

11-1543
000-002
366-01

발간등록번호

11-1543000-002366-01

파프리카, 토마토 온실 내 신선도 유지를 위한 이송기 개발

2018

농림축산식품부

첨단생산기술개발사업 R&D Report

파프리카, 토마토 온실 내
신선도 유지를 위한 이송기 개발

최종보고서

2018. 9. 27.

주관연구기관 / 서울대학교
협동연구기관 / SB산업

농림축산식품부

<제출문>

제 출 문

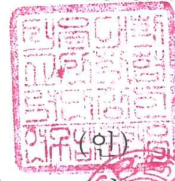
농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “파프리카, 토마토 온실 내 신선도 유지를 위한 이송기 개발”(개발기간 : 2015. 8. 14. ~ 2018. 8. 13.)과제의 최종보고서로 제출합니다.

2018. 9. 27.

주관연구기관 : 서울대학교 산학협력단
협동연구기관 : S B 산 업

김 성 철
이 원 식



주관연구책임자 : 조 성 인
협동연구책임자 : 이 원 식



국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 보고서 열람에 동의합니다.

보고서 요약서

과제고유번호	315009-3	해 당 단 계 연구 기 간	3차년도 (최종)	단 계 구 분	3차년도 /3차년도
연구사업명	단 위 사 업	농식품기술개발사업			
	사 업 명	침단생산기술개발사업			
연구과제명	대 과 제 명	(해당 없음)			
	세부 과제명	과프리카, 토마토 온실 내 신선도 유지를 위한 이송기 개발			
연구책임자	조 성 인	해당단계 참여연구원 수	총: 22명 내부: 22명 외부: 0명	해당단계 연구개발비	정부: 300,000천원 민간: 100,000천원 계: 400,000천원
		총 연구기간 참여연구원 수	총: 29명 내부: 29명 외부: 0명	총 연구개발비	정부: 900,000천원 민간: 300,000천원 계: 1,200,000천원
연구기관명 및 소속부서명	주관연구기관 : 서울대학교 협동연구기관 : SB산업			참여기업명 SB산업	
국제공동연구	상대국명:			상대국 연구기관명:	
위탁연구	연구기관명: 충남대학교			연구책임자: 정 선 옥	

※ 국내외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 같음

연구개발성과의 보안등급 및 사유	
-------------------------	--

9대 성과 등록·기탁번호

구분	논문	특허	보고서 원문	연구시설 ·장비	기술요약 정보	소프트 웨어	화합물	생명자원		신품종	
								생명 정보	생물 자원	정보	실물
등록·기탁 번호											

국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

구입기관	연구시설·장 비명	규격 (모델명)	수량	구입연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	NTIS 등록번호

요약(연구개발성과를 중심으로 개조식으로 작성하되, 500자 이내로 작성합니다)

보고서 면수

- 현재 원예농가의 문제점에 대해 물리화학적으로 분석하기 위해 농가를 방문하여 시설원예 농가의 시설 현황, 수확작업방식, 선별장까지의 운송 프로세스를 조사하고 신선도 유지를 위한 온실 내에서의 수확 및 운송프로세스를 설계함
- 파프리카, 토마토는 수확 후 온도, 습도 및 미생물 침투에 의해 품질 변화가 쉽게 일어나기 때문에 수확물의 품질을 유지할 수 있는 최적의 조건을 구명하기 위해 품질변화 환경요인 조사 분석 후 외부 환경에 대한 품질변화 실험을 진행함
- 파프리카와 토마토의 모든 품질 매개 변수에 대한 실험 데이터는 회귀 모델에 대해 서로 다른 로그($\ln(x)$) 및 다항식($P(x)$) 회귀 방정식과 결정 계수(R^2)를 이용하여 저장 기간 동안 품질 매개 변수의 변화를 설명하는 데 가장 적합한 모델을 선택하는 데 사용되었음
- 작업자의 부상 또는 수확물 손상을 막기 위한 기계적 조건을 구명하였으며, 이를 작업기계에 적용하여 수확용 작업차와 진동운반차를 제작함
- 요구사항 분석서 작성, 데이터베이스 설계, 시험용 웹사이트 구동 등의 과정을 통해 이력추적시스템을 개발하였고 스마트 디바이스에서도 이를 사용할 수 있도록 함
- ICT 기반의 추가적인 연구성과를 위해 열화상, 초분광 등의 기법으로 작물의 상태를 분석함

222

<요약문>

연구의 목적 및 내용	<p>현재 원예농가에서 파프리카, 토마토를 수확할 때 발생되고 있는 문제점에 대해 물리화학적으로 분석한다. 파프리카, 토마토는 수확 후 온도, 습도 및 미생물 침투에 의해 품질 변화가 쉽게 일어나기 때문에 수확물의 품질을 유지할 수 있는 최적의 조건을 구명한다. 외부환경이 수확물의 품질에 미치는 영향 및 품질유지조건을 구명한 후 그에 따라 학술적으로 활용할 수 있는 품질변화 모델을 개발한다. 현재 원예농가에서는 작업자가 일차적으로 수확한 작물을 수동으로 하강시키고 있는데 이 과정에서 작업자의 부상 또는 수확물 손상이 발생할 수 있기 때문에 이를 해결하기 위한 장비를 개발한다. 수확물을 온실에서 창고로 이송시키는 과정에서 수확물에 가해지는 물리적 충격을 최소화하는 장비를 개발한다. 고부가가치 웰빙 원예작물인 파프리카, 토마토의 위상에 걸맞는 스마트 이력추적시스템을 개발한다.</p>				
연구개발성과	<p>파프리카 농가와 토마토 농가를 방문하여 시설원예 농가의 시설 현황, 수확작업 방식, 선별장까지의 운송 프로세스를 조사하고 기존에 이용 중인 작업차의 주행 특성, 조작방식, 안정성 등을 파악하고 신선도 유지를 위한 온실 내에서의 수확 및 운송프로세스를 설계하였다.</p> <p>파프리카, 토마토 과실의 품질변화 환경요인 조사 분석 후 외부 환경에 대한 품질변화 실험을 진행하였다. 이송과정에서 나타날 수 있는 충격의 영향에 대해 실험한 결과 감모율과 C 방출량, UTM 측정값을 통해 얻어진 modulus의 3 가지 지표가 샘플의 저장기간이 지남에 따른 저장 조건 별, 충격 크기 별 신선도 변화 추이를 가장 잘 표현하는 것으로 나타났다. 또한 파프리카와 토마토의 수확 후 품질변화를 학술적으로 활용 가능하도록 각종 모델식을 개발하였다.</p> <p>수확물의 물리화학적 성질 변화에 관한 각종 실험을 통해 수확물의 신선도를 유지시킬 수 있는 기계적 조건을 구명하였으며, 이를 작업기계에 적용하여 수확용 작업차와 전동운반차를 제작하였다.</p> <p>마지막으로 요구사항 분석서 작성, 데이터베이스 설계, 시험용 웹사이트 구동 등의 과정을 통해 이력추적시스템을 개발하였고 스마트 디바이스에서도 이를 사용할 수 있도록 하였으며, ICT 기반의 추가적인 연구성과를 위해 열화상, 초분광 등의 기법으로 작물의 상태를 분석하였다.</p>				
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	<p>본 연구를 통해 개발된 수확용 작업차 및 전동운반차는 실제 농가 실험을 거친 결과 지금 바로 원예농가 현장에 활용할 수 있는 것으로 확인되었다. 이에 협동연구기관인 SB산업의 주도로 즉시 제품화 작업이 진행되고 있다.</p> <p>서울대학교와 충남대학교가 개발한 파프리카, 토마토의 각종 생리적 반응에 대한 모델식은 각종 연구에 활용되어 시설원예농가에서 사용하는 또다른 장비 개발에도 적용할 수 있을 것으로 생각된다.</p> <p>본 연구를 일반적인 노지과수 산업에 적용하기는 어려운 것으로 판단되나, 시설원예를 통해 재배되는 온실 작물 전반에 대해서는 응용 개발이 가능할 것으로 생각된다. 또는 약간 시설이 열악하여 레일 설비가 갖추어지지 않은 농가에 대해서 추가적인 응용 기체를 개발할 수 있을 것이다.</p> <p>본 연구과제로 개발된 기술은 모두 협동연구기관인 SB산업에서 직접 기술실시 및 산업화를 진행하고 있으므로 별도의 기업화 및 기술이전은 필요하지 않을 것으로 생각된다.</p>				
국문핵심어 (5개 이내)	파프리카	토마토	이송기	온실	신선도
영문핵심어 (5개 이내)	paprika	tomato	transferring machine	greenhouse	freshness

< 목 차 >

제 1 장 연구개발과제의 개요	1
제 2 장 국내외 기술개발 현황	18
제 3 장 연구수행 내용 및 결과	33
제 1 절 농가 방문을 통한 농가별 환경 조사	33
제 2 절 외부 충격에 따른 품질인자 변화 시험	57
제 3 절 파프리카, 토마토의 수확 후 품질변화 모델 개발	95
제 4 절 작업기계 및 이송대차 제작	158
제 5 절 이력추적시스템 개발	179
제 6 절 ICT 기반 발전연구	188
제 7 절 연구성과	203
제 4 장 목표 달성도 및 관련 분야 기여도	207
제 5 장 연구결과의 활용 계획 등	211
붙임. 참고 문헌	212

제 1 장 연구개발과제의 개요

제 1 절 연구개발 목적

1. 연구개발의 최종목표 및 주요내용

가. 최종 목표

파프리카, 토마토를 대상으로 하는 온실 원예에서 수확 후 환경 변화에 따른 수확물의 품질 변화 모델을 획득하고 이를 기반으로 수확물의 신선도를 오랫동안 유지시키는 기술을 개발한다. 그리고 수확물이 온실 내 이송장치에서 덤핑시스템까지 이동하는 과정에서 발생할 수 있는 물리적 충격 요인을 파악하고, 이를 완화할 수 있는 기술을 개발한다. 이렇게 개발된 신선도 유지 기술과 충격 완화 시스템을 실제 원예농가에 적용하여 그 효율성을 보이며, 반자동 기계화 기술을 적용한 생력 이동시스템을 개발하여 작업자 편의성 역시 증대시킬 수 있도록 한다. 마지막으로 이렇게 신선도 유지 기술이 적용되어 품질이 좋은 수확물을 소비자가 안심하고 구매할 수 있도록 가정에서 쉽게 수확물의 이력 및 품질에 대한 정보를 얻을 수 있도록 하는 스마트 이력추적 시스템을 개발한다.

- (1) 파프리카, 토마토의 수확 후 환경 변화에 따른 품질 변화 모델 획득
- (2) 수확 후 운송과정에서 품질 변화를 최소화시키는 품질 유지 기술 개발
- (3) 이송대차, 이송컨테이너, 덤핑시스템에 적용 가능한 수확물 충격 완화 시스템 개발
- (4) 품질 유지 기술과 충격 완화 시스템이 구비된 이송대차, 이송컨테이너, 덤핑시스템 개발
- (5) 온실 내 생산물 이력추적시스템 개발

나. 본 연구 기술과 기존 기술의 개념적 비교

- (1) 기존 기술은 작업자의 동작을 보조하는 기능을 구현하는 데 있어 수동적이고 단편적인 장치 개발에 치중되어 있으므로, 본 연구에서는 보다 복합적이고 자동화된 원예농가 특화 지원설비를 개발하는 방향으로 연구를 추진하였음
- (2) 기존에 존재하는 충격 완화 시스템 관련 기술은 레일에서 이동할 경우에만 적용할 수 있기 때문에, 본 연구에서는 수확물을 선적할 때나 바퀴가 달린 작업차를 통해 이동할 때에도 충격을 완화시킬 수 있는 시스템을 개발하였음
- (3) 기존에 존재하는 덤핑 시스템 관련 기술은 작업자가 컨베이어 벨트에 작업 트레이를 직접 올린 후 이동시켜 수확물을 선별하는 시스템인데 본 연구에서는 이 과정에서 물리적 충격을 최소화할 수 있는 시스템을 개발하였음
- (4) 기존 연구는 수확 전 관리되는 환경특성에 의한 원예작물의 성질 변화를 분석하는 것이 주를 이루고 있으므로, 본 연구과제에서는 수확 후 저장기간 동안의 토마토와 파프리카의 품질 및 성질 변화를 관찰하는 방향으로 연구를 추진하였음
- (5) 수확 후 저장기간 동안 파프리카의 수분 함량에 따른 물리화학적 성질 변화에 관한 기존의 연구는 존재하나, 본 연구과제에서는 온도 및 물리적 손상 등과 같이 품질에 영향을 미칠 수 있는 기타 추가적인 요인들에 대한 연구를 통해 논문을 작성하였음
- (6) 기존 논문은 원예작물의 저장 후 특성을 분석하는 데 있어서 온도만을 지표로 활용한 연구에 치중되어 있으므로, 본 연구과제에서는 저장환경을 이루는 다른 중요한 인자인 습도와 에틸렌 수치 등을 복합적으로 고려하였음
- (7) 기존의 수확물 충격완화 관련 연구의 경우 실질적으로 온실 환경 내에서 발생할 수 있는 진동 및 선과기로 옮길 때의 물리적 충격에 관한 내용이 포함되어 있지 않기 때문에, 본 연구과제에서는 이동 과정에서의 물리적 충격 흡수를 포함한 이송 시스템 및 덤핑 시스템을 개발하였음

제 2 절 연구개발의 필요성

1. 수확물의 장기 보관을 위한 품질유지 최적 조건 구명의 필요성

가. 파프리카 및 토마토 시장 현황

: 파프리카 및 토마토의 해외수출량의 점진적 증가.

- 파프리카는 단위 면적당 소득이 높은 작물로 재배면적과 생산량이 지속적으로 증가하는 중이며, 최근 재배기술이 향상되고, 우량 품종이 공급되어 단위면적당 생산량 역시 크게 증가함 ('10년 97톤/ha → '13년 109톤/ha)
- 파프리카는 매년 지속적으로 재배면적과 생산량이 증가하고 있으며 국내 수요뿐만 아니라 수출을 중심으로 생산하는 고부가가치 원예작물로서의 역할을 하고 있음(표 1)

표 1. 파프리카의 재배면적 및 생산량 추이

구분	'07	'08	'09	'10	'11	'12	'13
재배면적(ha)	320	367	410	424	429	430	575
생산량(톤)	28,870	32,778	36,023	41,396	43,160	50,642	62,622

- 표 2에 따르면 우리나라에서 파프리카를 주로 수출하는 일본의 경우 경쟁국인 네덜란드나 뉴질랜드에 비해 거리적 인접성으로 물류비가 낮고 신선도 유지가 용이하여 가격 및 품질에 경쟁력이 높으며 이는 경쟁국에 비해 소규모 시설이 많은 것과 수출에 특화된 M사이즈를 주력 생산하는 것이 원인임

표 2. 주요 국가별 생산량 및 수출단가

구분	한국(A)	네덜란드, 뉴질랜드(B)	A/B(%)
생산량(단위면적)	150(겨울작형)	240	60
수출단가(엔/kg)	489	597	82

자료) FTA 대응 품목별 경쟁력 제고대책

- 최근 파프리카의 국내 소비가 빠르게 증가하는 추세임
 - 2013년 국내소비량은 40,555톤으로 2009년 대비 2배 이상 증가
 - 국내 생산량 증가와 더불어 대형마트 등 유통업체들의 판매 및 홍보로 다이어트 샐러드, 영양식 볶음요리에 많이 사용됨

표 3. 파프리카의 국내 생산량 및 소비량 추이

연도	2009	2010	2011	2012	2013
국내 생산량	36,023	41,396	43,160	50,642	62,622
국내 소비량	18,298	25,228	26,647	29,877	40,555

자료) 농림축산식품부, KATI 자료

- 국내 원예농가들의 토마토 수출은 '00년 이후 국내 토마토 시장 호조, 일본의 검역 기준 강화 등으로 인해 크게 감소하는 추세였으나 최근 제 2의 파프리카 육성을 위한 정부 정책에 힘입어 파프리카, 장미 등 유사 시설재배 품목에서 토마토로 작목 전환을 하여 수출 산업에 임하는 농가가 늘고 있음
- 이로 인해 지난 5년간 토마토 수출 물량이 꾸준히 증가하고 있으나 수출 물량의 95% 이상이 일본과의 거래일 정도로 현재 대일 수출 의존도가 매우 높은 상태이며 최근 일본 시장의 수요 감소와 국내 생산단가 상승 등으로 생산량 및 수출량이 정체 상태에 있음
- 이에 미국, 캐나다 등의 시장을 개척하는 등 수출경로 다변화를 위한 모색이 필요하며 일본에 비해 상대적으로 먼 물자이동 경로를 감안할 때 수확한 작물의 선도 유지기간을 7일정도 연장시킬 수 있는 기술이 요구됨
- 현재 토마토 재배면적 10a당 생산비는 약 900만원으로 중국·미국보다 현저히 높는데 가장 큰 이유는 타국의 경우 예냉, 세척 등 수확 후 전처리 기술이 실용화 되어 있으나 우리나라는 아직 산지유통시설 및 품질관리기술이 미흡하기 때문으로 이런 기술을 개발 및 보완하여 국제 가격경쟁력을 확보해야 함

표 4. 토마토의 단위 면적당 국가별 생산성 비교.

구 분	한국	일본	미국	중국	네덜란드
단수(kg/10a)	7,642	10,103	8,645	6,944	47,941
생산비(천원/10a)	9,082	-	1,340	1,253	-
노력시간(hr/10a)	2,759	583	94	530	-
생산자가격(원/kg)	1,203	2,737	895	533	875

(자료) FTA 대응 품목별 경쟁력 제고대책 (2012), 국가별 토마토 수급현황

- 우리나라의 토마토 생산량은 1998년 23만 톤에서 2008년 41만 톤으로 약 2배가량 성장하였으며, 연평균 약 5.83%의 높은 성장세를 보여 왔음
- 특히 2002년 이후부터 건강식품이라는 인식이 높아지면서 토마토 소비가 촉진되고 이에 따라 토마토 가격이 상승하여 생산량이 크게 증가

- 국내 토마토 시장의 경우 1인당 토마토 소비량은 지난 10년간 연평균 8.4%씩 증가해 왔으며, 2008년 기준 1인당 소비량은 약 9.6kg 수준으로 추정되고 있음

표 5. 토마토의 연도별 재배면적 추이

구 분		'08년	'09년	'10년	'11년	'12년	'13년
면적	시 설	6008	5951	5270	5,850	6,344	6,054
	노 지	136	237	-	-	-	-
	계	6,144	6,188	5270	5850	6,344	6,054
단수	시 설	6,706	6,320	6,163	6,294	6,822	6,419
	노 지	3,858	3,241	-	-	-	-
생산량	시 설	402,923	376,088	324,806	368,224	432,779	388,624
	노 지	5,247	7,680	-	-	-	-
	계	408,170	383,768	324,806	368,224	432,779	388,624

(자료) '11~'13 「시설채소 온실현황 및 채소류 생산실적」, 농림축산식품부 '08~'11년 「2011 농림수산물통계연보」, 농림축산식품부

- 토마토 재배면적의 경우 2008년 이후 감소세를 보였으나 2011년 이후 토마토의 건강식품에 대한 수요증가로 다시 증가하는 추세를 보임
- 또한 노지재배의 경우 국내 여건상 안정적인 수확량을 얻을 수 없어 농가소득에 문제가 발생하였기 때문에 2010년 이후 토마토 재배는 100% 시설원예로 이루어지고 있음

표6. 토마토의 국가별 교역 규모 추이

국가	구분	'09	'10	'11	'12	'13
합계	물량	928	1,072	1,660	2,437	3,248
	금액	2272	4,000	6,746	9,483	9,895
일본	물량	916	1,034	1,625	2,323	3,225
	금액	2230	3,831	6,522	9,097	9,787
러시아	물량	2	5	11	2.4	3.4
	금액	17	51	97	17	26
홍콩	물량	3	30	16	9	13
	금액	9	106	78	33	53

- 세계적으로도 토마토 교역규모는 매년 증가하고 있는 추세로, 2002년 이후 연평균 약 13.1%씩 증가하여 2008년 약 23,193백만 불 규모로 성장

나. 체계적인 수확 후 품질 변화 모델의 필요성

- 현재 국내의 파프리카와 토마토 농업은 대일 수출 시장에서 성공한 품목을 꼽을 때 첫 번째로 거론될 만큼 수출 효자 산업이지만 최근 일본 시장의 수요 감소와 국내 생산단가 상승 등으로 생산량 및 수출량이 정체 상태에 있음
- 이에 미국, 캐나다 등의 시장을 개척하는 등 수출경로 다변화를 위한 모색이 필요하며 일본에 비해 상대적으로 먼 물자이동 경로를 감안할 때 수확한 작물의 선도 유지기간을 7일정도 연장시킬 수 있는 기술이 요구됨
- 농촌진흥청에서 이를 위해 예냉, 1-MCP 및 MA포장 등 종합기술을 투입하였을 때 현재의 선도유지기간 13~15일을 22~26일까지 연장하여 북미지역에 파프리카를 신선한 상태로 수출하고자하는 연구를 하였으나 이 연구는 예냉 온도와 포장기법에 초점이 맞춰져 있음 (농촌진흥청, 2009)
- 운송과정에서의 품질변화와 저장기간의 온도, 습도 등의 최적 조건에 대한 구체적인 연구가 추가적으로 필요할 것으로 판단됨



- 현재 원예학적으로 연구된 바에 따르면 파프리카와 토마토는 7°C 아래에서는 저온장해를 입으며 13°C 이상에서는 무름병이 확산될 가능성이 있기 때문에 수확 후 저장온도를 일정하게 유지하는 기술이 필요함
- 특히 파프리카는 수분함량이 높아 건조 피해가 자주 발생하기 때문에 적정 습도를 항상 유지할 수 있도록 해야 하는데, 이 현상을 화학적으로 구명해야 할 필요가 있음

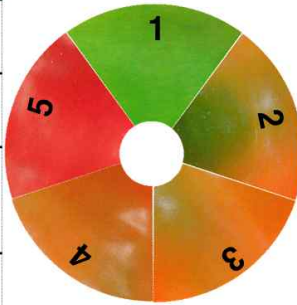
- 현재 원예농가에서는 파프리카의 수확기 판정에 컬러차트를 이용하고 있는데, 이는 수확 전 파프리카의 당도 및 산도를 화학적으로 분석하여 이를 원예농민이 쉽게 확인할 수 있는 작물의 외형 색정보와 연계시킨 것으로 본 연구과제에서도 이를 수확 후 작물에 적용할 수 있을지에 대한 가능성을 모색할 예정



색도 (Hunter)	L	33.1	27.5	32.8	38.9	30.2
	a	-7.8	2.8	14.2	21.3	28.5
	b	12.2	7.4	7.8	10.2	10.2
당도 (oBx)		6.2	6.0	5.8	6.4	7.0
산도 (%)		1.4	1.9	2.1	2.4	2.4

수확기 판정용 칼라차트

색도 (b)	착색율 (%)	내용
1 [15.2]	40~50	▪ 과일의 외형이 다 자라고 빨강색 출현
2 [24.2]	50~70	▪ 과피의 녹색이 없어지는 시기
3 [25.7]	70~85	▪ 과피의 빨강색이 짙어지는 시기 (1-MCP 처리시기, 수확가능, 장기 저장 및 수출용)
4 [27.8]	85~95	▪ 과피의 녹색이 거의 없어지는 시기 [즉시판매용]
5 [29.3]	95<	▪ 과피의 녹색이 없어지는 시기 (즉시 판매용)

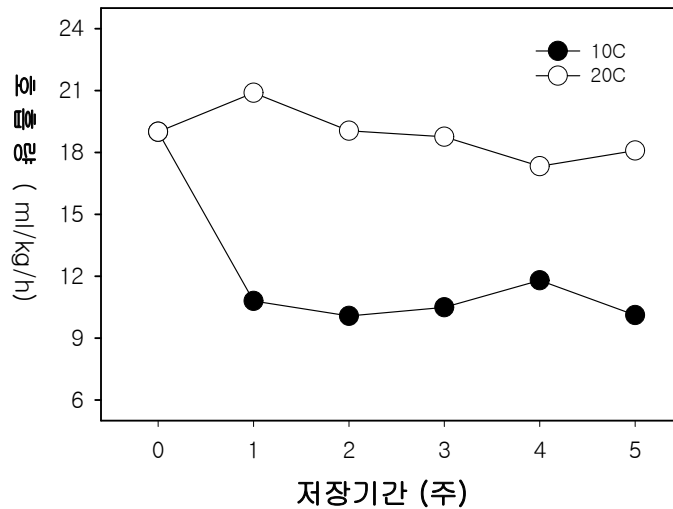


특허 : 10-2008-0080952

2. 수확 직후부터 품질을 유지시킬 수 있는 이송장치 개발의 필요성

가. 파프리카와 토마토의 수확 후 환경제어의 필요성

- 온도에 의한 파프리카의 품질 변화(호흡특성)
 - 파프리카의 수확 후 온도별 호흡량은 20℃에서 18~20, 10℃에서 5~8, 5℃에서는 3~4 ml/kg · h
 - 그림 5에 따르면 호흡량이 많을수록 생리 대사 및 노화속진이 빠르고 또한 호흡열은 품온 상승을 초래하므로 **예냉 및 저온보관을 통한 호흡억제와 호흡열 제거**가 선도유지에 중요함



- 증산작용
 - 파프리카는 높은 온도 및 낮은 습도조건에서 증산작용이 빠르는데, 이때 수분손실로 중량이 감소하며, 위조 및 위축으로 모양 및 조직감이 변하고 부피가 감소하는 등 파프리카의 품질저하 요인으로 크게 작용하므로 **습도를 높게 유지할 필요**가 있음
- 토마토는 숙성정도에 따라 저장온도와 저장기간이 다르고 예냉 여부에 따라 신선도 유지기간이 달라지므로, 효과적인 저장을 위해서 **특별한 온습도 관리가 필요**함
 - 온도 : 녹색기에는 10~13℃, 적숙기에는 8~10℃
 - 습도 : 녹색기에는 90~95%, 완숙기에는 85~90%

- 증산작용

- 그림 6에 따르면 토마토는 저장온도에 따라 증산률의 변화를 보이며 저장온도가 상승할수록 증산률이 증가하는 양상을 보임

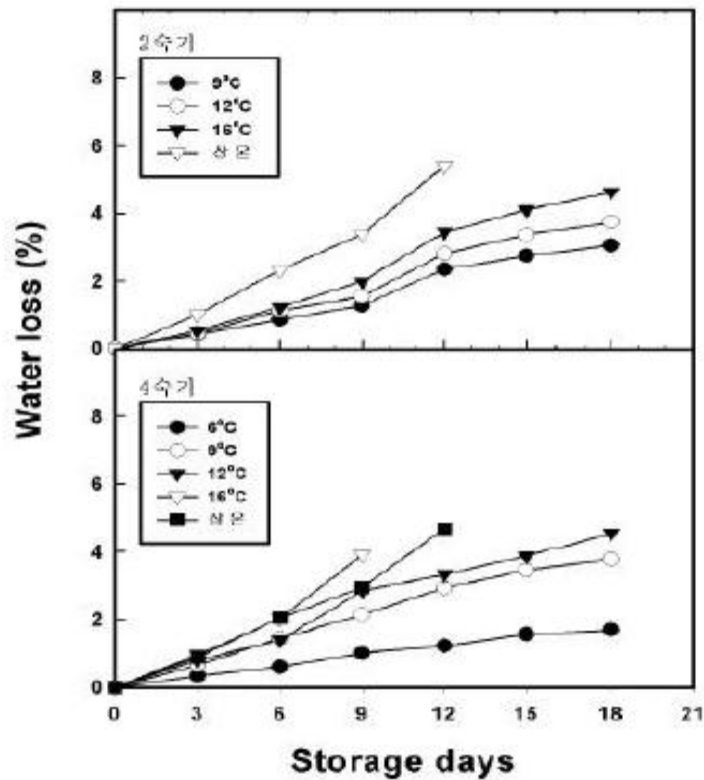


그림 6 토마토의 저장기간 중 저장온도가 무게감소에 미치는 영향

나. 물리적 충격을 완화 시킬 수 있는 시스템 구성의 필요성

- 원예작물을 수확할 때 기계장치 또는 작업자에 의해서 의도치 않게 작물 표면에 미생물이 감염될 수 있으며, 이는 보관 과정에서 다른 정상 작물의 품질에도 영향을 주어 농가의 손실이 됨
- 토마토를 녹숙과와 적숙과로 수확하여 200Km와 400Km의 거리를 수송한 후 과실의 품질을 비교한 결과, 수송 후 열과와 찰상을 더한 손실율은 적숙과의 경우 최대 45.5%를 나타낸 바 있음. (박권우 등., 1998, 수송거리에 따른 녹숙 및 적숙 토마토의 품질변화)
- 농산물을 트럭으로 수송 할 때 발생하는 손실은 주로 진동 가속도와 주파수의 크기, 적재방법과 적재 위치, 수직진동과 수송속도에 영향을 받아 농산물의 손상 형태 및 저장성, 상품성을 결정함(홍종호 등., 2005, 수송 트레일러의 충격흡수장치 개발(II))

다. 체계적인 품질 관리의 필요성

- 파프리카와 토마토는 수확 직후 적절한 예냉을 거치지 않으면 보관 가능 기간이 현저하게 줄어드는데, 이는 국내 소비의 경우 문제가 되지 않으나 수출 작물의 경우 품질 유지 및 가격 경쟁력에서 큰 손실을 보게 하는 원인이 됨 (수확 후 관리기술 매뉴얼, 한국농림수산정보센터)
- 수확 과정에서 이송대차 내에 임시로 저장된 수확물은 서로 호흡특성에 의한 품온 상승을 일으키는데, 이를 방지하기 위한 냉각시스템이 구성되어야 효과적인 품질 관리가 가능하며 작업차에서 이송대차로 수확물을 옮기는 과정에서의 물리적 충격을 흡수할 수 있는 충격 감쇠 기능이 포함된 이송대차 컨테이너의 개발이 필요하며 이송 과정중의 노면에 의한 충격을 완화 시키는 완충장치가 구비될 필요성이 있음

라. 현재 원예작물에서 나타나는 유통단계별 주요 손실 요인 및 개선방안

유통 단계	손실 요인	개선 방안
수확	<ul style="list-style-type: none"> ○ 작업시 기계적 상처에 의한 미생물 감염 ○ 착색 불균일에 의한 상품성 저하 	예냉 및 저온저장, 저온수송에 의해 품질관리가 이루어질수 있도록 관리
수확후 처리	<ul style="list-style-type: none"> ○ 수확 초기의 높은 호흡열에 의한 품질 손상 ○ 세척시 건조 미흡에 의한 품질 손상 	예냉 및 물리적 손상방지 기능을 포함한 수확 후 관리 기술의 개발이 필요
선별 및 포장	<ul style="list-style-type: none"> ○ 거친 작업에 의한 손상, 부적합한 선별(진동)에 의한 손상 ○ 색깔, 크기, 품질 등 품위 불균일 및 부패과와 상처과 혼입에 의한 품질저하 	수확물 충격 완화 시스템을 구비한 이송컨테이너의 필요 부패과 선별
저장	<ul style="list-style-type: none"> ○ 과숙 및 노화에 의한 부패 ○ 저온장해, 생리장해, 병리장해 및 충해에 의한 손상 ○ 수분감소에 의한 위조 	품질 유지 최적 조건 구명 및 품질변화 모델 개발

3. 노동력 부족을 해결하기 위한 반자동 작업 지원 장치의 필요성

가. 현재 원예농가에서 사용되는 이송장치의 보완 필요성

- 현재 파프리카 및 토마토 온실에서 이용되는 작업차는 수확물 하강장치가 부착되어 있지 않아 수확물을 이송대차로 옮길 때 무게가 무거워 작업자의 부상위험이 있음
- 현재 원예농가에서 사용 중인 작업차는 작업자가 쉽게 떨어질 수 있어 안전장치가 필요함



- 하강장치를 이용하여 수확물을 지상으로 이동시킨 후, 이송대차를 이용하여 선과기로 옮기는 과정에서 수확물의 물리적 손상이 가해지는 경우가 많기 때문에 이를 막기 위해 충격완화 시스템을 구비한 이송컨테이너를 이송대차에 설치해야 함
- 작업자가 작물을 선과기에 옮길 경우 많은 노동력이 필요하며 충격에 의해 상품에 손상이 가해질 수 있기 때문에 작물을 안전하게 선과기에 자동으로 덤핑해주는 시스템 필요
- 수확물을 이송대차로 옮길 수 있는 고저조절 가능 작업차 부착식 수확물 하강장치 필요

나. 시설원예 농업에 있어서 노동력 절감과 자동화된 이송장치의 필요성

- 시설원예산업은 토지, 노동, 자본생산성을 극대화해 고품질의 농산물을 안정적으로 공급하여 물가 안정 및 수출확대에 기여할 수 있는 자본·기술집약·미래지향적 산업의 의미를 가지며 과거 지원된 현대화된 시설 등을 바탕으로 농작물의 생산성과 품질 증대 및 시설원예농가의 규모화, 전문화가 꾸준히 진행되고 있음(2012, 농림수산식품부 원예경영과 보도자료)
- 우리나라의 시설원예농업은 작업환경이 불량할 뿐 아니라 많은 노동력이 소요되며, 온실 설치노력과 부족한 자동화시설 등의 단점을 가지고 있음
- 지속적인 농촌의 청년층 감소 및 농촌 노동인구의 고령화로 인해 농가 경영비 내에서 노동비가 차지하는 비중이 점점 늘고 있으며, 이는 고부가가치 산업인 시설원예 농가에도 큰 부담으로 작용함
- 2012년 농림축산식품부에서 발간한 ‘시설채소 온실현황 및 채소류 생산실적’에 따르면 국내 채소생산에 있어 시설원예는 62,908ha로 국내 전체 재배 면적의 25%를 차지하고 있지만, 우리나라 전국 농가 인구는 1990년 666만 명에서 2000년 403만명, 2003년 352만 명으로 그 수가 감소하고 있음
- 우리나라 시설원예의 경우 10a의 면적당 103~168인의 연인원이 소요됨으로써 노지재배보다 2~6배의 노동력이 소요됨 (강정일 외, 시설원예농업의 실태 및 육성방안에 관한 연구)
- 그 중에서 특히 인력이 소요되는 작업은 수확작업에서부터 선과기 투입까지의 과정으로, 이 부분에서의 인력 소모를 줄일 수 있다면 농가 소득 증진에 큰 도움이 됨
- 농가 인구의 점진적 감소로 시설원예 산업의 전문화에 필요한 시설원예시설 설비에 대한 연구가 요구되며 이에 기존에 많이 사용하고 있는 운반차, 선별기, 관리기 이외에 작업 부하를 경감시키기 위한 자동화 기계에 대한 관심이 증가하고 있음 (Lee et al., 2010, Evaluation of Convenience Equipment for Improve Work Efficiency and Preventing of Farm Work-Related Musculoskeletal Disorders)
- 감소되는 농가 일손에 대응한 생력 재배로 농가 경영비를 절감할 수 있으며, 자동화 시설의 도입과 함께 연작피해를 줄일 수 있는 생산기술의 발달이 절실히 요구됨
- 벼섯 재배에서 시설농업 기계를 사용하기 전과 후의 작업성능 차이에 관한 연구를 보면, 생력 재배를 통해 농가의 인력난 및 경영비 문제를 해결할 수 있다는 것을 알 수 있음 (엄기수 등., 2002, 농작업부담경감을 위한 설비 개발)

항목	개선전	개선후	비교	단위
수확	73.1분	62.8분	10.3분 (16.45%)	3명, 211kg
선별	45.3초	39.9초	5.9초 (14.8%)	버섯 1개
포장	50.9초	38.3초	12.6초 (32.9%)	400g 포장
운반 (8hr)	999m 45분	313m 14.7분	6.86m 30.3분	Box-A 18kg Box-B 15kg

- 시설원예 재배의 경우 대부분 비닐하우스 내부에서 작업을 수행하고, 노동집약적인 특성을 가지고 있는데, 그 중 운반 작업이 가장 많은 동작을 필요로 하고, 가장 노동 강도가 센 작업임
- 다량의 수확물은 많은 중량물 작업과 쪼그려 앉은 자세의 작업 및 긴 운반 통로 내에서의 운반 작업을 필요로 하여 이를 개선하기 위한 운반차량에 대한 연구가 많이 수행되어 왔음
- 또한, 농업인들의 열악한 농작업 환경을 개선하고 인간공학적 위험요인을 경감하기 위한 운반 장치, 운반차량, 작업의자, 작업대 등에 대한 개선 사례를 통해, 농기계에 대한 인간공학적인 개선이 농업인의 근골격 질환 예방에 매우 효과적임이 확인됨(이수진 등., Work-related musculoskeletal disorders among agricultural workers, 대한인간공학회지, 2011)
- 통로 내의 운반 작업 뿐 아니라, 최근 자동화된 시설농업에서 사용되는 선과기로의 이동에 있어서 기존의 이송장치에는 수하물의 상하 이동장치가 없어 작업자에게 많은 노동부하가 걸림
- 이에, 현대화된 시설원예시설 및 작업환경에 맞추어 기존의 시설원예 작업 기계가 대체하지 못하는 농작업자의 작업부하를 대체하기 위한 이송장치 및 이송시스템에 대한 연구가 필요함
- 인천광역시 농업기술센터는 2015년 3월부터 하우스 내 무동력 운반기구 설치로 노동력 절감 및 생산성을 향상시키는 ‘시설원예 노동력 절감 시범사업’을 실시하고 있는데, 본 연구개발을 통해 무동력 운반기구의 성능을 뛰어넘는 자동화 시설을 도입할 수 있을 것으로 기대됨

4. 스마트 이력 추적 시스템의 필요성

- 농산물 이력 추적시스템이란 농산물의 안전성 등에 문제가 발생할 경우 해당 농산물을 추적하여 원인을 규명하고 필요한 조치를 할 수 있도록 생산단계부터 판매 단계까지 각 단계별로 정보를 기록 하는 것을 말함
- 2008년 국립농산물품질관리원에서 이력추적 전문 사이트 팜투데이블을 개발하여 농산물 이력 추적 관리 시스템 관련 서비스를 제공하고 있으나 제품의 품질에 대한 정보는 포함되어 있지 않으며 현재 협약 유효기간이 끝나 정보를 확인할 수 없는 업체가 많이 있어 그 실효성에 의문이 제기되고 있음
- 또한 정보를 제공하는 업체와 이를 검색하는 소비자 모두가 편리하게 이용할 수 있는 유저인터페이스(UI)가 추가적으로 개발되어야 할 것으로 판단됨
- 현재 시행중인 농산물 이력 추적시스템은 단순히 생산지에 대한 정보만을 제공하지만 소비자들이 더 원하는 정보는 해당 제품의 신선도 및 품질에 관한 이슈이므로 이에 대한 정보제공이 필요하며 이를 개선할 경우 대내외적 신뢰도가 향상될 것으로 판단됨
- 스마트폰 기기 보급률이 100%를 넘어섬에 따라 모바일 환경에서의 매우 중요해졌기에 모바일 ICT 기반의 스마트 품질 이력 추적 시스템의 개발이 필요함
- 본 연구과제에서는 파프리카와 토마토에 한정된 시스템을 개발할 예정이지만 추후 연구를 통해 다른 원예작물 또는 농산물에 적용함에 따라 빅데이터로써 활용될 가능성이 큼



제 3 절 연구개발 범위

1. 연구의 범위 및 개념

- 파프리카, 토마토 수확과정 프로세스 분석
 - 현재 원예농가에서 파프리카, 토마토를 수확할 때 발생되고 있는 문제점에 대해 물리화학적으로 분석한다.

- 파프리카, 토마토 품질유지 최적 조건 구명
 - 파프리카, 토마토는 수확 후 온도, 습도 및 미생물 침투에 의해 품질 변화가 쉽게 일어나기 때문에 수확물의 품질을 유지할 수 있는 최적의 조건을 구명한다.

- 파프리카, 토마토 과실의 외부환경 노출에 따른 품질변화 모델 개발
 - 외부환경이 수확물의 품질에 미치는 영향 및 품질유지 조건을 구명한 후 그에 따라 학술적으로 활용할 수 있는 품질변화 모델을 개발한다.

- 고저조절 가능 작업차 부착식 수확물 하강장치 개발
 - 현재 원예농가에서는 작업자가 일차적으로 수확한 작물을 수동으로 하강시키고 있는데 이 과정에서 작업자의 부상 또는 수확물 손상이 발생할 수 있기 때문에 이를 해결하기 위한 작업차 부착식 수확물 하강장치를 개발한다.

- 운송과정 품질변화를 최소화하는 수확물 이송대차 및 이송컨테이너 개발
 - 수확물을 온실에서 창고로 이송시키는 과정에서 수확물에 가해지는 물리적 충격을 최소화하는 이송대차 및 이송컨테이너를 개발한다.

- 수확물 선과기 덩핑시스템 개발
 - 수확물이 컨테이너에서 선과기로 이송되는 과정에서 작업 효율이 떨어지고 불필요한 수확물 손상이 일어나기 때문에 이를 방지하는 반자동 덩핑시스템을 개발한다.

- 온실 내 생산물 이력추적시스템 개발
 - 고부가가치 웰빙 원예작물인 파프리카, 토마토의 위상에 걸맞게 소비자들이 요구하는 정보도 늘어남에 따라 기본적인 원산지, 작업자 정보뿐만 아니라 품질관리에 대한 정보를 포함하는 스마트 이력추적시스템을 개발한다.

2. (제 1 세부) 서울대학교, 충남대학교(위탁) : 파프리카, 토마토 수확 생력 이동시스템 및 품질유지를 위한 이력추적시스템 개발

- 파프리카, 토마토의 수확 프로세스 분석 및 품질유지 조건 구명을 통한 품질변화 모델 개발

- 수확 및 이송과정에서 발생할 수 있는 물리적 손상을 판단할 수 있는 지표 구명
 - 온습도 변화에 따른 원예작물의 화학적 성질 변화 조사
 - 온실 원예작물(파프리카, 토마토)의 품질변화 모델식 개발 및 구축
- 온실 내 운송 과정에서 품질 손상을 최소화하는 이송 기술 개발
 - 온실 내 수확물 이송 프로세스 분석
 - 수확물의 물리화학적 성질 변화 구명을 통한 신선도 유지 기술 개발
 - 자체 시뮬레이션 및 현장 적용을 통한 성능 시험
 - 소비자 접근성을 높인 파프리카, 토마토 전용 이력추적시스템 개발
 - 원예농민과 소비자가 모두 활용하기 쉬운 시스템 인터페이스 개발
 - 기존의 정부 이력추적시스템과 데이터베이스 연동 가능한 시스템 개발
 - 스마트 디바이스에서 활용할 수 있는 이력추적시스템 플랫폼 개발

가. 제 1세부 관련 선행연구

연구 목표	관련 보유 기술 및 연구 경험
파프리카, 토마토의 수확 프로세스 분석 및 품질유지 조건 구명을 통한 품질변화 모델 개발	<ul style="list-style-type: none"> ○ 과제명 : 지능형 가정용 새싹채소 자동 재배 시스템 개발 (주관 책임) - 최적 생육 환경 구현 컨트롤러 및 자동 재배 시스템 개발(광, 관수, 온도 제어) - 새싹채소류의 성장발육 환경 구명 및 생육 프로파일 개발 - 영상처리를 통한 새싹채소 생육상태 모델 개발
온실 내 운송 과정에서 품질 손상을 최소화하는 이송 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> ○ 과제명 : 한우육의 냉장 저장 프로파일 및 냉장 시스템 개발 - 냉각방식(직냉, 간냉)에 따른 저장성 특성 평가 - 열 유동 유체해석을 통한 냉장시스템 설계 및 제작 - 냉장 온도 제어 및 특성 평가
소비자 접근성을 높인 파프리카, 토마토 전용 이력추적시스템 개발	<ul style="list-style-type: none"> ○ 과제명 : u-IT 융복합기술 기반의 노지 과수 생산 관리 시스템 개발 (2세부) - 과수농업 전문가시스템 및 생육정보를 확인할 수 있는 홈페이지 개발 - 과수농업 지원 홈페이지 모바일 웹 개발 ○ 지능형 가정용 새싹채소 자동 재배 시스템 개발 (주관 책임) - RFID-tag system을 이용한 지능형 재배 시스템 개발 - 생육정보 RFID data map 개발

3. (제 1 협동) SB산업 : 파프리카, 토마토 온실 내 이송시스템 제작 및 성능시험

- 고저조절이 가능하여 작업자 편의성을 높인 작업차 부착식 수확물 하강장치 개발
 - 레일식 이동과 차륜구동식 이동이 모두 가능한 작업차 개발
 - 리프트 기능이 있는 작업차에 적용 가능한 수확물 하강장치 개발

- 수확물 품질 손상을 막는 이송 기술을 적용한 수확물 이송대차 및 이송컨테이너 개발
 - 원예작물의 특성을 고려한 수확물 충격 완화시스템 개발
 - 작업자의 작업 효율을 높이는 이송대차 개발
 - 수확물 품질 손상에 대한 자체 시뮬레이션 결과가 적용된 수확물 이송컨테이너 개발

- 파프리카, 토마토의 특성을 고려한 반자동 선과 덩핑시스템 개발
 - 현재의 수동 덩핑시스템 구조 분석 및 문제점 파악
 - 수확물에 가해지는 물리적 충격을 줄이는 덩핑시스템 구조 결정
 - 원예작물의 특성을 고려한 반자동 선과 덩핑시스템 개발

유통 단계	손실 요인	개선 방안
수확	<ul style="list-style-type: none"> ○ 작업시 기계적 상처에 의한 미생물 감염 ○ 착색 불균일에 의한 상품성 저하 	예냉 및 저온저장, 저온수송에 의해 품질관리가 이루어질수 있도록 관리
수확후 처리	<ul style="list-style-type: none"> ○ 수확 초기의 높은 호흡열에 의한 품질 손상 ○ 세척시 건조 미흡에 의한 품질 손상 	예냉 및 물리적 손상방지 기능을 포함한 수확 후 관리 기술의 개발이 필요
선별 및 포장	<ul style="list-style-type: none"> ○ 거친 작업에 의한 손상, 부적합한 선별(진동)에 의한 손상 ○ 색깔, 크기, 품질 등 품위 불균일 및 부패과와 상처과 혼입에 의한 품질저하 	수확물 충격 완화 시스템을 구비한 이송컨테이너의 필요 부패과 선별
저장	<ul style="list-style-type: none"> ○ 과숙 및 노화에 의한 부패 ○ 저온장해, 생리장해, 병리장해 및 충해에 의한 손상 ○ 수분감소에 의한 위조 	품질 유지 최적 조건 구명 및 품질변화 모델 개발

4. 연구기관별 연구내용 및 RFP 해당 항목

- 파프리카, 토마토 수확과정 프로세스 분석
 - 현재 원예농가에서 파프리카, 토마토를 수확할 때 발생되고 있는 문제점에 대해 물리화학적으로 분석한다. 이는 주로 서울대학교에서 담당하였으며 이 과정을 통해 확인된 문제사항을 해결하는 장비를 SB산업에서 제작하였다. 연구보고서에서 3장 1절에 해당한다.

