매우 우수

과제 기간 동안, 초기에 설정한 정성적 목표와 정량적 목표 달성을 위해 성실히 수행하였고 높은 난이도의 시스템 개발 및 개발 시스템의 신뢰성 및 정밀도 개선을 위한 연구을 수행하였음. 각각의 분석 시스템을 개발하였을 뿐만 아니라 하이퍼 스펙트럴, 모아레간섭계, 백색광 간섭계는 전용 소프트웨어를 개발하였고 소프트웨어에 정밀도를 높이기 위한 다양한 알고리즘 적용을 통한 후처리 소프트웨어 또한 적용하였음.

5. 공개발표된 연구개발성과(논문, 지적소유권, 발표회 개최 등)

■ 등급 : 우수

초기에 설정했었던 특허출원 3건, 특허등록 2건, SCI 논문 1편, 학술발표 2회, 홍보전시 1회를 수행기간 동안 달성하였을 뿐만 아니라 도매시장 현장에서 실무자들의 적용가 능성 및 기술 방향을 검토하기 위해 과제 연구개발 방향 논의를 위한 간담회와 개발된 시제품의 시연회를 동시에 진행하였음. 코로나 상황을 고려해 개발된 시스템을 이용해 기술 홍보 영상을 제작하여 발표하였음.

Ⅱ. 연구목표 달성도

세부연구목표 (연구계획서상의 목표)	비중 (%)	달성도 (%)	자체평가
백색광 간섭계 기술과 모아레 기술을 적용한 3차원 표면/형상 측정 기술 개발	40	100	백색광 간섭계 기술과 모아레 기술을 적용한 3차원 표면/형상 측정 기술을 성공적으로 개발하였음.
하이퍼 스펙트럴 이미징 기반의 표면 컬러 스펙트럴 측정 기술 개발	25	100	하이퍼 스펙트럴 이미징 기반의 표면 컬러 스펙트럴 측정 기술을 성공적으로 개발하였음.
테라헤르츠 레이저 기술을 적용한 표면 수분 측정 기술 개발	25	100	테라헤르츠 레이저 기술을 적용한 표면 수분 측정 기술을 성공적으로 개발하였음.
과채류·과일 품질 모니터링 통합형 3차원 형상 정보/물성 측정 시작품 제작	10	100	하이퍼 스펙트럴과 테라헤르츠 측정 기술을 이용해 과채류 내부정보 및 수분 함유량 측정 기술을 개발하였고, 백색광 간섭계 기술과 모아레 간섭계 기술을 이용해서 과채류 3차원 표면 형상 측정 기술을 성공적으로 개발하였음.
합계	100%	100%	

Ⅲ. 종합의견

1. 연구개발결과에 대한 종합의견

도매시장에서의 과일 및 과채류의 온라인 경매 활성화를 위해 정밀 광학 기술을 적용하여 과일/·과채류의 품질을 정량적, 복합적으로 데이터베이스화 할 수 있는 측정 분석 시스템을 연구 개발하고자 하였음. 세부적으로 광간섭현상을 응용한 과일/과채류의 정밀 3차원 형상 측정 시스템과 화학적 조성 비교 분석을 위한 광대역 레이저 광원 기반 하이퍼 스펙트럴 이미징 그리고 테라헤르츠 레이저 반사 측정 시스템을 개발하였음. 각각의 시스템은 정밀도 초정밀도를 위한 사전 calibration이 모두 진행후 하드웨어와 소프트웨어를 개발 및 제작을 통해 과채류 분석에 적용하였음. 과채류의 내외부 분석을 위해 다수의 과종과 반복적인 테스트를 통해 결과의 타당성을 검증 및 분석하였음

2. 평가시 고려할 사항 또는 요구사항

각각의 시스템의 높은 개발 난이도와 높은 정밀도를 가지는 시스템의 개발 및 검증을 위해서 많은 시간이 소요 되었음. 또한, 과제 진행중 발생한 코로나 상황에 의해 다수의 어려움이 존재하였음. 첫 번째로, 과채류 도매상의 실무자들과 토의를 통하여 실제 현장에서 적용 가능한 기술의 방향 및 필요사항들을 듣고 반영하기 위해 노력하였음. 두 번째로, 다양한 과종을 구입하여 테스트하고자 하였으나 코로나로 인해 특정 과종 외에는 구입이 어려운 점들이 존재했음. 세 번째로, 홍보를 위한 다양한 박람회에 참여하고자 하였으나 코로나로 인해 취소 및 연기되는 어려움 들이 존재하였음

3. 연구결과의 활용방안 및 향후조치에 대한 의견

사업기간 동안 개발한 기술(백색광 간섭계, 하이퍼 스펙트럴 이미징, 테라헤르츠 수분 분석, 모아레 간섭계)을 활용하여, 기술이전 및 사업화를 진행할 것임. 또한 과채류 품질 데이터베이스를 구축하여, 국내의 과채류 도매시장 활성화를 위한 정보 제공 및 과채류 변질 연구에 활용할 것이고 앞선 연구자료를 바탕으로 다양한 분야에서의 활용을 위해 농림식품기술기획평가원에서 진행 중인 신기술 인증을 받기 위해 준비중에 있음