- 파프리카, 토마토 품질유지 최적 조건 구명
 - 수확 후 온도, 습도 및 미생물 침투에 의해 일어날 수 있는 품질 변화가 어느정도인지 확인하고 수확과정 프로세스에서 일어날 수 있는 물리적 변화와 비교하여 이송기 제작시 무엇을 더 중요시해야 할지 판단하였다. 이는 서울대학교에서 담당하였으며 그 결과는 연구보고서 3장 6절 1번 항목으로 정리하였다.

- 파프리카, 토마토 과실의 외부환경 노출에 따른 품질변화 모델 개발
 - 외부환경이 수확물의 품질에 미치는 영향 및 품질유지 조건을 구명한 후 그에 따라 학술적으로 활용할 수 있는 품질변화 모델을 개발한다. 이는 충남대학교에서 담당하였으며 연구보고서 3장 3절에 해당 내용을 서술하였다.

- 고저조절 가능 작업차 부착식 수확물 하강장치 개발
 - 서울대학교에서 분석한 수확과정 프로세스를 통해 작업자의 부상 또는 수확물 손상이 발생할 수 있음을 확인하였고 이를 해결하기 위한 작업차 부착식 수확물 하강장치를 개발하였다. 이는 SB산업에서 담당하였고 이를 통해 보고서 3장 4절이 작성되었다.

- 운송과정 품질변화를 최소화하는 수확물 이송대차 및 이송컨테이너 개발
 - SB산업에서 담당하였으며, 수확물을 온실에서 창고로 이송시키는 과정에서 수확물에 가해지는 물리적 충격을 최소화하는 이송대차를 개발하였다. 농가 구매의향 및 가격 등의 경제적인 문제를 고려하여 이송컨테이너는 이송대차 내부의 진동감쇄를 강화하는 것으로 대체되었다. 보고서 3장 4절에 해당 내용을 작성하였다.

- 수확물 선과기 덩핑시스템 개발
 - 수확물이 컨테이너에서 선과기로 이송되는 과정에서 작업 효율이 떨어지는 것을 방지하는 반자동 덩핑시스템을 개발하였다.

- 온실 내 생산물 이력추적시스템 개발
 - 소비자들이 알고자 하는 정보가 늘어나는 흐름에 따라 기본적인 원산지, 작업자 정보뿐만 아니라 국가인증 품질정보에 대한 연계기능을 포함한 스마트 이력추적시스템을 개발하였다. 이는 전체 과제 흐름과는 떨어져 있지만 과제 공모 당시 RFP에 명시되어 있던 내용에 의해 개발하였고, 서울대학교에서 담당하였다. 연구보고서 3장 5절에 해당한다.

제 2 장 국내외 기술개발 현황

제 1 절 국내 기술개발 현황

1. 국내 논문 연구현황

- 논문 검색 시스템을 통하여 문헌을 조사하였으며, 주요 문헌을 표 7에 파프리카와 토마토를 구분하여 요약하였음
- 최근 연구개발 동향은 과채류 수확 후 품질 손실을 줄이기 위한 수확 후 관리 기술에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 환경 변수는 온도, 습도, 이산화탄소, 에틸렌 가스 등으로 구분할 수 있었음. 수확 후 바로 저장, 유리온실에 하루 동안 차광하여 방치, 유리온실에 하루 동안 비차광하여 방치 등 수확한 작물의 보관 환경에 따른 품질변화 연구가 진행되고 있음
- 과채류 수확 후 서로 다른 화학 물질을 사용하여 토마토 품질을 유지하기 위한 몇 가지 사전 저장 처리가 연구되었으며 일부 긍정적인 효과가 발견되어 계속 연구가 진행되고 있음
- 현재 농부들은 수확 된 제품을 가공 및 보관 센터로 운송하기 위해 만나질 또는 하루 전에 온실에 방치 해 두고 있기에 저장 전처리 기술이 토마토의 수확 후 품질에 미치는 영향을 탐구하는 연구가 진행되고 있음

표 7. 국내 논문

학술지명/저자	게재년도	논문 제목	내용
J of Biosystems Eng / Shim, J. Y., et al.	2016	Physicochemical quality changes in Chinese cabbage with storage period and temperature: A Review	저장 온도 및 저장 기간에 초점을 맞추어 다양한 저장 환경에 따라 배추의 품질 지표 및 기능성 화합물의 변화에 대한 다양한 연구를 검토
Korean J of Agric Sci / Lim, B. S., et al.	2016	Effects of ethylene treatment on postharvest quality in kiwi fruit	키위 열매 수확 후 에틸렌 처리 (정확한 온도와 에틸렌 농도)가 품질에 미치는 영향에 대한 연구
Korean J of Agric Sci / Choi, J. H., et al.	2017	Effect of 1-methylcyclopropene on quality of new mid-season Asian pear 'Changjo' during simulated marketing	1-methylcyclopropene의 처리가 과일 품질과 생리장애 발생률에 미치는 영향을 조사하기 위한 연구

Korean Journal of Agricultural Science / Lim, B. S., et al	2016	Effects of ethylene treatment on postharvest quality in kiwi fruit	키위 열매의 수확 후 품질에 대한 에틸렌 농도의 영향과 최적 저장온도 조사
Journal of Biosystems Engineering / Kusumaningrum, D., et al.	2015	A review of technologies to prolong the shelf life of fresh tropical fruits in Southeast Asia	열대 과일의 유통 기한을 연장하는 주요 요인을 결정하는 방법과 동남아시아 열대 과일의 수확 후 기술 개발
The Korean Journal of Food And Nutrition / Kim, J. H., et al.	2010	Effect of storage temperature on the quality of tomato	토마토는 5일 동안 서로 다른 온도에서 보관하여 저장 기간 동안 Brix, pH, 색깔, 질감, 비타민 C, lycopene을 분석
Horticultural Science & Technology / Tilahun, S., et al.	2017	Effects of storage duration on physicochemical and antioxidant properties of tomato(Lycopersicon esculentum Mill.)	토마토의 저장 기간과 관련된 물리화학적 및 영양적 변화를 분석. 탄력, 무게 감률, 색, SSC, 산도(TA), pH, 리코펜, 아스코르빈산, 페놀릭 및 항산화 활성을 평가
Horticultural Science & Technology / Taye, A. M., et al.	2017	Effects of continuous application of CO ₂ on fruit quality attributes and shelf life during cold storage in cherry tomato.	방울토마토의 수확 후 처리로서 5%의 CO ₂ 를 지속적으로 사용하여 숙성단계에서 과일 품질이 떨어지지 않고 2주 동안 저장가능
Critical reviews in food science and nutrition / Barrett, D. M., et al.	2010	Color, flavor, texture, and nutritional quality of fresh-cut fruits and vegetables: desirable levels, instrumental and sensory measurement, and the effects of processing	야채, 과일의 모양, 질감, 맛, 향기를 포함한 품질에 수확 후 처리 기술과 처리의 효과 설명
Journal of Food Engineering / Nesvadba, P., et al.	2004	Database of physical properties of agro-food materials	화학적 구성과 구조로부터 식품의 물리적 특성을 예측하기 위한 모델 / 소프트웨어 개발

2. 국내 기술 특허현황

- 특허정보 검색 시스템을 통하여 특허를 조사하였으며, 주요 특허는 표 8에 요약하였음
- 국내의 경우 작업자의 동작을 보조하는 기능을 구현하는 연구가 많이 진행되고 있는 것으로 보임. 또한 수확 후 즉시 운반할 때 충격 완화 시스템 개발이 활발히 진행되고 있음
- 수확물을 선별하는 덩핑 시스템 관련 연구도 활발함

표 8. 국내 특허

등록번호	등록일자	발명의 명칭	출원인
10-1690911	2016.12.22	수확 후 과실 품질 관리기	주식회사 우리공업
10-0465831	2004.12.31	과채류의 저장성을 향상시키는 식물유래의 천연항균제 및 그 제조방법	학교법인 영광학원
10-0495929	2005.06.08	전해알칼리수를 이용한 감귤류의 저장성 증강방법	학교법인 영광학원
10-1586381	2016.01.12	저장성 및 냉해동성이 개선된 신선 편의 과일 코팅제 및 이의 제조방법	충북대학교 산학협력단 (주) 씨엔에프
10-1604225	2016.03.11	과채류의 신선도 유지를 위한 신선도 유지 조성물	주식회사 준원지비아이 주식회사 라이브박스
10-0701337	2007.03.22	미세 다공성 용기를 사용한 저장 용기	경남대학교 산학협력단
10-1746080	2016.12.16	호흡성 과일의 예냉 제습기 및 이를 이용한 예냉 제습 방법	(주)이더
10-1388054	2014.04.16	단호박의 저장성 향상방법	농업협동조합중앙회
10-1634936	2016.06.24	다목적 과실 저장고 시스템	김종연 제주대학교 산학협력단
10-1784473	2017.09.27	배 큐어링 및 저장 방법	(주)지엠아이
10-1741489	2017.06.24	가공 식품용 매실의 저장 방법	한국식품연구원
10-0495929	2006.06.08	전해 알칼리수를 이용한 감귤류의 저장성 증강방법	학교법인 영광학원

제 2 절 국외 기술개발 현황

1. 국외 논문 연구현황

- 논문 검색 시스템을 통하여 문헌을 조사하였으며, 주요 문헌을 표 9에 요약하였음
- 최근 몇 년간 연구 동향을 보면 품질과 유통기한에 큰 영향을 줄 수 있는 수확 후 처리에 대한 연구가 활발히 진행되고 있음
- 품질과 유통기한을 늘리기 위한 각각의 과채류에 대한 최적의 냉각온도와 상대습도에 대한 연구가 이루어지고 있음
- 냉각지연에 따른 품질손상에 대한 연구가 이루어지고 있음

표 9. 국외 논문

학술지명/저자	게재년도	논문 제목	내용
J Agric Food Chem / Curl, A. L.	1962	The carotenoids of red bell peppers	붉은 피망의 카로티노이드에 대한 연구
J Agric Food Chem / Curl, A. L.	1964	The carotenoids of green bell peppers	초록 피망의 카로티노이드에 대한 연구
J Agric. Food Chem / Matus, Z., et al.	1991	Carotenoid composition of yellow pepper during ripening: Isolation of β -cryptoxanthin 5, 6-epoxide	숙성 도중 다양한 황색 파프리카 (Szentesi sárga paradicsom paprika)에서 카로티노이드의 양적 변화를 연구하고 C의 카로티노이드 생합성을 상호 연관시킴
J Agric Food Chem / Marin, A., et al.	2004	Characterization and quantitation of antioxidant constituents of sweet pepper (Capsicum annum L.)	파프리카의 각기 다른 성숙 단계에서의 항산화 성분 함량의 차이 및 정량에 대한 연구
J Food Chem / Maria, S., et al.	2010	Antioxidant and nutritive constituents during sweet pepper development and ripening are enhanced by nitrophenolate treatments	nitrophenolate 처리를 통한 파프리카 숙성 과정에서의 항산화 및 영양성분 향상에 대한 연구

LWT-Food Sci Technol / Topuz, A., et al.	2009	The effect of drying method and storage on color characteristics of paprika	파프리카의 건조 방법 (RWD 건조, 동결 건조, 열풍 건조, 자연 대류 건조), 저장 방법에 따른 색채 특성에 대한 연구
J Food Compos Anal / Vanderslice, J. T., et al.	1990	Ascorbic acid and dehydroascorbic acid content of food-as-eaten	고성능 액체 크로마토그래피를 사용하여 미국 식단에서 비타민 C의 주요 공급원 인 아스코르브 산과 데 하이드로 아스코르빈산 함량을 측정 및 적절한 비타민 C 섭취량을 결정하기 위한 영양 성분 연구
J Food Comp Anal / Simonne, A. H., et al.	1997	Ascorbic acid and provitamin A contents in unusually colored bell peppers (Capsicum annum L.)	비정상적으로 착색 된 피망의 아스코르빈산 과 프로 비타민 A 함량에 대한 연구
Agric Trop Subtrop / Nyanjage, M. O., et al.	2005	Extending post-harvest life of sweet pepper (Capsicum annum L. 'California Wonder') with modified atmosphere packaging and storage temperature	포장상태 (열린 트레이, 비 천공 및 천공 된 폴리에틸렌 백), 보관온도에 따른 파프리카 수확 후 수명연장에 대한 연구
Hort Science / Lownds, N. K., et al.	1993	Relationship between postharvest water loss and physical properties of pepper fruit (Capsicum annum L.)	고추의 수확 후 수분 손실과 물리적 성질 (초기 수분 함량, 표면적, 표면적 : 부피비 (SA : V), 표피 무게, epicuticularwax 함량, 표면 형태학)의 관계에 대한 연구
In: Proc. Int. workshop, Chiang Mai, Thailand., ACIAR / Simmons, S. L., et al.	1997	Effects of preharvest calcium sprays and fertilizer, leaf: Fruit ratios and water stress on mango fruit quality	수확 전 칼슘 스프레이와 비료 및 엽과비, 수분부족이 망고의 품질에 미치는 영향에 대하여 조사
Trop Agric Res / Hameed, R., et al.	2013	Evaluating the effect of different storage conditions on quality of green chillies (Capsicum annum L.)	여러 저장 조건에 따른 풋고추의 품질에 대한 영향 평가

Postharvest Biol Technol / Tano, K., et al.	2007	Comparative evaluation of the effect of storage temperature fluctuation on modified atmosphere packages of selected fruit and vegetables	특정 과일 및 채소의 포장과 온도변화에 따른 농산물 안전성에 대한 연구
Int J Agron / Arah, I. K., et al.	2015	Preharvest and postharvest factors affecting the quality and shelf life of harvested tomatoes: A mini review	수확 전 및 수확 후 토마토의 품질과 저장 수명에 영향을 미치는 요인을 적절히 이해하고 관리하면 토마토의 수확 후 품질 손실을 줄일 수 있다는 연구
Springer Publishing, E. Lichtfouse (ed.) / El-Ramady, H. R., et al.	2015	Sustainable agriculture reviews 15	농장 수익성에 미치는 요인, 아프리카의 지속가능한 농업에서의 토양 비옥도 및 작물 생산성 등 지속 가능한 농업에 대한 검토
Postharvest Biol Technol / Paull, R. E.	1999	Effect of temperature and relative humidity on fresh commodity quality	온도와 상대습도가 과일 및 채소의 품질에 미치는 영향에 대한 연구
Perishables Handling Quarterly / Thompson, J., et al.	2001	Effect of cooling delays on fruits and vegetable quality	냉각 지연이 과일 및 채소 품질에 미치는 영향에 대한 연구
FAO Agric Serv Bull / Kader, A. A., et al.	2004	The role of postharvest management in assuring the quality and safety of horticultural produce	원예 농산물의 품질과 안전성 확보에 있어 수확 후 관리의 역할에 대한 내용의 도서
J. Food Pack. Shelf Life / Chitravathi, K., et al.	2015	Influence of modified atmosphere packaging on shelf-life of green chillies (Capsicum annum L.)	풋고추의 수확 후 유통기한에 대한 변형공기포장법(MAP)의 효과에 대한 연구

DEStech Publications, Inc., Pennsylvania: Lancaster / Ramaswamy, H. S.	2015	Post-harvest technologies of fruits and vegetables	과일 및 채소의 수확 후 기술에 대한 내용의 도서
Crop production science in horticulture 2nd edn., CABI Publishing, Wallingford, UK / Bosland, P. W., et al.	2012	Peppers: vegetable and spice capsicum	고추에 관한 정보를 정리한 도서
Springer Publishing, E. Lichtfouse (ed.) / El-Ramady, H. R., et al.	2015	Sustainable agriculture reviews 15	농장 수익성에 미치는 요인, 아프리카의 지속가능한 농업에서의 토양 비옥도 및 작물 생산성 등 지속 가능한 농업에 대한 검토
Int J Biotechnol Mol Biol Res / Tsegay, D., et al.	2013	Effects of harvesting stage and storage duration on postharvest quality and shelf life of sweet bell pepper (<i>Capsicum annuum</i> L.) varieties under passive refrigeration system	수확 단계 및 저장 기간이 수동 냉동 시스템에서 파프리카 품종의 수확 품질 및 저장 수명에 미치는 영향
HortScience / Di'az-Pe'rez, J. C.	2013	Bell pepper (<i>Capsicum annuum</i> L.) crop as affected by shade level: microenvironment, plant growth, leaf gas exchange, and leaf mineral nutrient concentration	두 개의 온실 파프리카 품종의 보다 나은 품질과 더 긴 저장 수명을 보장할 수 있는 PRS 하에서의 수확 및 저장기간에서의 성숙의 최적 단계를 확인하는 연구

Food and Feed Res / Belović, M. M., et al.	2014	Change of surface colour parameters during storage of paprika (<i>Capsicum annuum</i> L.)	파프리카 저장 시 색상 매개변수에 따른 파프리카 표면색의 변화에 대한 연구
Postharvest Biol Technol / Cheema, A., et al.	2018	Postharvest hexanal vapor treatment delays ripening and enhances shelf life of greenhouse grown sweet bell pepper (<i>Capsicum annuum</i> L.)	파프리카 수확 후 최적의 헥스알데하이드 증기 처리는 파프리카의 품질과 유통기한을 효과적으로 향상시킬 수 있다는 연구
J Am Soc Hortic Sci / Kader, A. A., et al.	1977	Effect of fruit ripeness when picked on flavor and composition in fresh market tomatoes	신선한 마켓 토마토의 풍미와 성분을 정선했을 때의 과일성숙의 효과에 대한 연구
Indian J Biochem Biophys / Satyan, S. H., et al.	1983	Organic acid metabolism during ripening of fruits	과일 숙성 도중 유기산 물질 대사에 대한 연구
Crit Rev Food Sci / Barrett, D. M., et al.	2010	Color, flavor, texture, and nutritional quality of fresh-cut fruits and vegetables: desirable levels, instrumental and sensory measurement, and the effects of processing	신선한 과일과 채소의 품질 숙성(모양, 질감, 향미 등)을 검토하기 위한 처리 기술에 대한 연구
Oxford Book Company, Mehra Offset Press, Delhi / Simson, S. P., et al.	2010	Post-harvest technology of horticultural crops	원예 작물의 수확 후 기술에 대한 내용의 도서
J Food Eng / Nesvadba, P., et al.	2004	Database of physical properties of agro-food materials	온라인으로 이용할 수 있는 농식품 재료의 물리적 특성에 관한 EU 데이터베이스를 기술

Critical Reviews in Food Science and Nutrition / Wilcox, J. K., et al.	2003	Tomatoes and cardiovascular health	토마토는 리코펜, 베타 카로틴, 엽산, 칼륨, 비타민 C, 플라보노이드 및 비타민 E가 풍부하여 심혈관 질환의 발병을 줄임
Postharvest biology and technology / Ali, A., et al.	2013	Gum Arabic as a novel edible coating for enhancing shelf life and improving postharvest quality of tomato(<i>Solanum lycopersicum</i> L.) fruit	토마토 과일을 아라비아고무로 코팅하는 것은 저장 수명과 수확 후 품질을 향상시킴
Journal of the Science of Food and Agriculture / Giovanelli, G., et al.	1999	Variation in antioxidant components of tomato during vine and post harvest ripening	토마토 유전형에서 항산화 성분(라이코펜, 베타 카로틴, 아스코르빈산, 총 페놀릭)의 변화를 평가
The American journal of clinical nutrition / Arab, L., et al.	2000	Lycopene and cardiovascular disease	토마토는 미국인의 총 리코펜 섭취량의 80% 이상을 차지하며 지방 조직의 리코펜 농도가 높은 사람들은 혈관 내벽의 두께와 심근 경색의 위험이 감소
Advances in Agriculture / Arah, I. K., et al.	2016	Postharvest handling practices and treatment methods for tomato handlers in developing countries: A mini review	냉동, 열처리, 변형된 분위기 포장(MAP), 1-메틸 시클로프로펜(1-MCP) 및 염화칼슘(CaCl ₂)과 같은 적절한 수확 후 처리법을 사용하는 것이 중요
Postharvest Biology and Technology / Tano, K., et al.	2007	Comparative evaluation of the effect of storage temperature fluctuation on modified atmosphere packages of selected fruit and vegetables	저장 기간 동안 온도, 상대 습도 및 대기 조성을 추적하고 보관 기간이 끝날 때 품질 속성을 평가
Journal of Food Science / Maul, F.	2000	Tomato flavor and aroma quality as affected by storage temperature	5, 10, 12.5, 20°C에서 저장한 토마토의 맛과 향을 비교분석

In Proc. Fla. State Hort / Roberts, K. P., et al.	2002	Effect of storage temperature on ripening and postharvest quality of grape and mini-pear tomatoes	토마토, 포도, 배의 수확 후 저장온도, 일수에 따른 숙성단계를 비교
Journal of Nutrition & Food Sciences / Gharezi, M., et al.	2012	Effect of postharvest treatment on stored cherry tomatoes	수확한 방울토마토를 실온저장, 저온저장하여 물리적 특성(견고성, 맛, juiciness, 부식, 색상, 팽택, 균일성, shrivel)을 기록
International Journal of Agronomy / Arah, I. K., et al.	2015	Preharvest and postharvest factors affecting the quality and shelf life of harvested tomatoes: a mini review	수확 전(비료, 가지치기, 성숙 단계, 재배품종 및 관개) 및 수확 후(온도, 상대습도, 저장 가스, 염화칼슘) 인자를 적절히 이해하고 관리하면 토마토의 수확 후 품질 손실을 줄일 수 있음
Postharvest biology and technology / Paull, R.	1999	Effect of temperature and relative humidity on fresh commodity quality	저온 보관은 외관, 질감, 영양, 향기 및 풍미와 같은 외관 품질 속성을 보호
Agric. & Environ. Sci / Pila, N., et al.	2010	Effect of post harvest treatments on physicochemical characteristics and shelf life of tomato(Lycopersicon esculentum Mill.) fruits during storage	지베렐린 산(0.1, 0.3, 0.5 %), 염화칼슘(0.5, 1, 1.5 %) 및 살리실산(0.1, 0.2, 0.4 mM)으로 처리 한 토마토 과일의 물리 화학적 특성 및 유통 기한을 연구
Journal of Food Engineering / Getinet, H., et al.	2008	Effect of cultivar, maturity stage and storage environment on quality of tomatoes	온도를 낮추고 상대 습도를 증가시켜 토마토 및 기타 과일 및 채소의 저장 수명을 향상시킬 수 있음
Int Res J Pharm Appl Sci / Teka, T. A.	2013	Analysis of the effect of maturity stage on the postharvest biochemical quality characteristics of tomato(Lycopersicon esculentum Mill.)	반응 매개 변수로서 pH, 산도, 당도 및 견고성을 3회 반복하여 측정. pH, 당도, TSS는 수확 시 숙성단계가 높을수록 증가

Postharvest biology and technology / Javanmardi, J., et al.	2006	Variation of lycopene, antioxidant activity, total soluble solids and weight loss of tomato during postharvest storage	신선한 과일 및 채소의 특정 생체 활성 화합물을 평가하기 위해 수확 후 환경 조건(실온, 저온저장)고려 제안
Food Chemistry / Toor, R. K., et al.	2006	Changes in major antioxidant components of tomatoes during post-harvest storage	온실에서 수확 한 토마토 저장에 대한 전반적인 영양학적 함의를 연구
African Journal of Agricultural Research / Tigist, A., et al.	2012	Effects of variety on yield, physical properties and storability of tomato under ambient conditions	무게감량은 저장기간 동안 토마토를 처리하는데 저장수명을 향상시키는 지표임
Food Security / Sibomana, M. S., et al.	2016	A review of postharvest handling and losses in the fresh tomato supply chain: a focus on Sub-Saharan Africa	수확 후 관리의 문제점을 확인하고 대규모, 소규모 생산자 모두에게 적용 가능한 솔루션 제공
Journal of Biosystems Engineering / Ahmed, M. R., et al.	2017	Imaging technologies for nondestructive measurement of internal properties of agricultural products: A review	시장에서 제품의 품질, 안전성 및 가치에 중요한 영향을 미치는 농산물의 내부 특성을 평가하는 데 사용되는 주요 비파괴 측정 기술을 검토
Trends in Food Science & Technology / Park, H. J.	1999	Development of advanced edible coatings for fruits	신선한 청과의 품질과 유통기한을 극대화하기 위해 식용 코팅제를 체계적으로 선택하는 방법을 개발

2. 국외 기술 특허현황

- 특허정보 검색 시스템을 통하여 특허를 조사하였으며, 주요 특허는 표 10에 요약하였음
- 국외의 경우 과실의 경도, 색도 등 품질을 유지하면서 과일을 쉽고 저렴하게 장기간 보존할 수 있는 과일의 보존 방법에 대한 연구가 많이 진행되어 있는 것으로 보임
- 유럽의 경우 수확물의 품질을 더 높이기 위해 과실의 숙성에 따라 controlled chamber의 조건을 조절하는 장치에 대한 특허가 있음

표 10. 국외 특허

국가	등록번호	발명의 명칭	출원인
미국	06623773	Packaging material for curing or marinating fresh foods during storage at low temperatures	Transform Pack Inc.
	09289009	Method for manufacture and storage of fruit and/or berry product	Eduards Kravecs
	05121877	Stackable container for ripening of fruit during shipment and storage	Chiquita Brands, Inc.
	09936716	Physical method for maintaining freshness of vegetables and fruits via technology of optical signal and optical signal generator	Jing Li Chen Yu Chen
	08939276	Device for storing and feeding of raw materials of fruit and/or vegetables	Shahram Pourshakour
	04894997	Method of storing fruits and vegetables	Director General of National Institute of Agrobiological Resources Sumitomo Heavy Industries, Ltd.
	09888635	Vegetable preservation and growing case	HAIER GROUP CORPORATION QINGDAO HAIGAO DESIGN & MANUFACTURING CO., LTD
	04336273	Vegetable and fruit preservation process	Del Monte Corporation

일본	01729734	Preservation of fruit vegetables	(株) 割烹百珍
	06199385 (공개번호)	Preservative bag for fruit and vegetable	SUMITOMO BAKELITE CO LTD
	05132515 (공개번호)	Container for storing vegetable of fruit	TEIJIN LTD
	05897278	Preservation method of fruit	農事組合法人グリーン ンライフはしもと
	07327590 (공개번호)	Method and device for preserving citrus	MATSUYAMA SANGYO KK
	01043148 (공개번호)	Preservation of freshness of vegetables, fruits and flowering plants	SUMITOMO HEAVY IND LTD
	05401020	Packaging bag for keeping freshness of tomato, and tomato preserving method	住友ベークライト株 式會社, 國立大學法人 東京大學
	26168481 (공개번호)	Methods for preservative treatment of fresh vegetables	MANTROSE-HAE USER COMPANY INC
	03200583 (공개번호)	Method for preserving vegetable	DEIRII FOODS:KK
	03010638 (공개번호)	Vegetable storage chamber under floor	MATSUSHITA ELECTRIC WORKS LTD
	61025441 (공개번호)	Method for preserving fruit of vegetable	OOTA TOSHIYUKI TAKEDA FUMISUKE
	04281739 (공개번호)	Method for retaining freshness of fruit and vegetable	NAKAGAWA MOMOKI TAKAHASHI YASUNORI

유럽	00162674	Apparatus and method for control of fruit ripening, degreening and storage	Russo, Gaetano Cammiss, Mark Anthony
	02328402	Methods and compositions for increasing storage-life of fruit	The New Zealand Institute for Plant and Food Research Limited
	00162674 (공개번호)	Apparatus and method for control of fruit ripening, degreening and storage	Russo, Gaetano Cammiss, Mark Anthony
	02346341 (공개번호)	Ripening/storage room for fruit and vegetables with reversible air flow and "stop&go" modulation of air flow	CHIQUITA BRANDS, Inc
	01638386	Storage device for vegetables, in particular leeks, and method therefor	Verhoest, Marc
	00162674 (공개번호)	Apparatus and method for control of fruit ripening, degreening and storage	Russo, Gaetano Cammiss, Mark Anthony
	03187805 (공개번호)	Freshness preservation unit, storage box, and refrigerator	Qingdao Haier Joint Stock Co., Ltd

제 3 장 연구수행 내용 및 결과

제 1 절 농가 방문을 통한 농가별 환경 조사

1. 농가별 규모 및 환경 조사

가. 농가 시설 조사를 위한 체크리스트 작성

본 과제 목적인 파프리카·토마토 이송기의 개발에 앞서 파프리카 및 토마토 시설원에 농가의 현장 환경을 조사하여 연구개발에 실효성을 더하기 위하여 2015년 10월부터 2016년 2월까지 횡성 안흥의 파프리카 농가와 전남 화순 파프리카 농가를 방문하였다. 조사내용은 파프리카 시설원에 농가의 시설 현황, 수확작업방식, 선별장 까지의 운송 프로세스를 조사하고 기존에 이용 중인 작업차의 주행특성, 조작방식, 안정성 등에 초점을 맞추었다. 또한 토마토 시설원에 농가에서도 같은 내용을 조사하기 위하여 2015년 12월 의령 토마토 농장을 방문 조사하였다. 여러 농가의 방문 조사를 통하여 본 과제의 목적인 작업차 개발의 현실성을 및 실용성을 위한 구체적 계획을 수립하고자 하였다. 농가 방문 조사를 구체적으로 수행하기 위하여 아래와 같은 Check List를 작성 하였으며, 이를 중심으로 조사하였다.

표 11. 농가 방문 조사용 체크리스트

<p>- Check List -</p> <p>- 온실 환경 관련 조사 사항</p> <ul style="list-style-type: none">• 온실의 온습도<ul style="list-style-type: none">- 파프리카와 토마토는 보관 온도와 습도에 따라서 생리 대사가 촉진되어 노화가 빠르게 일어나거나 수분 손실로 인하여 모양과 조직감이 변할 수 있기 때문에 온습도 환경에 대한 조사가 이루어짐• 지면의 상태 (레일 설치, 포장 여부)<ul style="list-style-type: none">- 레일 설치 여부에 따라 작업차의 구조가 변경되며 온실별 포장 상태에 따라 진동의 세기가 차이가 남• 이송차의 환경 (온도 조절 여부, 햇빛 노출 여부)<ul style="list-style-type: none">- 이송 또는 보관시 햇빛에 노출될 경우 모양의 위축 등으로 조직감이 변하고 부피가 감소하는 등 품질 저하가 일어 날 수 있음.
--

- 작업자(인간공학) 관련

- 상자를 몇 단으로 쌓는지 (작업차에서, 이송차, 작업장에서 보관시)
 - 작업차에서 몇 개의 상자를 실을 수 있는지에 따라 라인 당 왕복 횟수가 달라지며 상자가 많이 쌓이게 될 경우 품온 등으로 인하여 과실에 품질저하 요인으로 작용 할 수 있음
- 수확장소에서 선별장까지의 거리 및 이동 시간
 - 선별장이 내부에 있는 경우와 외부(단거리, 장거리)에 따라서 고려해야할 사항이 변경되며 본 과제에서는 내부 또는 가까운 거리에 위치한 선별장으로 이송하여 덤핑을 하게 됨
- 작업인원 (수확시, 이동시)
 - 수확시 작업차 탑승 인원 이외에 수확물이 담긴 상자를 옮기는 인원의 여부에 따라 자동화의 필요성에 대한 평가가 이루어 짐

- 작업차 스펙

- 파프리카 및 토마토 작물의 높이
 - 작업차 최대 리프트 높이 결정
- 고랑의 길이와 폭
 - 작업차의 형태 및 폭 결정
- 작업자의 수확 환경에 대해 조사
 - 현재 이용되고 있는 작업차의 안전성조사와 개선점에 대한 조사
- 작업차가 있을 경우 1대의 작업차가 담당하는 레일 개수 및 작업차의 기본적인 스펙
 - 기본적인 스펙을 참고하며 작업차의 능률을 조사하여 작업차의 단가 계산(실용성)

- 챔버 제작 관련

- 온실에서 사용하는 상자의 개수
 - 상자를 온도제어 챔버로 교체하는데 드는 비용 개산을 위한 조사
- 수확 후 하우스 내부에서 상자 보관하는 시간
 - 보관 시간에 따라 챔버의 필요성 여부 평가

- 품질 관리

- 신선도 품질인자
 - 파프리카와 토마토의 주된 신선도 품질인자가 무엇인지 실험을 통해 구명하여 해당 인자를 컨트롤 할 수 있는 시스템을 구축하고자 함
- 수확량 중 이송과정에서 품질에 문제가 생겨서 버리는 %
 - 이송 과정 중에 발생하는 충격, 작업자의 부주의 또는 작업 환경 및 시설에 의해 발생하는 제품의 손실량에 대한 조사

나. 농가 시설 현황 방문 조사

농가별 시설은 규모, 이송차 이동용 레일의 설치유무가 가장 큰 차이를 보였다. 레일이 설치되지 않은 농가는 노면을 포장한 경우와 포장하지 않은 경우로 나뉘었다. 규모가 큰 농가에서는 선별시스템이 함께 존재하여 수확 후 저장환경의 영향을 적게 받아 수확물의 신선도가 잘 유지될 수 있을 것으로 판단되었다. 중소규모 농가에서는 약 3km 이상의 거리를 화물차(트럭)을 통해 파프리카를 선별장으로 이동시키는 것으로 조사되었다. 대부분의 농가에서는 아래 그림 1과 같은, 재배 구역별 온·습도 모니터링 시스템, 양액제어 시스템 등을 보유하고 있었다.



그림 10 온실 내부 온·습도 및 외부기상 모니터링 시스템

파프리카 온실에서는 재배가 베드 단위로 이루어지고 있었으며, 그림 11에 나타나 있듯이 1개의 베드는 약 1m로 5~6그루의 파프리카 나무가 재배되었다. 파프리카가 재배되는 라인 간 간격은 1.1m~1.3m 정도로 협소하여 작업차 설계에 반영해야 할 것으로 판단하였다.



그림 11 각 라인의 베드(왼쪽)와 라인간의 간격 : 1.1~1.3m(오른쪽)

그림 12에서 확인할 수 있듯 특정 농가의 경우 한 라인의 길이가 100m 정도였으며 100m 기준 한 라인을 수확하는 데에는 90분 정도 소요되었다. 각 라인을 수확하여 집하되는 공간은 온실 내부에 존재하였으며 아래의 그림 13~15와 같이 집하되는 공간에 농가에 따라서 차양막이 존재하지 않아 햇빛의 영향을 받는 곳에 보관하거나, 차양막이 존재하여 수확물을 그늘진 곳에 보관하는 농가가 있는 것으로 확인하였다.

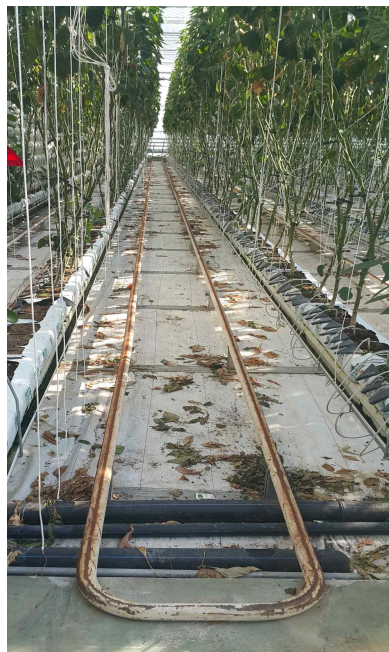


그림 12 각 라인의 길이(100m 이상)

일반적인 온실 내부의 온도는 23℃ 정도로 파프리카의 수확 후 적정 보관 온도인 10℃ 보다 상당히 높은 편으로, 수확물의 초기 신선도에 영향을 미칠 수 있기 때문에 차양막이 없는 농가의 경우 수확물의 신선도에 태양광이 영향을 미치는 정도가 더욱 클 것으로 생각되어 이에 대한 보완이 필요할 것으로 판단된다.



그림 13 황성 레인보우 팜의 수확물 집하공간
(햇빛의 영향을 받는 곳에 집하)



그림 14 의령 토마토 농장 수확물 집하공간
(그늘진 곳에 집하)



그림 15 화순 파프리카 농장 수확물 집하공간
(그늘진 곳에 집하)

다. 현행 농가의 일반적인 수확 작업 방식

아래의 그림 16~18과 같이 각 농장별 작업차에 탑승하여 수확작업을 수행하는 작업자는 100m 이상의(작업시 90분 이상 소요) 레일에 혼자서 수확을 수행하였다. 한 레일의 수확작업을 모두 수행하게 되면 6~8박스 가량의 과실을 수확하게 된다. 하지만, 현재 작업차의 공간은 매우 협소하여 작업자가 탑승할 경우 2~3박스정도 밖에 적재할 수 없다. 또한 협소한 작업차의 공간에서 작업자는 수확물을 가득 담은 상자를 한쪽으로 치운 뒤 빈 상자를 상층부로 올리는 등의 일을 해야 했다. 작업 공간이 협소하여 횡성 레인보우 팜과 의령 토마토 농장의 작업차는 작업자의 안전을 위한 안전 지지대가 설치되어 있지 않았다. 파프리카 및 토마토의 수확작업은 한 라인을 각각 다른 높이에서 여러 번 반복이동하면서 이루어진다. 상층부의 농작물을 수확할 때에는 작업차의 불안정한 상·하강 장치로 큰 흔들림이 발생해 안전장치가 없을 경우 작업자의 안전에 큰 문제가 될 것으로 판단하였다.



그림 16 황성 레인보우팜 수확 모습



그림 17 의령 토마토 농장 수확 모습



그림 18 전남 화순 파프리카 농장 수확 모습

라. 수확 후 운송 프로세스

파프리카 및 토마토는 수확 시에 각각의 상자에 담겨져(파프리카 : 약 10kg, 토마토 : 약 20kg) 작업차에 최대 6개의 상자가 실려진다. 각각의 라인에서 수확된 수확물은 집하공간에서 하역되어 이송대차로 옮겨져 선별장으로 이동하기 위한 운송차량으로 이동된다. 이를 그림 19로 나타내었다.

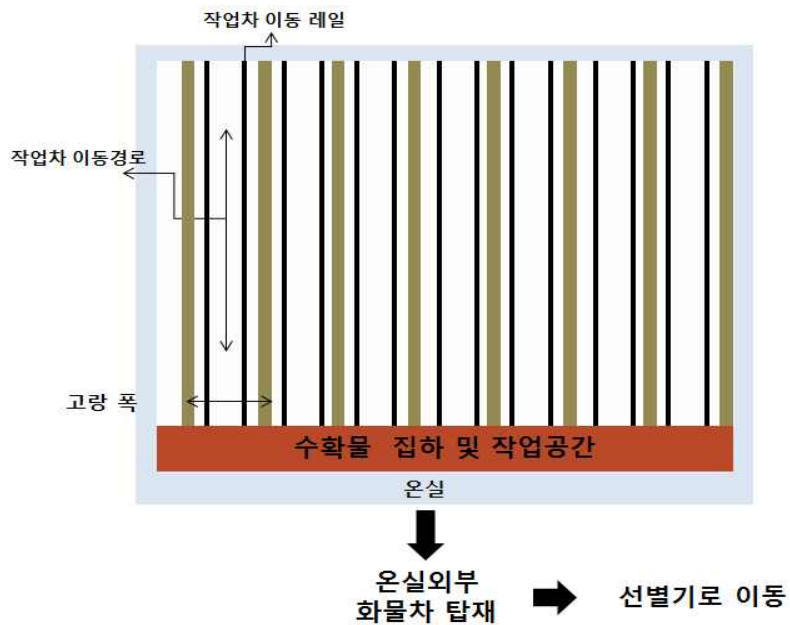


그림 19 전체 온실 모식도 및 수확 후 운송 프로세스 모식도

그림 20과 같이 작업차에서 이송대차로 수확물을 옮기는 과정은 모두 작업자의 육체적 노동으로 이루어지며, 작업자의 키보다 높은 위치에 있는 상자를 하역해야 하는 문제가 있었다. 최대 20kg의 중량을 자신의 키보다 높은 위치에서 하역할 경우 작업자의 근·골격계 질환을 유발할 수 있을 것으로 보인다.



그림 20 황성 레인보우팜 하역 작업

그림 21에서 나타나듯 이송대차의 경우 전동으로 이동되는 이송대차와 사람이 인력으로 끌어야 하는 이송대차로 구분되며 전동으로 이송하는 경우 10개 이상의 상자를 쉽게 움직일 수 있었으며 인력으로 작동하는 이송대차의 경우 온실 내 수확 작업의 대다수를 차지하는 여성 작업자가 작업을 수행하는데 어려움이 있었다.



그림 21 전동 이송대차와 수동 이송대차

또한 그림 22와 같이 중간에 수확물을 파레트에 집하하는 온실에서는 지게차로 옮기는 시스템을 사용하기도 하였으나 이 경우 진동이 매우 심해 수확물의 초기 신선도에 큰 영향을 끼치는 것으로 판단되었다.



그림 22 지게차를 이용한 수확물 이송 시스템

운송차량으로 옮겨진 수확물은 온실에서 2~3km 떨어진 선별장으로 이송되어 무게별, 크기별로 선별되어 포장된다. 선별장에서의 덤핑 과정은 현재 사람이 직접 상자를 들어 쏟아내는 그림 23과 같은 방식 또는 박스를 고정시키는 홀더를 이용하여 보다 쉽게 덤핑할 수 있도록 설계된 그림 24와 같은 방식이 있었다.



그림 23 황성 파프리카 선별장의 덤핑 방식



그림 24 의령 토마토 선별 덤핑 방식

마. 수확 후 공정 및 수확물 충격을 중심으로 한 추가 조사

(1) 경기도 광주시 수연 토마토 농장

경기도 광주시의 퇴촌 토마토 재배 단지에 위치한 토마토 재배 시설 농가로, 재배 단지 내에서는 비교적 큰 면적에 토마토 재배가 이루어지고 있는 것으로 조사하였다. 퇴촌 토마토 재배 단지 내에서는 그림 25, 26과 같이 토마토와 방울토마토 모두 덩굴식물로서 재배 및 수확방식이 유사하여 두가지 작물을 함께 재배하는 농가가 다수 있는 것으로 조사하였다. 이에 본 연구과제를 통한 수확장치 개발이 이루어질 경우, 농가에서는 두 가지 작물을 수확하는 데에 모두 사용할 가능성이 있음을 확인하였고, 방울토마토의 경우 수확물의 단위체적당 중량이 더욱 크기 때문에, 이를 승·하강 장치의 출력 및 작업기계 구조를 결정에 반영해야 한다고 판단하였다.

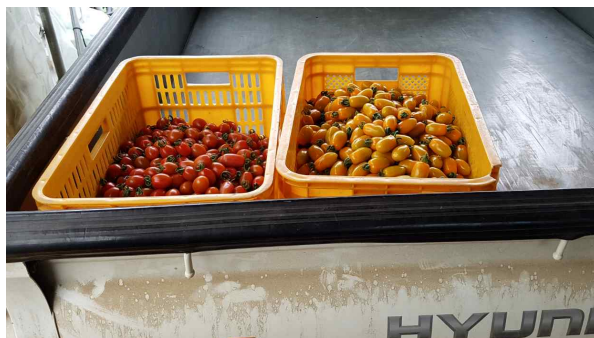


그림 25 수연 토마토 농장에서 수확한 방울토마토



그림 26 수연 토마토 농장에서 수확한 토마토

경기도 광주시에 위치한 토마토 재배 농가의 경우, 아래 그림 27, 28과 같이 포장은 되어 있지만 울퉁불퉁한 노면에서 불안정한 형태의 수레를 이용하여 수확작업이 이루어지고 있었다. 온실의 높이가 4m내외로 높지 않아, 대규모 파프리카 및 토마토 시설 원예 농가에서 사용하는 리프트형 수확 및 이송용 작업차는 사용하고 있지 않았으며, 덩굴식물인 토마토 품목의 특성을 이용하여 줄기를 감아 내리며 수확을 하는 형태로 이루어졌다. 이는, 비교적 일사량이 작은 지역에서는 작물을 높이까지 키워 수확하는 것이 경제적이지 않기 때문인 것으로 조사되었다. 그러나, 조사된 농가에서는 작업환경(수레, 노면)에서 발생할 수 있는 충격에 대해서는 의식이 부족한 것으로 생각된다.



그림 27 퇴촌 토마토 농가에서 수확에 사용하는 수레



그림 28 퇴촌 토마토 농가의 노면

1차년도에 방문했던 대규모 파프리카 재배단지와는 달리, 퇴촌 토마토 재배단지에서는 별도의 선별장이 존재하지 않아 재배지 근처에 위치한 개인 공간으로 수확물을 이동하여 선별을 수작업으로 하고 있는 것으로 조사되었다. 이동 시간은 수분 정도로 매우 짧아 이동 과정에서는 별도의 차양막을 설치하지 않고 수확물을 운반하였다. 퇴촌 토마토 농가에는 그림 29와 같은 자동 선별 장치가 비치되어 있었으나, 자동 선별 장치를 이용할 경우 수확물에 멍이 드는 경우가 많아 농민들이 주로 사용하지 않았다.



그림 29 . 퇴촌 토마토 농가의 개인 선별장, 선별기

(2) 전북 장수군 장수영농조합법인

전북 장수 소재의 장수영농조합법인 토마토 재배 온실로, 약 5천 평 규모의 비닐 연동 온실이다. 파프리카의 수확 방식과 상이한 토마토의 수확 작업 과정은 줄 풀기, 클리핑, 유인, 적엽, 수확 작업으로 크게 나눌 수 있다. 농가마다 사용하는 도구나 장비가 다른데, 장수영농조합법인의 경우 플라스틱 클립을 이용하여 토마토 과수에 견인용 줄을 매다는 클리핑 작업, 견인줄을 풀어 줄에 매달린 과수 줄기를 적절히 늘어뜨려 배치하는 줄 풀기 및 유인 작업, 수확이 끝난 층위의 잎을 제거하는 적엽 작업, 사람의 상체 높이에 위치하도록 세팅되는 화방(꽃이나 열매가 무리로 맺히는 줄기 부위)의 열매를 수확하는 작업 등이 이루어지고 있었다. 경기도 퇴촌 토마토 농가와는 다르게, 작물을 높이까지 키워 레일을 따라 주행하는, 리프팅 장치를 이용하여 수확작업이 이루어지고 있었다.



그림 30 . 장수영농조합법인 온실 전경



그림 31 . 포장된 작업 통로



그림 32 . 레일 별로 야적된 수확 상자

관계자 인터뷰를 통해 출하되는 과실이 손상되는 경우를 몇 가지 조사하였다. 수확도구로 과실 표면을 긁는 경우, 상자에 과적하여 쌓는 경우 윗 상자에 의해 눌리는 경우, 수확자가 수확 과정 중 과실을 떨어뜨리는 경우 등 작업자의 부주의로 인한 손상이 조사되었다. 그 외에 깊은 상자를 사용하여 낮은 층위의 과실이 상부 층위의 과실 무게로 인해 눌리는 손상이 조사되었다. 작업차가 레일에서 통로 노면으로 등반 시 발생하는 충격을 조사하기 위하여 가속도계를 수확용 상자에 담에 등반 테스트를 시행한 결과, 최대 3.5~4G의 가속도가 발생하는 것으로 나타났다. 관계자는 충격에 의한 과실의 신선도 하락에 대해서는 수확 현장에서 체감하기 어려워 장비 개발의 효용성을 느끼지 못한다고 하였다. 그러나 본 연구에서 수확과정에서 발생하는 정도의 진동을 수확물에 가한 뒤 저장 실험을 한 결과, 수확과정에서 발생하는 진동 및 충격이 과실의 품질에 영향을 미칠 수 있는 것으로 조사되었기 때문에 본 연구개발의 필요성을 다시 확인하고 작업차의 진동감쇄장치 제작에 반영하였다.



그림 33 . 충격을 측정하기 위한 센서 시스템



그림 34 . 레일 진출입 충격 테스트

바. 수확 환경 및 작업방식의 문제점 및 개선할 사항

수확 직후 과실이 보관되는 온실 내부의 평균 습도는 일반적으로 연구된 파프리카, 토마토의 적정 습도와 유사하지만 온도는 약 20℃ 정도로 파프리카, 토마토의 최적 저장 온도인 10℃에 비해 높은 편이다. 이에 대한 보완책으로 일정공간에 차양막을 설치하여 햇빛을 차단하여 과실에 직접적인 광이 전달되지 않도록 하는 방법이 필요하며 부득이한 경우에도 그늘진 곳에 집하하여 온도의 영향을 최소화 할 수 있도록 해야 한다고 판단되었다.

또한 현재 작업차는 작업자가 움직일 수 있는 공간을 제외하고는 상자를 비치해둘 공간이 협소하여 상자를 많이 실지 못하기 때문에 레일 중간까지 작업 후 다시 밖으로 나와 상자를 교체해야하는 번거로움이 있으며 2개 이상의 상자를 실을 경우 높이 올라간 작업차 위에서 상자의 위치를 교체함에 있어서 작업자의 안전에 문제가 생길 가능성이 높음으로 작업자가 떨어지지 않도록 안전 바를 설치해야 하며 상자를 따로 비치하고 상자의 위치를 자동으로 교체해줄 수 있는 시스템에 대한 고안이 필요할 것으로 판단되었다.

여성 작업자 비율이 높은 온실 내 수확 과정에서 10~20kg의 상자는 작업자의 근·골격계에 부담을 주며 실제로 작업자들에게 조사한 결과 작업 후 허리와 손목의 통증이 자주 발생하였다. 또한 높은 곳에서 상자를 내릴 경우 바닥에 충격 없이 내려놓기 힘들어 작업차와 이송대차에서 발생하는 진동 보다 큰 충격이 가해져 상품에 손상이 갈 위험에 노출되게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 수확 상자를 적정한 높이로 하강시켜 줄 수 있는 자동 하강장치를 개발한다면 농업인들의 열악한 농작업 환경을 개선하고 인간공학적 위험요인을 경감하여 농업인의 근골격 질환을 매우 효과적으로 예방 할 것으로 판단되었다.

2. 인간공학적 도구를 이용한 온실 내 생력작업 평가

가. OWAS를 이용한 온실작업자의 작업부하 평가

산업이 고도화됨에 따라 자동화 기계 및 로봇에 의해 대량 생산 되는 품목과 달리, 작업 절차의 비정형성, 비연속성 등으로 인해 여전히 농업에 많은 인력이 투입되고 있다. 국제노동기구에 따르면, 세계 인력의 절반이 농업 인력에 해당하고 작업 중 부상이나 사망 등으로 인해 가장 위험한 직업군 중 하나에 농업이 해당하는 것으로 나타났다. 시설 재배 농업의 경우, 노동집약적인 온실 내 작업 특성상 잘못된 자세로 작업하거나 지나친 작업량, 중량물 리프트 동작 등으로 인해 작업자에게 근골격계 질환이 발생할 수 있다. 근골격계 질환으로 인해 작업자의 작업효율이 감소하거나 상품 생산비용의 증가로 이어질 수 있으며, 농가 수익에 손실이 발생할 수 있다.

이에 현행 시설 재배 농업에서 사용되는 레일 전동 작업차를 이용하여 작업자가 토마토를 수확할 때 신체가 부담하는 농작업의 부하를 평가하고자 하였다. 작업차를 이용한 토마토, 파프리카 농가의 주요 작업 절차는 작물로부터 과실 수확, 과실 상자에 과실 투입, 빈 과실 상자와 가득 찬 과실 상자의 교대, 작업차 위의 과실 상자를 운반용 파레트에 하역하는 순서로 이루어지는 것을 확인하였다.

여러 절차 중, 작업자의 신체에 과도한 부담을 주어 근골격계 질환을 유발하거나 작업 효율이 감소할 수 있는 동작이 포함된 절차를 선별하기 위하여 작업자의 작업 절차를 촬영하였다. 과실의 수확작업과 상자 교대작업을 측면에서 촬영하여 샘플링 분석하였다. 비디오장비로 촬영된 일련의 농작업 과정을 0.1초 단위로 샘플링하여 취득한 스냅샷을 체크리스트형 인간공학적 작업 부하 평가 도구인 OWAS 를 이용하여 평가한 결과, 기존 레일 전동 작업차를 이용한 농작업의 근골격계 질환 유발 가능성을 확인하였다(그림 36). 작업 특성상, 동작이 간결하고 빠르기 때문에 샘플링 간격을 0.1초로 설정하였다.



그림 35 작업 부하 평가 대상이 되는 온실 내 작업 절차

인간공학적 신체부하 평가에 이용된 OWAS의 경우, 철강회사에서 작업 효율을 저하하는 동작이 포함된 작업 절차를 개선하기 위해 개발한 인간공학적 자세 평가 도구로, OWAS에 대한 간단한 교육을 받은 관찰자가 작업 현장에서 발생하는 허리와 팔, 다리의 작업 자세 및 다루는 물체의 무게를 고려하여 비효율적이고 위험한 작업 자세를 간단히 분류하도록 의도되었다. 녹화된 비디오를 일정 시간 간격마다 샘플링하여 평가한 후, OWAS에서 제시하는 판정표에 의해 AC(Action category)로 나타낼 수 있다. 수준 1, 2에 해당하는 작업은 개선이 필요하지 않거나 약간의 개선이 필요한 동작으로 보고, 수준 3, 4에 해당하는 작업은 가급적 빨리, 혹은 즉시 작업 동작의 교정이 필요하는 것으로 본다.















신체부위	작업자세 (괄호안은 자세코드)			
	(1) 바로 섭	(2) 굽힘	(3) 비틀	(4) 굽히고 비틀
허리				
팔	(1) 앞팔 어깨 아래	(2) 한팔 어깨 아래	(3) 앞팔 어깨 위	
				
다리	(1) 앉음	(2) 두다리로 섭	(3) 한다리로 섭	(4) 두 다리 구부림
				
	(5) 한다리 구부림	(6) 무릎꿇음	(7) 걸기	
				
하중	(1) 10 Kg 이하	(2) 10 ~ 20 Kg	(3) 20 Kg 이상	

그림 36 OWAS의 4-digit code 생성 기준표

AC값	(1)	(1)			(2)			(3)			(4)			(5)			(6)			(7)		
		(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)
(1)	(1)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1
	(2)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1
	(3)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1
(2)	(1)	2	2	3	2	2	3	2	2	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	3	3
	(2)	2	2	3	2	2	3	2	3	3	3	4	4	3	4	4	3	3	4	2	3	4
	(3)	3	3	4	2	2	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	2	3	4
(3)	(1)	1	1	1	1	1	1	1	1	2	3	3	3	4	4	4	1	1	1	1	1	1
	(2)	2	2	3	1	1	1	1	1	2	4	4	4	4	4	4	3	3	3	1	1	1
	(3)	2	2	3	1	1	1	2	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	1	1	1
(4)	(1)	2	3	3	2	2	3	2	2	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	3	4
	(2)	3	3	4	2	3	4	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	3	4
	(3)	4	4	4	2	3	4	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	3	4

그림 37 OWAS 4-digit code 에 대응하는 AC(Action category) 판정표

작업자세 수준	평가 내용
수준1	근골격계에 특별한 해를 끼치지 않음 작업자세에 아무런 조치도 필요치 않음
수준2	근골격계에 약간의 해를 끼침 가까운 시일 내에 작업자세의 교정이 필요함
수준3	근골격계에 직접적인 해를 끼침 가능한 빨리 작업자세를 교정해야 함
수준4	근골격계에 매우 심각한 해를 끼침 즉각적인 작업자세의 교정이 필요함

그림 38 OWAS에 따른 각 AC 수준 별 평가 내용

OWAS로 농가 작업 동작별 위험성을 판단한 결과를 토대로 근골격계 질환 유발 가능성이 높아 개선이 필요한 농작업 동작을 아래와 같이 선정하였다(표 2). 선정된 동작은 실험실 내 환경에서 피실험자를 통한 모의 동작의 생체 신호 계측을 통해 신체 부하 정도를 정량적으로 측정할 수 있으며, 보조가 필요한 신체 부위를 특정하거나 안전성 확보가 필요한 동작에 대한 증거가 될 수 있다. 본 연구를 통해 향후 토마토, 파프리카 온실 내 신선도 유지를 위한 레일 전동 작업차의 개발에 작업자의 안전과 효율성 향상을 위한 인간공학적 설계를 적용할 수 있을 것으로 기대한다.

표 22. 온실 농작업자 각 동작별 OWAS AC 수준 비율

작업내용 AC	먼 거리 수확 작업	중간 거리 수확 작업	가까운 거리 수확 작업	상자 간 교대 작업	비고
수준 1	21.1 %	29.3 %	75.7 %	8.9 %	-
수준 2	44.7 %	43.1 %	24.3 %	48.6 %	-
수준 3	34.2 %	27.6 %	0.0 %	33.2 %	교정 필요
수준 4	0.0 %	0.0 %	0.0 %	9.3 %	교정 필요

나. 수확작업의 형태에 따른 작업부하 특성 분석

작업 관찰 및 촬영을 통해 작업 과정 중 인간공학적 측면에서 개선되어야 할 부분을 관측하였다. 견인줄을 푸는 작업을 할 때, 견인되는 식물체의 무게가 약 8~10kg에 달하므로 손으로 해당 하중을 버티는 동시에 뺨고 비트는 동작이 수반되어 상지, 등허리 등 근골격계 부담이 존재할 것으로 예상된다. 또한, 수확이 끝난 후 20kg에 이르는 과실 상자를 수레에서 끌어내리고 상자들을 다시 한 곳에 운반하여 쌓는 과정에서 과실에 상당한 충격이 발생할 뿐 만 아니라, 허리를 굽혀 하중을 드는 동작이 근골격계에 주는 부담이 상당할 것으로 보인다. 작업 별 동작의 유해성을 조사하기 위하여 적엽 작업과 줄 풀기 작업에 대해 촬영을 진행하였으며 다른 작업 동작의 경우 장수영농조합법인의 업무 스케줄과 출장일이 맞지 않아 촬영을 미루게 되었다.

수확 작업의 절차를 관찰한 결과, 한 레일에 수확 트롤리가 진입할 때 보통 네 개의 빈 상자를 적재하는데, 한 상자는 폐 과실을 수거하는 용도이고 나머지 세 상자에 과실을 담는다. 견인줄을 풀어 과실이 항상 가슴 높이에 위치하게 세팅하기 때문에 수확작업은 가슴 높이에서 이루어지게 되지만 상자는 바닥 근처에 위치하게 되므로 작업자의 허리를 굽혀 과실을 조심스레 놓아야 한다. 하지만 작업 관찰 결과 대부분의 작업자가 허리를 많이 굽혀 담지 않고 과실을 다소 떨어뜨리며 담는 경향이 있는 것으로 나타났다. 기존 방식에 비해 더욱 많은 상자를 적재할 수 있고, 작업자의 신장이나 신체 특성에 맞추어 상자 높이 조절이 가능하도록 설계된 시제품 장비를 통해 생산효율 증가뿐 만 아니라, 과실 충격을 방지하여 신선도를 유지하고 작업자의 근골격계 부담 저감 효과를 기대할 수 있을 것으로 보인다.

3. 각 농가에서 이용중인 작업차 현황 조사

수확 과정 중에 사용되는 작업차는 전동 모터로 이동되며 라인 사이의 간격에 맞춰서 얇고 긴 형태로 이루어져 있다. 일반적인 작업차의 크기는 1800mm X 400mm X 770mm 정도이며 작업중에는 최대 4000mm 높이까지 올라가게 된다. 그림 30과 같이 온실에 따라서 라인 사이에 양액 등의 액체 수송관이 깔려져 있는 경우 그것을 레일로 이용하여 작업차가 그 위로 움직이게 되며 그렇지 않은 경우 라인 사이의 노면위로 직접 움직이게 된다. 이러

한 노면의 경우 그림 40과 같이 흠으로 이루어진 경우가 많으며 이러한 노면 위를 지나가게 될 경우 우레탄 또는 시멘트 처리된 바닥에 비해서 진동이 많이 발생하고 바퀴의 형태가 방향전환이 용이하지 않다.



그림 39 레일 위로 이동중인 작업차



그림 40 흠으로 된 노면과 방향 전환이 용이 하지 않은 바퀴

레일 위로 이동하는 작업차의 경우 레일 위로 이동하는데 사용되는 바퀴와 레일 밖에서 이동하는 바퀴로 구분되어진다. 흰색 메인 바퀴는 레일 위로 이동하는데 사용되며 빨간색 보조 바퀴는 밑으로 내려올 경우 레일 밖에서 이동하는데 사용된다. 큰 바퀴의 경우 방향 전환은 불가능 한데 이는 레일 위에서 이동하는 바퀴의 경우 레일위에서 작업차의 위치를 고정시켜주고 앞뒤로 움직이는 역할만을 수행하기 때문이다.



그림 41 레일 위로 올라가는 바퀴

보조 바퀴의 경우 보조바퀴가 밑으로 내려와서 작동하며 라인 간의 이동이 필요할 경우 주로 사용 된다. 라인 안쪽에서 수확 작업 시 작업차의 이동은 전동으로 이루어지지만 보조 바퀴의 경우 사람의 힘으로 밀어서 이동하게 된다. 보조바퀴 쪽에도 동력이 호환되어 이동이 가능하다면 보다 편리하게 작업차의 이동이 이루어 질 수 있을 것으로 판단되었다.



그림 42 라인 이동시 보조바퀴가 나옴, 작업자가 밀어야하는 불편한 상태



그림 43 수동으로 이동되는 작업차

라인 밖의 온실 내부 공간에서도 작업차는 옆 라인으로 이동하거나 집하장소로 이동하여 수확물이 담긴 상자를 내려놓게 된다. 이러한 이동 과정에서 온실 환경에 따라 노면의 상태가 그림 44와 같이 매우 다양했으며 이에 따라서 발생하는 진동의 차이가 크기 때문에 다양한 노면 상태에 적합한 작업차의 충격 완화 장치가 필요할 것으로 판단되었다. 또한 그림 45와 같이 작업차가 이동과정 중에 문턱을 넘는 경우에는 큰 충격이 발생하기도 하였다. 진동이 발생할 경우 수확물간에 충격이 발생하고 수확물의 신선도 저하의 원인이 될 수 있기 때문에 전체 수확 및 운송 과정에서 진동의 세기에 대한 프로파일링을 수행하여 작업환경 및 작업 특성에 따라 어떠한 충격이 발생하는지를 분석하여 작업차량 또는 재배 시스템에서 충격으로 인해 발생 할 수 있는 품질 저하를 방지하기 위한 연구 및 설계가 필요할 것으로 판단되었다. 또한, 수확물에 가해지는 진동의 세기에 따라 품질의 변화가 어떻게 변화하는지를 실험하여 어느 정도까지의 진동이 용인될 수 있는지를 확인하여 효율적인 충격완화 시스템을 설계하고자 하였다.



그림 44 온실별 노면 상태(좌:표면이 고르지 못함, 중: 표면이 고른 편이나 중간에 금이 가거나 턱이 있는 부분 존재, 우: 표면이 고름)



그림 45 문턱을 넘는 차량(충격 발생)

또한 그림 46과 같이 안전장치가 없는 경우에는 보다 위험한 경우가 발생할 가능성이 크기 때문에 그림 47과 같이 보호 장치를 반드시 설치할 필요가 있을 것으로 판단되었다. 또한 작업차의 작업공간의 한계로 안정성이 뛰어난 보호 장치를 설치하기에 어려움이 있어 작업공간을 효율적으로 관리할 수 있는 방안을 모색해야한다.



그림 46 안전장치 없는 작업차



그림 47 보호 장치가 부착된 작업차

제 2 절 외부 충격에 따른 품질인자 변화 시험

1. 실험 개요

과실의 수확, 선별 및 포장작업과 운송과정에서 부적절한 처리는 과실에 기계적 손상을 발생시켜 과실의 질적, 양적 손실을 초래하므로 상품적 가치를 저하시킨다. 과실의 손상은 주로 마찰, 압축 및 충격 하중과 같은 기계적 요인에 의하여 발생하며 충격을 받은 과실은 건전과에 비하여 감모량이 많고 과육 갈변 등 충격장해가 유의미하게 증가하는 경향을 보인다. 따라서 과실의 기계적 특성이 구명되면 기계와 시설을 해당 과실의 특성에 적합하게 설계 제작 또는 개선하여 기기 및 시설을 효율적이고 경제적으로 운용할 수 있다. 또한 기계적 손상으로 인한 과실의 손실을 줄일 수 있으므로 질적 및 양적 보존을 극대화하여 농가 소득의 증대에 기여할 수 있고 소비자에게 보다 나은 품질의 상품을 제공할 수 있게 된다(홍지향 외, 서정학 외). 이와 같은 중요성에도 불구하고 과실의 기계적 특성 특히 충격 하중에 의한 기계적 특성에 관한 국내 연구는 미비한 실정이며, 수확에서 유통 및 소비에 이르는 과정의 작업기술 역시 비효율적이므로 이의 개선 및 기계화를 위하여 체계적인 연구가 요구되고 있다. (Kim et al) 여러 과정 중 수확 후 선별까지의 과정에서의 과실에 대한 충격의 영향을 평가하기 위해서 실제 작업 환경에서 발생하는 진동 및 충격의 분석을 진행하였다. 과실이 담기게 되는 컨테이너에 가속도계를 부착하여 수확부터 선별장까지의 운반과정까지의 모든 가속도 변화를 기록 및 분석하여 유의미하다고 판단되는 가속도 peak를 선택한 후, 충격시험 실험설계에 반영하였다(Wright et al).

2. 실험 농가 선정

‘신선도 유지를 위한 이송대차 개발’의 연구 목표에 맞추어, 국내 파프리카 유리온실 농장의 시설 현황을 바닥 재질 및 운수관 겸용 레일 이용 여부 등을 고려하여 상급, 하급으로 임의 분류하였다. 상급의 경우 우레탄 등의 매끄러운 재질의 바닥과 운수관 겸용 레일이 설치되어 작업차, 이송대차 등의 운행 시 진동이 크게 발생하지 않는 반면, 하급의 경우 흙바닥에 레일이 설치되지 않아 굴곡진 노면을 차량이 주행함으로써 발생하는 진동이 존재한다고 가정하였다. 이를 위해 현행 파프리카 수확 환경을 대표할 수 있는 농가를 선정하였고 레일 설치 유무, 실험 기간 중 수확 여부 등의 조건을 고려하여 충남 예산에 위치한 ‘육인농장’을 선정 및 방문하였다.

본 연구의 경우, 첨단 시설 원예용 이송대차 개발을 목표로 하기 때문에 매끄러운 바닥과 레일이 설치된 상급 농가를 대상으로 실험을 진행하였다. 시설의 등급이 상급이라도 모든 작업 절차 중 발생하는 진동 및 충격을 찾아내어 문제가 발생할 수 있는 정도의 가속도의 관측 시 해당 절차를 개량하거나 기구학적으로 해결함으로써 과실의 신선도 유지 기간을 향상한다.

진동 프로파일 수집 및 샘플 취득을 위해 2016년 6월 2일, 충남 예산군 신암면 신암남로에 위치한 ‘육인농장’에 방문하였다. 21,450m²규모의 농장으로, 연간 350 ton 의 생산량을 나타내고 있다. 농장 바닥은 우레탄 재질로, 비교적 균일하고 매끄러우며 온수관 겸용 레일이 설치되어 있다. 유리온실과 간이 선별장이 붙어있는 형태로, 수확한 과실이 담긴 상자를 통로 위의 플라스틱 팔레트 위에 적재한 후 지게차를 이용하여 매우 짧은 거리를 운반하는 절차를 거친다.

작업자는 난간이 없는 테이블 리프트 형태의 레일 작업차 위에서 고소작업을 하며, 작업차 위에 수확물이 담긴 플라스틱 사각 상자를 최대 4층(stack)으로 쌓는다. 상자를 쌓거나 옮길 때 상자에 충격이 발생하였고, 특히 낮은 위치에 상자가 위치할 때 작업자에 의해 낙하한 과실의 충격이 유의미할 것으로 보였다. 또한 레일에서 우레탄 바닥으로 작업차가 등반할 때 바닥 단차에 의한 충격이 발생하였다.



그림 48 현재 사용중인 레일 작업차

3. 진동 프로파일 수집 및 분석

가. 실험 장비 및 제원

해당 농가의 수확 절차에서 발생하는 진동 및 충격을 분석하기 위해 가속도센서를 수확용 상자에 부착하였고, 온습도센서를 이용하여 온실 내 환경을 기록하였다. 수확 과정 중 과실이 적재된 상자는 계속해서 이동하므로, 이동이 용이한 형태의 무선 센서 시스템을 채택하였다. 독일의 BeanAir社에서 제공하는 무선 센서 솔루션을 사용하였으며 기능과 제원은 아래와 같다.

(1) BeanGateway : 무선 센서 시스템의 데이터 로깅 장치로, 컴퓨터의 LAN을 통해 연결된다. 무선으로 최대 60개의 무선 센서와 동시 연동 및 제어가 가능하다.

표 12. 데이터 로깅 장치 제원표

Wireless Stack	IEEE 802.15.4
Data rate	256 Kbits/s
RF Characteristics	ISM 2.4GHz - 16 Channels
Receiver sensitivity	-95,5 dBm to -101 dBm
Maximum Radio Range	1 km (L.O.S.)
Dimensions (L x l x h)	200 mm x 88 mm x 48 mm
Weight	370g



그림 49 데이터 로깅 장치

(2) SmartSensor AX-3DX : 무선 3축 가속도계로, 24G의 가속도 범위 내에서 측정이 가능하다.

표 13. 무선 3축 가속도계 제원표

Accelerometer technology	MEMS technology, triaxial accelerometer
Typical non-linearity	±0,1% FS
Sensor frequency response (-3 dB)	0 to 800 Hz
Receiver sensitivity	-95,5 dBm to -101 dBm
Maximum Radio Range	650 m (L.O.S)
Dimensions (L x l x h)	80x55x21 mm



그림 50 무선 3축 가속도계

(3) EcoSensor ONE-TH : 온습도센서

표 14. 온습도 센서 제원표

Measurement range	- 40°C to +85 °C
Humidity Sensor technology	Capacitive polymer humidity sensor
Measurement range	0 to 100% RH
Maximum Radio Range	300 m (L.O.S)
Dimensions (L x l x h)	119 mm x 35 mm x 35 mm
Weight	120g



그림 51 온습도 센서

나. 실험 환경 설정 및 예비 시험

무선온습도계의 경우 그늘진 곳에서 약 1시간 동안 측정하였고, 무선가속도계는 상자 바닥 정 중앙, 상자 측면부 상단에 견고하게 부착하여 총 6개의 센서를 3-stack의 상자에 장치하였다. 해당 수확용 상자를 이용하여 작업자의 수확부터 선별장으로의 이동까지의 가속도 신호를 기록하였다. 상자의 상단과 하단, stack별로 센서를 부착하여 높이 별 충격의 추이를 살피고자 하였다. 센서의 송신 가능 범위가 좁기 때문에, 데이터 로거가 설치된 노트북을 조사자가 들고 센서가 부착된 수확 상자에 가까이 이동하며 기록하였다.

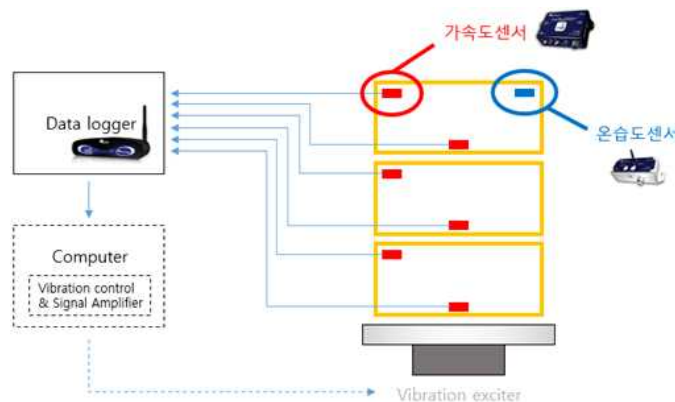


그림 52 가속도센서의 설치 및 신호 기록 모식도

그림 44와 45를 통해 과실의 수확부터 선별장 운반까지의 time-series 데이터를 분석한 결과, 최대 6G의 가속도 peak가 계측된 것을 확인할 수 있었다. 해당 충격을 발생시킨 작업 절차는 작업자가 작업차 위에서 가득 찬 상자와 빈 상자를 교대하는 과정, 작업차에서 플라스틱 팔레트로 상자를 내리는 과정, 그리고 지게차가 팔레트를 내려놓는 과정에서 발생하는 것으로 관찰되었다. 방문 농가 중 비교적 좋은 시설에서도 5G 이상의 충격이 발생하는 것으로 나타났으며 조사자가 작업자 근방에서 조사하는 중 발생한 충격인 만큼 작업자의 숙련도나 습관에 따라 더욱 큰 충격이 발생할 여지가 있다. 발생한 peak 의 대부분은 약 5G 정도이고, 5G 의 충격이 과실에 미치는 영향을 조사하기 위하여 가진기를 이용하여 인위적으로 충격을 발생시켜 과실에 가하기로 하였다. 이 때, 각각 2G, 4G, 6G, 8G, 12G 만큼의 충격을 가하여 충격과 신선도의 관계를 구명하고자 하였다. 농가의 유리온실은 비교적 일정한 온습도를 유지하고 있었고, 무선온습도센서를 이용하여 계측한 온실 내 온도 및 습도는 각각 평균 26.5 °C, 56.8%RH 로 나타났다. 실험에 이용할 샘플은 해당 농가에서 수확하는 즉시 충격을 최소화하기 위해 별도의 상자에 담아 에어컨이 가동된 차량 내에 적재 및 운반하였다.

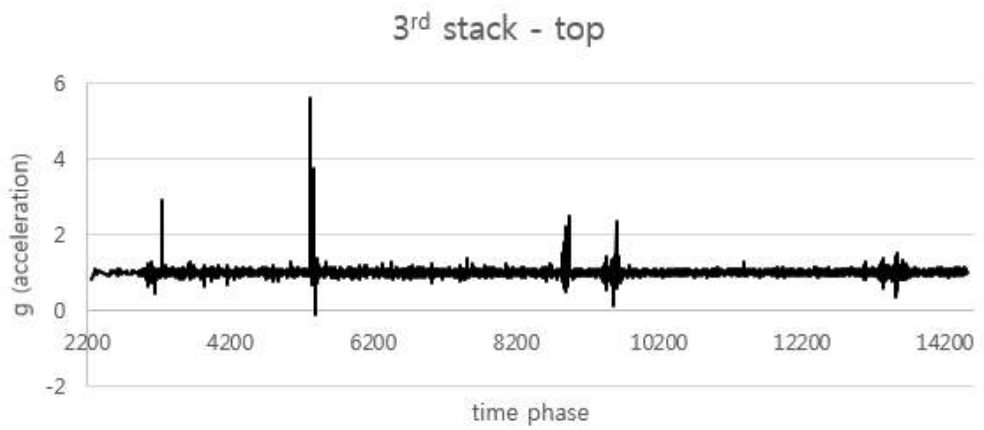
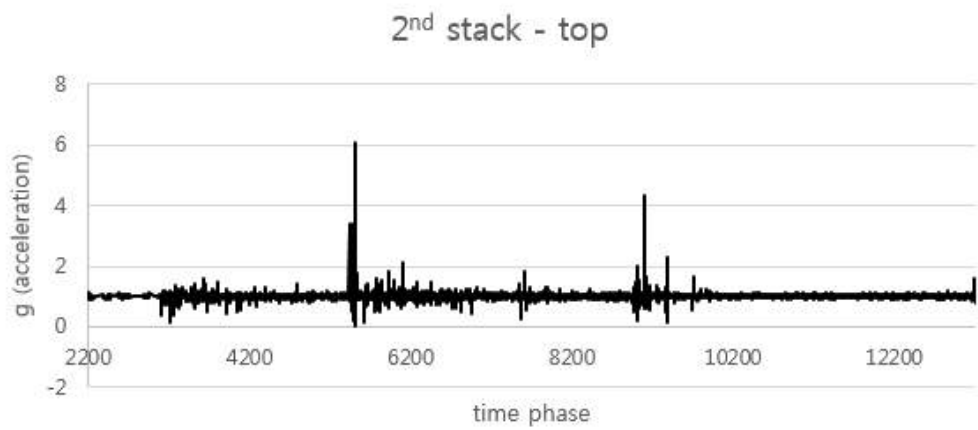
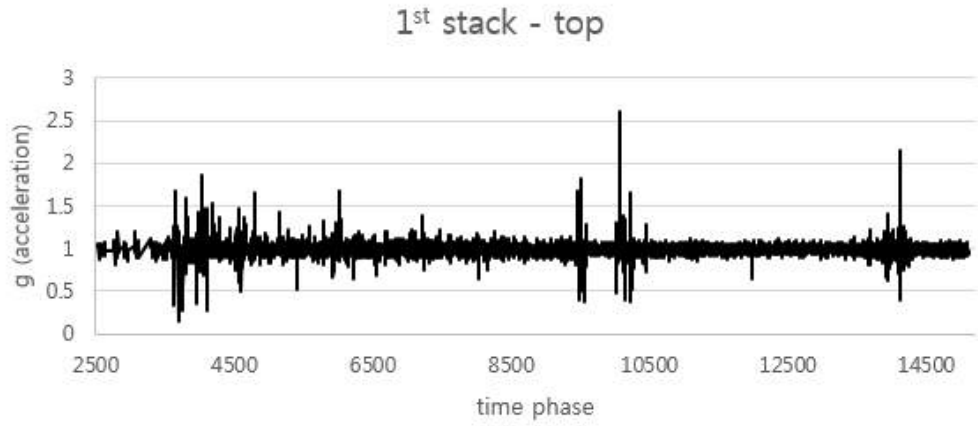


그림 53 각 stack별 상층부 부착 가속도계의 시간별 데이터

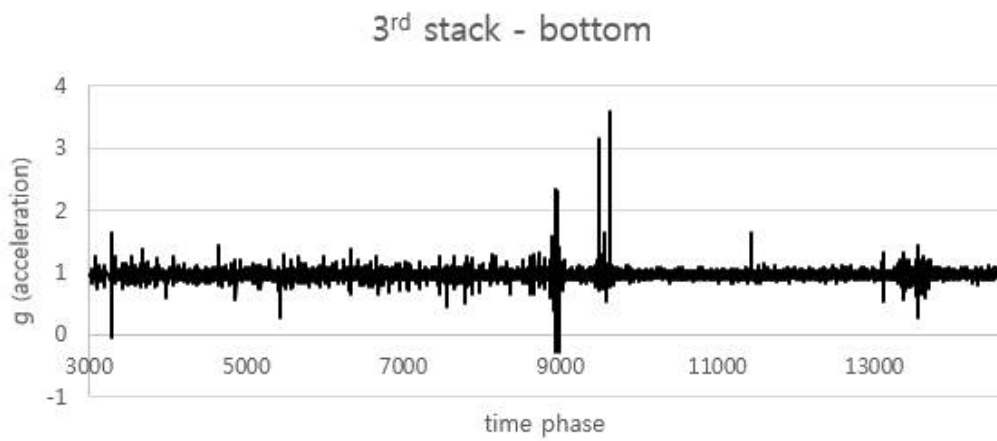
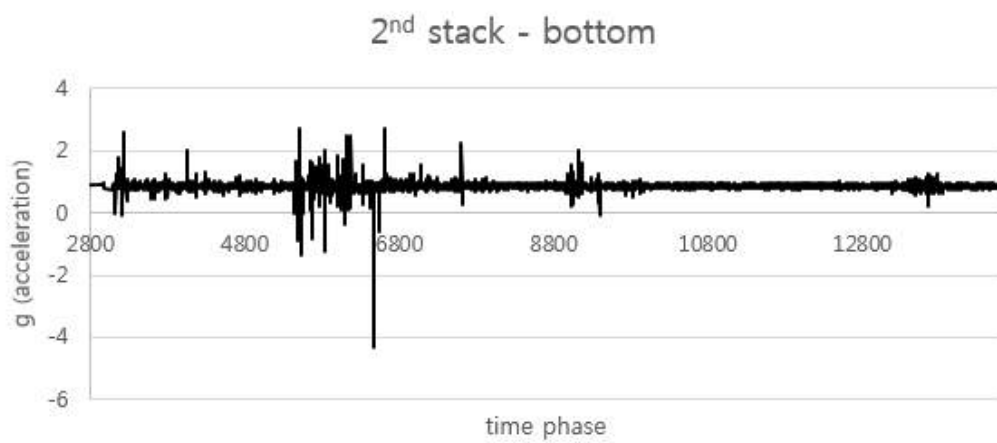
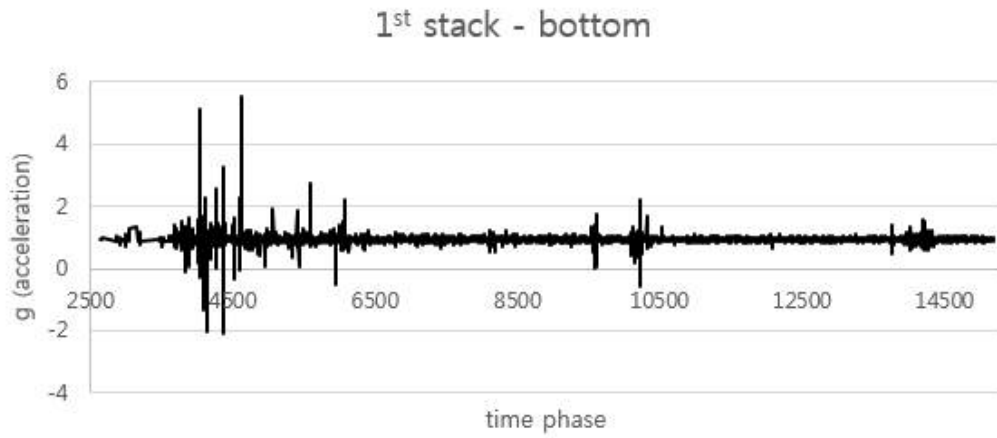


그림 54 각 stack별 하단부 부착 가속도계의 시간별 데이터

다. 실험실 환경에서의 조건 설정

수확 환경에서 발생하는 충격의 분석 결과를 바탕으로 2, 4, 6, 8, 12G magnitude의 충격시험을 계획하였다. 수확 과정 중 발생한 5G의 가속도를 중심으로 2, 4, 6, 8G의 단계별 가속도에 대해 시험을 계획했으며 12G의 가속도를 추가한 것은 비교적 상태가 양호하지 못한 농가를 염두에 두었기 때문이다. 그림 46에 나타나 있듯이 컴퓨터 제어가 가능한 컨트롤러와 연결된 FAM TECH社의 ED9150-150 가진기 모델의 테이블 위에 샘플이 담긴 10kg 상자를 2 stack 으로 쌓아 올린 후 밧줄로 고정하여 충격을 가하였다. 샘플에 가한 충격은 작업차가 턱을 넘는 등의 단순 충격과를 표현하기 위해 half-sine 파형 충격을 선택하여 360회의 단일 충격을 2Hz 로 3분간 가하였다. 이는 그림 55에 표시하였다. 본 연구의 조사 대상 과정이 실제 유통 과정에서 가장 큰 충격을 받는 과정이 아닌 만큼, 3분이라는 비교적 짧은 시간만큼의 충격을 가하였다.



그림 55 충격시험에 사용된 가진기와 과프리카 상자

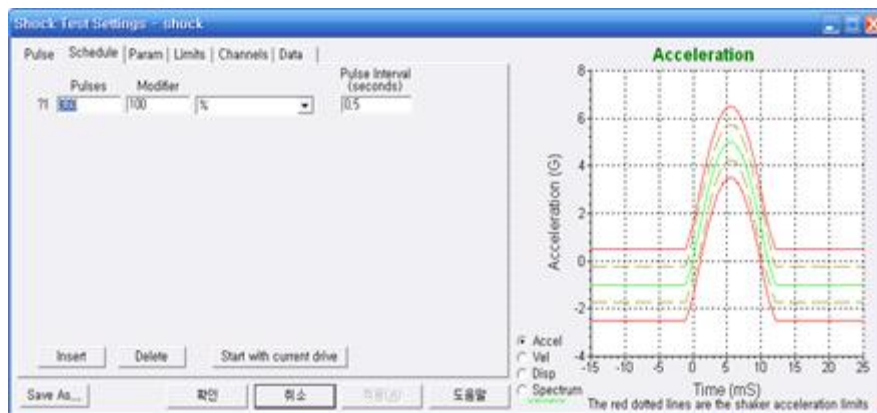


그림 56 충격시험에 사용된 가진기 컨트롤 프로그램

실험에 사용된 파프리카의 품종은 ‘페라리’종이고, 전체를 두 그룹으로 나누어 상온에 보관하거나 항온항습 조건에 보관하는 경우에 대해 각각의 신선도 변화 추이를 조사하였다. 가진기(shaker)를 이용하여 충격을 가한 후 충격을 가하지 않은 그룹을 포함하여, 2G, 4G, 6G, 8G, 12G의 5 단계 충격을 가한 총 6개의 그룹을 대상으로 연구실 내에 실은 방치 보관 및 항온항습 chamber에 보관하였다. 그리고 난 후 보관 1, 4, 7, 10일차에 신선도를 판별할 수 있다고 보고된 5개 인자에 대해 각각에 맞는 방식으로 실험하여 데이터를 수집하였다. 실험에 사용된 샘플 수는 모두 384 개다. 상온 보관이 이루어진 연구실 내 온도는 평균적으로 20.7 °C, 습도는 44.1 %RH 로 모니터링 되었으며, 항온항습 chamber의 세팅은 온도, 습도가 각각 10 °C, 90 %RH 으로 설정되었다.