연구성과 활용계획서

1. 연구과제 개요

<table>
<tr><td>사업추진형태</td><td colspan="2">지정공모과제</td><td>분 야</td><td colspan="2">농축산물 가공/품질 계측(LB0803)</td></tr>
<tr><td>연 구 과 제 명</td><td colspan="5">도매시장 온라인 경매 고도화를 위한 과채류 및 과일
3차원 형상·물성 이미지 상용화 기술 개발</td></tr>
<tr><td>주관연구개발기관</td><td colspan="3">부산대학교</td><td>주관연구책임자</td><td>김승철</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연 구 개 발 비</td><td>정부지원 연구개발비
(단위: 천원)</td><td colspan="2">기관부담연구개발비</td><td>기타</td><td>총연구개발비</td></tr>
<tr><td>1,100,000</td><td colspan="2"></td><td></td><td>1,100,000</td></tr>
<tr><td>연구개발기간</td><td colspan="5">2018. 12. 21 ~ 2021. 9. 20</td></tr>
<tr><td>주요활용유형</td><td colspan="5">■산업체이전 □교육 및 지도 □정책자료 □기타( )
□미활용 (사유:)</td></tr>
</table>

2. 연구목표 대비 결과

당초목표	당초연구목표 대비 연구결과
정성적 목표 -백색광 간섭계기술과 모아레 기술을 적용한 3차원 표면/형상 측정 기술 개발 -하이퍼 스펙트럴 이미징 기반의 표면 컬러 스펙트럴 측정 기술 개발 -테라헤르츠 레이저 기술을 적용한 표면 수분 측정 기술 개발 -과채류·과일 품질 모니터링 통합형 3차원 형상 정보/물성 측정 시제품 제작	과제 수행 기간 동안, 하이퍼 스펙트럴 이미징 기반 과채류 표면 스펙트럴 측정시스템, 테라헤르츠 레이저 기반 표면 수분측정 시스템, 백색광 간섭계 기반 표면측정 시스템, 모아레 간섭 기반 3차원 형상측정 시스템을 성공적으로 구축하였음
정량적 목표 특허출원 3건, 특허등록 2건, 기술이전 1건, 기술인증 1건, 제품화 1건, SCI급 논문(IF: 5) 1편, 학술발표 2회, 홍보전시 1회	초기에 목표 했었던 정량적 목표를 대부분 달성하였음. 다만 발표된 논문 저널의 영향력지수(IF)는 목표치보다 낮았음 (달성도 약 95%), 또한 당초 목표하였던 기술인증 1건에 관해서 기술인증 진행과정 중 보충사항이 발견되어 달성하지 못했지만 기술 인증기관의 의견을 수렴하여 특허등록과 기술 이전을 성공하여 기술인증 계획중에 있음

3. 연구목표 대비 성과

(단위 : 건수, 백만원, 명)

성과목표	사업화지표												연구기반지표								
	지식재산권				기술실시(이전)		사업화					기술인증	학술성과				교육지도	인력양성	정책활용·홍보		기타(타연구활용등)
													논문								
	특허출원	특허등록	품종등록	SMART평균등급	건수	기술료	제품화	매출액	수출액	고용창출	투자유치		SCI	비SCI	논문평균IF	학술발표			정책활용	홍보전시	
단위	건	건	건		건	백만원	건	백만원	백만원	명	백만원	건	건	건		건		명	건	건	
가중치																					
최종목표	3	2			1		1					1	1		5	2				1	
당해년도 목표																					
당해년도 실적	3	2			1		1					0	1		3.25	2				1	
달성률(%)	100	100			100		100					0	100			100				100	

[별첨 2]

4. 핵심기술

구분	핵 심 기 술 명
①	백색광 간섭계 기술
②	모아레 기술
③	하이퍼 스펙트럴 이미징 기술
④	테라헤르츠 기반 이미징

5. 연구결과별 기술적 수준

구분	핵심기술 수준					기술의 활용유형(복수표기 가능)				
	세계최초	국내최초	외국기술복제	외국기술소화·흡수	외국기술개선·개량	특허출원	산업체이전(상품화)	현장애로해결	정책자료	기타
①의 기술					O		O	O		
②의 기술					O		O	O		
③의 기술					O		O	O		
④의 기술					O		O	O		

* 각 해당란에 v 표시

6. 각 연구결과별 구체적 활용계획

핵심기술명	핵심기술별 연구결과활용계획 및 기대효과
①의 기술	과채류 표면 변형을 통한 품질 비교에 활용
②의 기술	과채류의 3차원 데이터베이스 구축 및 품질분석에 활용
③의 기술	과채류의 표면 스펙트럼 측정을 통한, 품질 분석에 활용
④의 기술	과채류의 수분함유량을 분석하여 품질 및 변질 관련 연구에 활용

7. 연구종료 후 성과창출 계획

(단위 : 건수, 백만원, 명)

성과목표	사업화지표												연구기반지표								
	지식재산권				기술실시(이전)		사업화					기술인증	학술성과				교육지도	인력양성	정책활용·홍보		기타(타연구활용등)
													논문								
	특허출원	특허등록	품종등록	SMART	건수	기술료	제품화	매출액	수출액	고용창출	투자유치		SCI	비SCI	논문평균IF	학술발표			정책활용	홍보전시	
단위	건	건	건	평균등급	건	백만원	건	백만원	백만원	명	백만원	건	건	건		건		명	건	건	
가중치																					
최종목표	3	2			1		1					1	1		5	2				1	
연구기간내 달성실적	3	2			1		1					0	1		3.25	2				1	
연구종료후 성과창출 계획	2	1			1		1					1	3		3					1	

[별첨 2]

8. 연구결과의 기술이전조건(산업체이전 및 상품화연구결과에 한함)

핵심기술명[1]	나비넥타이 형상을 갖는 편광 장치를 이용한 편광 분석방법 기술		
이전형태	□무상 ☑유상	기술료 예정액	5,000 천원
이전방식[2]	□소유권이전 ☑전용실시권 □통상실시권 □협의결정 □기타( )		
이전소요기간	3개월	실용화예상시기[3]	2023년
기술이전시 선행조건[4]	기술지도		

주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부에서 시행한 첨단생산기술개발사업의 연구보고서입니다.

2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 농림축산식품부에서 시행한 첨단생산기술개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.

3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.