그림 57 온습도 모니터링 프로그램 구동 장면

라. 타겟 데이터 취득

(1) 감모율(Weight loss, %)

일반적인 과채류 무게 변화는 수분이 과피를 통해 빠져나감으로써 발생하며, 이는 저장성과 품질 변화를 나타내는 중요한 요인이다(Ben-Yehoshua, 1989; Hardenburg, 1986). 수분 손실이 3-10%일 경우 대부분의 과채류의 신선도가 떨어지기 때문에 감모율은 품질에 결정적인 요소라고 볼 수 있다(Burton, 1982; Peleg, 1985; Robinson et al., 1975). An 등(2006)이 수행한 연구에서 10 °C 환경에 저장이 이루어진 파프리카의 경우 4.6-10%의 감모율이 발생하였다. 본 연구에서 사용된 감모율의 계산공식은 다음과 같다.

$$\text{감모율(\%)} = \frac{\text{수확무게} - \text{저장무게}}{\text{수확무게}} \times 100$$

라벨링 처리를 한 파프리카를 저장 환경 별, 가속도 별 각각 8개씩 별도로 저장하며 각 실험 차수에 무게를 측정하였다.

(2) 경도(Firmness, N)

내부인자인 경도는 만능재료시험기 (UTM, Universal Testing Machine)를 이용하여 그림과 같이 경도를 측정하였다. 미국 농공학회에서는 과일 및 채소의 물성측정에 사용되는 하중재하속도를 2.5-30mm/min로 권장하고 있으나 작물의 특성에 따라 상대적이라는 것을 명시하고 있다. 사과, 배, 복숭아의 경우는 33mm/min이하의 하중재하속도를 주로 사용하였고, 감자의 경우 50-500 mm/min의 하중재하속도를 물성측정에 사용하였다[ASABE, 2009]. 저장시간이 길수록 과실의 수분함량이 내려감에 따라 감모율이 커지고 과피의 경도에도 영향을 준다[K. M. Han]. 어떤 재료의 강성을 나타내는 척도로써 탄성계수가 주로 사용되고 있다. 재료의 탄성계수는 비례한계 내에서 응력-변형률 곡선의 기울기로 정의되나, 대부분의 생물체는 응력-변형률 곡선이 직선이 아니기 때문에, 세가지 결보기 탄성계수를 정의하고 있다. 세가지 결보기 탄성계수에는 이니셜 탄젠트 모듈러스, 시컨트 모듈러스, 탄젠트 모듈러스가 있다. 이니셜 탄젠트 모듈러스는 곡선에서 원점에서의 접선의 기울기이고, 시컨트 모듈러스는 응력-변형률 곡선상의 임의의 점과 원점을 연결하는 직선의 기울기이며, 탄젠트 모듈러스는 응력-변형률 곡선상의 임의의점에서의 접선의 기울기를 그 생물체의 탄성계수로 정의한다[생체물성공학, 김만수 외 6인].

본 연구에서는 충남대학교 원예학과의 실험 경험에 대한 자문을 바탕으로 50 mm/min 하중재하속도와 5mm 압축변위를 설정하여 실험에 이용하였다. 그림 65에서 확인할 수 있듯이 상이한 저장환경, 저장시간과 충격이 파프리카의 경도에 어떤 영향을 주는지에 대해 조사하기 위해 과실을 절단하여 가급적 평평한 부분의 한 조각(길이 약 4cm, 너비 약 1.5 cm)으로 가공해 외부 과피면을 UTM 경도 측정 실험에 이용하였다. 조각 당 3번씩 측정하고 응력-변형률 곡선으로부터 최대치를 취하고 평균값을 구하여 해당 샘플의 경도로 취급한다. 수집한 데이터를 바탕으로 시컨트 모듈러스를 도출하였다.



그림 58 UTM을 이용한 샘플의 경도 측정

(3) 색도(color, lux)

외부인자인 과피 색상은 그림 66에 제시된 Chroma meter(CR-400m, Minolta, Japan)를 사용하여 측정한다. 측정 시 과실의 적도면 과피색의 평균적인 부분을 측정한다. 토마토의 Lab color space에서 L 값이 줄어든 것은 과실 표면이 투명(bright)으로부터 불투명(opaque)해진 것으로 쇠퇴(senescence) 단계에 있다는 것을 표명한다[Artes and Escriche]. 이 때, L a b 값 중 a/b의 비율이 -0.6이하의 mature green, 2.2이상은 과숙(overripe)의 기준으로 볼 수 있다[C.E. Chavez-Murillo 등]. 본 실험에서는 과피 색상이 신선도의 판단기준이 되는지 확인하기 위하여 L, a, b 값을 측정하였다. 똑같은 수확환경과 저장상태이더라도 개체마다 L, a, b의 값이 다를 수 있기 때문에 본 실험에서는 매 측정 시 8개의 샘플에 대해 각각 임의의 적도면 3 부분의 평균치를 구하였다.



그림 59 크로마미터를 이용한 색도 측정

(4) 당도(Brix, %)

과실의 주요 품질인자인 당도에 대해 저장 기간 별, 충격 단계 별 변화 추이를 살피기 위하여 샘플의 과즙을 착즙하여 당도를 측정하였다. 측정에 이용된 기기는 굴절당도계(PR-32, ATAGO)로, 한 그룹 당 8개의 시료를 착즙하여 약 0.3ml를 측정에 사용하였으며, 얻어진 각각의 당도를 평균하여 대표값으로 이용하였다.

(5) 이산화탄소(CO₂, %)

과실의 CO₂ 방출량이 많으면 대사가 촉진되어 과실의 품질에 영향을 줄 가능성이 크기에 본 실험에서는 CO₂의 방출량을 측정하였다. 측정에 사용한 장치는 LI-COR 회사의 CO₂ / H₂O Gas analyzer (LI-840A model)이다. 그림 67과 같이 별도로 저장된 6개의 샘플을 측정 대상 그룹의 임의의 한 과실과 함께 투명한 플라스틱 박스(40*30*30 cm)에 넣고 실시간으로 과실의 CO₂ 방출량을 관찰한다. 그룹 당 3 개의 임의의 과실을 선택하였고, 따라서

세 구간으로 구분된 그래프를 볼 수 있다. 그래프의 기울기는 단위시간당 샘플의 CO₂ 방출량으로, 단위는 ppm/s 로 나타나므로 흔히 쓰는 g/hour/개 의 단위로 환산하기 위하여 그래프의 직선 부분의 기울기에 $3600/7*0.00179953$ 을 곱한 후, 세 기울기의 평균값을 최종적인 과실 샘플의 CO₂ 방출량으로 기록한다.



그림 60 이산화탄소 발생량 측정장치

마. 데이터 측정 결과 및 분석

(1) 감모율(Weight loss, %)

파프리카의 수확 후 저장기간에 따른 감모율을 아래의 그림 52와 같이 분석하였다. 그래프를 통해 두 가지 모두 저장기간에 따라서 감모율이 증가하는 경향을 확인 할 수 있으며, 상온조건에서 감모율이 더욱 크게 증가하는 것을 확인할 수 있다. 12G 이하의 진동은 감모율에 미치는 영향에 대한 유의미한 결과를 얻을 수 없었으나, 진동의 크기가 12G인 경우에는 두드러지게 모든 저장기간에서 가장 큰 감모율을 나타내는 것을 확인할 수 있다. 이를 통해 12G정도의 충격은 감모율의 증가에 영향을 미침을 알 수 있고, 시설이 낙후된 농가의 경우 이러한 충격이 발생할 가능성이 충분이 있으므로 이에 대응할 수 있는 기계를 제작해야 했다.

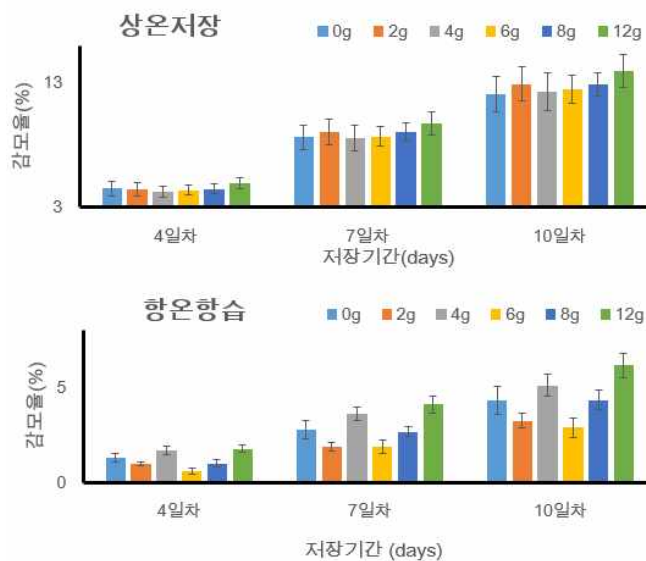


그림 61 저장기간 및 충격의 크기에 따른 감모율

(2) 경도(Firmness, N)

UTM 시험을 통해 얻은 상이한 충격자극에 대한 샘플의 탄성계수를 분석하여 아래의 그림 53과 같은 그래프를 획득하였다. 저장기간과 탄성계수간의 R-square 값은 향온향습 조건의 경우 약 0.93으로 나타났고, 상온보관 조건의 경우 약 0.87로 나타나 저장 조건에 차이가 있음에도 충격의 크기가 증가할수록 파프리카 표면의 탄성계수는 증가하는 것으로 나타났다. 향온향습 조건에서 보관한 그룹 중 12G의 가속도 충격을 가한 샘플의 탄성계수가 21kPa로 나타났으나 상온 조건에서는 보다 낮은 6G의 자극에서 21kPa를 초과하는 값이 얻어지며, 같은 조건의 12G 자극을 받은 샘플에서는 약 26kPa값이 나타나는 것으로 보아 충격의 크기와 더불어 저장온도가 파프리카 표면의 탄성계수에 영향을 미치는 것으로 볼 수 있다. 이는 과실의 저장기간 증가, 충격 가해, 또는 부적합한 환경에 저장 등으로 야기되는 신선도가 하락하고, 이로 인한 표면의 경도가 감소하여 UTM의 probe가 표면을 뚫을

때 표면의 껍질이 늘어나면서 생기는 현상으로 판단된다. 본 실험결과를 통해 수확 직후의 초기 진동이 수확물의 신선도에 중요한 영향을 미치는 것으로 추정할 수 있다.

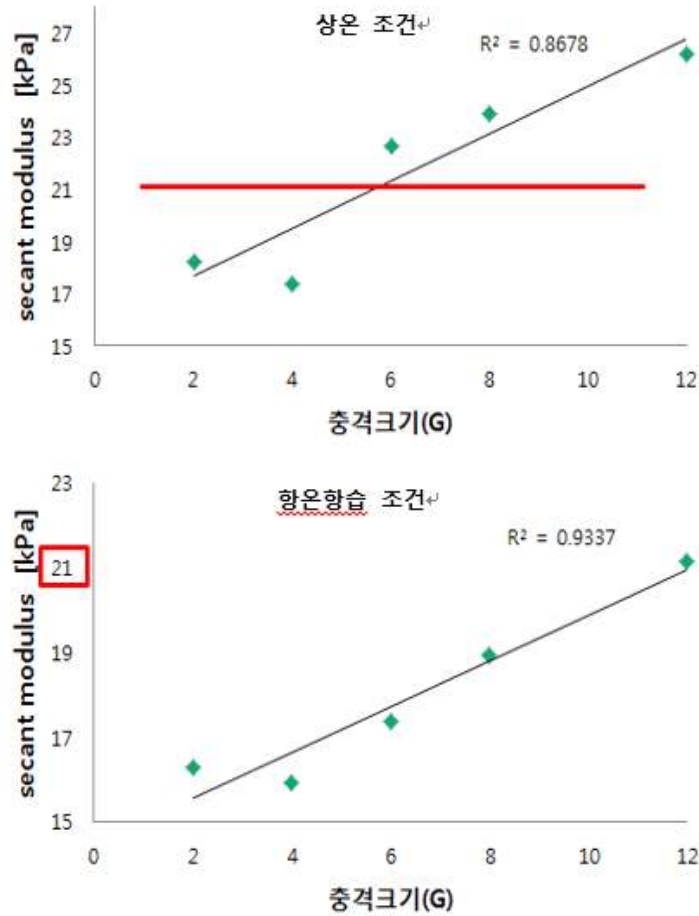


그림 62 저장기간 및 충격의 크기에 따른 secant modulus

(3) 색도(color, lux)

저장기간 및 가한 충격의 각 단계에 대해 파프리카 샘플 표면의 색상변화를 아래의 그림 54와 같이 분석하였다. 그래프의 L값의 경우, 저장기간이 길어짐에 따라 L값이 점점 작아지는 추세를 확인할 수 있지만 진동 크기의 변화에 대해서는 유의미한 정보를 획득할 수 없었다. 이에 따라 다른 실험 결과에 비해 파프리카 표면의 색상값 변화는 충격에 의한 신선도 변화와는 큰 관련이 없는 것으로 판단할 수 있다.

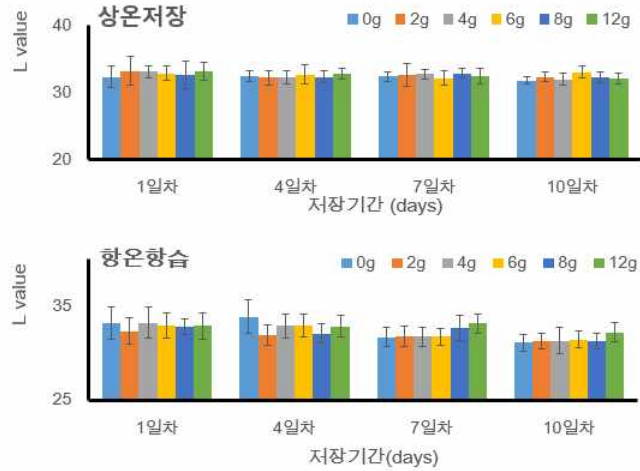


그림 63 저장기간 및 충격의 크기에 따른 색상값

(4) 당도(Brix, %)

당도 측정 실험 결과 전반적인 데이터의 분포 영역이 6.5~7.5 Brix 인 것으로 나타났고, 그림 64에서 확인할 수 있듯이 뚜렷한 추세가 나타나지 않았기 때문에 파프리카의 당도는 수확 후 저장 조건, 저장 기간, 충격 크기에 별다른 영향을 받지 않는 것으로 판단하였다.

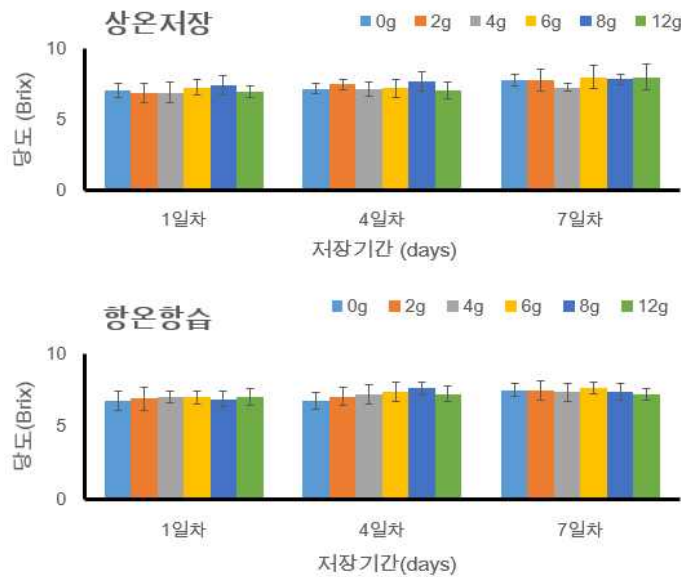


그림 64 저장기간 및 충격의 크기에 따른 당도값

(5) 이산화탄소(CO₂, %)

파프리카의 수확 후 저장기간 및 충격세기의 변화에 따른 CO₂ 방출량 측정 결과를 아래 그림 65에 제시하였다. CO₂ 방출량은 저장기간이 증가할수록 점차 감소하여 과실의 대사능력이 점진적으로 떨어지는 것으로 볼 수 있다. 또한, 파프리카를 항온항습 chamber 에 보관할 경우, 상온보관 조건의 샘플에 비해 같은 저장기간의 샘플의 CO₂ 방출량이 약 절반 정도로 낮은 것을 확인할 수 있다. 뿐만 아니라, 파프리카에 가해진 충격의 크기가 증가할수록 CO₂ 방출량 또한 증가하는 추세인 것으로 나타나 CO₂ 방출량을 파프리카의 신선도에 대한 지표로서 활용 가능한 것으로 확인하였다.

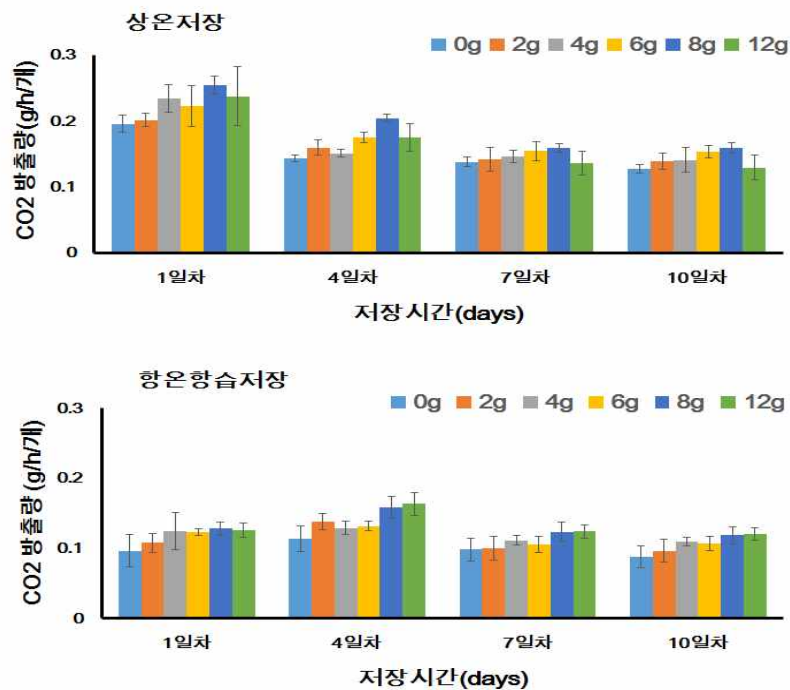


그림 65 저장기간 및 충격의 크기에 따른 이산화탄소 발생량

바. 통계 분석을 활용한 실험결과 추가 분석

실험 데이터의 분석은 통계 패키지 (SPSS 20.0)에서 수행되었다. 각 분산의 효과가 유의미 할 때 5 % 신뢰도 (P <0.05)에서 분산 분석 (ANOVA)을 사용하여 실험데이터 (평균 값) 간의 차이를 시험했다.

감모율과 색상은 수확 후 환경요소와 상호 작용에 의해 유의 한 (P <0.05) 영향을 받았다. 그러나 반사 된 색상변수와 요인 간에는 서로 다른 상관관계가 있었다. 저장 환경, 저장 기간 및 상호 작용 요소는 거의 모든 색상 매개 변수에 영향을 미치도록 분석되었으며 진동 요소와 다른 요소와의 상호 작용은 a*값을 제외하고는 중요하지 않은 것으로 나타났다.

표 15. Effect of vibration, storage environment and storage period on the characteristics of bell pepper.

ANOVA	Freshness parameter		Color parameters				
	Weight loss	L*	a*	b*	a*/b*	h°	C
Vibration (V)	s.	n.s.	s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Storage environment (SE)	s.	n.s.	s.	s.	s.	s.	s.
Storage period (SP)	s.	s.	s.	n.s.	n.s.	s.	s
V×SE	s.	n.s.	s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
V×SP	s.	n.s.	s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
SE×SP	s.	s.	s.	s.	s.	s.	s.
V×SE×SP	s.	s.	s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

s.: significantly different at P < 0.05; n.s.: not significant.

진동 시험 전 초기에 측정 한 신선한 파피리카의 헨터 색 공간 좌표에 해당하는 값을 표 16에 나타내었다. 진동 후 및 저장 기간 동안 피망 시료의 색 변수는 표 17과 표 18에 나와 있다 .

표 16. Color characteristics of bell pepper on the initial day.

Value	Color parameters					
	L*	a*	b*	a*/b*	h°	C
Mean ± standard error	32.99±1.5	25.85±2.2	15.11±2.3	1.74±0.1	30.14±2.6	30.00±2.9
	6	7	6	7	7	5

Mean ± SD, n=30.

표 17. Changes in reflected color parameters of bell pepper in the environment of series A.

Color parameters	Storage period (day)	Vibration level (g)					
		0	2	4	6	8	12
L*	1	33.17±1.70	32.32±1.40	33.23±1.64	32.99±1.35	32.81±0.78	32.89±1.43
	4	33.87±1.82	31.92±1.14	32.88±1.28	32.93±1.20	32.09±1.05	32.84±1.17
	7	31.67±1.02	31.83±1.07	31.77±1.02	31.75±0.86	32.69±1.36	33.18±1.03
	10	31.12±0.92	31.28±0.78	31.34±1.37	31.42±0.89	31.29±0.82	32.22±1.07

a*	1	25.53±2.82	23.53±2.22	26.12±1.57	24.98±2.59	25.09±2.19	24.31±2.91
	4	26.53±2.46	24.76±1.22	24.97±2.71	25.59±2.93	24.89±2.91	25.12±2.94
	7	26.67±1.67	26.23±2.22	25.94±2.04	27.57±1.12	24.71±1.65	25.07±1.26
	10	26.03±1.96	26.75±1.91	26.42±1.88	26.23±2.05	27.98±1.25	25.56±1.33
b*	1	15.22±2.66	13.72±1.84	15.39±1.78	14.55±1.13	14.81±1.76	14.54±2.69
	4	16.53±2.43	13.66±1.23	15.48±2.37	14.46±1.98	13.86±1.78	15.21±2.08
	7	16.00±2.28	14.85±1.63	15.27±1.80	15.19±1.21	14.96±2.12	15.13±1.80
	10	14.70±1.14	14.93±1.26	15.69±2.46	15.14±1.71	16.71±1.59	15.91±1.46
a*/b*	1	1.71±0.19	1.74±0.19	1.71±0.14	1.72±0.11	1.76±0.17	1.69±0.11
	4	1.78±0.15	1.83±0.11	1.76±0.13	1.79±0.14	1.81±0.12	1.69±0.16
	7	1.74±0.15	1.72±0.13	1.71±0.17	1.83±0.10	1.66±0.18	1.68±0.13
	10	1.78±0.09	1.80±0.11	1.76±0.19	1.74±0.12	1.69±0.11	1.62±0.13
h°	1	30.69±3.04	30.23±2.96	30.43±2.09	30.25±1.63	30.53±2.95	30.66±1.77
	4	31.81±2.89	28.79±1.48	31.67±2.98	29.36±2.02	29.07±1.57	31.27±2.58
	7	30.81±3.02	30.19±2.00	30.43±2.36	28.78±1.22	31.04±2.53	30.97±2.03
	10	29.39±1.29	29.11±1.52	30.58±3.29	29.93±1.74	30.76±1.59	31.86±2.24
C	1	29.79±3.58	27.28±2.55	30.34±2.09	28.93±2.70	29.18±2.38	28.34±3.96
	4	31.33±2.74	28.30±1.57	29.43±3.27	29.42±3.36	28.50±3.32	29.40±3.34
	7	31.15±2.27	30.41±2.82	30.12±2.43	31.49±1.51	28.92±2.37	29.30±1.92
	10	29.91±2.16	30.65±2.14	30.78±2.54	30.30±2.51	32.60±1.81	30.14±1.57

Mean ± SD, n=8.

18. Changes in reflected color parameters of bell pepper in the environment of series B.

Color parameters	Storage period (day)	Vibration level (g)					
		0	2	4	6	8	12
L*	1	32.25±1.55	33.15±2.13	33.03±0.90	32.80±1.13	32.54±1.98	33.14±1.32
	4	32.33±0.84	32.10±1.06	32.18±0.93	32.63±1.37	32.20±0.88	32.65±0.80
	7	32.32±0.73	32.54±1.70	32.65±0.72	32.08±1.01	32.79±0.73	32.33±1.12
	10	31.73±0.53	32.22±0.70	31.90±0.85	32.95±0.92	32.18±0.78	32.01±0.77
a*	1	25.23±1.58	25.17±1.90	25.32±2.47	24.41±2.07	24.68±1.96	24.62±1.56
	4	24.19±1.16	24.93±1.88	23.98±1.66	22.92±1.26	24.34±2.14	24.10±1.63
	7	25.09±1.52	24.41±1.94	25.80±2.58	24.60±2.04	24.74±1.99	24.42±2.01
	10	25.26±1.45	25.32±1.62	24.85±2.18	25.14±1.97	24.91±1.16	24.24±1.20
b*	1	13.90±1.73	15.09±2.34	14.82±1.92	14.39±1.31	13.84±2.32	14.37±1.42
	4	13.78±1.00	13.79±2.41	13.42±1.18	12.83±1.03	13.85±1.45	13.95±1.41
	7	13.35±1.00	13.30±2.13	14.33±1.76	12.68±1.60	13.87±1.12	13.41±1.97
	10	12.97±0.81	13.50±1.15	12.98±1.02	14.02±1.08	13.48±1.11	13.01±0.68
a*/b*	1	1.79±0.18	1.69±0.20	1.73±0.15	1.75±0.22	1.76±0.22	1.73±0.11
	4	1.77±0.10	1.89±0.10	1.80±0.09	1.80±0.11	1.83±0.18	1.73±0.11
	7	1.89±0.10	1.87±0.20	1.81±0.11	1.89±0.14	1.85±0.08	1.88±0.13
	10	1.95±0.04	1.93±0.10	1.91±0.08	1.80±0.09	1.85±0.07	1.86±0.09
h°	1	28.78±2.80	30.79±3.03	30.28±2.23	30.03±3.10	30.10±4.28	30.18±1.56
	4	29.61±1.41	28.75±2.67	29.19±1.29	29.15±1.51	29.73±3.41	30.04±1.68
	7	27.99±1.25	28.44±2.78	29.00±1.35	28.04±1.85	28.44±1.05	29.01±3.13
	10	27.16±0.47	28.06±2.21	27.58±1.00	29.12±1.31	28.34±0.97	28.39±1.63
C	1	28.84±1.87	29.39±2.56	29.36±2.91	28.91±2.45	28.64±2.52	28.53±1.96
	4	27.85±1.36	28.52±2.71	27.50±1.94	26.32±1.47	28.05±2.01	27.86±1.98
	7	28.43±1.71	27.83±2.52	28.73±2.24	27.92±2.74	28.72±2.42	27.89±2.83
	10	28.40±1.65	28.72±1.66	28.05±2.35	28.79±2.14	28.33±1.53	27.54±1.23

Mean ± SD, n=8.

바. 결론

파프리카의 신선도를 평가하기 위해 조사된 색도, 감모율, CO₂ 방출량, 당도, UTM 측정값의 5 개 인자 중, 감모율과 CO₂ 방출량, UTM 측정값을 통해 얻어진 modulus의 3 가지 지표가 샘플의 저장기간이 지남에 따른 저장 조건 별, 충격 크기 별 신선도 변화추이를 가장 잘 표현하는 것으로 나타났다.

색상 매개 변수 a^* 는 진동에 의해 크게 영향을 받았지만 다른 색상 매개 변수는 그렇지 않다. 진동과 a^* 사이에는 선형 관계가 없었지만, 12g 진동시험 파프리카의 a^* 값은 다른 진동 레벨 그룹보다 낮았다. 반사 된 색상 매개 변수의 대부분은 저장 환경에 영향을 받지만 L^* 색상 매개 변수는 저장 기간의 영향을 크게 받았다. L^* 값은 저장 기간이 연장됨에 따라 약간 감소되었다. b^* 의 색상 좌표와 a^*/b^* 의 지수에 대한 색상 좌표 L^* 및 저장 기간에 대한 저장 환경의 영향은 없었다. 시리즈 B와 비교하여, 시리즈 A의 조건에서 a^* 및 C 값이 증가했는데, 이 환경에서 과피가 더 선명한 색상을 나타내고 시리즈 A 환경이 색상 유지 측면에서 파프리카를 저장하는 데 더 적합하다는 것을 의미한다. 저장 기간이 연장됨에 따라, L^* 값은 시리즈 A 및 B의 환경에서 감소되었지만, L^* 값은 고 g 수준 그룹 (8g, 12g)에서 단지 약간의 변화만을 나타냈다. 시리즈 A의 환경에서, a^* 값과 지수 a^*/b^* 는 저장 시간의 연장과 함께 증가하는 반면, 12g 레벨에서는 이 두 변수가 반대 또는 안정된 경향을 보였다. 수확 및 저장 후 파프리카의 색상 변화는 수확 후 처리 및 저장 조건을 나타낸다. 이는 색소 구성과 농도와 관련이 있기 때문이다. Ricardo의 연구는 파프리카의 외부 색상과 색소의 총 함량 사이의 상관관계를 보여준다. 파프리카에 있는 적색 카로티노이드 연료의 상대적 비율을 추정하는 색조를 표현한다(Gómez 등 1998). 이 연구에서 결과는 내부 연료 조직을 보여 주거나 고수준 (8g 이상) 진동 테스트 중 일부에 영향을 주거나 손상을 입을 수 있는 것을 보여준다.

물 손실은 원예 작물의 품질을 저하시키고 저장 수명을 단축시키는 가장 중요한 요소이다(Ben-Yehoshua, 1989). 대부분의 과일과 채소는 체중의 3-10 % 이상을 증발 할 때 신선도를 잃어버리며, 이로하여 수축, 시들임, 낮은 탄력 및 맛이 떨어지는 영향을 준다(Do Rêgo 등 2016).

본 연구에서는 시리즈 A와 B 환경에 저장된 시료는 모두 저장 시간이 길어짐에 따라 체중이 감소되었다. 시리즈 A 환경에서 더 많은 체중 감소가 관찰되었다. 12g 레벨의 감모율은 다른 그룹보다 더 크다. 12g 진동 시험 군에 이어 8g 진동 시험을 한 시료의 체중 감소도 저장 기간이 7일 이상인 경우 나머지 보다 더 높았다. 이 결과는 높은 g 수준의 진동이 파프리카의 신선도에 영향을 주었고 다른 시료보다 빠르게 수분을 잃어버리게 된다. 그러나 시리즈 B의 환경에서는 동일한 보관 일에 여러 가지 g 수준 진동 시험 그룹 샘플 간에 유의 한 차이가 없었다. 12g 그룹 샘플의 감모율 평균만이 나머지 샘플보다 약간 높았다. 저장 7 일째, 모든 시료의 감모율이 8 %를 넘었고, 전체적으로 심각하게 시들어 졌기 때문에 상업적 가치를 잃었다고 판단되었다.

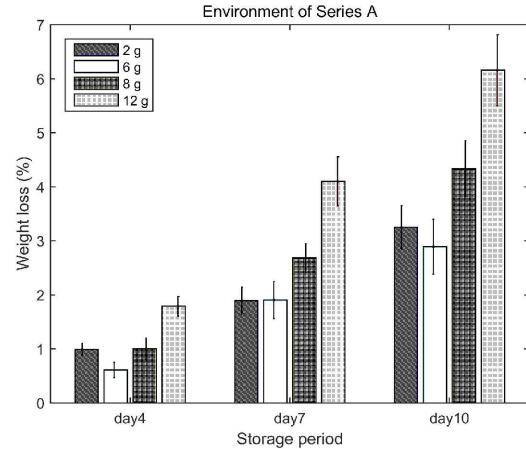
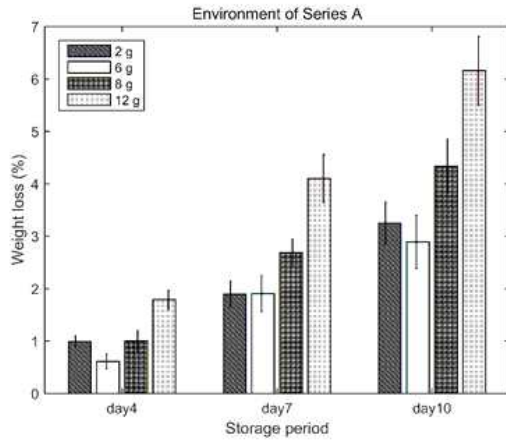


그림 66 Changes in weight loss of the bell peppers as affected by vibration and storage time in the environment of series A

그림 67 Changes in weight loss of the bell peppers as affected by vibration and storage time in the environment of series B

진동 수준, 저장 환경 및 저장 기간은 파프리카의 색상과 감모율에 큰 영향을 미친다. 농가수확부터 시장에 이르기까지 대부분의 농산물은 운송 차량으로 운송된다. 유통하는 동안 청과물은 운송 차량으로부터 매우 다른 가속도(g)의 진동 수준을 받는다. 몇 가지 외부 환경 요인 중 진동은 제품 손상에 상당한 영향을 미칠 수 있다 (Soleimani and Ahmadi, 2015). 일반적으로, 12g 레벨에서 180 초 동안의 진동은 특히 시리즈 A의 환경에서 다른 g 레벨에 비해 현저히 높은 감모율이 발생했다. 시리즈 B의 환경에서, 대부분은 파프리카 시료는 A 시리즈의 환경 시료보다 상업적 가치가 떨어졌다. 높은 진동, 보관 환경 및 보관 기간이 제품의 외관에 영향을 미치며, 생생한 컬러에서 비 선명한 컬러로 변경된다. 본 연구는 수확 후 처리 과정에서 진동 크기가 12g 이하이어야 함을 보여주며 운송 후 비 적절한 저장환경 및 저장 기간으로 인해 품질 저하 현상이 가속화되므로 저온 및 고습 환경에서 보관해야한다.

5. 낙하 충격에 따른 품질변화 세부시험

가. 실험 설계

수확 환경에서 토마토에 가해지는 충격 중 낙하에 의한 원인이 있다는 분석 결과를 바탕으로 토마토 낙하시험을 계획하였다. 실험에 사용된 토마토의 품종은 ‘도테랑다이아’종이고, 다양한 충격이 가해진 총 100개의 샘플 전체를 두 그룹으로 나누어 상온, 항온항습 조건에 보관하며 각각의 신선도 변화 추이를 분석하였다. 상온 보관이 이루어진 공간의 온도는 평균적으로 26.5 ℃, 습도는 46.0 %RH로 측정되었고, 항온항습 chamber의 세팅은 온도를 각각 10 ℃, 82 %RH로 설정하였으며 약간의 오차를 제외하고는 설정값을 유지하는 것을 확인하였다. 각 그룹에는 충격을 가한 토마토와 충격을 가하지 않은 토마토가 각각 포함되며 충격의 경우 총 4단계로 나뉘게 된다. 즉, 두 그룹에는 각각 5개의 서로 다른 충격 조건을 가진 토마토가 포함되었다. 이에 대해 토마토의 신선도를 판별할 수 있다고 보고된 3개 인자를 보관 0, 2, 4, 6, 8, 10일차에 각각에 맞는 방식으로 측정하여 데이터를 수집하였다.

토마토에 충격을 가해주는 방식은 다음과 같다. 수확과정 중 발생하는 낙하 높이는 수확상자의 단수(쌓은 상자 개수) 및 높이에 의한 것으로 추정하여 이를 바탕으로 낙하 높이를 20, 30, 40, 50cm로 설정하여 실험을 계획하였다. 크기와 중량이 비슷한 토마토 샘플을 선정하여 사용하였지만 미세한 중량차이일지라도 직접 낙하했을 경우 토마토에 가해지는 충격이 다르므로 실험에서는 샘플에 가능한 비슷한 충격을 가하기 위하여 그림 68과 같은 실험 장치를 구성하였다.

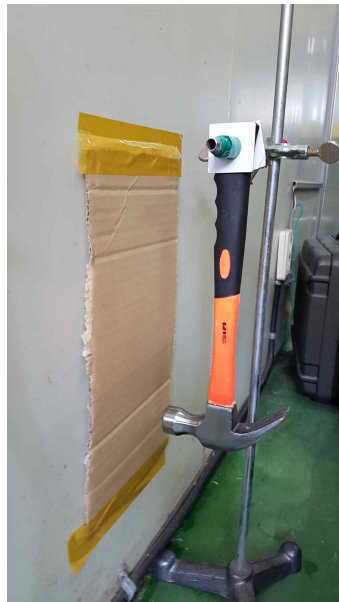


그림 68 토마토에 충격을 가해주는 장치

즉, 다양한 높이에서 토마토를 직접 낙하시키는 것이 아니라 일정한 중량을 가진 망치를 이용해 각도를 다르게 하여 회전시키는 방식을 통해 충격을 가해주었다. 이 방식을 이용하기 위해 낙하높이와 회전 각도에 대한 관계를 파악하여야 하며 그 관계식은 다음과 같다.

$$m_{\text{tomato}} \cdot g \cdot h = M_{\text{object}} \cdot g \cdot L \cdot (1 - \cos\theta)$$

여기서 m_{tomato} (kg)는 토마토의 평균 중량으로 0.2 kg, h 는 토마토의 낙하높이로 20, 30, 40, 50cm에 해당하며, M_{object} (kg)는 망치의 중량 0.6 kg, L 은 망치의 길이인 0.29 m, θ 는 망치와 지면의 수직면 사이 각도를 각각 나타낸다. 낙하 높이 h 와 각도에 대한 관계를 정리하면 다음의 표 19와 같다.

표 19. 낙하높이와 낙하각도 사이 관계

h (cm)	0	20	30	40	50
θ (°)	0	40	49	57	65
W (J)	0	0.39	0.59	0.78	0.98

나. 데이터 취득 방법

(1) 감모율 (Weight loss, %)

일반적인 과채류 무게 변화는 수분이 과피를 통해 빠져나감으로써 발생하며, 이는 저장 성과 품질 변화를 나타내는 중요한 요인이다(Ben-Yehoshua, 1989; Hardenburg, 1986). 수분 손실이 3-10%일 경우 대부분의 과채류의 신선도가 떨어지기 때문에 감모율은 품질에 결정적인 요소라고 볼 수 있다(Burton, 1982; Peleg, 1985; Robinson et al., 1975). Chang 등(2016)이 수행한 연구에서 상온환경에 저장이 이루어진 토마토의 경우 1-5%의 감모율이 발생하였다. 저장 전 각각의 토마토 중량을 측정하고 저장기간 별 각 샘플의 중량을 측정하였다. 본 연구에서 사용된 감모율의 계산공식은 다음과 같다.

$$\text{감모율}(\%) = \frac{\text{수확무게} - \text{저장무게}}{\text{수확무게}} \times 100$$

토마토의 충격면과 샘플 개체를 구분하기 위하여 토마토에 순번이 적힌 스티커를 부착하였다. 라벨링 처리를 한 토마토를 저장 환경 별, 낙하충격 별 각각 10개씩 별도로 저장하며 각 실험 차수에 무게를 측정하였다.

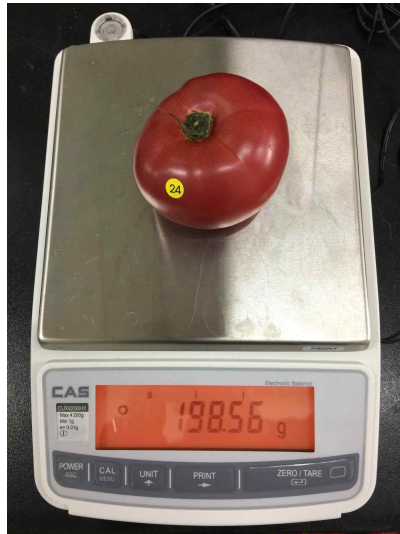


그림 69 토마토의 무게측정

(2) 색도 (color, lux)

본 실험에서는 과피 색상이 신선도의 판단기준이 되는지 확인하기 위하여 L, a, b 값을 측정하였다. 외부인자인 과피 색상은 그림에 제시된 Chroma meter(CR-400m, Minolta, Osaka, Japan)를 사용하여 표준 백색판(L=96.3, a=0.57, b=0.89)으로 보정한 후 토마토의 표면 색상을 측정하게 된다. 측정 시 과실의 적도면 과피색의 평균적인 부분을 이용하였으며 색도는 명도(lightness)를 나타내는 L 값, 적색도(redness)를 나타내는 a 값과 황색도(yellowness)를 나타내는 b 값을 측정하였다. 토마토의 Lab color space에서 L 값이 줄어든 것은 과실 표면이 투명(bright)으로부터 불투명(opaque)해진 것으로 쇠퇴(senescence) 단계에 있다는 것을 나타낸다(Artes and Escriche). 이 때, L a b 값 중 a/b의 비율이 -0.6 이하는 mature green, 2.2이상은 과숙(overripe)의 기준으로 볼 수 있다(C.E. Chavez-Murillo 등). 똑같은 수확환경과 저장 상태일지라도 개체마다 혹은 한 개체 안에서도 측정 위치에 따라 L, a, b의 값이 다를 수 있다. 이 문제를 해결하기 위해 매 측정 시 10개 샘플을 사용하였으며 각 샘플의 충격면과 비충격면에 대해 각각 3 points씩 측정하여 평균치를 계산하였다.



그림 70 크로마미터를 사용한 토마토의 색도측정

각 시료의 충격면과 비충격면, 저장일에 따른 명도, 적색도와 황색도의 변화량을 분석하였다. 적색도와 황색도를 이용해 a/b를 계산하고 다음의 식에 대입하여 각 시료의 색차값(ΔE), 색의 채도(chroma)와 색조 각(hue angle)을 구하였다.

$$\Delta E = \sqrt{(L_{before} - L_{after})^2 + (a_{before} - a_{after})^2 + (b_{before} - b_{after})^2}$$

$$chroma = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$$

$$hue = \arctan \frac{b^*}{a^*}$$

L_{before} : 저장 전 명도

L_{After} : 저장 전 명도

a_{before} : 저장 전 적색도

a_{after} : 저장 전 적색도

b_{before} : 저장 전 황색도

b_{after} : 저장 전 황색도

토마토의 충격면과 비 충격면의 색상 차이도 함께 분석하였으며 저장시간에 따른 변화값 역시 확인하였다.

(3) 경도 (Firmness, units)

저장시간이 길수록 과실의 수분함량이 내려감에 따라 감모율이 커지고 이는 과피의 경도에 영향을 주게 되므로 토마토의 중요한 신선도지표인자로 볼 수 있다.(K. M. Han). 비과피 경도계(HPE II Fff digital model, Germany)를 이용하여 그림과 같이 경도를 측정하였다. 이 비과피 경도계는 측정범위가 0부터 12.5N이고 정확도가 ± 0.1 유닛(unit)이며 측정부분의 단면적이 0.5 cm^2 인 원형 테스트 프로브를 가지고 있다. 측정된 결과는 12.5N의 힘을

100등분한 스케일 값이고 측정단위는 유닛으로 나타내었다. 경도 측정의 경우 색상 측정과 같은 이유로 토마토 샘플의 충격면과 비 충격면에 대하여 각각 3반복 측정을 하였다.



그림 71 비파괴 경도계를 이용한 샘플의 경도측정

(4) 통계분석

모든 분석 결과는 반복 실험과 100개 시료의 결과로부터 평균값, 표준편차를 이용해 분석하였으며 통계분석은 IBM SPSS Statistics(20, IBM Corp., Armonk, NY, USA)를 이용하여 ANOVA test와 Duncan's multiple range test를 통해서 시료 저장 기간별 유의적 차이($p < 0.001$)를 검정하였다.

다. 데이터 분석 및 결과

(1) 감모율 (Weight loss, %)

토마토의 수확 후 저장기간에 따른 감모율을 아래의 그림과 같이 분석하였다. 그래프를 통해 저장환경에 상관없이 모두 저장기간에 따라서 감모율이 증가하는 경향을 확인 할 수 있으며, 다만 상온조건에서 감모율이 더욱 크게 증가하는 것으로 나타났다. 항온항습 조건의 경우 일반 박스 포장임에도 불구하고 온도가 10℃, 상대습도가 80%의 저장조건이었던 관계로 저장기간 10일까지 최대 0.9% 정도에 머물렀다. 저장기간에 따른 감모율 변화는 확연히 차이가 있었지만 토마토 과실의 경우 무게 감모율에 따른 상품성 유지 범위가 5-7%이므로 저온저장 조건에서 저장 10일까지는 감모율에 따른 품질 저하는 미비하다고 판단된

다(Kays SJ 1991). 다음의 그림에서 Control은 무 낙하한 대조 실험조이고 20, 30, 40, 50은 각각 대응한 낙하 높이(cm) 실험조를 표시한다. 아래의 그림 결과를 보면 상온보관과 저온저장환경 전체적으로 무 낙하 대조실험조의 감모율이 제일 적은 편이었고 저장시간이 길수록 낙하 샘플조와의 차이가 컸다.

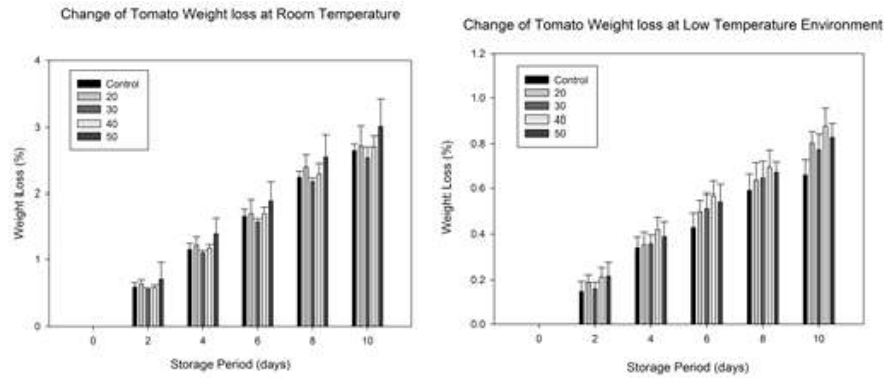


그림 72 저장기간 및 낙하충격에 따른 감모율변화

통계적으로 실험데이터를 분석하기 위하여 분산분석을 진행하였다. 다음의 표는 낙하 높이가 0, 20, 30, 40, 50 cm를 요인으로 한 토마토 감모율의 일원배치 분산분석 결과이다. 단순히 낙하 높이를 요인으로 분석할 때 유의확률은 0.932로 0.05보다 크기 때문에, 단순 낙하 높이와 감모율 사이의 유의성은 미비하다고 판단된다.

표 20. 낙하높이를 요인으로 한 감모율(WL, Weight Loss)의 일원배치 분산분석 결과

WL

	제곱합	df	평균 제곱	F	유의확률
집단-간	.514	4	.129	.212	.932
집단-내	306.708	506	.606		
합계	307.222	510			

표 21. 저장시간, 저장환경 및 낙하 여부 요인들 종합 분석한 분산분석 결과

개체-간 효과 검정

종속 변수: WL

소스	제 III 유형 제곱합	자유도	평균 제곱	F	유의확률
수정 모형	293.654 ^a	59	4.977	172.299	.000
절편	375.963	1	375.963	13014.974	.000
Drop	.653	4	.163	5.648	.000
Day	168.385	5	33.677	1165.818	.000
Environment	110.578	1	110.578	3827.961	.000
Drop * Day	.664	20	.033	1.150	.295
Drop * Environment	.432	4	.108	3.743	.005
Day * Environment	51.955	5	10.391	359.716	.000
Drop * Day * Environment	.527	20	.026	.912	.572
오차	12.999	450	.029		
합계	597.394	510			
수정 합계	306.653	509			

a. R 제곱 = .958 (수정된 R 제곱 = .952)

저장환경, 저장시간과 낙하높이의 요인들을 종합하여 분석한 결과는 위의 표와 같다. 개체간의 효과 검정 결과는 낙하높이, 저장시간과 저장환경에 대한 유의확률은 모두 0.000이므로(<0.05) 실험 시료는 각 인자에 대해 변화가 있음을 확인할 수 있다.

(2) 색상 (Color, lux)

저장기간 및 가한 낙하 충격의 각 단계에 대해 토마토 샘플 충격면과 비 충격표면의 색상변화를 아래의 그림과 같이 분석하였다. 그림의 왼쪽은 상온보관이고 오른쪽은 저온저장보관이며 각각 Hunter color space의 L*, a*, b*결과에 대해 정리하였다. 횡축은 저장일 표시하고 수확 당일(0일)부터 저장 2, 4, 6, 8과 10일에 대하여 무낙하 시료, 20cm, 30cm, 40cm, 50cm 낙하 시료의 충격면과 비 충격면 과피 색상 순서로 정리했다. 그래프 L*값의 경우, 저장기간이 길어짐에 따라 점점 작아지는 추세를 확인할 수 있고 저온저장환경의 결과가 조금 더 작은 것을 관찰할 수 있다. 또한, 충격을 가하지 않은 시료와 비충격면의 결과가 충격면보다 높은 것을 확인할 수 있다.

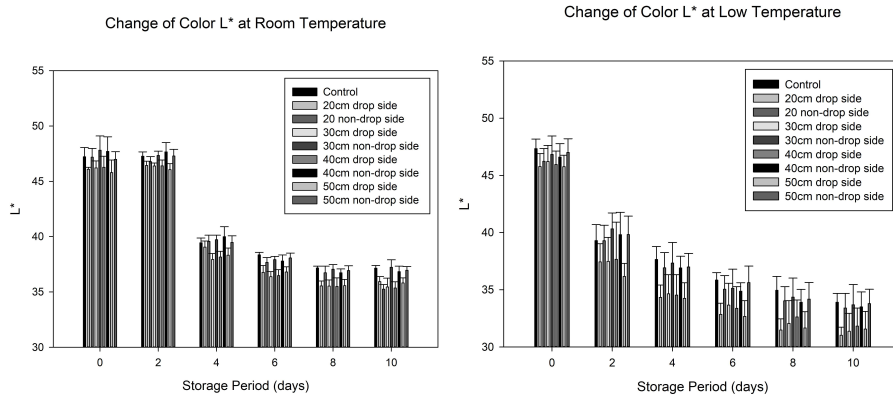


그림 73 낙하충격에 따른 수확 당일 색상 측정 그래프 그림 74 낙하충격에 따른 저장 2일차 색상 측정 그래프

그림 75 낙하충격에 따른 저장 4일차 색상 측정 그래프 그림 76 낙하충격에 따른 저장 6일차 색상 측정 그래프

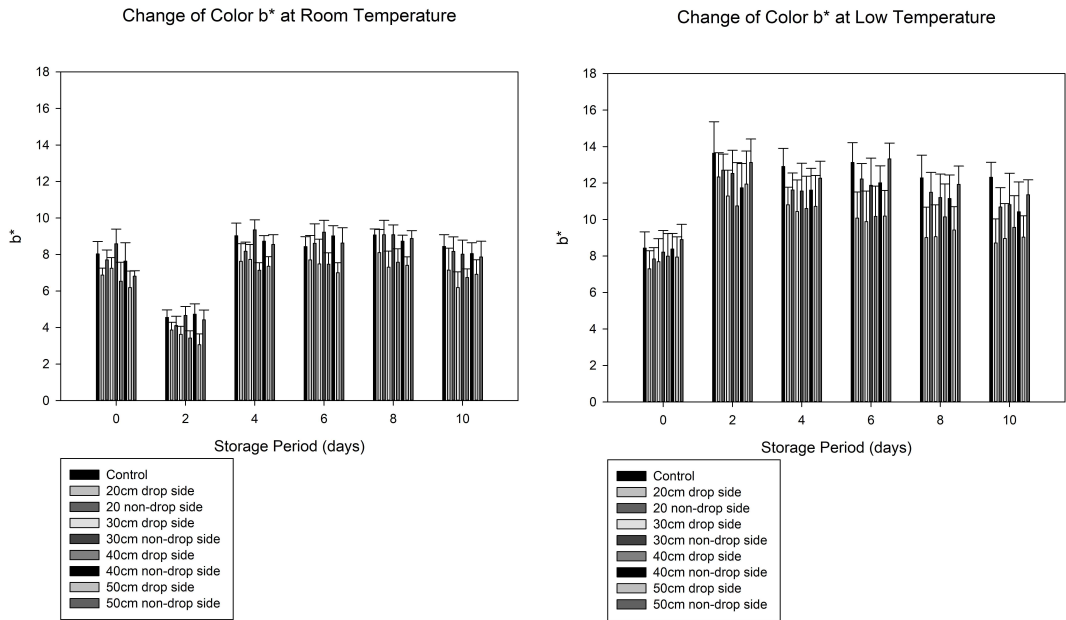


그림 77 낙하충격에 따른 저장 8일차 색상 측정 그래프 그림 78 낙하충격에 따른 저장 10일차 색상 측정 그래프

토마토 표면의 색상은 리코펜과 엽록소 색소 함량과 관계가 있다(Arias R 등 2000). 농가에서 토마토를 수확할 때 높은 저장성과 고품질 유지하기 위하여 일반적으로 완숙과가 아닌 80%정도 성숙한 과실을 수확한다. 토마토는 수확후에도 계속 성숙되기 때문에 위의 그림의 a*, b* 결과를 보면 저장 2일 혹은 4일 까지 결과 값이 증가하는 것을 확인 할 수 있다. 비충격면과 충격면의 결과를 비교하면 충격면의 결과값이 비충격면보다 작은 것을 확인할 수 있는데 이는 토마토가 낙하 충격의 영향을 받아 내부가 손상을 받는 것으로 추측할 수 있다.

(3) 경도 (Firmness, units)

경도는 토마토의 중요한 품질 인자이며 소비자의 구매여부를 결정짓는 최종지표로 작용한다. 수확 후에 발생하는 연화는 주로 수분 손실과 pectinmethylesterase와 polygalacturonase등의 세포벽 분해효소 활성화에 기인한다(Vu TS 등 2004). 이러한 효소 활성화는 과실의 속도 및 저장온도가 높을수록 급격히 증가하므로 저온고습 유지가 더욱 중요하다(Barnavon L 등 2001). 다음의 그림은 실온저장과 저온저장의 토마토 시료에 대한 경도 결과이다. 저온저장에 비해 상온에 저장한 토마토시료의 경도가 저장시간이 길어짐에 따라 훨씬 낮아지는 것을 확인 할 수 있다. 상온저장에서 저장초기에는 충격면과 비충격면이 경도 차이가 있지만 저장 6일부터는 경도가 20 units정도도 안 되기에 충격면과 비충격면을 포함하여 전체적으로 연화된 것을 할 수 있다. 저온저장한 토마토시료는 수확일로부터 저장 10일까지 충격면과 비충격면의 경도크기가 현저한 차이가 있는 것을 확인할 수 있다. 특히 낙하 충격을 받지 않은 시료의 경도가 각 저장일 중 가장 높은 것으로 확인되었다.

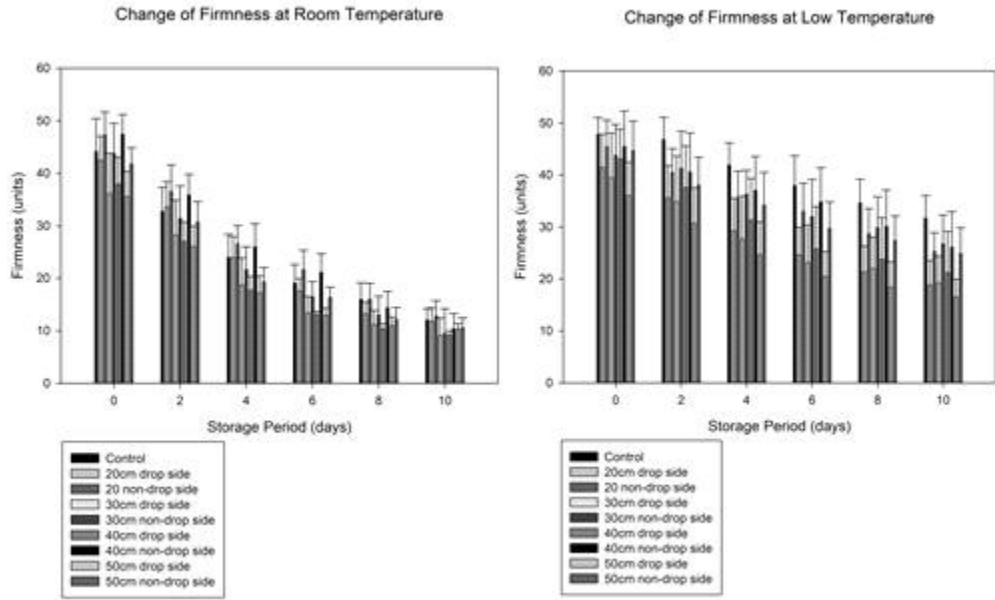


그림 79 낙하충격에 따른 수확 당일, 저장 10일차 경도 측정 그래프

라. 결론

토마토의 신선도를 평가하기 위해 토마토의 색도, 감모율과 경도 3개 인자변화를 조사하였다. 측정된 인자들은 저장기간이 지남에 따른 저장 조건, 낙하 충격을 받은 정도에 따라 신선도 변화추이를 잘 표현하는 것으로 나타났다. 특히 낙하충격을 받지 않은 control시료는 낙하충격을 받는 시료들에 비해 감모율이 낮고 경도와 표면 색상 명도(L*)에 더 큰 차이가 나타나는 것으로 확인됨에 따라, 수확용 작업차 차체와 덤핑 시스템을 포함하여 충격을 발생시키는 원인이 되는 수확절차에 대해 충격을 줄일 필요가 있음을 확인하게 되었다.

6. 다변량 분석을 이용하여 추정된 기계적 충격을 가한 토마토의 명

본 연구에서는 일정하게 온도와 습도(10℃, 85%RH)를 유지한 환경과 일반 상온환경(25℃, 40%RH)에서 10일간 저장하여 동일한 품종과 동일한 시료에 대해 신선도 품질인자의 변화를 분석하고 품질인자 사이의 관계를 분석하여 토마토 다 변량 분석 모델을 제안하고자 하였다.

아시아종 ‘도테랑다이아’는 한 화방에 4-6과 정도 수확이 가능하며 생산성이 높다. 뿐만 아니라 과피색은 선명한 붉은색이며 과육이 단단하고 상품성이 높다. 그리하여 실험에 사용된 시료는 경기도 일대에서 재배한 아시아종 ‘도테랑다이아’ 품종을 2017년 9월에 생산된 토마토를 수확 당일 구입하여, 결함 없는 200 g 내외의 중과를 선별한 후 포장하여 저장 실험에 사용하였다. 토마토를 박스 포장에 넣고 온도가 10±1℃, 습도가 90±10%RH인 항온항습챔버(Temp. & Humid. Chamber, HB-301SO model, Hanbaek scientific Co., Korea)에 수확 직후부터 10일간 저장하였다. 수확 당일 및 저장 2일, 4일, 6일, 8일과 10일 같은 시간 같은 실험 조건에서 동일한 토마토 시료 120개에 대해 기계적 충격을 가한 후 무게, 색상과 경도를 측정하고 기록하였다.

저장 전 각각의 토마토 중량을 측정하고 저장기간 별 품질분석, 당일 각 시료의 중량을 측정하고 아래의 식에 따라 개별 시료의 감모율(WL)을 계산하였다.

$$\text{Weight loss rate(\%)} = \frac{W_{\text{before}} - W_{\text{after}}}{W_{\text{before}}} \times 100$$

W_{before} : 저장 전 중량

W_{after} : 저장 후 측정 당시 중량

토마토의 색도 변화는 색차계(CR-400, Minolta, Osaka, Japan)을 이용하여 표준 백색판(L=96.3, a=0.57, b=0.89)으로 보정한 후 30개의 시료에 대하여 적도 부위의 3점에 대하여 각각 3회 이상 반복 측정할 수 평균값으로 나타내었다. 색도는 명도(lightness)를 나타내는 L 값, 적색도(redness)를 나타내는 a 값과 황색도(yellowness)를 나타내는 b 값을 측정하였다. 저장 전후의 색도 변화와 추세를 보여주기 위하여 각 시료와 저장일의 명도, 적색도와 황색도의 변화량을 분석하였다. 적색도와 황색도의 적 a/b를 계산하고 다음의 식 (A), (B), (C)에 각 시료의 색차값(ΔE), 색의 채도(chroma)와 색조 각(hue angle)을 구하였다.

$$\Delta E = \sqrt{(L_{before} - L_{after})^2 + (a_{before} - a_{after})^2 + (b_{before} - b_{after})^2} \quad (A)$$

$$chroma = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (B)$$

$$hue = \arctan \frac{b^*}{a^*} \quad (C)$$

L_{before} : 저장 전 명도

L_{after} : 저장 전 명도

a_{before} : 저장 전 적색도

a_{after} : 저장 전 적색도

b_{before} : 저장 전 황색도

b_{after} : 저장 전 황색도

무게 측정과 색상 측정이 끝난 토마토 시료에 대하여 적도면 3곳에 대하여 비 파괴적 경도계로(HPE II Fff digital model, Germany) 3반복 측정하였다. 본 실험에 사용된 경도계는 측정범위가 0부터 12.5 N에 해당하고 정확도는 ± 0.1 유닛(unit)이다. 측정부분은 단면적이 0.5 cm^2 인 원형 테스트 프로브이다. 측정된 결과는 12.5 N힘을 100등분한 스케일 값이고 측정단위는 유닛으로 나타내었다.

아래의 식에 따라 개별 시료의 경도 감소율(FL)을 계산하였다.

$$\text{Firmness loss rate}(\%) = \frac{F_{before} - F_{after}}{F_{before}} \times 100$$

F_{before} : 저장 전 중량

F_{after} : 저장 후 측정 당시 중량

모든 통계 분석, 분석 및 다 변량 분석 모델 구축에 필요한 알고리즘 개발은 R 3.4.2 (R Development Core Team, 미국 메사추세츠 주 보스턴)를 사용하여 수행되었다. 출력 데이터는 SigmaPlot, 버전 12.5 (Systat Software Inc; San Jose, CA, USA)를 사용하여 플로팅되었다. 다변량 모델링은 일반 선형회귀 분석, 인공신경망(ANN)과 로지스틱회귀분석을 진행하였고, 그 결과는 다음과 같다.

선형회귀 분석을 사용한 표 22는 최종 선형회귀 모형과 역방향으로 선택된 독립변수를 보여준다. 이들 모형에 대해, 측정값에 대한 예측값의 플롯은 그림 71에 나타나 있다. 경도 감소 모형은 체중 감량 모형보다 예측이 좋았으며 경도감소에 관한 결정 계수는 0.93으로 무게 감소 결정 계수 (0.88)보다 높았다. 이 결과는 예측된 값과 측정된 값 사이에 체계적인 관계가 있음을 나타낸다. 또한, 대부분 결과는 큰 편차가 있는 특히 치를 제외하고 0%에서 40%까지 다양하다. 이런 Outliers의 원인은 다음과 같이 분석되었다. 실험에서 인위적인 측정 오류가 발생하거나 토마토가 후숙성 과일이기 때문에 실험에서 숙성 과정의 영향을 받을 가능성을 보인다.

ANN을 활용한 그림 72는 토마토 시료의 무게와 경도 감소율에 대한 ANN 모형의 평가 성능을 보여준다. 각 모형의 성능은 결정 계수를 사용하여 평가되었다. ANN 모형의 테스

트 결과를 바탕으로, 체중 감소율 ($R^2 = 0.95$)을 고려한 모델의 성능은 경도 감소율 ($R^2 = 0.91$)을 고려한 모델의 성능보다 약간 더 좋았다. ANN 분석 구조에서 hidden layer 노드 수, 감쇠율 및 반복 수는 각각 3, 0.1 및 1000이다. 같은 조건을 사용하여 ANN 예측 모델이 경도 및 체중 감소율에 적용되었으며, 결과는 체중 감소율 예측을 통합 한 모델이 경도 감소율 예측 모델을 포함하는 모델보다 우수함을 보여주었다.

로지스틱 분석을 사용한 표 23은 낙하 충격력, 보관 환경, 보관 기간 및 관련 과일 품질 매개 변수가 있는 모델을 요약한 것이다. 가장 낮은 AIC 값을 가진 모델의 결과가 표시되며 이는 선호되는 모델이다. 과실이 받은 충격과 과일 품질 매개 변수의 영향은 카이 제곱 값에 기초하여 잘 균형을 이룬 것으로 보였다. 일반적으로 과실 육체 및 외 피부색, 저장 기간 및 견고 함은 타박상의 존재와 밀접한 관련이 있다. 모델을 평가할 때 모델 적합성에 중점을 둔다. 그림 73은 물류 모델의 표준화 된 잔류 편차를 보여준다. 1.5보다 큰 절대 값은 제대로 계산되지 않았지만 이러한 값이 반드시 이상 값이라는 의미는 아니다. 특히 실험 설계의 한계를 고려할 때, 그러한 모델은 실생활에서 발생하는 조건을 설명 할 수 없다. 예를 들어, 낮은 수준의 힘으로 영향을받은 과일은 타박상을 보일 수 있다. 그러한 경우에, 모델은 타박상 손상을 예측하지 않았으며 이는 관측과 일치하지 않았다. 그럼에도 불구하고 이 데이터는 모델의 약점을 보여주고 일반적으로 존재하는 많은 정도의 생물학적 변이를 설명하기 위해 사용 되었기 때문에 데이터 세트에 유지되었다.

그림 74는 마지막 로지스틱 회귀 모델을 보여준다. 수직 막대도표는 각각의 주어진 조건에 대한 타박상 예측 값을 나타낸다. 그래프의 수평면을 따르는 좌표는 저장 기간과 경도 감소율을 나타낸다. 그림 74에서 알 수 있듯이, 탄력도가 높고 저장 기간이 짧을수록 멍이들 가능성이 낮다. 또는 견고성 값이 낮고 보관 기간이 길면 충격 멍이들 가능성이 커진다. 로지스틱 모델은 감수성 시험과 관련이 있으며 토마토 멍이 들기에 영향을 미치는 요소를 결정하기 위해 과일의 내재적 특성과 외인성 특성을 추가로 수행 할 수 있다.

그림 75에서 확인할 수 있듯이, 온도는 체중 감소 및 딱딱한 손실률에 긍정적 영향을 미치고 온도가 높을수록 멍이 더 많이 생겼다. 그러나 RH는 반대 결과를 보였다. 이 두 스토리지 환경 간의 가장 큰 차이점은 낮은 영향력 수준에서 관찰되었다. 이 차이는 컨트롤 세트 토마토의 경우 약 62 %에서 최고 충격력의 경우 45 %까지 다양하다.

표 22. 선형 회귀분석 모델

Mode	Equation	Adjusted R^2	Chi-square test	Residuals		
				Min	Max	Mean
1	$WL = 3.551 + 0.154 \cdot SD + 0.0137 \cdot DL - 1.239 \cdot Ev - 0.002 \cdot W - 0.044 \cdot L + 0.474 \cdot a + 0.399 \cdot b - 0.065 \cdot E - 0.603 \cdot C$	0.88	0.07	-1.97	1.32	0.27
2	$FL = 25.505 + 1.978 \cdot SD - 15.919 \cdot Ev - 0.028 \cdot W - 1.093 \cdot F + 1.385 \cdot a - 3.627 \cdot b + 0.757 \cdot E + 95.029 \cdot H$	0.94	27	-29.06	13.37	5.17

WL (weight loss), SD (storage day), DL (drop level), Ev (Environment), W (weight), L (lightness), a (redness), b (yellowness), E (ΔE), C (chroma), FL (firmness loss), F (firmness), H (hue).

표 23. 로지스틱 분석 모델

Explanatory independent variable	Parameter estimate (β)	AIC	Effect Wald chi square	Adjusted R^2
Intercept	8.41	372.52	5.34	
Hue	11.52	372.66	4.36	
a*	1.93	376.27	17.11	
ΔE	0.24	377.48	24.06	0.42
Chroma	-2.15	379.12	9.68	
Storage day	-0.52	400.27	7.22	
Environment	4.21	404.20	9.76	
Firmness	-0.17	409.60	4.17	

AIC: 354.52 for intercept only and 372.52 for intercept and covariates.

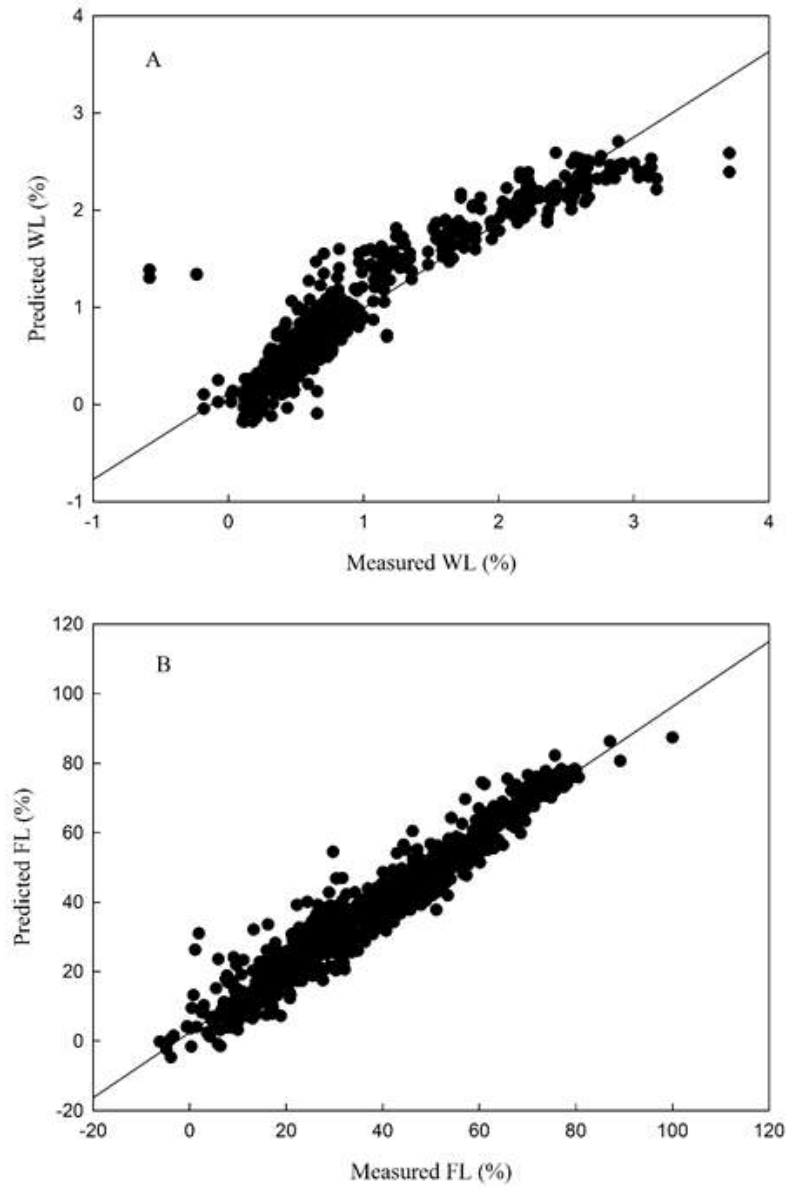


그림 71. Results for the prediction of weight loss and firmness loss values based on linear regression models. (A) Weight loss, (B) Firmness loss. The solid line indicates the result of linear regression.

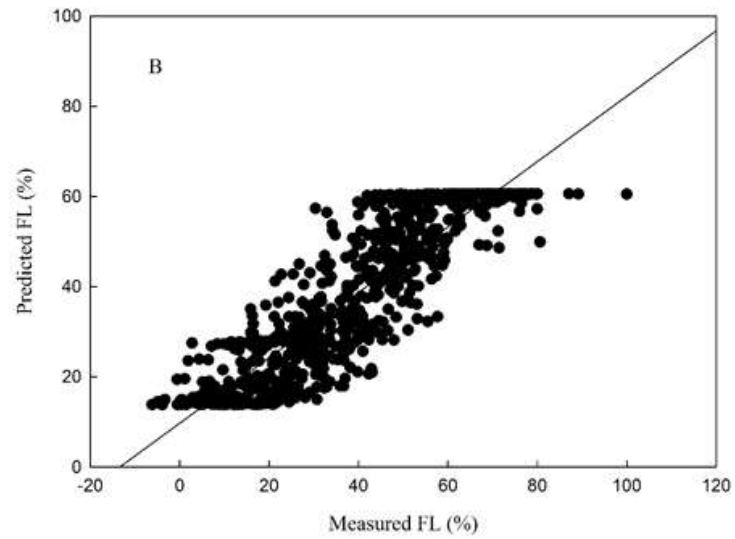


그림 72. Results for the prediction of weight loss and firmness loss values based on ANN models. (A) Weight loss, (B) Firmness loss. The solid line indicates the result of linear regression.

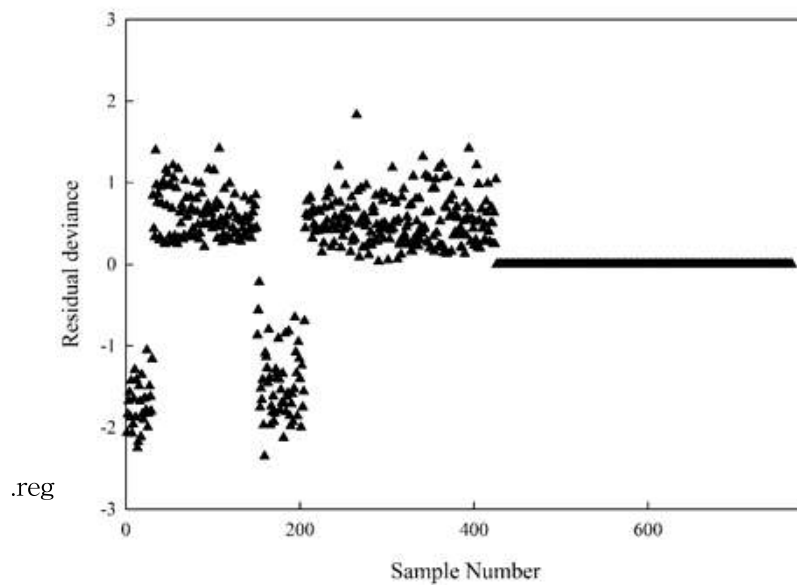


그림 73. Residual deviances for the logistic model containing impact force and fruit-quality parameters. Residual deviances with an absolute value of more than 1.5 are poorly accounted for by the model.

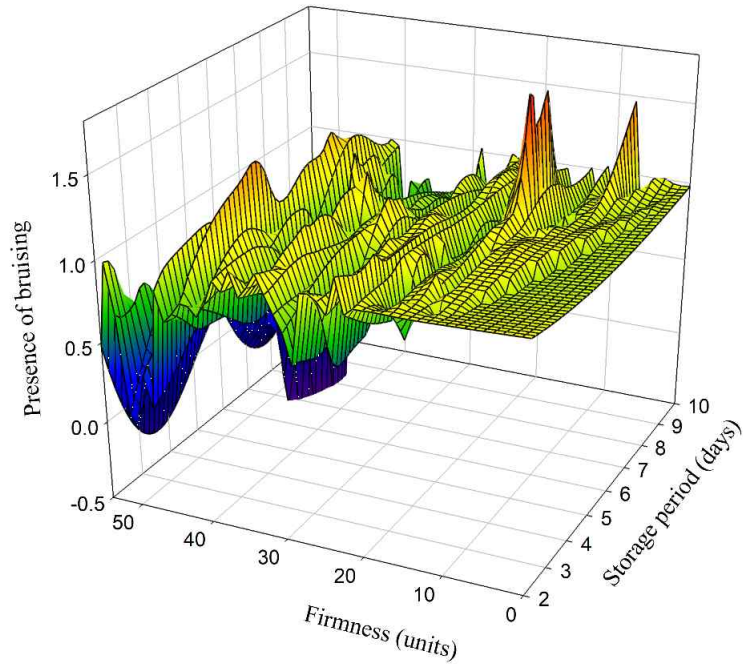


그림 74. The probability of developing a bruise based on the logistic model for tomato fruits.

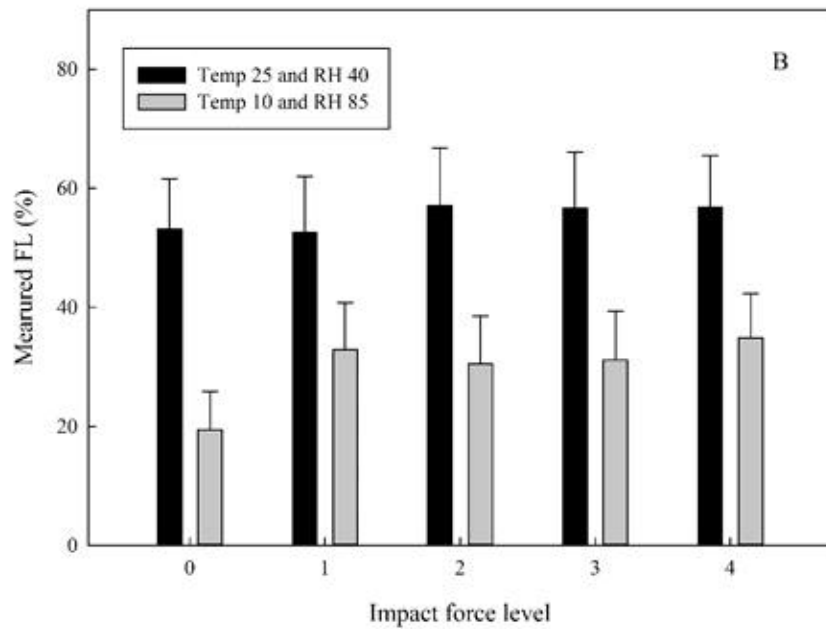


그림 75. Effect of storage environment on the weight loss and firmness loss rates of tomato fruit for each impact force level. (A) Weight loss, (B) Firmness loss. Values represent the means \pm SD (standard deviation) of each tomato group

제 3 절 파프리카, 토마토의 수확 후 품질변화 모델 개발

1. 과채류 수확 후 품질 및 환경인자 조사 분석

가. 선행 기술 조사

- PLA 필름으로 포장한 파프리카의 신선도를 조사한 논문(Park et al., 2011)에 의하면 Biobased 고분자의 일종인 PLA 필름을 활용하여 파프리카의 신선도를 유지하기 위한 실험을 수행하는데, 이 때 파프리카의 신선도와 관련된 주요 환경요인 및 품질인자를 판정하기 위한 여러 가지 기준을 제시한다.



그림 76. 파프리카 보관에 효과가 있는 것으로 알려진 PLA 필름

- 이 실험에 사용한 시료는 파프리카를 농산물시장에서 구입하여 크기와 색이 일정한 것으로 선별하여 사용하였으며 파프리카의 포장은 폴리사엔텍(경기도 화성소재)에서 개발한 PLA 필름과 사용 중인 수입 OPP 필름을 사용하였고 개발한 PLA 필름 3종과 기존에 사용 중인 OPP2종을 포장재로 사용하였다.
- 저장방법으로는 파프리카를 각각의 필름에 포장하였으며 상온에서 20일간(3,6,9,15,20)일 간격으로 품질을 측정하였고 그 결과 무게 감률의 증가와 수분함량이 점점 감소하는 결과를 보였다. 경도, 당도, 색도의 측정 결과는 시간이 지남에 따라 전체적으로 감소하는 결과를 보였다.

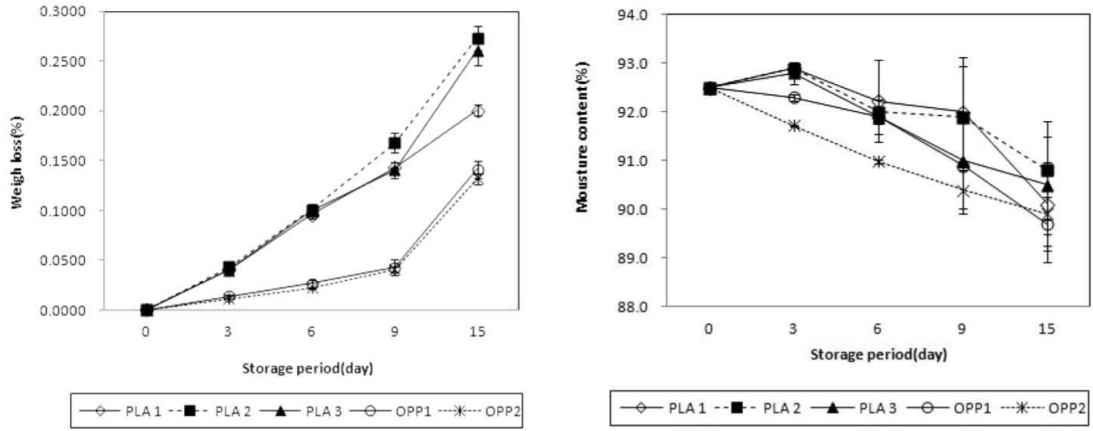


그림 77. 저장기간에 따른 파프리카의 무게 감률(좌), 수분 함유율(우)

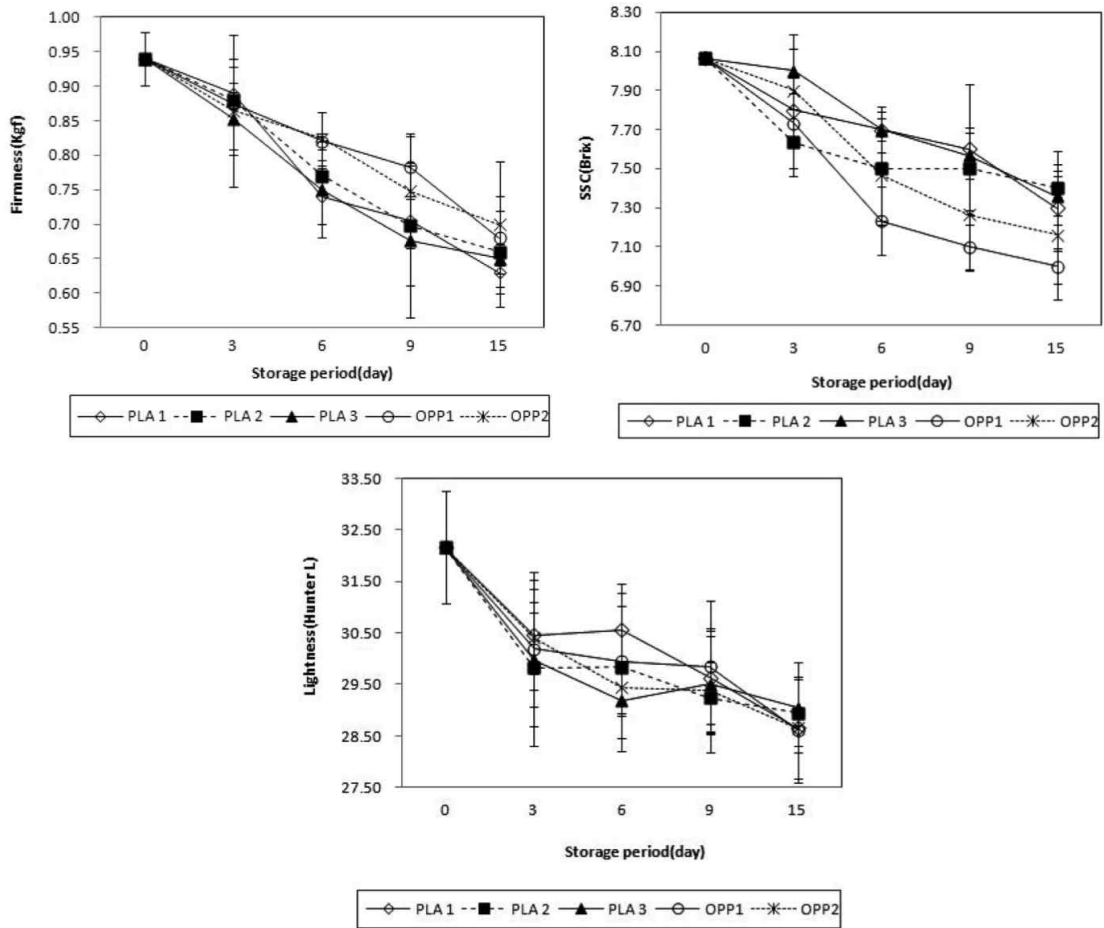


그림 78. 저장기간에 따른 파프리카 경도(위-왼), 당도(위-오), 색도(아래)

- Active MAP이 파프리카 저장성에 미치는 영향을 구명한 논문(Choi et al., 2011)에 의하면 파프리카 신선도 품질 향상을 위하여 Active MAP의 저장효과를 조사하였다.



그림 79. CA저장과 MA저장이 결합된 MAP처리

- 이를 위해 유럽 채소개발 연구센터는 2010년 3월부터 2010년 11월까지 온실 코코피트 배지에 표준액(EC 2.0mS, cm⁻¹, pH 5.5)을 기준으로 정식 전에는 EC 1.5mS, cm⁻¹의 수준으로 하였고 정식 후에는 2.2~2.5mS · cm⁻¹ 수준으로 정밀하게 공급 하였다. 수경 재배된 파프리카의 신선도를 측정하기 위하여 샘플 20g를 14cm × 15cm 규격의 LLDPE/Nylon, EVOH, Tie film과 40μm ceramic film을 이용하여 각각(CO₂:O₂:N₂) 0 : 20 : 80%(공기조성), 5 : 5 : 90%, 10 : 70 : 20%, 30 : 10 : 60% 가스로 치환 포장처리, 진공처리, ceramic film으로 포장 처리하여 9℃에서 7일간 저장하였다.
- 저장기간에 따른 생리특성 및 품질 변화를 조사하기 위해 무게 감률, 이산화탄소, 에틸렌 가스, 산소량의 변화를 측정하였으며 각각의 실험 결과를 알 수 있었다.
- 무게 감률은 저장 전 중량에 대한 저장 중 감소 정도를 백분율로 나타내었고, 저장 후 이취 검사는 관능검사로 실시하였는데 숙련된 5명의 패널에 의해 이루어졌다. 또한 포장재내부의 산소, 이산화탄소, 에틸렌농도는 포장재 외부에 처리를 하여 측정 간 가스 누출을 없게 하여 infrared sensor(checkmate, PBI Dansensor, Demark)와 가스크로마토그래피(GC2010, Shimadzu, Japan)(Park 등, 2000)로 측정하였다. 전해질 용출량은 0.7g의 시료를 mannitol(C₆H₁₄O₆) 0.4Mm/1L 25ml에 침지하여 3시간동안 용출시킨 후 EC 측정기(Cyberscan PC 300, Eutech instruments, singapore)로 측정 후 2번 냉각하여 다시 측정한 총 전해질 용출량 값에 대한 백분율을 하여 측정하였다. 모든 실험은 6반복으로 진행하였으며 Microsoft Excel 2007 program을 사용하여 평균과의 차이를 나타낸 표준 편차를 얻었다.

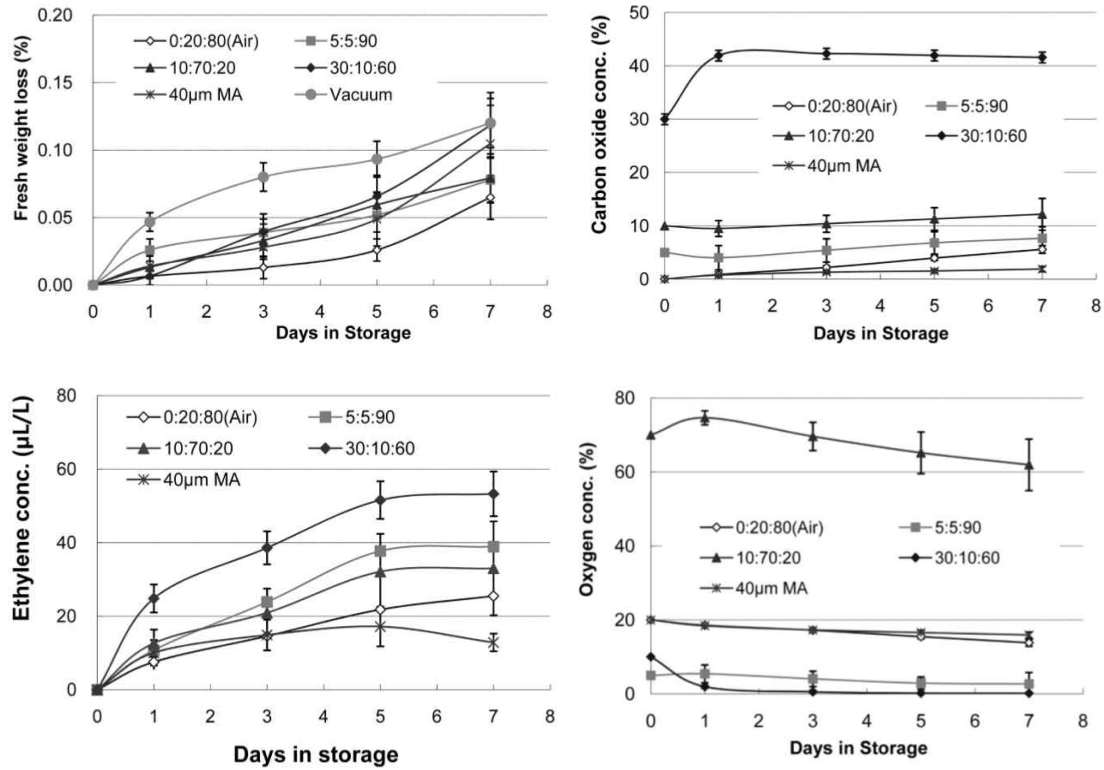


그림 80. 저장기간에 따른 파프리카 신선도, 무게 감률(위-왼), 이산화탄소(위-오), 에틸렌가스(아래-왼), 산소(아래-오)

- 고품질 수출용 파프리카 생산을 위한 이산화염소 가스 훈증 처리에 관한 논문(Kang et al., 2015)은 파프리카의 미생물학적 안전성을 확보하기 위해 수확 후 파프리카를 이산화염소 가스 훈증 처리한 후 8°C에서 저장 하면서 미생물 및 품질 변화를 분석하였다.
- 이산화염소 가스 훈증 처리는(주)푸르고팜(Hwasung, Korea)에서 제작된 이산화염소 가스 발생기를 이용하여 20°C, 상대습도 60% 조건에서 15, 30, 50, 75, 100 ppmv(equivalent to 0.28 ppm(18)) 농도로 각각 5, 10, 20, 30분간 처리하였다. 처리 후 미생물 수 분석 결과를 통하여 선정된 최적 조건으로 이산화염소 가스 농도는 75 ppmv, 처리 시간은 30분 조건에서 훈증 처리한 것을 chlorine dioxide gas 처리구로, 훈증 처리하지 않은 파프리카를 대조구로 하여 골판지 박스(300×400×180 mm, Sun Wellbeing, Jeonju, Korea)에 각 처리 시료들을 포장한 후 8±1°C 에서 30일 동안 저장하면서 미생물 수 및 품질 변화를 측정하였다.

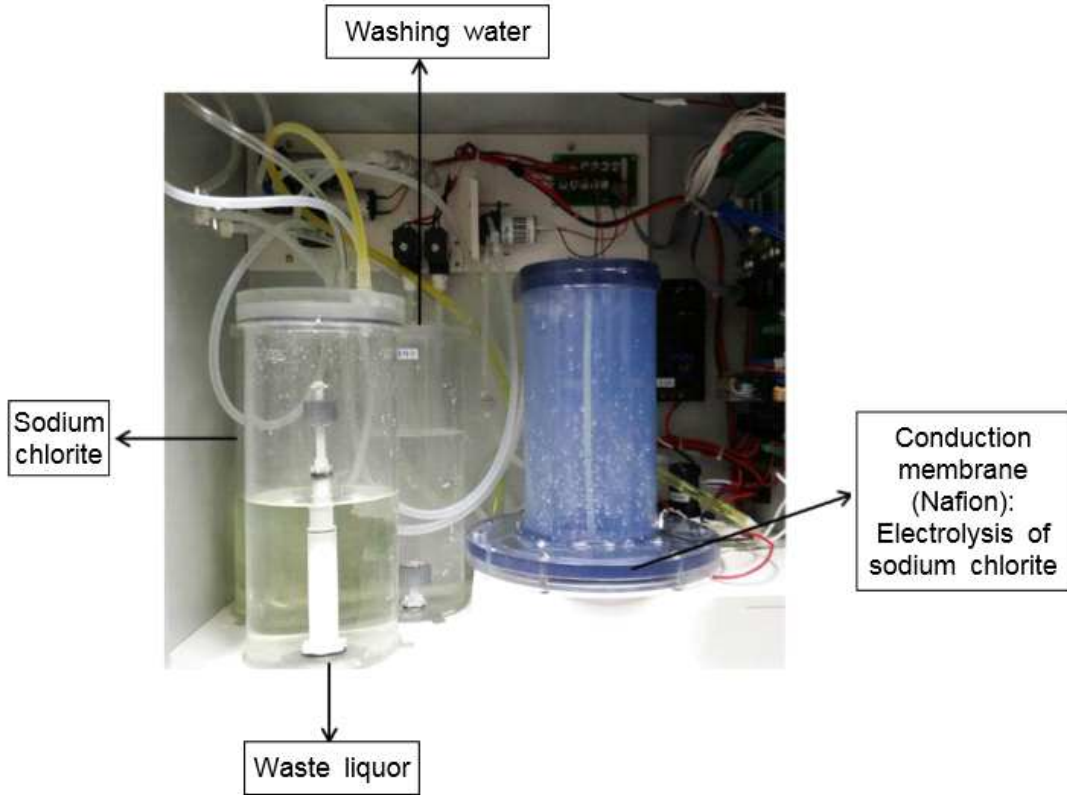


그림 81. 이산화염소 혼중 처리 장비

- 저장 중 미생물 수, 색도, 무게감을 및 당도, 총 페놀 함량, 비타민 C 함량, 경도, 등을 측정하고 관능평가와 통계분석을 한 결과를 나타내었다.

Microorganism	Time ¹⁾ (min)	ClO ₂ gas concentration (ppmv)				
		15	30	50	75	100
Total aerobic bacteria	0	4.66±0.26 ^{Aa2)}	4.66±0.26 ^{Aa}	4.66±0.26 ^{Aa}	4.66±0.26 ^{Aa}	4.66±0.26 ^{Aa}
	5	4.63±0.11 ^{Aa}	4.35±0.30 ^{ABab}	3.90±0.34 ^{Bbc}	3.74±0.28 ^{Bc}	3.51±0.11 ^{Bc}
	10	4.57±0.27 ^{Aa}	4.27±0.25 ^{ABa}	3.86±0.12 ^{Bb}	3.55±0.09 ^{Bbc}	3.48±0.08 ^{Bc}
	20	4.42±0.27 ^{Aa}	4.14±0.11 ^{ABab}	3.83±0.14 ^{Bbc}	3.52±0.13 ^{Bc}	3.39±0.14 ^{Bc}
	30	4.41±0.21 ^{Aa}	3.81±0.37 ^{Bab}	3.73±0.17 ^{Babc}	3.52±0.31 ^{Bbc}	3.07±0.16 ^{Bc}
Yeast and molds	0	3.51±0.26 ^{Aa}	3.51±0.26 ^{Aa}	3.51±0.26 ^{Aa}	3.51±0.26 ^{Aa}	3.51±0.26 ^{Aa}
	5	3.28±0.15 ^{ABa}	2.64±0.11 ^{Bb}	2.44±0.18 ^{Bb}	2.34±0.21 ^{Bbc}	2.06±0.10 ^{Bc}
	10	3.11±0.43 ^{ABa}	2.60±0.27 ^{Bab}	2.41±0.38 ^{Bab}	2.15±0.21 ^{Bab}	1.70±0.00 ^{Bb}
	20	2.78±0.19 ^{Ba}	2.44±0.25 ^{Bab}	2.35±0.32 ^{Bab}	2.06±0.32 ^{Bab}	1.70±0.00 ^{Bb}
	30	2.73±0.26 ^{Ba}	2.40±0.48 ^{Bab}	2.10±0.35 ^{Bab}	1.77±0.15 ^{Bab}	1.70±0.00 ^{Bb}

¹⁾Time: time for the treatment of chlorine dioxide gas.

²⁾Any means in the same column (A,B) or row (a-c) followed by different letters are significantly ($P<0.05$) different.

Microorganism	Treatment ¹⁾	Storage time (day)							
		0	1	5	10	15	20	25	30
Total aerobic bacteria	Control	4.72±0.27 ^{Aa2)}	4.61±0.16 ^{Aa}	4.62±0.23 ^{Aa}	4.64±0.20 ^{Aa}	4.88±0.14 ^{Aa}	4.79±0.18 ^{Aa}	4.76±0.23 ^{Aa}	4.73±0.12 ^{Aa}
	ClO ₂ gas	3.10±0.29 ^{Ba}	3.06±0.26 ^{Ba}	3.07±0.27 ^{Ba}	2.92±0.18 ^{Ba}	2.95±0.17 ^{Ba}	3.02±0.24 ^{Ba}	3.38±0.08 ^{Ba}	3.36±0.23 ^{Ba}
Yeast and molds	Control	3.21±0.26 ^{Aa}	3.40±0.22 ^{Aa}	3.34±0.22 ^{Aa}	3.37±0.22 ^{Aa}	3.30±0.23 ^{Aa}	3.37±0.23 ^{Aa}	3.40±0.16 ^{Aa}	3.58±0.26 ^{Aa}
	ClO ₂ gas	1.76±0.11 ^{Ba}	1.82±0.12 ^{Ba}	1.90±0.17 ^{Ba}	2.05±0.07 ^{Ba}	1.59±0.16 ^{Ba}	1.77±0.15 ^{Ba}	1.70±0.00 ^{Ba}	1.98±0.49 ^{Ba}

¹⁾Control, no treatment; ClO₂ gas, chlorine dioxide gas.

²⁾Any means in the same column (A,B) and row (a) followed by different letters are significantly ($P<0.05$) different.

Color value	Treatment	Storage time (day)							
		0	1	5	10	15	20	25	30
L	Control	30.75±0.42 ^{Aa1)}	30.76±0.48 ^{Aa}	30.75±0.46 ^{Aa}	30.68±0.57 ^{Aa}	30.64±0.40 ^{Aa}	30.71±0.34 ^{Aa}	30.71±0.25 ^{Aa}	30.70±0.17 ^{Aa}
	ClO ₂ gas	30.82±0.52 ^{Aa}	30.82±0.48 ^{Aa}	30.80±0.40 ^{Aa}	30.78±0.39 ^{Aa}	30.76±0.32 ^{Aa}	30.71±0.31 ^{Aa}	30.73±0.30 ^{Aa}	30.70±0.23 ^{Aa}
a	Control	23.27±0.47 ^{Aa}	23.23±0.44 ^{Aa}	23.23±0.54 ^{Aa}	23.22±0.57 ^{Aa}	23.18±0.50 ^{Aa}	23.14±0.49 ^{Aa}	23.13±0.40 ^{Aa}	23.07±0.37 ^{Aa}
	ClO ₂ gas	23.27±0.31 ^{Aa}	23.23±0.56 ^{Aa}	23.25±0.56 ^{Aa}	23.21±0.51 ^{Aa}	23.14±0.46 ^{Aa}	23.10±0.52 ^{Aa}	23.13±0.50 ^{Aa}	22.96±0.60 ^{Aa}
b	Control	11.38±0.29 ^{Aa}	11.39±0.26 ^{Aa}	11.33±0.36 ^{Aa}	11.38±0.24 ^{Aa}	11.34±0.28 ^{Aa}	11.33±0.28 ^{Aa}	11.34±0.30 ^{Aa}	11.30±0.26 ^{Aa}
	ClO ₂ gas	11.41±0.34 ^{Aa}	11.40±0.38 ^{Aa}	11.42±0.41 ^{Aa}	11.38±0.33 ^{Aa}	11.34±0.28 ^{Aa}	11.33±0.28 ^{Aa}	11.32±0.34 ^{Aa}	11.35±0.29 ^{Aa}
ΔE	Control	-	0.35±0.10 ^{Aa}	0.36±0.20 ^{Aa}	0.36±0.12 ^{Aa}	0.35±0.19 ^{Aa}	0.36±0.16 ^{Aa}	0.35±0.16 ^{Aa}	0.36±0.04 ^{Aa}
	ClO ₂ gas	0.35±0.25 ^{Aa}	0.35±0.25 ^{Aa}	0.36±0.17 ^{Aa}	0.35±0.10 ^{Aa}	0.36±0.23 ^{Aa}	0.36±0.15 ^{Aa}	0.35±0.13 ^{Aa}	0.35±0.11 ^{Aa}

¹⁾Any means in the same column (A) or row (a) followed by same letters are not significantly ($P<0.05$) different.

Sensory parameter	Treatment	Storage time (day)							
		0	1	5	10	15	20	25	30
Appearance	Control	8.83±0.51 ^{Aa1)}	8.74±0.48 ^{Aa}	8.33±0.58 ^{Bb}	7.81±0.72 ^{Bc}	7.18±0.69 ^{Bd}	6.10±0.81 ^{Be}	5.02±0.88 ^{Bf}	3.98±0.87 ^{Bg}
	ClO ₂ gas	8.85±0.74 ^{Aa}	8.75±0.55 ^{Aa}	8.61±0.64 ^{Ab}	8.29±0.72 ^{Bbc}	7.91±0.82 ^{Bc}	7.44±1.02 ^{Bd}	6.86±0.99 ^{Be}	5.99±0.93 ^{Bf}
Color	Control	8.88±0.38 ^{Aa}	8.71±0.54 ^{Aa}	8.50±0.61 ^{Aa}	8.03±0.76 ^{Bb}	7.50±0.84 ^{Bc}	6.96±0.83 ^{Bd}	6.13±1.01 ^{Be}	5.38±0.97 ^{Bf}
	ClO ₂ gas	8.85±0.47 ^{Aa}	8.71±0.64 ^{Ab}	8.60±0.66 ^{Ab}	8.32±0.68 ^{Bbc}	7.95±0.86 ^{Bc}	7.62±0.95 ^{Bd}	7.10±1.15 ^{Be}	6.62±1.28 ^{Bf}
Odor	Control	8.82±0.43 ^{Aa}	8.62±0.57 ^{Aa}	8.49±0.63 ^{Aa}	7.94±0.79 ^{Bb}	7.55±0.92 ^{Bb}	6.82±0.93 ^{Bc}	5.88±0.99 ^{Bd}	5.17±0.89 ^{Be}
	ClO ₂ gas	8.81±0.48 ^{Aa}	8.67±0.61 ^{Ab}	8.60±0.57 ^{Ab}	8.19±0.93 ^{Bbc}	7.80±0.95 ^{Bcd}	7.40±1.11 ^{Bd}	6.87±1.13 ^{Be}	6.38±1.23 ^{Be}
Firmness	Control	8.94±0.24 ^{Aa}	8.86±0.35 ^{Aa}	8.43±0.67 ^{Ab}	7.81±0.81 ^{Bc}	7.13±0.80 ^{Bd}	6.05±0.78 ^{Be}	5.12±0.83 ^{Bf}	4.22±0.77 ^{Bg}
	ClO ₂ gas	8.97±0.16 ^{Aa}	8.89±0.36 ^{Aa}	8.57±0.71 ^{Ab}	8.20±0.73 ^{Bbc}	7.91±0.84 ^{Bc}	7.45±1.13 ^{Bd}	6.85±1.05 ^{Be}	6.06±1.14 ^{Bf}
Freshness	Control	8.92±0.37 ^{Aa}	8.78±0.54 ^{Ab}	8.49±0.58 ^{Ab}	7.79±0.75 ^{Bc}	7.23±0.78 ^{Bd}	6.21±0.73 ^{Be}	5.11±0.97 ^{Bf}	4.17±0.91 ^{Bg}
	ClO ₂ gas	8.97±0.18 ^{Aa}	8.85±0.43 ^{Aa}	8.65±0.59 ^{Aa}	8.15±0.82 ^{Bb}	7.86±0.89 ^{Bb}	7.28±0.99 ^{Bc}	6.79±1.06 ^{Bd}	6.10±1.09 ^{Be}
Overall acceptability	Control	8.89±0.32 ^{Aa}	8.76±0.43 ^{Aa}	8.24±0.43 ^{Bb}	7.75±0.76 ^{Bc}	7.08±0.71 ^{Bd}	6.17±0.72 ^{Be}	5.32±0.84 ^{Bf}	4.28±0.71 ^{Bg}
	ClO ₂ gas	8.89±0.32 ^{Aa}	8.81±0.40 ^{Aa}	8.53±0.63 ^{Ab}	8.30±0.78 ^{Bb}	7.86±0.88 ^{Bc}	7.38±0.97 ^{Bd}	6.90±1.00 ^{Be}	6.25±0.97 ^{Bf}

¹⁾Any means in the same column (A,B) or row (a-g) followed by different letters are significantly ($P<0.05$) different.

그림 82. 파프리카 이산화염소 가스 훈증 처리 관능평가 및 통계분석 결과

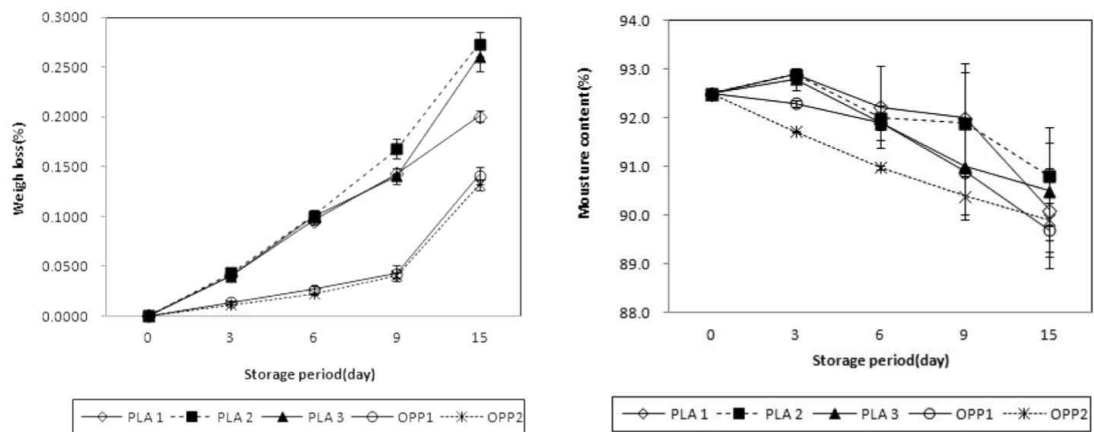


그림 83. 저장기간에 따른 파프리카의 무게 감률(좌), 수분 함유율(우)

나. 주요 품질 및 환경인자

- 선행연구 및 농산물 품질등급규격 표준화기술 개발연구(농림부, 2002)를 토대로 온도 습도가 주요 환경요인이며 무게 감률, 경도, 색도, 당도, 산소, 이산화탄소, 에틸렌 등 약 7가지의 품질인자를 선정하였으며 이를 위하여 시험 계획을 수립하였다.

표 24. 품질 변화 분석 실험 계획

환경에 따른 품질변화 예비시험	-환경에 따른 품질변화 테스트베드 구축	보관환경에 따른 파프리카, 토마토 신선도 변화 및 테스트 베드 구축	수확 후 보관환경에 따른 파프리카, 토마토 신선도 변화 테스트 베드 제작 및 구축
	-품질변화 예비시험	보관환경에 따른 파프리카, 토마토의 품질 변화 시험	수확 후 보관환경에 따른 파프리카, 토마토의 품질 변화 시험(각 2주동안 세 가지 방법으로 나누어 시험)
	-품질변화 세부시험 계획 수립	품종 및 수확시기에 따른 파프리카, 토마토 품질 변화 시험 계획	두 가지 이상의 품종(파프리카, 토마토) 및 수확시기에 따른 품질변화 시험 계획

- 파프리카, 토마토 과실의 품질변화 환경요인 조사 분석 후 외부 환경에 대한 품질변화 기초 실험 (충남대학교 원예학과 수확 후 품질인자 실험실 이용)을 진행하였다. 주요 환경 인자로는 온도, 습도, 이산화탄소, 에틸렌가스 등(Kang et al., 2015)을 선정하였으며 주요 품질 인자로는 경도, 색도, 당도, 무게 감률, 산소, 이산화탄소를 선정하였다(Choi et al., 2011). 실험 진행은 보관 시간에 따라 품질인자의 변화를 측정하였으며 충남대학교 원예학과 황용수 교수님 실험실의 지도를 받아 정밀저울, 경도, 색도, 당도 측정기, 산소, 이산화탄소 측정기 등의 장비들을 사용하여 환경 요인과 품질인자를 조절 확인 및 보완하였다.

표 25. 품질 인자 측정 장비 제원

측정장비	회사	모델	제원
정밀저울	AND	CB-3000	최대용량: 3000g 최소표시: 0.1g 재현성: ±0.1g 온도범위: -10~40℃ 크기: 190 x 213 x 50mm
경도측정기	Food Technology corporation	TMS-pro	측정범위: ±2500N 속도범위: 1 - 500 mm/min 데이터취득비율: 16000/sec 무게: 18kg 전원: 120/220V AC 50/60Hz
색도측정기	Minolta chroma meter	CR-400	측정시간: 1sec 최소측정구간: 3sec 배터리용량: 800measurements 측정조명범위: Ø 8 mm / Ø 11 mm 저장데이터용량: 1,000 크기: 102 × 244 × 63 mm
당도측정기	ATAGO	PR-32	측정범위: 0.0-32% 정확도: brix±0.1%(오차) 보관환경: 5-40℃ 크기: 17 x 9 x 4cm
산소,이산화탄소 측정기	Dansensor	checkmate-2	측정범위: 0-100% 무게: 0.7kg 샘플용적: 6ml 크기: 65 x 130 x 160mm

2. 환경 노출에 따른 저장 중 품질 변화 시험

가. 재료 및 방법

표 26. 15일간의 저장 기간 동안 품질 매개 변수에 대한 저장 전처리 및 보관의 영향을 식별하는데 사용되는 토마토 품종

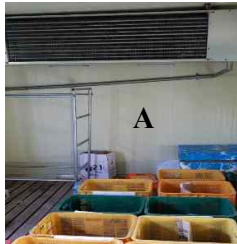
Tomato sample	Variety	Width (cm)	Height (cm)	Photo
Tomato-1	다불 (큰)	7±0.8	5±0.2	
Tomato-2	다불 (중)	5±0.8	3±0.2	
Tomato-3	센스큐 토마토	2.5±0.2		
Tomato-4	7160방울토마토	2.2±0.3	2.7±0.4	
Paprika-1	페라리 (빨간)	8±1.2	11±1.6	
Paprika-2	페라리 (노랑)	8±1.2	11±1.6	
Paprika-3	미니 파프리카 바인스위트	4.5±0.7	8.7±1.5	
Paprika-4	미니 파프리카 라운	4.2±0.4	9.1±1.6	

○ 파프리카와 토마토의 샘플과 사전 저장 처리

- 파프리카는 2015년 6월 한국의 중부지방에서 재배하기 시작하여 2016년 3월에 평균 높이 11±1.6cm 평균 너비 8±1.2cm로 수확하였고 토마토는 2015년 9월 한국 중부에서 재배되어 2016년 4월에 수확하였다. 평균 높이와 너비가 5±0.2cm and 8±1.2cm되는 “Dabol” variety tomatoes를 다양한 사전 저장 조건에 아래 실험하였다. 파프리카와 토마토는 수확 직후 바로 저온 창고에 저장하기, 하루 동안 온실에 차광하여 임시보관 후 저온 창고에 저장하기 그리고 하루 동안 온실에 비차광해서 임시보관 후 저온 창고에 저장하기 등 저장하는 3가지 사전 저장조건으로 평가하였다. 수확 된 파프리카와 토마토의 저장 조건을 조사하였다.



그림 84. 사전 저장 처리 : A. 수확 후 저온 창고에 즉시 저장 (SIH); B. 차광하여 온실에 하루보관 후 저온 창고에 저장 (OLS); C. 비차광하여 온실에 하루 보관 (OLWS) 그 후 저온 창고에 저장



B

C

그림 85. 사전 저장 처리 : A. 수확 후 저온 창고에 즉시 저장 (SIH); B. 차광하여 온실에 하루보관 후 저온 창고에 저장 (OLS); C. 비차광하여 온실에 하루 보관 (OLWS) 그 후 저온 창고에 저장

- 사전 저장 처리는 6.5m × 4.5m × 3.0m 저온 창고와 7.5m × 5.5m × 3.5m의 온실에서 각각 수행했다. 파프리카와 토마토 각각 샘플의 한 그룹은 수확 직후 바로 온도 10±1℃ 습도 90±3%를 유지하는 저온 창고에 저장하였고 다른 두 개의 그룹은 온도 25±4℃ 습도 75±5%인 온실 내부에 각각 차광 비차광 하여 같은 날 저장하였다. 수확 후 권장사항에 따르면 저장환경에서 공기 내부 기체의 조합이 파프리카와 토마토의 저장 수명을 연장하는 데 중요한 역할을 한다. 그러므로 저장 시간에 따른 파프리카의 변질을 억제하기 위해 2-5% O₂, 2-5% CO₂ 그리고 5-10% CO를 혼합 한 최적의 공기 조합이 필요하고 토마토의 변질을 억제하기 위해선 3-5% O₂, 2-3% CO₂, 5-10% CO 그리고 95-97% N₂를 혼합 한 최적의 공기 조합이 필요하다.
- 파프리카와 토마토 샘플의 품질 매개변수를 측정하였고 수확한 날 바로 3가지 저장조건에 놓여졌다. 하루가 지난 후, 파프리카와 토마토 샘플들은 온실 내부에서 차광 혹은 비차광 한 채로 임시 보관 후에 저온 창고에 넣었다. 그 후 모든 파프리카와 토마토 샘플들을 연속적으로 저온 창고에 넣었고 저장기간이 5, 10 그리고 15일 되었을 때 품질 매개변수를 측정하였다.



그림 86. 저온 창고 내부의 저장 조건



그림 87 (a) 차광하여 온실에 하루보관 후 저장 그림 87 (b) 비차광하여 온실에 하루 보관 후 저장

○ 실험 설계 및 통계 분석

- 파프리카와 토마토 샘플들은 다양한 사전 저장 환경에 할당하여 30개의 샘플들을 각각의 저장 처리 하였고 3가지 사전 저장처리(SIH, OLS, and OLWS)를 각각에 대해 3번씩 되풀이 하였다. 각 처리에 대해 90개의 샘플이 있고 총 360개의 파프리카와 토마토에 대해 무게 감률, 색도, 경도 그리고 soluble solids(TSS)같은 품질 매개변수를 0, 5, 10 그리고 15일간의 보관 시 앞에 나온 3가지 사전 처리 조건하에서 평가하였다. 저장 기간 동안 SAS소프트웨어(version 9; SAS Corporation, Cary, NC, USA)로 갖춰진 이단추출법으로 랜덤하게 설계되어진 유의성 테스트는 분산 분석(ANOVA)으로 수행하였고 유의미한 차이는 유의 수준 5%에서 평가하였다.
- 데이터의 통계 분석에 고려 된 요소들은 저장 전 조건, 저장시간, 반복실험(replication) 그리고 관찰이다. 또한 평균의 차이는 사전 저장 처리와 저장 기간 중 파프리카와 토마토의 품질 매개변수 중 유사한 그룹을 식별하기 위해 5% 수준에서 유의성으로 Duncan의 다중검정에 의해 결정되었다.
- 3가지 사전 저장 조건에 처리 된 파프리카와 토마토의 품질 매개변수의 변화를 예측하기 위해 다른 회귀 접근법을 만들었다. 수학적 방정식에서, 다르게 사전 저장 처리된 파프리카와 토마토는 독립변수로 품질 매개변수는 종속변수로 간주한다. 결정 계수(R²)값은 저장 기간 동안 품질 매개변수의 변화를 설명하기 위한 최상의 모델을 선택하기 위해 사용 된 회귀 모델에 대한 적합도로 간주되었다. 간단한 선형 회귀 이후, 저장된 파프리카와 토마토의 품질 매개변수의 변화를 분석하기 위해 로그(ln(x)), 지수(ex), 지수(kxn) 및 다항식(P(x))과 같은 일부 비선형 변환을 사용하였다.

○ 품질 매개변수 측정

- 무게 감률

- 파프리카와 토마토 샘플의 무게는 파프리카와 토마토 초기 무게 외 최종 무게의 차이를 초기 무게로 나눈 값을 고려하여 측정 하였다(Nirupama et al., 2010). 무게 감률은 개별 파프리카와 토마토를 각각의 저장고에 넣기 전과 후에 무게를 측정하여 측정하였다. 각각의 파프리카와 토마토는 저울에 달려있다(model: CB-3000; A&D Co. Ltd., Tokyo, Japan). 0일째의 초기 무게를 측정 후, 파프리카와 토마토를 3가지 보관 조건에 넣고 5, 10, 15일에 무게를 측정 후 다시 보관하였다. 무게 감률은 초기 무게에서 무게 손실을 백분율로 표현하였다.

$$\frac{Initial\ Weight - Final\ Weight}{Initial\ Weight} \times 100$$

- 경도

- 경도는 파프리카와 토마토의 품질 특성에 가장 중요한 속성이며 신선한 파프리카와 토마토 구매 시 최종 품질 지표로 간주 될 수 있다(Gormley and Egan, 1978). 파프리카와 토마토의 경도는 표준 probe를 사용하여 사전에 설정된 pierce를 만들기 위해 필요한 힘을 측정하여 침투율계(model : TMS-Pro, Food Technology Corporation, Sterling, Virginia, USA)를 사용하여 결정하였다. 파프리카와 토마토를 50mm/min의 속도로 원추형 플레이트를 사용하여 5mm 침투 깊이에서 probe에 의해 압축하였다(Choi et al., 2011).

- 전가용성 고체(TSS)

- 파프리카와 토마토 샘플들을 랜덤하게 무작위로 선택하여 4점의 무명천으로 감싸고 주스 추출기(model: FruX80, Goojung Engineering Co. Ltd., Seoul, Korea)를 사용하여 즙을 추출하였다. 그 샘플들은 철저하게 혼합하여 TSS함량을 디지털 굴절계(model: PR-32a, Atago Co. Ltd., Tokyo, Japan)를 사용하여 검사하고 값을 Brix(°Bx)으로 표현하였다.

- 색도

- 파프리카와 토마토 색상은 소비자의 소비를 결정한다. L*(광도, white-black), a*(red-green), and b*(yellow-blue)의 값들과 같은 파프리카와 토마토의 색 매개변수는 조도 조명과 측정을 위한 D65 그리고 8mm구경의 기구인 chromometer(model: CR-400; Konica Minolta Inc., Tokyo, Japan)를 사용하여 측정하였다. 각 저장 조건에서의 파프리카와 토마토의 L값을 측정하였다. 광도는 파프리카와 토마토의 가운데 부분에서 측정하고 백색 표준(L*=93.9, a*=0.31, b*=0.32)으로 보정하였다. L*는 광도를 표시하고(L*=0 for black, L*=100 for white), a* 적색-녹색의 강도를 표시하고(a*>0 for red, a*0 for green), b* 청색-노란색의 강도를 표시한다(b*>0 for yellow, b*<0 for blue)(Khairietal.,2015).

파프리카와 토마토의 여러 가지 품질 매개 변수를 측정하는 기술은 다음과 같다.



그림 88. 품질 매개 변수의 측정 : A. 무게측정; B. 견고성 측정; C. 색상 매개변수 측정; D. TSS측정

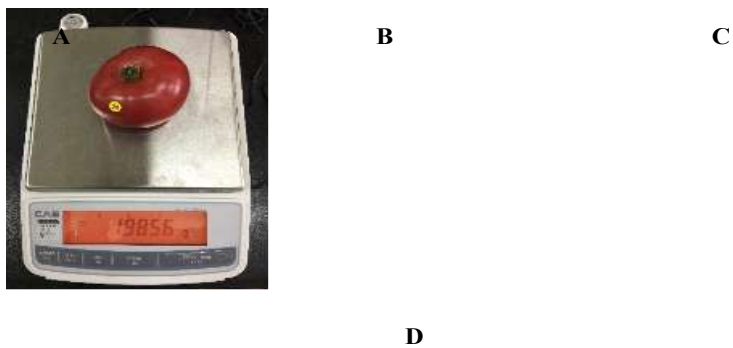


그림 89. 품질 매개 변수의 측정 : A. 무게측정; B. 견고성 측정; C. 색상 매개변수 측정; D. TSS측정

나. 결과 및 고찰

○ Variety-1(파프리카)

- 무게 감률

- 일반적으로 파프리카의 무게 손실은 저장기간 중 점진적으로 증가하고 과일이 완전히 익을 때까지 계속된다(Pila et al., 2010). 이번 연구에서 세 가지 사전 저장처리 모두 파프리카의 무게도 감소하는 것으로 나타났다. 하지만, 수확 즉시 저장한 파프리카(SIH)의 무게 감소가 수확 후 하루 동안 온실에서 차광하고 보관한 것(OLW)과 하루 동안 온실에서 비차광하여 보관한 것(OLWS)과 비교했을 때 약 1.46%로 가장 적은 것으로 나타났다.

- 전가용성 고체(TSS)

- 저장 기간 동안 3가지 사전 처리한 파프리카의 TSS(°Bx)값은 적합 곡선이 있는 그림에 표시하였다. 수확(0일)에 처리된 모든 파프리카의 TSS함량이 더 높은 것으로 밝혀졌고 저장기간 동안 비슷한 경향을 보였다. 사전 처리한 파프리카에 대해 5일간 저장 후 TSS(°Bx)값의 감소가 관찰되었지만 파프리카의 숙성 조건으로 인해 저장 10일 후에 더 높은 값이 발견되었다. 반면에 15일간의 저장 후 SIH 처리한 파프리카에 대해 TSS(°Bx)값의 감소율이 작았다.

- 경도

- 15일간의 저장 기간 이후 모든 처리에서 파프리카에 대한 경도에 대한 일반적인 손실이 관찰되었다. 즉시 저장 처리한 경우(SIH) 파프리카의 경도 손실은 5, 10 그리고 15일 후에 8.46, 12.09 그리고 19.08%였다. 그리고 하루 동안 온실에 차광하여 방치한 뒤 저장한 파프리카(OLS)의 경도 손실은 5, 10 그리고 15일 후 13.07, 15.41 그리고 22.73%였다. 반면 하루 동안 온실에 비차광하여 방치한 뒤 저장한 파프리카(OLWS)의 경도 손실은 5, 10 그리고 15일 후 18.52, 21.87 그리고 27.42%로 다른 2가지 처리보다 더 높았다.

- 색도

- 파프리카의 색도 변화는 숙성 과정과 관련이 있고 파프리카의 물리 화학적 발달 단계의 징후 중 하나이다(Renquist and Reid, 1998; Tigist et al., 2013). 세 가지 사전 저장처리 후 저장한 파프리카의 색 매개변수에 대해서 저장 기간 동안 파프리카의 색도 변화가 일반적으로 감소되는 것이 관찰되었다. 15일간의 저장 후 OLS와 OLWS 처리한 파프리카에서 9.84 그리고 11.01%로 색도변화가 약간 높았으며 SIH 처리한 파프리카는 8.61%의 색도변화가 관찰되었다.

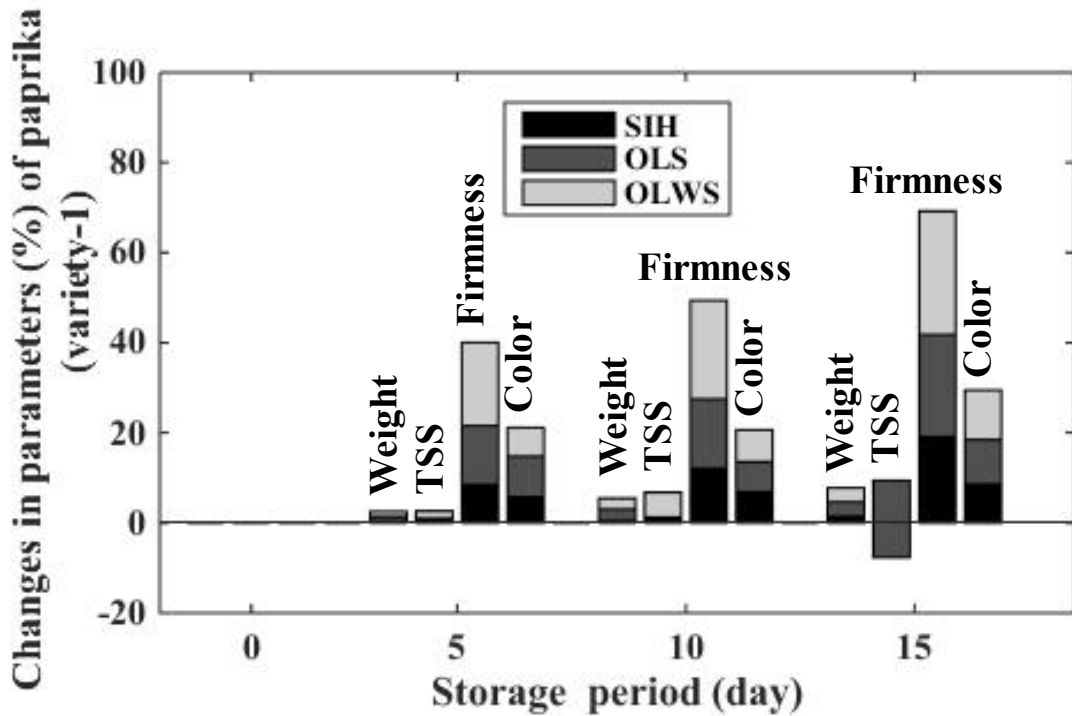


그림 90. 저장 15 일 동안 3 가지 사전 저장 처리 (SIH, OLS, OLWS)하에 처리 된 파프리카 (variety-1)의 모든 품질 매개 변수 (중량, TSS, 탄력 및 색)의 전반적인 변화

○ Variety-2(파프리카)

- 무게 감률

- 일반적으로 파프리카의 무게 손실은 저장기간 중 점진적으로 증가하고 과일이 완전히 익을 때까지 계속된다(Pila et al., 2010). 이번 연구에서 세 가지 사전 저장처리 모두 파프리카의 무게도 감소하는 것으로 나타났다. 하지만, 수확 즉시 저장한 파프리카(SIH)의 무게 감소가 수확 후 하루 동안 온실에서 차광하고 보관한 것(OLS)과 하루 동안 온실에서 비차광하여 보관한 것(OLWS)과 비교했을 때 약 1.37%로 가장 적은 것으로 나타났다.

- 전가용성 고체(TSS)

- 저장 기간 동안 3가지 사전 처리한 파프리카의 TSS(°Bx)값은 적합 곡선으로 표시된다. 수확 5일째, 3가지 저장 처리된 모든 파프리카의 TSS 함량은 더 높아졌고 저장 기간 동안 비슷한 경향을 보였다. 처리된 모든 파프리카에 대해 5일간의 저장 후 TSS(°Bx)값의 감소가 관찰되었지만 파프리카의 숙성 조건으로 인해 5일과 10일간의 저장 후에 더 높은 감소율을 보였다.

- 경도

- 15일간의 저장 기간 이후 모든 처리에서 파프리카에 대한 경도에 대한 일반적인 손실이 관찰되었다. 즉시 저장 처리한 경우(SIH) 파프리카의 경도 손실은 5, 10 그리고 15일 후에 9.70, 20.51 그리고 29.94%였다. 그리고 하루 동안 온실에 차광하여 방치한 뒤 저장한 파프리카(OLS)의 경도 손실은 5, 10 그리고 15일 후 10.47, 21.00 그리고 33.23%였다. 반면 하루 동안 온실에 비차광하여 방치한 뒤 저장한 파프리카(OLWS)의 경도 손실은 5, 10 그리고 15일 후 11.26, 23.49 그리고 37.31%로 다른 2가지 처리보다 더 높았다.

- 색도

- 파프리카의 색도 변화는 숙성 과정과 관련이 있고 파프리카의 물리 화학적 발달 단계의 정 후 중 하나이다(Renquist and Reid, 1998; Tigist et al., 2013). 세 가지 사전 저장처리 후 저장한 파프리카의 색 매개변수에 대해서 저장 기간 동안 파프리카의 색도 변화가 일반적으로 감소되는 것이 관찰되었다. 15일간의 저장 후 OLS와 OLWS 처리한 파프리카에서 10.97 그리고 12.15%로 색도변화가 약간 높았으며 SIH 처리한 파프리카는 8.33%의 색도변화가 관찰되었다.

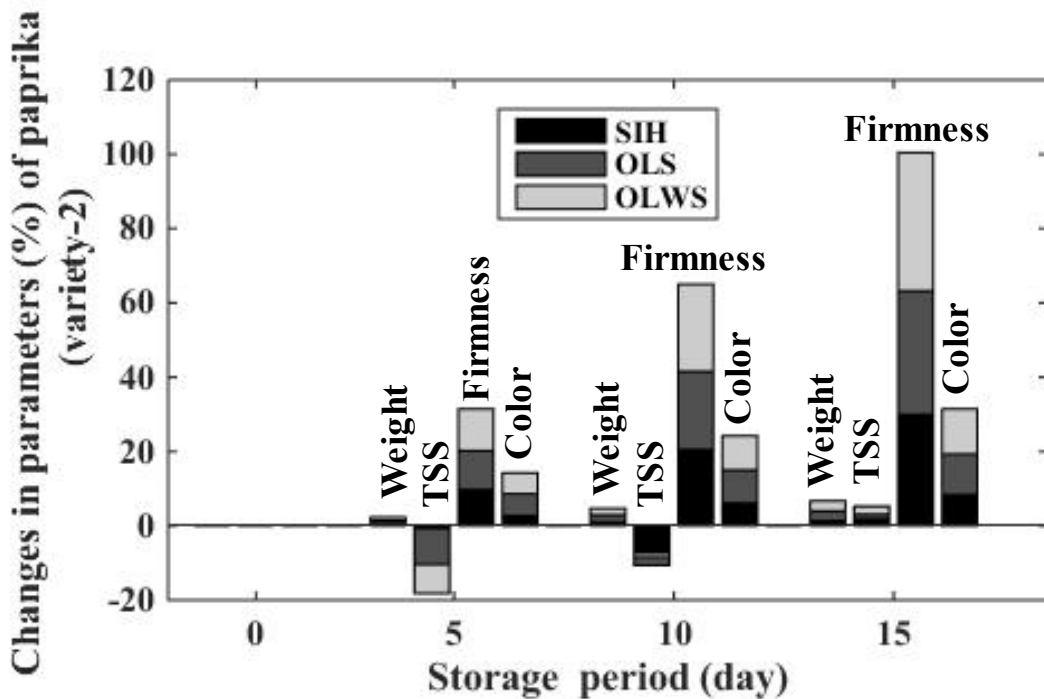


그림 91. 저장 15 일 동안 3 가지 사전 저장 처리 (SIH, OLS, OLWS)하에 처리 된 파프리카 (variety-2)의 모든 품질 매개 변수 (중량, TSS, 탄력 및 색)의 전반적인 변화

○ Variety-3(파프리카)

- 무게 감률

- 일반적으로 파프리카의 무게 손실은 저장기간 중 점진적으로 증가하고 과일이 완전히 익을 때까지 계속된다(Pila et al., 2010). 이번 연구에서 세 가지 사전 저장처리 모두 파프리카의 무게도 감소하는 것으로 나타났다. 하지만, 수확 즉시 저장한 파프리카(SIH)의 무게 감소가 수확 후 하루 동안 온실에서 차광하고 보관한 것(OLW)과 하루 동안 온실에서 비차광하여 보관한 것(OLWS)과 비교했을 때 약 17.08%로 가장 적은 것으로 나타났다.

- 전가용성 고체(TSS)

- 저장 기간 동안 3가지 사전 처리한 파프리카의 TSS(°Bx)값은 적합 곡선으로 표시된다. 수확 직후 3가지 처리에 대한 모든 파프리카의 TSS함량이 낮아지고 저장기간 비슷한 경향을 보였다. 처리된 모든 파프리카는 5, 10 및 15일간의 저장 후에 TSS(°Bx)값의 증가가 보였으며, 파프리카의 숙성 조건으로 인해 15일간의 저장 후에 더 높은 값을 보였다.

- 정도

- 15일간의 저장 기간 이후 모든 처리에서 파프리카에 대한 정도에 대한 일반적인 손실이 관찰되었다. 즉시 저장 처리한 경우(SIH) 파프리카의 정도 손실은 5, 10 그리고 15일 후에 9.77, 24.84 그리고 40.02%였다. 그리고 하루 동안 온실에 차광하여 방치한 뒤 저장한 파프리카(OLS)의 정도 손실은 5, 10 그리고 15일 후 12.12, 23.98 그리고 41.88%였다. 반면 하루 동안 온실에 비차광하여 방치한 뒤 저장한 파프리카(OLWS)의 정도 손실은 5, 10 그리고 15일 후 12.19, 25.94 그리고 63.75%로 다른 2가지 처리보다 더 높았다.

- 색도

- 파프리카의 색도 변화는 숙성 과정과 관련이 있고 파프리카의 물리 화학적 발달 단계의 징후 중 하나이다(Renquist and Reid, 1998; Tigist et al., 2013). 세 가지 사전 저장처리 후 저장한 파프리카의 색 매개변수에 대해서 저장 기간 동안 파프리카의 색도 변화가 일반적으로 감소되는 것이 관찰되었다. 15일간의 저장 후 OLS와 OLWS 처리한 파프리카에서 24.57 그리고 25.81%로 색도변화가 약간 높았으며 SIH 처리한 파프리카는 18.69%의 색도변화가 관찰되었다.

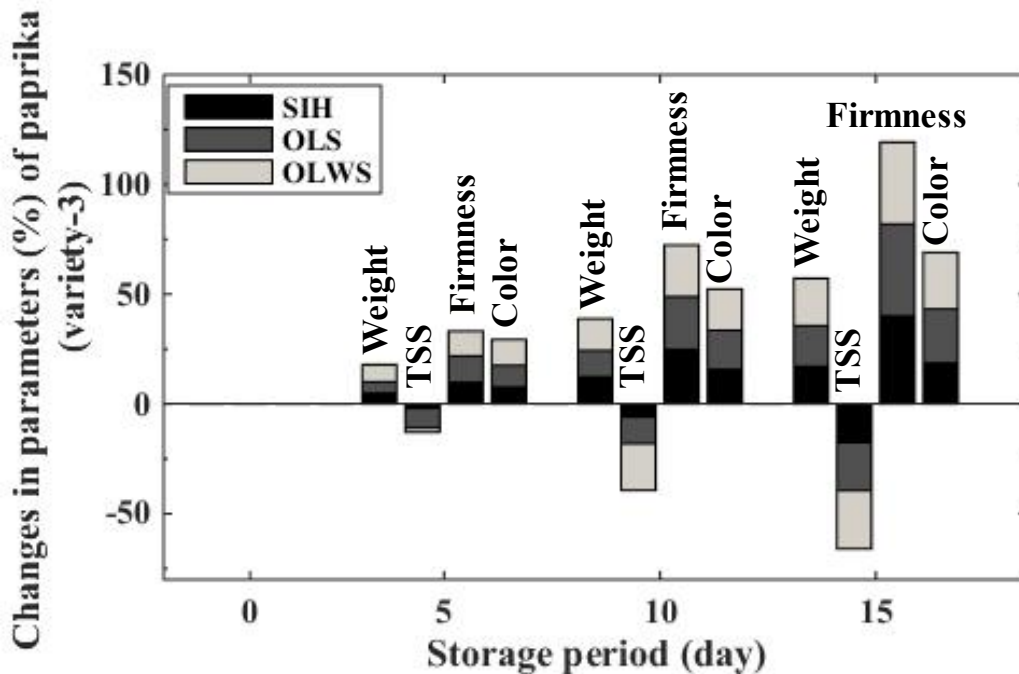


그림 92. 저장 15 일 동안 3 가지 사전 저장 처리 (SIH, OLS, OLWS)하에 처리 된 파프리카 (variety-3)의 모든 품질 매개 변수 (중량, TSS, 탄력 및 색)의 전반적인 변화

○ Variety-4(파프리카)

- 무게 감률

- 일반적으로 파프리카의 무게 손실은 저장기간 중 점진적으로 증가하고 과일이 완전히 익을 때까지 계속된다(Pila et al., 2010). 이번 연구에서 세 가지 사전 저장처리 모두 파프리카의 무게도 감소하는 것으로 나타났다. 하지만, 수확 즉시 저장한 파프리카(SIH)의 무게 감소가 수확 후 하루 동안 온실에서 차광하고 보관한 것(OLW)과 하루 동안 온실에서 비차광하여 보관한 것(OLWS)과 비교했을 때 약 14.18%로 가장 적은 것으로 나타났다.

- 전가용성 고체(TSS)

- 저장 기간 동안 3가지 사전 처리한 파프리카의 TSS(°Bx)값은 적합 곡선으로 표시된다. 수확 직후에 OLWS 처리한 파프리카의 TSS함량은 저장 기간에 따라 낮아지고 증가하였다. 그러나 SIH와 OLS는 저장 5일째 TSS함량이 15일 동안 저장한 후에 각각 3.27, 11.65%로 낮아지고 증가하였다.

- 경도

- 15일간의 저장 기간 이후 모든 처리에서 파프리카에 대한 경도에 대한 일반적인 손실이 관찰되었다. 즉시 저장 처리한 경우(SIH) 파프리카의 경도 손실은 5, 10 그리고 15일 후에 20.87 33.78 그리고 37.39%였다. 그리고 하루 동안 온실에 차광하여 방치한 뒤 저장한 파프리카(OLS)의 경도 손실은 5, 10 그리고 15일 후 21.93, 40.34 그리고 52.23%였다. 반면 하루 동안 온실에 비차광하여 방치한 뒤 저장한 파프리카(OLWS)의 경도 손실은 5, 10 그리고 15일 후 26.60, 43.71 그리고 56.00%로 다른 2가지 처리보다 더 높았다.

- 색도

- 파프리카의 색도 변화는 숙성 과정과 관련이 있고 파프리카의 물리 화학적 발달 단계의 징후 중 하나이다(Renquist and Reid, 1998; Tigist et al., 2013). 세 가지 사전 저장처리 후 저장한 파프리카의 색 매개변수에 대해서 저장 기간 동안 파프리카의 색도 변화가 일반적으로 감소되는 것이 관찰되었다. 15일간의 저장 후 OLS와 OLWS 처리한 파프리카에서 13.32 그리고 13.73%로 색도변화가 약간 높았으며 SIH 처리한 파프리카는 11.85%의 색도변화가 관찰되었다.

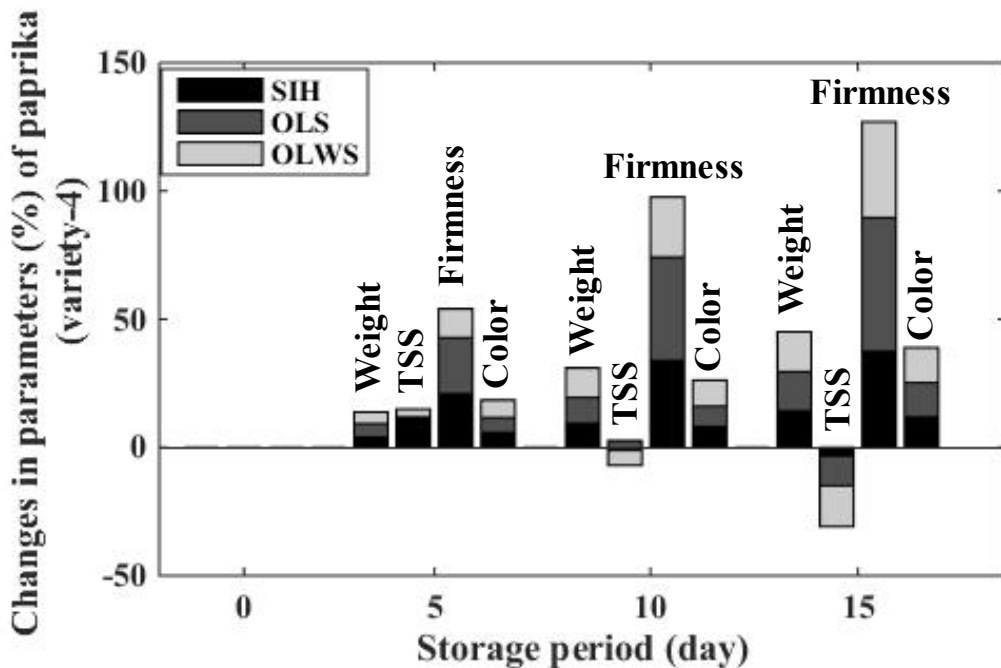


그림 93. 저장 15 일 동안 3 가지 사전 저장 처리 (SIH, OLS, OLWS)하에 처리 된 파프리카 (variety-4)의 모든 품질 매개 변수 (중량, TSS, 탄력 및 색)의 전반적인 변화

- 결론

- 파프리카는 한국에서 가장 가치 있는 신선한 과채류이다. 수확에서 저장에 이르는 최적의 환경은 저장 또는 운송 중에 파프리카의 신선도에 중요하다. 일반적으로 농부들은 수확된 파프리카를 온실에 약 반나절 동안 방치하고 가공 및 저장 센터로 운송한다. 따라서 이 연구는 저온 창고(10 ± 1 °C, $90\pm 3\%$)에 저장된 파프리카의 일부 품질 매개 변수에 저장하기 전에 수확 후 환경의 영향을 조사하기 위한 것이다. 수확된 파프리카에는 3 가지 사전 저장 처리가 적용되었다. 수확 직후(SIH), 하루 동안 온실에서 차광하여 보관 후 저장(OLS) 그리고 하루 동안 온실에 비차광한 상태로 보관 후 저장(OLWS)한 경우의 무게, 경도, TSS, 색도 매개변수를 15일 동안 5일 간격으로 측정했다.
- 다른 저장 전 처리에 비교해서 OLWS 처리한 파프리카의 무게 감률은 variety-1,2,3 그리고 4에 대해 각각 3.14, 2.76, 21.55 그리고 15.52% 측정되었고 평균 파프리카 경도는 OLWS 처리한 것이 15 일간의 저장 후 variety-1,2,3 그리고 4에 대해 각각 27.42, 37.31, 37.31 그리고 37.31% 측정되었다. 저장 기간의 증가로 모든 사전 저장 처리에서 점진적으로 감소하였다. 세 가지 다른 처리방법에 따라 저장된 파프리카의 brix(°Bx)값은 비슷한 값으로 측정 되었지만 저장 기간 15일 후에 SIH 처리 대해 brix(°Bx)값의 감소율이 작았다. SIH 처리하고 저장된 파프리카에 대해 variety-1,2,3 그리고 4에 대해 각각 11.01, 12.15, 21.81 그리고 13.7%로 측정되었다. 이 연구의 데이터는 저장 중에 더 나은 품질을 위해 수확한 직후 파프리카를 저장해야 한다는 것을 나타낼 수 있다.
- 현재의 연구는 저온 창고에 저장된 파프리카의 품질 매개 변수에 대한 사전 저장 처리의 효과를 밝혀냈으므로 농민들은 가공 및 저장 센터로 운송하기 전에 유리한 환경에서 수확된 파프리카를 처리해야 한다.

○ Variety-1(토마토)

- 무게 감률

- 일반적으로 토마토의 무게 손실은 저장기간 중 점진적으로 증가하고 과일이 완전히 익을 때까지 계속된다(Pila et al., 2010). 이번 연구에서 세 가지 사전 저장조건에서 토마토의 무게도 감소하는 것으로 나타났다. 하지만, 수확 즉시 저장한 토마토(SIH)의 무게 감소가 수확 후 하루 동안 온실에서 차광하고 보관한 것(OLW)과 하루 동안 온실에서 비차광하여 보관한 것(OLWS)과 비교했을 때 약 1.42%로 가장 적은 것으로 나타났다. OLS와 OLWS 처리는 5일 후와 10일 후에 비슷한 무게손실을 보였지만 OLWS 처리 한 토마토는 15일 동안 보관 후 약 1.86%의 무게 손실을 더 보였다.

- 전가용성 고체(TSS)

- 저장 기간 동안 3가지 사전 처리한 토마토의 TSS(°Bx)값은 적합 곡선이 있는 그림에 표시하였다. 수확(0일)에 처리된 모든 토마토의 TSS함량이 더 높은 것으로 밝혀졌고 저장기간 동안 비슷한 경향을 보였다. 사전 처리한 토마토에 대해 5일간 저장 후 TSS(°Bx)값의 감소가 관찰되었지만 토마토의 숙성 조건으로 인해 저장 10일 후에 더 높은 값이 발견되었다. 반면에 15일간의 저장 후 SIH 처리한 토마토에 대해 TSS(°Bx)값의 감소율이 작았다.

- 경도

- 15일간의 저장 기간 이후 모든 처리에서 토마토에 대한 경도에 대한 일반적인 손실이 관찰되었다. 즉시 저장 처리한 경우(SIH) 토마토의 경도 손실은 5, 10 그리고 15일 후에 22.3, 30.7 그리고 34.7%였다. 그리고 하루 동안 온실에 차광하여 방치한 뒤 저장한 토마토(OLW)의 경도 손실은 5, 10 그리고 15일 후 20.2, 33.1 그리고 38.2%였다. 반면 하루 동안 온실에 비차광하여 방치한 뒤 저장한 토마토(OLWS)의 경도 손실은 5, 10 그리고 15일 후 20.7, 33.8 그리고 40.1%로 다른 2가지 처리보다 더 높았다.

- 색도

- 토마토의 색도 변화는 숙성 과정과 관련이 있고 토마토의 물리 화학적 발달 단계의 징후 중 하나이다(Renquist and Reid, 1998; Tigist et al., 2013). 세 가지 사전 저장처리 후 저장한 토마토의 색 매개변수에 대해서 저장 기간 동안 토마토의 색도 변화가 일반적으로 감소되는 것이 관찰되었다. 15일간의 저장 후 OLS와 OLWS 처리한 토마토에서 12.16 그리고 12.46%로 색도변화가 약간 높았으며 SIH 처리한 토마토는 11.14%의 색도변화가 관찰되었다.

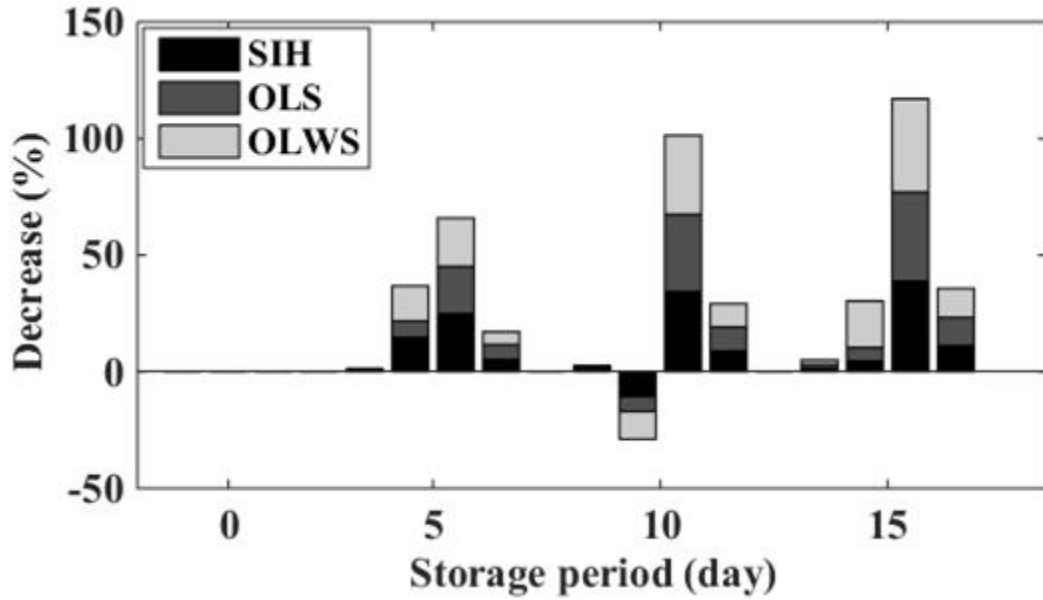


그림 94. 저장 15 일 동안 3 가지 사전 저장 처리 (SIH, OLS, OLWS)하에 처리 된 토마토 (variety-1)의 모든 품질 매개 변수 (중량, TSS, 탄력 및 색)의 전반적인 변화

○ Variety-2(토마토)

- 무게 감률

- 일반적으로 토마토의 무게 손실은 저장기간 중 점진적으로 증가하고 과일이 완전히 익을 때까지 계속된다(Pila et al., 2010). 이번 연구에서 세 가지 사전 저장조건에서 토마토의 무게도 감소하는 것으로 나타났다. 하지만, 수확 즉시 저장한 토마토(SIH)의 무게 감소가 수확 후 하루 동안 온실에서 차광하고 보관한 것(OLW)과 하루 동안 온실에서 비차광하여 보관한 것(OLWS)과 비교했을 때 약 0.98%로 가장 적은 것으로 나타났다. OLS와 OLWS 처리는 5일 후와 10일 후에 비슷한 무게손실을 보였지만 OLWS 처리 한 토마토는 15일 동안 보관 후 약 1.73%의 무게 손실을 더 보였다.

- 전가용성 고체(TSS)

- 저장 기간 동안 3가지 사전 처리한 토마토의 TSS(°Bx)값은 적합 곡선이 있는 그림에 표시하였다. 수확(0일)에 처리된 모든 토마토의 TSS함량이 더 높은 것으로 밝혀졌고 저장기간 동안 비슷한 경향을 보였다. 사전 처리한 토마토에 대해 5일간 저장 후 TSS(°Bx)값의 증가가 관찰되었지만 토마토의 숙성 조건으로 인해 저장 10일 후에 높은 값이 발견되었다. 반면에 15일간의 저장 후 SIH 처리한 토마토에 대해 TSS(°Bx)값의 감소율이 작았다.

- 경도

- 15일간의 저장 기간 이후 모든 처리에서 토마토에 대한 경도에 대한 일반적인 손실이 관찰되었다. 즉시 저장 처리한 경우(SIH) 토마토의 경도 손실은 5, 10 그리고 15일 후에 23.10, 33.53 그리고 36.52%였다. 그리고 하루 동안 온실에 차광하여 방치한 뒤 저장한 토마토(OLW)의 경도 손실은 5, 10 그리고 15일 후 22.09 34.79 그리고 39.76%였다. 반면 하루 동안 온실에 비차광하여 방치한 뒤 저장한 토마토(OLWS)의 경도 손실은 5, 10 그리고 15일 후 21.66, 33.17 그리고 38.59%로 다른 2가지 처리보다 더 높았다.

- 색도

- 토마토의 색도 변화는 숙성 과정과 관련이 있고 토마토의 물리 화학적 발달 단계의 징후 중 하나이다(Renquist and Reid, 1998; Tigist et al., 2013). 세 가지 사전 저장처리 후 저장한 토마토의 색 매개변수에 대해서 저장 기간 동안 토마토의 색도 변화가 일반적으로 감소되는 것이 관찰되었다. 15일간의 저장 후 OLS와 OLWS 처리한 토마토에서 12.57 그리고 16.39%로 색도변화가 약간 높았으며 SIH 처리한 토마토는 10.55%의 색도변화가 관찰되었다.

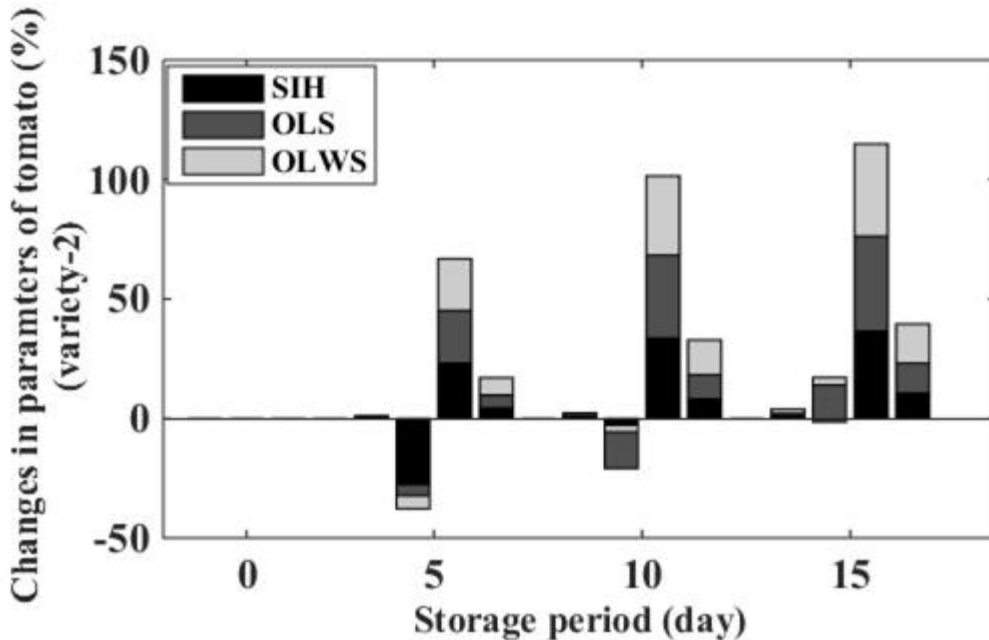


그림 95. 저장 15 일 동안 3 가지 사전 저장 처리 (SIH, OLS, OLWS)하에 처리 된 토마토 (variety-2)의 모든 품질 매개 변수 (중량, TSS, 탄력 및 색)의 전반적인 변화

○ Variety-3(토마토)

- 무게 감률

- 일반적으로 토마토의 무게 손실은 저장기간 중 점진적으로 증가하고 과일이 완전히 익을 때까지 계속된다(Pila et al., 2010). 이번 연구에서 세 가지 사전 저장조건에서 토마토의 무게도 감소하는 것으로 나타났다. 하지만, 수확 즉시 저장한 토마토(SIH)의 무게 감소가 수확 후 하루 동안 온실에서 차광하고 보관한 것(OLW)과 하루 동안 온실에서 비차광하여 보관한 것(OLWS)과 비교했을 때 약 8.17%로 가장 적은 것으로 나타났다. OLS와 OLWS 처리는 5일 후와 10일 후에 비슷한 무게손실을 보였지만 OLWS 처리 한 토마토는 15일 동안 보관 후 약 8.89%의 무게 손실을 더 보였다.

- 전가용성 고체(TSS)

- 저장 기간 동안 3가지 사전 처리한 토마토의 TSS(°Bx)값은 적합 곡선이 있는 그림에 표시하였다. 수확(0일)에 처리된 모든 토마토의 TSS함량이 더 높은 것으로 밝혀졌고 저장기간 동안 비슷한 경향을 보였다. 사전 처리한 토마토에 대해 5일간 저장 후 TSS(°Bx)값의 감소가 관찰되었지만 토마토의 숙성 조건으로 인해 저장 10일 후에 더 높은 값이 발견되었다. 반면에 15일간의 저장 후 SIH 처리한 토마토에 대해 TSS(°Bx)값의 감소율이 작았다.

- 경도

- 15일간의 저장 기간 이후 모든 처리에서 토마토에 대한 경도에 대한 일반적인 손실이 관찰되었다. 즉시 저장 처리한 경우(SIH) 토마토의 경도 손실은 5, 10 그리고 15일 후에 15.09, 20.47 그리고 30.19%였다. 그리고 하루 동안 온실에 차광하여 방치한 뒤 저장한 토마토(OLW)의 경도 손실은 5, 10 그리고 15일 후 18.93 32.06 그리고 38.37%였다. 반면 하루 동안 온실에 비차광하여 방치한 뒤 저장한 토마토(OLWS)의 경도 손실은 5, 10 그리고 15일 후 17.85, 25.62 그리고 41.37%로 다른 2가지 처리보다 더 높았다.

- 색도

- 토마토의 색도 변화는 숙성 과정과 관련이 있고 토마토의 물리 화학적 발달 단계의 징후 중 하나이다(Renquist and Reid, 1998; Tigist et al., 2013). 세 가지 사전 저장처리 후 저장한 토마토의 색 매개변수에 대해서 저장 기간 동안 토마토의 색도 변화가 일반적으로 감소되는 것이 관찰되었다. 15일간의 저장 후 OLS와 OLWS 처리한 토마토에서 12.16 그리고 12.46%로 색도변화가 약간 높았으며 SIH 처리한 토마토는 11.14%의 색도변화가 관찰되었다.

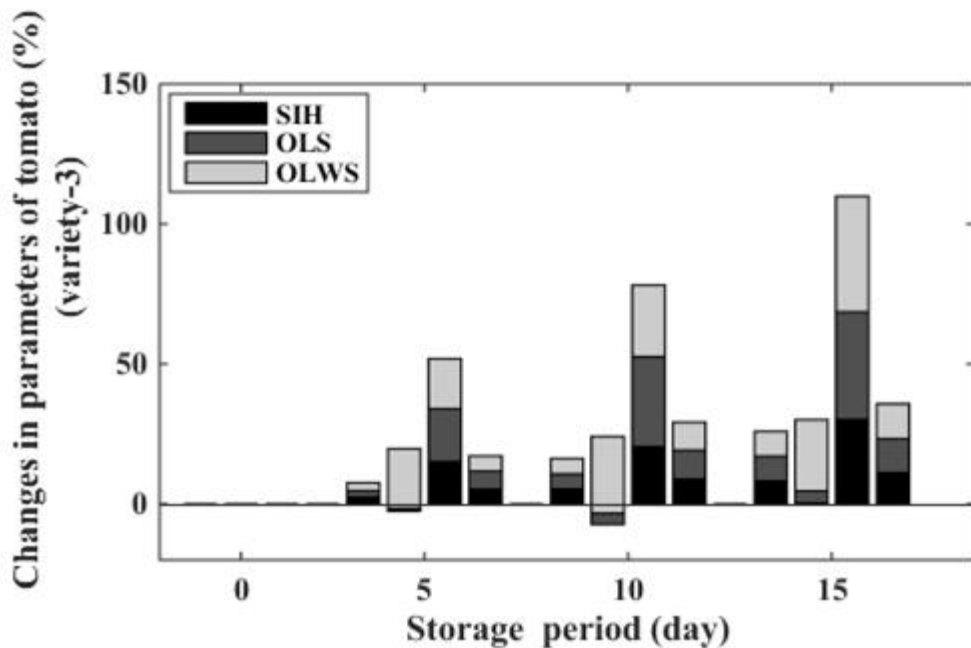


그림 96. 저장 15 일 동안 3 가지 사전 저장 처리 (SIH, OLS, OLWS)하에 처리 된 토마토 (variety-3)의 모든 품질 매개 변수 (중량, TSS, 탄력 및 색)의 전반적인 변화

○ Variety-4(토마토)

- 무게 감률

- 일반적으로 토마토의 무게 손실은 저장기간 중 점진적으로 증가하고 과일이 완전히 익을 때까지 계속된다(Pila et al., 2010). 이번 연구에서 세 가지 사전 저장조건에서 토마토의 무게도 감소하는 것으로 나타났다. 하지만, 수확 즉시 저장한 토마토(SIH)의 무게 감소가 수확 후 하루 동안 온실에서 차광하고 보관한 것(OLW)과 하루 동안 온실에서 비차광하여 보관한 것

(OLWS)과 비교했을 때 약 8.85%로 가장 적은 것으로 나타났다. OLS와 OLWS 처리는 5일 후와 10일 후에 비슷한 무게손실을 보였지만 OLWS 처리 한 토마토는 15일 동안 보관 후 약 13.02%의 무게 손실을 더 보였다.

- 전가용성 고체(TSS)

- 저장 기간 동안 3가지 사전 처리한 토마토의 TSS(°Bx)값은 적합 곡선이 있는 그림에 표시하였다. 수확(0일)에 처리된 모든 토마토의 TSS함량이 더 높은 것으로 밝혀졌고 저장기간 동안 비슷한 경향을 보였다. 사전 처리한 토마토에 대해 5일간 저장 후 TSS(°Bx)값의 증가가 관찰되었지만 토마토의 숙성 조건으로 인해 저장 10일 후에 더 높은 값이 발견되었다. 반면에 15일간의 저장 후 SIH 처리한 토마토에 대해 TSS(°Bx)값의 감소율이 작았다.

- 경도

- 15일간의 저장 기간 이후 모든 처리에서 토마토에 대한 경도에 대한 일반적인 손실이 관찰되었다. 즉시 저장 처리한 경우(SIH) 토마토의 경도 손실은 5, 10 그리고 15일 후에 17.13, 25.30 그리고 35.86%였다. 그리고 하루 동안 온실에 차광하여 방치한 뒤 저장한 토마토(OLW)의 경도 손실은 5, 10 그리고 15일 후 19.19 28.39 그리고 38.52%였다. 반면 하루 동안 온실에 비차광하여 방치한 뒤 저장한 토마토(OLWS)의 경도 손실은 5, 10 그리고 15일 후 23.87, 34.71 그리고 41.77%로 다른 2가지 처리보다 더 높았다.

- 색도

- 토마토의 색도 변화는 숙성 과정과 관련이 있고 토마토의 물리 화학적 발달 단계의 징후 중 하나이다(Renquist and Reid, 1998; Tigist et al., 2013). 세 가지 사전 저장처리 후 저장한 토마토의 색 매개변수에 대해서 저장 기간 동안 토마토의 색도 변화가 일반적으로 감소되는 것이 관찰되었다. 15일간의 저장 후 OLS와 OLWS 처리한 토마토에서 5.78 그리고 7.70%로 색도변화가 약간 높았으며 SIH 처리한 토마토는 5.31%의 색도변화가 관찰되었다.

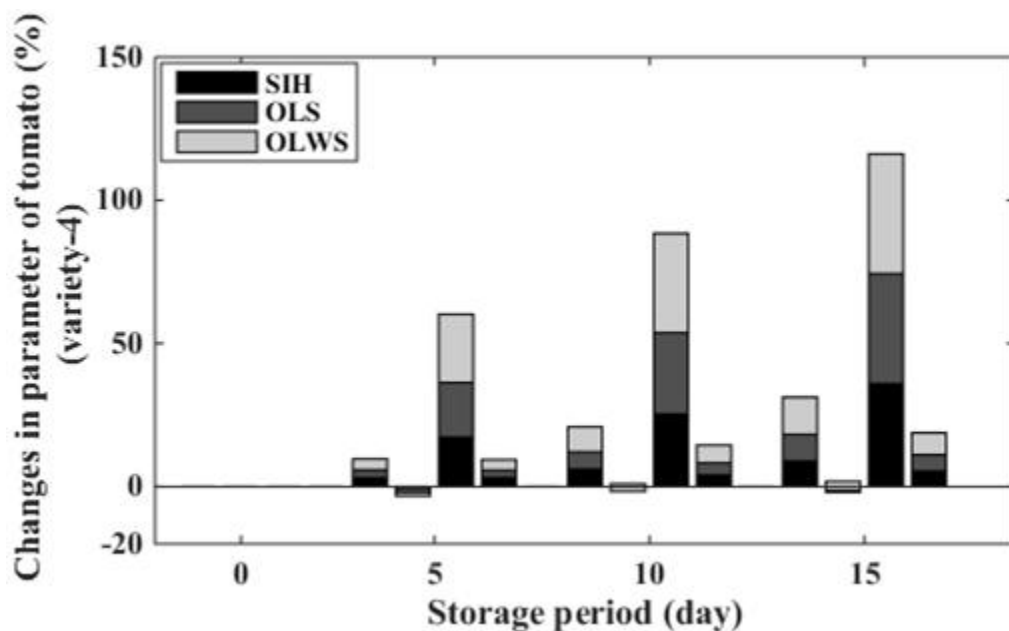


그림 97. 저장 15 일 동안 3 가지 사전 저장 처리 (SIH, OLS, OLWS)하에 처리 된 토마토 (variety-4)의 모든 품질 매개 변수 (중량, TSS, 탄력 및 색)의 전반적인 변화

- 결론

- 토마토는 국내 외 시장에서 가장 가치 있는 과채류 중 하나이다. 장기 저장 또는 운송과 같이 유통 과정에서 수확 후 처리는 토마토의 신선도에 크게 영향을 미친다. 가공 제품의 품질 조차도 수확 후 처리 절차의 영향을 받는다. 우리는 적절한 수확 후 관리가 품질 변화에 미치는 영향을 조사했다. 농부들은 수확 후 1~2일 동안 온실의 작업 공간에 차광 혹은 비차광한 상태로 토마토를 임시로 보관하였다. 이 절차는 과일 품질을 악화하였으며, 온도 및 습도 조정으로 처리된 것과 비교하여 빠른 무게 감률 및 색도 변화를 초래했다.
- 간단히 말해서, 무게 감률, 색도, 경도 및 TSS와 같은 토마토 과일의 수확 후 품질에 대한 사전 저장 조건의 영향이 이 연구에서 평가되었다. 다른 사전 저장 처리는 무게 감률, 색도, 경도 및 TSS에 영향을 미쳤다. 모든 사전 처리방법에서 무게, 색도 및 경도에 대한 일반적인 감소가 관찰되었지만 15 일간의 저장 후 다른 저장 전 처리보다 SIH 치료에서 변화가 느렸다. 3 가지 다른 처리 하에서 저장된 토마토의 TSS는 수확일(0일)에 비해 저장일(10일)에 약간 높은 것으로 밝혀졌지만 SIH 처리는 저장 기간 이후 TSS가 감소하는 것으로 나타났다. 이 연구의 결과는 저온 창고에 저장된 토마토의 품질 매개 변수에 대한 사전 저장 처리의 중요성을 나타내므로 농부는 가공 및 저장 센터로 운송하기 전에 유리한 환경에서 수확된 토마토를 처리하여야 한다.

3. 환경 노출에 따른 저장 중 품질 변화 모델 개발

가. 재료 및 방법

○ 파프리카, 토마토

- 세 가지 저장 처리방법에 따른 파프리카와 토마토의 품질 매개변수 변화를 예측하기 위해 다른 회귀 접근법을 만들었다. 수학적 방정식에서, 다르게 저장 처리된 파프리카와 토마토는 독립변수로 품질 매개변수는 종속변수로 간주한다. 결정 계수(R^2)값은 저장 기간 동안 품질 매개 변수의 변화를 설명하기 위해 최상의 모델을 선택하는데 사용된 회귀 모델에 대한 적합도로 간주되었다. 간단한 선형 회귀 이후, 저장된 파프리카와 토마토의 품질 매개변수의 변화를 분석하기 위해 로그($\ln(x)$), 지수(ex), 지수(kxn) 및 다항식($P(x)$)과 같은 일부 비선형 변환을 사용하였다.
- 세 가지 저장처리방법에 따른 무게 감률, TSS($^{\circ}Bx$), 경도, 색도 실험 데이터는 선형 및 비선형 회귀 분석을 이용하여 분석하였다.

나. 결과 및 고찰

○ Variety-1(파프리카)

- 세 가지 저장 전처리 방법에 따른 파프리카의 무게 감률, TSS($^{\circ}Bx$), 경도, 색도의 변화를 표로 나타내었다. 저장 기간 동안 파프리카의 무게가 점차적으로 감소했으며 저장 전처리에 따른 유의한 차이($p < 0.05$)는 나타나지 않았다. 저장 기간 동안 파프리카의 경도 손실은 유의한 차이가 관찰되지 않았으며, OLS 및 OLWS 처리보다 SIH 처리에서 변화가 느렸다. 세 가지의 저장 전처리 방법으로 보관하는 동안 파프리카의 Brix($^{\circ}Bx$)값에서 상당한 차이가 관찰되었다. 모든 저장 방법에서 파프리카의 Brix($^{\circ}Bx$)값은 수확 후 저장 기간 15일 동안 변화를 보였다. 그러나 SIH 처리된 파프리카의 Brix($^{\circ}Bx$)값의 변화는 다른 전처리에 비해 낮았으며 저장 10일째에 더 높았다. 모든 저장 처리방법에서 파프리카의 색도는 상당한 차이가 나타났지만 SIH, OLS 처리보다 OLWS 처리에서 색도 매개변수의 손실이 약간 높았다.
- 저장 전 처리 및 저장일이 5% 유의 수준인 요인으로 있는 품질 매개변수의 분산 분석 결과를 나타내었다. 파프리카 샘플의 무게 감률, 경도, TSS 및 색도의 변화는 초기 값(0일)과 최종 값(측정 일)의 차이를 초기 값으로 나눈 값으로 고려하여 백분율로 표현하였다.
- 수확 후 시간이 지남에 따라 동일한 저장 처리에서 파프리카의 무게 감률에 미치는 영향은 매우 중요했다. 저장 전처리 방법에 따라 무게 감률의 현저한 차이가 나타난 것으로 보아 저장 전처리 방법이 파프리카의 무게 감률에 중요한 영향을 미친다는 것을 알 수 있다. OLWS 처리한 파프리카는 무게 감률(3.14%)이 가장 높았고 SIH 처리한 파프리카는 무게 감률(1.46%)이 가장 낮았다.
- SIH 처리한 파프리카 샘플(19.08%)에서 경도가 가장 낮게 감소하고 OLWS 사전 저장 처리한 파프리카(27.42%)에서 가장 높은 경도 감소가 발견되었고 다른 모든 사전 저장 처리된 파프리카 샘플에서도 경도 손실의 큰 차이가 관찰되었다.
- 모든 저장 전 처리된 파프리카 중 TSS($^{\circ}Bx$)값의 차이가 명확하게 나타났으며 저장 기간 동

안 큰 차이가 나타났다. 15일간의 저장 기간 동안 TSS(°Bx)의 값은 SIH, OLS, OLWS에 따라 9.42, -17.09, - 0.02% 값을 보였다.

- 색도매개변수의 변경을 위해 15일간의 저장 기간 동안 저장 전처리된 파프리카 샘플에서 유의한 차이는 발견되지 않았다. 반면, 저장 기간 동안 동일한 저장 전처리된 파프리카 샘플의 색도는 매우 큰 차이가 나타났다. OLWS 처리한 파프리카 샘플에서 가장 높은 색도 변화(11.01%)가 관찰되었으며 SIH 처리한 파프리카에서 가장 작은 값(8.61%)을 보였다. 서로 다른 비선형 회귀 방정식과 관련 결정 계수에 의해 적합 되는 모든 품질 매개변수의 실험 데이터를 표로 나타냈다.

표 27. 저장 전처리방법과 저장 기간을 변수로 하여 variety-1 파프리카의 무게 감률, 경도, TSS, 색도 결과; p 값은 <0.05에서 유의성을 나타냄

Source	df	MS	F	p-value
Dependent variable: weight				
Pre-storage handling	2	49.21	180.82	<0.0001
Storage period	3	115.01	422.61	<0.0001
Interaction(pre-storage handling × storage day)	11	44.66	164.13	<0.0001
Residual	348	0.27		
Replicate	29			
Total observations	359			
Dependent variable: firmness				
Pre-storage handling	2	1504.05	18.75	<0.0001
Storage period	3	8474.21	105.55	<0.0001
Interaction(pre-storage handling × storage days)	11	2679.59	33.37	<0.0001
Residual	348	80.28		
Replicate	29			
Total observations	359			
Dependent variable: TSS				
Pre-storage handling	2	1860.54	20.24	<0.0001
Storage period	3	384.01	4.18	0.006
Interaction(pre-storage handling × storage days)	11	1138.26	12.38	<0.0001
Residual	348	91.94		
Replicate	29			
Total observations	359			
Dependent variable: color				
Pre-storage handling	2	30.50	1.86	0.157
Storage period	3	1580.62	80.66	<0.0001
Interaction(pre-storage handling × storage days)	11	453.49	23.14	<0.0001
Residual	348	19.59		
Replicate	29			
Total observations	359			

표 28. 15일간의 저장기간 동안 variety-1 파프리카의 무게 감률, TSS, 경도, 색도의 변화에 저장 전처리 및 저장 기간이 미치는 영향

Changes in quality parameters(%)	Pre-storage handling	Storage period(day)			
		0	5	10	15
Weight loss	SIH	0 ^D (±13.46)	0.32 ^C (±13.29)	0.51 ^B (±13.28)	1.46 ^A (±13.07)
	OLS	0 ^D (±10.45)	1.09 ^C (±10.37)	2.53 ^B (±10.37)	3.18 ^A (±10.35)
	OLWS	0 ^D (±10.63)	1.13 ^C (±10.69)	2.39 ^B (±10.71)	3.14 ^A (±10.66)
TSS change	SIH	0 ^B (±0.63)	1.33 ^B (±0.66)	1.44 ^B (±0.62)	9.42 ^A (±0.54)
	OLS	0A(±0.55)	-0.31A(±0.46)	0.13 ^A (±0.56)	17.09 ^B (±0.53)
	OLWS	0 ^B (±0.50)	1.60 ^{AB} (±0.51)	5.51 ^A (±0.34)	-0.02 ^B (±0.61)
Firmness loss	SIH	0 ^D (±1.04)	8.46 ^C (±1.08)	12.09 ^B (±0.73)	19.08 ^A (±0.84)
	OLS	0C(±1.16)	13.07 ^B (±0.91)	15.41 ^B (±0.66)	22.73 ^A (±0.96)
	OLWS	0C(±2.56)	18.52 ^B (±1.95)	21.87 ^{AB} (±1.63)	27.42 ^A (±0.95)
Color change	SIH	0C(±1.51)	5.78 ^B (±1.91)	6.89 ^{AB} (±1.72)	8.61 ^A (±1.67)
	OLS	0C(±1.22)	8.99 ^{AB} (±1.85)	6.66 ^B (±1.74)	9.84 ^A (±0.95)
	OLWS	0 ^D (±1.14)	6.39 ^B (±1.82)	7.12 ^B (±1.09)	11.01 ^A (±1.10)

- 다항식 모델은 SIH, OLS 그리고 OLWS 처리한 파프리카에 대해 각각 0.77, 0.86, 0.74의 R² 값이 나타나므로 파프리카 무게 감률에 대해 적합하였다.
- TSS의 경우 다항식 모델은 SIH, OLS, OLWS 처리 된 파프리카 샘플에 대해 각각 0.08, 0.05 그리고 0.04의 R² 값으로 TSS(°Bx)의 변화를 예측하였다. TSS의 감소는 호흡 및 대사 활동의 감소로 인해 탄수화물에서 당으로의 변화가 느려지기 때문일 수 있다(Ali et al., 2011). 과일이 단기간 저장될 동안에 호흡 및 대사 활동의 증가에 의해 기인한 증가는 장기간의 보관기간 동안에 감소하는 추세로 이어진다.
- 데이터는 SIH, OLS 그리고 OLWS 처리한 파프리카에 대해 각각 0.53, 0.46, 0.45의 적합성 R²값을 갖는 파프리카 샘플의 경도 손실에 대한 다항식 모델에 적합하다.
- 수확 즉시 저장 처리(SIH)한 파프리카의 경도는 5, 10, 15일 간의 저장 후에 8.2, 8.1, 8로 측정되었다. 그리고 온실에서 하루 동안 차광하여 저장 처리(OLS)한 파프리카의 경도는 5, 10, 15일 간의 저장 후에 8.7, 8.6 그리고 8.3로 측정되었다. 호흡률이 높고 무게가 감소하여 장기간의 저장 기간 동안 파프리카의 경도가 감소하였다(Cantewill et al., 2009; Lahy et al., 2013).
- 다항식 모델은 SIH, OLS 그리고 OLWS 처리 된 파프리카 샘플에 대해 R² 값이 0.34, 0.32, 0.42로 저장 기간 동안 파프리카 색상의 변화를 가장 잘 설명하는 방정식이다. 15일간의 저장 기간 동안 SIH, OLS 그리고 OLWS 처리 하에서 처리 된 파프리카의 무게, TSS, 경도, 색도는 전반적으로 감소하였다.

(a)	$OLS: y = -0.004x^2 + 0.285x - 0.05$ $R^2 = 0.86$ $OLW S y = -0.004x^2 + 0.274x - 0.03$ $R^2 = 0.74$ $SIH : y = 0.006x^2 - 0.002x + 0.04$ $R^2 = 0.77$
(b)	$SIH : y = 0.066x^2 - 0.428x + 0.45$ $R^2 = 0.11$ $OLW S y = -0.071x^2 + 1.146x - 0.58$ $R^2 = 0.05$ $OLS: y = -0.169x^2 + 1.518x - 0.92$ $R^2 = 0.33$
(c)	$OLW S y = -0.129x^2 + 3.656x + 0.87$ $R^2 = 0.45$ $OLS: y = -0.057x^2 + 2.275x + 0.78$ $R^2 = 0.46$ $SIH : -0.015 * x^2 + 1.437 * x + 0.41$ $R^2 = 0.53$
(d)	$OLS: y = -0.058x^2 + 1.422x + 0.82$ $R^2 = 0.32$ $OLW S y = -0.025x^2 + 1.025x + 0.64$ $R^2 = 0.42$ $SIH : y = -0.041x^2 + 1.151x + 0.25$ $R^2 = 0.34$

그림 98. 15일 동안 저장한 variety-1 과프리카의 매개 변수 변화 (SIH, OLS, and OLWS).

표 29. 저장기간에 따른 variety-1 파프리카의 무게 감률, TSS, 경도, 색도 변화

Parameters	Relationships	(R ²)	Significance (5% level)
Weight loss	SIH $0.006 \times (\text{day})^2 - 0.002 \times (\text{day}) + 0.04$	0.77	<0.001
	OLS $-0.004 \times (\text{day})^2 + 0.285 \times (\text{day}) - 0.05$	0.86	<0.001
	OLWS $-0.004 \times (\text{day})^2 + 0.274 \times (\text{day}) - 0.03$	0.74	<0.001
	ALL $-0.001 \times (\text{day})^2 + 0.185 \times (\text{day}) - 0.01$	0.58	<0.001
Firmness loss	SIH $-0.015 \times (\text{day})^2 + 1.437 \times (\text{day}) + 0.41$	0.53	<0.001
	OLS $-0.057 \times (\text{day})^2 + 2.275 \times (\text{day}) + 0.78$	0.46	<0.001
	OLWS $-0.129 \times (\text{day})^2 + 3.656 \times (\text{day}) + 0.87$	0.45	<0.001
	ALL $-0.067 \times (\text{day})^2 + 2.456 \times (\text{day}) + 0.68$	0.43	<0.001
Total soluble solids change	SIH $-0.090 \times (\text{day})^2 + 1.701 \times (\text{day}) - 1.73$	0.08	0.22
	OLS $0.088 \times (\text{day})^2 - 1.008 \times (\text{day}) - 1.73$	0.05	0.45
	OLWS $0.088 \times (\text{day})^2 - 1.019 \times (\text{day}) - 1.22$	0.04	<0.001
	ALL $-0.058 \times (\text{day})^2 + 0.745 \times (\text{day}) - 0.35$	0.02	0.065
Color change	SIH $-0.041 \times (\text{day})^2 + 1.151 \times (\text{day}) + 0.25$	0.34	<0.001
	OLS $-0.058 \times (\text{day})^2 + 1.422 \times (\text{day}) + 0.82$	0.32	<0.001
	OLWS $-0.025 \times (\text{day})^2 + 1.025 \times (\text{day}) + 0.64$	0.42	<0.001
	ALL $-0.041 \times (\text{day})^2 + 1.195 \times (\text{day}) + 0.58$	0.35	<0.001

○ Variety-2(파프리카)

- 세 가지 다른 전처리에 따른 파프리카의 품질 매개 변수에서 주요 변화(p<0.05)를 나타내었다. 저장 기간 동안 파프리카의 무게가 점차적으로 감소했으며 사전 저장 처리 중에는 유의한 차이점(p < 0.05)이 관찰되지 않았다. 저장 기간 동안 파프리카의 경도 손실에 유의한 차이는 나타나지 않았으며, OLS, OLWS 처리보다 SIH 처리에서 변화가 느렸다. 세 가지 다른 저장 전처리 하에 보관하는 동안 파프리카의 Brix(°Bx)값에서 상당한 차이가 관찰되었다. 모든 저장 기간과 전처리 그룹에서 파프리카의 Brix(°Bx)값은 수확 후 저장 기간 15 일 동안 중요한 변화를 보였다. 그러나 SIH로 처리 된 파프리카의 Brix(°Bx)값의 변화는 다른 전처리에 비해 낮았으며 저장 10일째에 더 높았다. 모든 테스트된 처리에서 저장된 파프리카의 색도에 대해 상당한 차이가 나타났지만 SIH, OLS 처리보다 OLWS 처리에서 색도 매개변수의 손실이 약간 높았다.
- 저장 전처리 및 저장 기간이 5% 유의 수준인 요인으로 있는 품질 매개변수의 분산 분석 결과를 나타내었다. 또한 세 가지 다른 처리방법으로 저장된 파프리카의 모든 품질 매개변수의 주요(p<0.05) 변화를 나타내었다. 파프리카 샘플의 무게, 경도, TSS 및 색도 매개변수의 변화는 초기(0일)와 최종 값(측정 일)의 차이를 초기 값으로 나눈 값으로 고려하여 백분율로 표현하였다.

- 수확 후 처리가 시간이 지남에 따라 동일한 저장 처리에서 파프리카의 무게 감률에 미치는 영향은 매우 중요했다. 저장 전처리에서 무게 감률의 현저한 차이가 관찰되어 저장 전처리가 파프리카의 무게 감률에 중요한 영향을 미친다는 것을 나타낸다. OLWS 처리한 파프리카는 무게 감률(2.76%)이 가장 높았고 SIH 처리한 파프리카는 무게 감률(1.37%)이 가장 낮았다.
- SIH 처리한 파프리카 샘플(19.08%)에서 경도가 가장 적게 감소하고 OLWS 처리한 파프리카(27.42%)에서 가장 높은 경도 감소가 나타났고 다른 모든 파프리카 샘플에서도 경도 손실의 큰 차이가 나타났다.
- 모든 저장 전 처리된 파프리카 TSS($^{\circ}$ Bx)값의 변화는 명확하게 나타났으며 저장 기간 동안 큰 차이가 발견되었다. SIH, OLS, OLWS에 따라 TSS($^{\circ}$ Bx)의 값은 15일동안 1.76, 1.28, 2.18% 값을 보였다.
- 색도 매개변수의 변화를 위해 15일간의 저장 기간 동안 저장 전처리된 파프리카 샘플에서 유의한 차이는 발견되지 않았다. 반면, 저장 기간 동안 동일한 저장 전처리된 파프리카 샘플에서도 색도 매개변수의 매우 큰 변화가 나타났다. OLWS 처리한 파프리카 샘플에서 가장 높은 색도 변화(12.15%)가 나타났으며 SIH 처리한 파프리카에서 가장 작은 값(8.33%)을 보였다. 서로 다른 비선형 회귀 방정식과 관련 결정 계수에 의해 적합한 모든 품질 매개변수의 실험 데이터를 표로 나타내었다.

표 30. 저장 전처리방법과 저장 기간을 변수로 하여 variety-2 파프리카의 무게 감률, 경도, TSS, 색도 결과; p 값은 <0.05에서 유의성을 나타냄

Source	df	MS	F	p-value
Dependent variable: weight				
Pre-storage handling	2	16.45	61.59	<0.0001
Storage period	3	84.08	314.70	<0.0001
Interaction(pre-storage handling × storage day)	11	27.95	104.60	<0.0001
Residual	348	0.27		
Replicate	29			
Total observations	359			
Dependent variable: firmness				
Pre-storage handling	2	270.63	3.76	0.024
Storage period	3	18718.16	260.13	<0.0001
Interaction(pre-storage handling × storage days)	11	5196.49	72.22	<0.0001
Residual	348	71.95		
Replicate	29			
Total observations	359			
Dependent variable: TSS				
Pre-storage handling	2	809.38	5.87	0.003
Storage period	3	1922.37	13.93	<0.0001
Interaction(pre-storage handling × storage days)	11	826.14	5.99	<0.0001
Residual	348	137.96		
Replicate	29			
Total observations	359			
Dependent variable: color				
Pre-storage handling	2	218.68	21.54	<0.0001
Storage period	3	1854.46	182.66	<0.0001
Interaction(pre-storage handling × storage days)	11	560.28	55.19	<0.0001
Residual	348	10.15		
Replicate	29			
Total observations	359			

표 31. 15일간의 저장기간 동안 variety-2 파프리카의 무게 감률, TSS, 경도, 색도의 변화에 저장 전처리 및 저장 기간이 미치는 영향

Changes in quality parameters(%)	Pre-storage handling	Storage period(day)			
		0	5	10	15
Weight loss	SIH	0 ^D (±14.09)	0.56 ^C (±14.06)	0.92 ^B (±14.06)	1.37 ^A (±14.07)
	OLS	0 ^D (±31.67)	0.85 ^C (±31.46)	1.97 ^B (±31.12)	2.58 ^A (±30.88)
	OLWS	0 ^D (±28.99)	0.93 ^C (±28.92)	1.77 ^B (±28.96)	2.76 ^A (±29.04)
TSS change	SIH	0 ^B (±0.67)	-0.67 ^B (±0.55)	11.46 ^A (±0.44)	1.76 ^B (±0.28)
	OLS	0 ^A (±0.55)	-9.75 ^B (±0.54)	2.21 ^A (±0.57)	1.28 ^A (±0.91)
	OLWS	0 ^A (±0.74)	-7.78 ^B (±0.54)	1.11 ^A (±0.77)	2.18 ^A (±0.55)
Firmness loss	SIH	0 ^D (±0.63)	9.70 ^C (±0.74)	20.51 ^B (±0.82)	29.94 ^A (±0.82)
	OLS	0 ^D (±0.74)	10.47 ^C (±0.54)	21.00 ^B (±0.84)	33.23 ^A (±0.84)
	OLWS	0 ^D (±0.62)	11.26 ^C (±0.81)	23.49 ^B (±0.93)	37.31 ^A (±0.93)
Color change	SIH	0 ^D (±2.08)	2.67 ^C (±1.86)	6.12 ^B (±1.96)	8.33 ^A (±2.13)
	OLS	0 ^C (±2.42)	5.92 ^B (±2.24)	8.83 ^A (±2.25)	10.97 ^A (±2.42)
	OLWS	0 ^D (±1.97)	5.67 ^C (±2.13)	9.25 ^B (±2.13)	12.15 ^A (±2.13)

- 다항식 모델은 SIH, OLS, OLWS 처리한 파프리카에 대해 각각 0.86, 0.72, 0.68의 R²값이 나타나므로 파프리카 샘플의 무게 손실에 적합하였다.
- TSS의 경우 다항식 모델은 SIH, OLS, OLWS 처리 된 파프리카 샘플에 대해 각각 0.08, 0.05, 0.04의 R² 값으로 TSS(°Bx)의 변화를 예측하였다. TSS의 감소는 호흡 및 대사 활동의 감소로 인해 탄수화물에서 당으로의 변화가 느려지기 때문일 수 있다(Ali et al., 2011). 과일 이 단기간 저장될 동안에 호흡 및 대사 활동의 증가에 의해 기인한 증가는 장기간의 보관기간 동안에 감소하는 추세로 이어진다.
- 데이터는 SIH, OLS 그리고 OLWS 처리한 파프리카에 대해 각각 0.66, 0.72, 0.68의 적합성 R²값을 갖는 파프리카 샘플의 경도 손실에 대한 다항식 모델에 적합하다.
- 수확 즉시 저장 처리(SIH)한 파프리카의 경도는 5, 10, 15일 간의 저장 후에 8.2, 8.1, 8로 측정되었다. 그리고 온실에서 하루 동안 차광하여 저장 처리(OLS)한 파프리카의 경도는 5, 10, 15일 간의 저장 후에 8.7, 8.6, 8.3로 측정되었다. 호흡률이 높고 무게가 감소하여 장기간의 저장 기간 동안의 파프리카의 경도가 감소하였다(Cantewll et al., 2009; Lahy et al., 2013).
- 다항식 모델은 SIH, OLS 그리고 OLWS 처리 된 파프리카 샘플에 대해 R² 값이 0.71, 0.49, 0.72로 저장 기간 동안 파프리카 색상의 변화를 가장 잘 설명하는 방정식이다. 15일간의 저장 기간 동안 SIH, OLS, OLWS 처리 하에서 처리 된 파프리카의 무게, TSS, 경도, 색도 매개 변수는 전반적으로 감소하였다.

(a)	$OLS: y = -0.002x^2 + 0.215x - 0.04$ $R^2 = 0.85$ $OLW S y = 0.001x^2 + 0.173x + 0.01$ $R^2 = 0.64$ $SIH : y = -0.001x^2 + 0.107x + 0.02$ $R^2 = 0.92$
(b)	$SIH : y = -0.090x^2 + 1.701x - 1.73$ $R^2 = 0.08$ $OLS: y = 0.088x^2 - 1.008x - 1.73$ $R^2 = 0.05$ $OLW S y = 0.088x^2 - 1.019x - 1.22$ $R^2 = 0.04$
(c)	$OLW S y = 0.025x^2 + 2.099x + 0.03$ $R^2 = 0.68$ $OLS: y = 0.017x^2 + 1.937x + 0.08$ $R^2 = 0.72$ $SIH : -0.003 * x^2 + 2.053 * x - 0.12$ $R^2 = 0.66$
(d)	$OLS: y = -0.037x^2 + 1.284x + 0.11$ $R^2 = 0.49$ $OLW S y = -0.027x^2 + 1.126x + 0.07$ $R^2 = 0.72$ $SIH : y = -0.004x^2 + 0.637x - 0.09$ $R^2 = 0.71$

그림 99. 15일 동안 저장한 variety-2 파프리카의 매개 변수 변화 (SIH, OLS, and OLWS)

표 32. 저장기간에 따른 variety-2 파프리카의 무게 감률, TSS, 경도, 색도 변화

Parameters	Relationships	(R ²)	Significance (5% level)
Weight loss	SIH $-0.001 \times (\text{day})^2 + 0.107 \times (\text{day}) + 0.02$	0.86	<0.001
	OLS $-0.002 \times (\text{day})^2 + 0.215 \times (\text{day}) - 0.04$	0.72	<0.001
	OLWS $0.001 \times (\text{day})^2 + 0.173 \times (\text{day}) + 0.01$	0.68	<0.001
	ALL $-0.001 \times (\text{day})^2 + 0.165 \times (\text{day}) + 0.01$	0.63	<0.001
Firmness loss	SIH $-0.003 \times (\text{day})^2 + 2.053 \times (\text{day}) - 0.12$	0.66	<0.001
	OLS $0.017 \times (\text{day})^2 + 1.937 \times (\text{day}) + 0.08$	0.72	<0.001
	OLWS $0.025 \times (\text{day})^2 + 2.099 \times (\text{day}) + 0.03$	0.68	<0.001
	ALL $0.014 \times (\text{day})^2 + 2.030 \times (\text{day}) - 0.01$	0.68	<0.001
Total soluble solids change	SIH $-0.090 \times (\text{day})^2 + 1.701 \times (\text{day}) - 1.73$	0.08	<0.045
	OLS $0.088 \times (\text{day})^2 - 1.008 \times (\text{day}) - 1.73$	0.05	<0.127
	OLWS $0.088 \times (\text{day})^2 - 1.019 \times (\text{day}) - 1.22$	0.04	<0.171
	ALL $8.056 \times \ln(\text{day}) - 17.57$	0.06	<0.006
Color change	SIH $-0.004 \times (\text{day})^2 + 0.637 \times (\text{day}) - 0.09$	0.71	<0.001
	OLS $-0.037 \times (\text{day})^2 + 1.284 \times (\text{day}) + 0.11$	0.49	<0.001
	OLWS $-0.027 \times (\text{day})^2 + 1.126 \times (\text{day}) + 0.07$	0.72	<0.001
	ALL $-0.023 \times (\text{day})^2 + 1.046 \times (\text{day}) + 0.03$	0.57	<0.001

○ Variety-3(파프리카)

- 세 가지 다른 처리방법에 의해 저장된 파프리카의 모든 품질 매개 변수에서 주요 변화 ($p < 0.05$)를 나타내었다. 저장 기간 동안 파프리카의 무게가 점차적으로 감소했으며 저장 전 처리에 따른 유의한 차이 ($p < 0.05$)는 관찰되지 않았다. 저장 기간 동안 파프리카의 경도 손실은 유의한 차이가 나타나지 않았으며, OLS, OLWS 처리보다 SIH 처리에서 변화가 느렸다. 저장 전처리 하에 보관하는 동안 파프리카의 Brix(°Bx)값에서 상당한 차이가 나타났다. 모든 저장 기간과 전처리에서 파프리카의 Brix(°Bx)값은 수확 후 저장 기간 15 일 동안 큰 변화를 보였다. 그러나 SIH로 처리 된 파프리카의 Brix(°Bx)값의 변화는 다른 전처리에 비해 낮았으며 저장 10일째에 더 높았다. 모든 테스트된 처리에서 저장된 파프리카의 색도에 대해 상당한 차이가 발견되었지만 SIH, OLS 처리보다 OLWS 처리에서 색도 매개변수의 손실이 약간 높았다.
- 저장 전처리 및 저장 기간이 5% 유의 수준인 요인으로 있는 품질 매개변수의 분산 분석 결과를 나타내었다. 세 가지 다른 저장 처리 방법으로 저장된 파프리카의 모든 품질 매개변수의 주요 ($p < 0.05$) 변화를 나타내었다. 파프리카 샘플의 무게, 경도, TSS, 색도 매개변수의 변화는 초기(0일) 값과 최종 값(측정 일)의 차이를 초기 값으로 나눈 값으로 고려하여 백분율로 표현하였다.
- 수확 후 처리가 시간이 지남에 따라 동일한 저장 처리에서 파프리카의 무게 감률에 미치는 영향은 매우 중요했다. 저장 전처리에서 무게 감률의 현저한 차이가 관찰되어 저장 전처리가

파프리카의 무게 감률에 중요한 영향을 미친다는 것을 나타낸다. OLWS 처리한 파프리카는 무게 감률(21.55%)이 가장 높았고 SIH 처리한 파프리카는 무게 감률(17.08%)이 가장 낮았다.

- SIH 처리한 파프리카 샘플(40.02%)에서 경도가 가장 적게 감소하고 OLWS 저장 전 처리한 파프리카(63.75%)에서 가장 높은 경도 감소가 나타났고 다른 모든 저장 전 처리된 파프리카에서도 경도 손실의 큰 차이가 나타났다.
- 저장 전 처리된 파프리카는 TSS(°Bx)값의 변화가 명확하게 나타났으며 저장 기간 동안 유의한 차이가 나타났다. TSS(°Bx)의 값이 15일간의 변화에서 SIH, OLS, OLWS에 따라 -17.54, -21.92, -26.55% 값을 보였다.
- 색도는 15일간의 저장 기간 동안 저장 전처리된 파프리카 샘플에서 유의한 차이는 발견되지 않았다. 반면, 저장 기간 동안 동일한 저장 전처리된 파프리카 샘플에서는 색도 매개변수의 매우 큰 차이가 관찰되었다. OLWS 처리한 파프리카 샘플에서 가장 높은 색도 변화(25.81%)가 나타났으며 SIH 처리한 파프리카에서 가장 작은 값(18.69%)을 보였다.

표 33. 저장 전처리방법과 저장 기간을 변수로 하여 variety-3 파프리카의 무게 감률, 경도, TSS, 색도 결과; p 값은 <0.05에서 유의성을 나타냄

Source	df	MS	F	p-value
Dependent variable: weight				
Pre-storage handling	2	220.45	15.88	<0.0001
Storage period	3	6180.44	489.56	<0.0001
Interaction (pre-storage handling × storage day)	11	1738.08	137.68	<0.0001
Residual	348	12.62		
Replicate	29			
Total observations	359			
Dependent variable: firmness				
Pre-storage handling	2	552.34	2.90	0.059
Storage period	3	13083.47	68.80	<0.0001
Interaction (pre-storage handling × storage days)	11	3889.98	20.46	<0.0001
Residual	348	190.15		
Replicate	29			
Total observations	359			
Dependent variable: TSS				
Pre-storage handling	2	396.87	2.94	0.003
Storage period	3	2859.99	21.17	<0.0001
Interaction (pre-storage handling × storage days)	11	955.33	7.07	<0.0001
Residual	348	135.12		
Replicate	29			
Total observations	359			
Dependent variable: color				
Pre-storage handling	2	416.21	3.42	<0.0001
Storage period	3	8962.02	73.65	<0.0001
Interaction (pre-storage handling × storage days)	11	2561.11	21.05	<0.0001
Residual	348	121.67		
Replicate	29			
Total observations	359			

표 34. 15일간의 저장기간 동안 variety-3 파프리카의 무게 감률, TSS, 경도, 색도의 변화에 저장 전 처리 및 저장 기간이 미치는 영향

Changes in quality parameters(%)	Pre-storage handling	Storage period (day)			
		0	5	10	15
Weight loss	SIH	0 ^D (±4.73)	4.84 ^C (±4.52)	12.29 ^B (±3.91)	17.08 ^A (±4.01)
	OLS	0 ^D (±3.97)	5.25 ^C (±3.83)	12.00 ^B (±3.69)	18.54 ^A (±3.56)
	OLWS	0 ^D (±4.02)	7.77 ^C (±3.76)	14.53 ^B (±3.57)	21.55 ^A (±3.36)
TSS change	SIH	0 ^A (±0.98)	-2.01 ^A (±0.72)	-5.88 ^A (±1.24)	-17.54 ^B (±1.16)
	OLS	0 ^A (±1.02)	-8.96 ^{AB} (±0.84)	-12.19 ^{AB} (±0.87)	-21.92 ^B (±1.95)
	OLWS	0 ^A (±0.87)	-1.99 ^A (±0.92)	-21.29 ^B (±1.09)	-26.55 ^B (±1.02)
Firmness loss	SIH	0 ^C (±10.24)	9.77 ^C (±7.53)	24.84 ^B (±18.75)	40.02 ^A (±18.97)
	OLS	0 ^C (±9.00)	12.12 ^{BC} (±6.21)	23.98 ^B (±12.68)	41.88 ^A (±26.61)
	OLWS	0 ^D (±9.87)	12.19 ^C (±7.29)	25.49 ^B (±18.48)	63.75 ^A (±22.89)
Color change	SIH	0 ^C (±6.24)	7.57 ^B (±4.96)	15.68 ^A (±5.93)	18.69 ^A (±6.32)
	OLS	0 ^D (±3.56)	10.02 ^C (±5.68)	17.87 ^B (±6.22)	24.57 ^A (±7.33)
	OLWS	0 ^D (±4.40)	11.78 ^C (±6.28)	18.75 ^B (±6.75)	25.81 ^A (±7.47)

- 다항식 모델은 SIH, OLS, OLWS 처리한 파프리카에 대해 각각 0.71, 0.84, 0.86의 R²값의 적합성을 갖는 파프리카 샘플의 무게 손실에 적합하였다.
- TSS의 경우 다항식 모델은 SIH, OLS, OLWS 처리 된 파프리카 샘플에 대해 각각 0.23, 0.18, 0.17의 R² 값으로 TSS(°Bx)의 변화를 예측하였다.
TSS의 감소는 호흡 및 대사 활동의 감소로 인해 탄수화물에서 당으로의 변화가 느려지기 때문일 수 있다(Ali et al., 2011). 과일이 단기간 저장될 동안에 호흡 및 대사 활동의 증가에 의해 기인한 증가는 장기간의 보관기간 동안에 감소하는 추세로 이어진다.
- 데이터는 SIH, OLS, OLWS 처리한 파프리카에 대해 각각 0.65, 0.54, 0.74의 적합성 R²값을 갖는 파프리카 샘플의 경도 손실에 대한 다항식 모델에 적합하다.
- 수확 즉시 저장 처리(SIH)한 파프리카의 경도는 5, 10, 15일 간의 저장 후에 8.2, 8.1, 8로 측정되었다. 그리고 온실에서 하루 동안 차광하여 저장 처리(OLS)한 파프리카의 경도는 5, 10, 15일 간의 저장 후에 8.7, 8.6, 8.3로 측정되었다. 호흡률이 높고 무게가 감소하여 장기간의 저장 기간 동안의 파프리카의 경도가 감소하였다(Cantewll et al., 2009; Lahy et al., 2013).
- 다항식 모델은 SIH, OLS, OLWS 처리 된 파프리카 샘플에 대해 R² 값이 0.42, 0.39, 0.37로 저장 기간 동안 파프리카 색상의 변화를 가장 잘 설명하는 방정식이다. 15일간의 저장 기간 동안 SIH, OLS, OLWS 처리 된 파프리카의 무게, TSS, 경도, 색도 매개 변수는 전체적으로 감소하였다.

(a)	$OLWS: y = -0.007x^2 + 1.541x + 0.06$ $R^2 = 0.86$ $OLS: y = 0.013x^2 + 1.055x - 0.08$ $R^2 = 0.84$ $SIH: y = -0.001x^2 + 1.183x - 0.26$ $R^2 = 0.71$
(b)	$SIH: y = -0.183x^2 + 2.355x + 1.31$ $R^2 = 0.23$ $OLS: y = -0.104x^2 + 0.734x + 0.36$ $R^2 = 0.18$ $OLWS: y = -0.069x^2 + 0.028x - 0.39$ $R^2 = 0.17$
(c)	$OLWS: y = 0.256x^2 + 0.258x + 1.12$ $R^2 = 0.74$ $OLS: y = 0.057x^2 + 1.883x + 0.31$ $R^2 = 0.54$ $SIH: y = 0.054x^2 + 1.891x - 0.26$ $R^2 = 0.65$
(d)	$OLWS: y = -0.047x^2 + 2.396x + 0.24$ $R^2 = 0.37$ $OLS: y = -0.033x^2 + 2.128x + 0.05$ $R^2 = 0.39$ $SIH: y = -0.045x^2 + 1.967x - 0.28$ $R^2 = 0.42$

그림 100. 15일 동안 저장한 variety-3 파프리카의 매개 변수 변화 (SIH, OLS, and OLWS)

표 35. 저장기간에 따른 variety-3 파프리카의 무게 감률, TSS, 경도, 색도 변화

Parameters	Relationships	(R ²)	Significance (5% level)
Weight loss	SIH $-0.001 \times (\text{day})^2 + 1.183 \times (\text{day}) - 0.26$	0.71	<0.001
	OLS $0.013 \times (\text{day})^2 + 1.055 \times (\text{day}) - 0.08$	0.84	<0.001
	OLWS $-0.007 \times (\text{day})^2 + 1.541 \times (\text{day}) + 0.06$	0.86	<0.001
	ALL $0.002 \times (\text{day})^2 + 1.259 \times (\text{day}) - 0.09$	0.78	<0.001
Firmness loss	SIH $0.054 \times (\text{day})^2 + 1.891 \times (\text{day}) - 0.26$	0.65	<0.001
	OLS $0.057 \times (\text{day})^2 + 1.883 \times (\text{day}) + 0.31$	0.54	<0.001
	OLWS $0.256 \times (\text{day})^2 + 0.258 \times (\text{day}) + 1.12$	0.74	<0.001
	ALL $0.123 \times (\text{day})^2 + 1.344 \times (\text{day}) + 0.39$	0.62	<0.001
Total soluble solids change	SIH $-0.183 \times (\text{day})^2 + 2.355 \times (\text{day}) + 1.31$	0.23	<0.001
	OLS $-0.104 \times (\text{day})^2 + 0.734 \times (\text{day}) + 0.36$	0.18	<0.001
	OLWS $-0.069 \times (\text{day})^2 + 0.028 \times (\text{day}) - 0.39$	0.17	<0.001
	ALL $-0.188 \times (\text{day})^2 - 1.039 \times (\text{day}) + 0.42$	0.15	<0.006
Color change	SIH $-0.045 \times (\text{day})^2 + 1.967 \times (\text{day}) - 0.28$	0.42	<0.001
	OLS $-0.033 \times (\text{day})^2 + 2.128 \times (\text{day}) + 0.05$	0.39	<0.001
	OLWS $-0.047 \times (\text{day})^2 + 2.396 \times (\text{day}) + 0.24$	0.37	<0.001
	ALL $-0.042 \times (\text{day})^2 + 2.164 \times (\text{day}) + 0.01$	0.38	<0.001

○ Variety-4(파프리카)

- 세 가지 다른 처리방법에 의해 저장된 파프리카의 모든 품질 매개 변수에서 주요 변화 ($p < 0.05$)를 나타내었다. 저장 기간 동안 파프리카의 무게가 점차적으로 감소했으며 저장 전 처리에 따른 유의한 차이 ($p < 0.05$)는 관찰되지 않았다. 저장 기간 동안 파프리카의 경도 손실은 유의한 차이가 나타나지 않았으며, OLS, OLWS 처리보다 SIH 처리에서 변화가 느렸다. 저장 전처리 하에 보관하는 동안 파프리카의 Brix(°Bx)값에서 상당한 차이가 나타났다. 모든 저장 기간과 전처리에서 파프리카의 Brix(°Bx)값은 수확 후 저장 기간 15 일 동안 큰 변화를 보였다. 그러나 SIH로 처리 된 파프리카의 Brix(°Bx)값의 변화는 다른 전처리에 비해 낮았으며 저장 10일째에 더 높았다. 모든 테스트된 처리에서 저장된 파프리카의 색도에 대해 상당한 차이가 발견되었지만 SIH, OLS 처리보다 OLWS 처리에서 색도 매개변수의 손실이 약간 높았다.
- 저장 전처리 및 저장 기간이 5% 유의 수준인 요인으로 있는 품질 매개변수의 분산 분석 결과를 나타내었다. 세 가지 다른 저장 처리 방법으로 저장된 파프리카의 모든 품질 매개변수의 주요 ($p < 0.05$) 변화를 나타내었다. 파프리카 샘플의 무게, 경도, TSS, 색도 매개변수의 변화는 초기(0일) 값과 최종 값(측정 일)의 차이를 초기 값으로 나눈 값으로 고려하여 백분율로 표현하였다.
- 수확 후 처리가 시간이 지남에 따라 동일한 저장 처리에서 파프리카의 무게 감률에 미치는 영향은 매우 중요했다. 저장 전처리에서 무게 감률의 현저한 차이가 관찰되어 저장 전처리가

파프리카의 무게 감률에 중요한 영향을 미친다는 것을 알 수 있다. OLWS 처리한 파프리카는 무게 감률(15.52%)이 가장 높았고 SIH 처리한 파프리카는 무게 감률(14.18%)이 가장 낮았다.

- SIH 처리한 파프리카 샘플(37.39%)에서 경도가 가장 작게 감소하고 OLWS 저장 전 처리한 파프리카(56.00%)에서 가장 높은 경도 감소가 나타났고 다른 모든 저장 전 처리된 파프리카 샘플에서도 경도 손실의 큰 차이가 나타났다.
- 저장 전 처리된 파프리카는 TSS(°Bx)값의 변화가 명확하게 나타났으며 저장 기간 동안 유의한 차이가 나타났다. TSS(°Bx)의 값이 15일간의 변화에서 SIH, OLS, OLWS 처리에 따라 -3.27, -11.65, -15.95% 값을 보였다.
- 색도매개변수의 변경을 위해 15일간의 저장 기간 동안 저장 전처리된 파프리카 샘플에서 유의한 차이는 발견되지 않았다. 반면, 저장 기간 동안 동일한 저장 전처리된 파프리카 샘플에서도 색도 매개변수의 매우 중요한 차이가 관찰되었다. OLWS 처리한 파프리카 샘플에서 가장 높은 색도 변화(13.73%)가 관찰되었으며 SIH 처리한 파프리카에서 가장 작은 값(11.85%)을 보였다.

표 36. 저장 전처리방법과 저장 기간을 변수로 하여 variety-4 파프리카의 무게 감률, 경도, TSS, 색도 결과; p 값은 <0.05에서 유의성을 나타냄

Source	df	MS	F	p-value
Dependent variable: weight				
Pre-storage handling	2	34.14	2.94	0.054
Storage period	3	3892.88	335.10	<0.0001
Interaction (pre-storage handling × storage day)	11	1074.05	92.46	<0.0001
Residual	348	11.61		
Replicate	29			
Total observations	359			
Dependent variable: firmness				
Pre-storage handling	2	757.39	2.72	0.070
Storage period	3	13566.48	48.81	<0.0001
Interaction (pre-storage handling × storage days)	11	3939.11	14.17	<0.0001
Residual	348	227.95		
Replicate	29			
Total observations	359			
Dependent variable: TSS				
Pre-storage handling	2	876.68	6.52	0.021
Storage period	3	1079.07	8.03	<0.0001
Interaction (pre-storage handling × storage days)	11	518.43	3.86	<0.0001
Residual	348	134.41		
Replicate	29			
Total observations	359			
Dependent variable: color				
Pre-storage handling	2	50.21	1.26	0.285
Storage period	3	2649.73	66.47	<0.0001
Interaction (pre-storage handling × storage days)	11	738.25	18.52	<0.0001
Residual	348	39.86		
Replicate	29			
Total observations	359			

표 37. 15일간의 저장기간 동안 variety-4 파프리카의 무게 감률, TSS, 경도, 색도의 변화에 저장 전처리 및 저장 기간이 미치는 영향

Changes in quality parameters (%)	Pre-storage handling	Storage period (day)			
		0	5	10	15
Weight loss	SIH	0 ^D (±6.07)	4.04 ^C (±5.75)	9.36 ^B (±5.30)	14.18 ^A (±4.99)
	OLS	0 ^D (±7.31)	5.24 ^C (±6.69)	10.05 ^B (±6.14)	15.34 ^A (±5.65)
	OLWS	0 ^D (±6.36)	4.48 ^C (±5.92)	11.60 ^B (±5.84)	15.52 ^A (±4.87)
TSS change	SIH	0 ^B (±0.75)	12.43 ^A (±0.77)	2.61 ^B (±1.35)	-3.27 ^B (±1.47)
	OLS	0 ^A (±0.55)	2.50 ^A (±0.73)	-3.76 ^{AB} (±0.84)	-11.65 ^B (±1.86)
	OLWS	0 ^A (±0.78)	-3.15 ^A (±0.99)	-5.86 ^{AB} (±0.61)	-15.95 ^B (±1.47)
Firmness loss	SIH	0 ^B (±11.64)	20.87 ^A (±15.55)	33.78 ^A (±20.69)	3.39 ^A (±14.49)
	OLS	0 ^C (±7.75)	21.93 ^B (±14.99)	40.34 ^A (±21.68)	52.23 ^A (±23.40)
	OLWS	0 ^D (±16.98)	26.60 ^C (±17.56)	43.71 ^B (±11.96)	56.00 ^A (±12.72)
Color change	SIH	0 ^C (±3.85)	5.75 ^B (±4.26)	8.14 ^B (±4.50)	1.85 ^A (±4.37)
	OLS	0 ^C (±5.29)	5.86 ^B (±3.31)	7.92 ^B (±2.86)	13.32 ^A (±5.36)
	OLWS	0 ^D (±4.49)	6.86 ^C (±3.99)	10.15 ^B (±3.47)	13.73 ^A (±4.89)

- 다항식 모델은 SIH, OLS, OLWS 처리한 파프리카에 대해 각각 0.82, 0.83, 0.63의 R²값을 가지므로 파프리카 샘플의 무게 손실에 적합하였다.
- TSS의 경우 다항식 모델은 SIH, OLS, OLWS 처리 된 파프리카 샘플에 대해 각각 0.49, 0.25, 0.49의 R² 값으로 TSS(°Bx)의 변화를 예측하였다. TSS의 감소는 호흡 및 대사 활동의 감소로 인해 탄수화물에서 당으로의 변화가 느려지기 때문일 수 있다(Ali et al., 2011). 과일이 단기간 저장될 동안에 호흡 및 대사 활동의 증가에 의해 기인한 증가는 장기간의 보관기간 동안에 감소하는 추세로 이어진다.
- 데이터는 SIH, OLS, OLWS 처리한 파프리카에 대해 각각 0.43, 0.56, 0.73의 적합성 R²값을 갖는 파프리카 샘플의 경도 손실에 대한 다항식 모델에 적합하다.
- 수확 즉시 저장 처리(SIH)한 파프리카의 경도는 5, 10, 15일 간의 저장 후에 8.2, 8.1, 8로 측정되었다. 그리고 온실에서 하루 동안 차광하여 저장 처리(OLS)한 파프리카의 경도는 5, 10, 15일 간의 저장 후에 8.7, 8.6, 8.3로 측정되었다. 호흡률이 높고 무게가 감소하여 장기간의 저장 기간 동안의 파프리카의 경도가 감소하였다(Cantewll et al., 2009; Lahy et al., 2013).
- 다항식 모델은 SIH, OLS, OLWS 처리 된 파프리카 샘플에 대해 R² 값이 0.42, 0.39, 0.37로 저장 기간 동안 파프리카 색상의 변화를 가장 잘 설명하는 방정식이다. 15일간의 저장 기간 동안 SIH, OLS, OLWS 처리 하에서 처리 된 파프리카의 무게, TSS, 경도, 색도는 전반적으로 감소하였다.

(a)	$OLWS : y = -0.005x^2 + 1.149x - 0.28$ $R^2 = 0.63$ $OLS : y = 0.001x^2 + 1.001x + 0.05$ $R^2 = 0.83$ $SIH : y = 0.007x^2 + 0.841x - 0.09$ $R^2 = 0.82$
(b)	$SIH : y = -0.096x^2 + 0.316x - 0.29$ $R^2 = 0.39$ $OLS : y = -0.007x^2 - 1.264x - 0.61$ $R^2 = 0.25$ $OLWS : y = -0.032x^2 - 1.491x + 1.56$ $R^2 = 0.49$
(c)	$OLWS : y = -0.143x^2 + 5.850x + 0.23$ $R^2 = 0.73$ $OLS : y = -0.101x^2 + 5.007x - 0.15$ $R^2 = 0.56$ $SIH : y = -0.172x^2 + 5.091x - 0.06$ $R^2 = 0.43$
(d)	$OLWS : y = -0.033x^2 + 1.381x + 0.19$ $R^2 = 0.44$ $OLS : y = -0.005x^2 + 0.910x + 0.35$ $R^2 = 0.27$ $SIH : y = -0.020x^2 + 1.065x + 0.23$ $R^2 = 0.41$

그림 101. 15일 동안 저장한 variety-4 파프리카의 매개 변수 변화 (SIH, OLS, and OLWS)

표 38. 저장기간에 따른 variety-4 파프리카의 무게 감률, TSS, 경도, 색도 변화

Parameters	Relationships	(R ²)	Significance (5% level)
Weight loss	SIH $0.007 \times (\text{day})^2 + 0.841 \times (\text{day}) - 0.09$	0.82	<0.001
	OLS $0.001 \times (\text{day})^2 + 1.001 \times (\text{day}) + 0.05$	0.83	<0.001
	OLWS $-0.005 \times (\text{day})^2 + 1.149 \times (\text{day}) - 0.28$	0.63	<0.001
	ALL $0.001 \times (\text{day})^2 + 0.999 \times (\text{day}) - 0.11$	0.73	<0.001
Firmness loss	SIH $-0.172 \times (\text{day})^2 + 5.091 \times (\text{day}) - 0.06$	0.43	<0.001
	OLS $-0.101 \times (\text{day})^2 + 5.007 \times (\text{day}) - 0.15$	0.56	<0.001
	OLW $-0.143 \times (\text{day})^2 + 5.850 \times (\text{day}) + 0.23$	0.73	<0.001
	ALL $-0.138 \times (\text{day})^2 + 5.316 \times (\text{day}) + 0.01$	0.55	<0.001
Total soluble solids change	SIH $-0.032 \times (\text{day})^2 - 1.491 \times (\text{day}) + 1.56$	0.49	0.196
	OLS $-0.007 \times (\text{day})^2 - 1.264 \times (\text{day}) - 0.61$	0.25	0.019
	OLWS $-0.032 \times (\text{day})^2 - 1.491 \times (\text{day}) + 1.56$	0.49	0.009
	ALL $-0.045 \times (\text{day})^2 - 0.813 \times (\text{day}) + 0.22$	0.34	<0.001
Color change	SIH $-0.045 \times (\text{day})^2 + 1.967 \times (\text{day}) - 0.28$	0.42	<0.001
	OLS $-0.033 \times (\text{day})^2 + 2.128 \times (\text{day}) + 0.05$	0.39	<0.001
	OLWS $-0.047 \times (\text{day})^2 + 2.396 \times (\text{day}) + 0.24$	0.37	<0.001
	ALL $-0.019 \times (\text{day})^2 + 1.118 \times (\text{day}) + 0.26$	0.35	<0.001

○ Variety-1(토마토)

- 저장 전 처리 및 저장일이 5% 유의 수준인 요인으로 있는 품질 매개변수의 분산 분석 결과를 보여준다. 세 가지 다른 처리 중 저장된 토마토의 모든 품질 매개변수의 중요한(p<0.05) 변경 사항을 나타내었다. 토마토 샘플의 무게, 경도, TSS 및 색도 매개변수의 변화는 초기(0일)와 최종 값(측정 일)의 차이를 초기 값으로 나눈 값으로 고려하여 백분율로 표현하였다.
- 수확 후 처리가 시간이 지남에 따라 저장방법에서 토마토의 무게 감률에 미치는 영향은 매우 중요했다. OLWS 처리한 토마토는 무게 감률(1.86%)이 가장 높았고 SIH 처리한 토마토는 무게 감률(1.42%)이 가장 낮았다.
- SIH 처리한 토마토 샘플(34.7%)에서 경도가 가장 낮게 감소하고 OLWS 저장 전 처리한 토마토(40.1%)에서 가장 높은 경도 감소가 발견 되었고 다른 모든 저장 전 처리 된 토마토 샘플에서도 경도 손실의 큰 차이가 관찰되었다.
- 모든 저장 전 처리된 토마토 중 TSS(°Bx)값에서 매우 중요한 차이가 명확하게 관찰되었으며 저장 기간 동안 중요한 차이가 발견되었다. OLS 처리한 토마토의 TSS(°Bx)값(4.6%) 감소는 가장 낮았으며 15일간의 저장 후 OLWS 처리한 토마토에서 TSS(°Bx)값(19.98%)이 감소된 것이 관찰되었다.
- 색도매개변수의 변경을 위해 15일간의 저장 기간 동안 저장 전 처리 된 토마토 샘플에서 큰 차이는 발견되지 않았다. 반면, 저장 기간 동안 동일한 저장 전 처리된 토마토 샘플에서는 색

도 매개변수의 매우 중요한 차이가 관찰되었다. OLWS 처리한 토마토 샘플에서 가장 높은 색도 변화(12.46%)가 관찰되었으며 SIH 처리한 토마토에서 가장 작은 값(11.14%)이 발견되었다. 서로 다른 비선형 회귀 방정식과 관련 결정 계수에 의해 적합 되는 모든 품질 매개변수의 실험 데이터를 표로 나타내었다.

표 39. 저장 전처리방법과 저장 기간을 변수로 하여 variety-1 토마토의 무게 감률, 경도, TSS, 색도 결과; p 값은 <0.05에서 유의성을 나타냄

Source	df	MS	F	p-value
Dependent variable: weight				
Pre-storage handling	2	0.59	4.14	0.016
Storage period	3	45.08	315.97	<0.0001
Interaction(pre-storage handling × storage day)	11	12.60	88.34	<0.0001
Residual	348	0.14		
Replicate	29			
Total observations	359			
Dependent variable: firmness				
Pre-storage handling	2	79.11	1.20	0.302
Storage period	3	27013.12	410.30	<0.0001
Interaction(pre-storage handling × storage days)	11	7409.86	112.55	<0.0001
Residual	348	65.84		
Replicate	29			
Total observations	359			
Dependent variable: TSS				
Pre-storage handling	2	5500.41	62.85	<0.0001
Storage period	3	6533.97	74.65	<0.0001
Interaction(pre-storage handling × storage days)	11	3634.41	41.53	<0.0001
Residual	348	87.52		
Replicate	29			
Total observations	359			
Dependent variable: color				
Pre-storage handling	2	27.95	233.12	<0.0001
Storage period	3	2468.89	20593.70	<0.0001
Interaction(pre-storage handling × storage days)	11	681.75	5686.70	<0.0001
Residual	348	0.12		
Replicate	29			
Total observations	359			

표 40. 15일간의 저장기간 동안 variety-1 토마토의 무게 감률, TSS, 경도, 색도의 변화에 저장 전 처리 및 저장 기간이 미치는 영향

Changes in quality parameters(%)	Pre-storage handling	Storage period(day)			
		0	5	10	15
Weight loss	SIH	0 ^D (±10.13)	0.45 ^C (±10.12)	0.83 ^B (±10.13)	1.42 ^A (±10.25)
	OLS	0 ^D (±12.91)	0.46 ^C (±13.01)	0.98 ^B (±13.11)	1.69 ^A (±13.13)
	OLWS	0 ^D (±11.61)	0.45 ^C (±11.62)	0.88 ^B (±11.55)	1.86 ^A (±11.58)
TSS change	SIH	0 ^C (±0.27)	14.65 ^A (±0.21)	-11.09 ^D (±0.27)	4.60 ^B (±0.36)
	OLS	0 ^B (±0.26)	7.15 ^A (±0.34)	-18.19 ^C (±0.29)	5.66 ^A (±0.37)
	OLWS	0 ^C (±0.47)	14.99 ^{AB} (±0.97)	11.82 ^B (±0.52)	19.98 ^A (±0.73)
Firmness loss	SIH	0 ^C (±0.83)	22.31 ^B (±0.83)	30.71 ^A (±0.83)	34.79 ^A (±0.83)
	OLS	0 ^D (±0.48)	20.21 ^C (±0.48)	33.13 ^B (±0.48)	38.18 ^A (±0.48)
	OLWS	0 ^D (±0.22)	20.78 ^C (±0.22)	33.87 ^B (±0.22)	40.04 ^A (±0.22)
Color change	SIH	0 ^D (±1.36)	5.21 ^C (±1.36)	8.86 ^B (±1.36)	11.14 ^A (±1.36)
	OLS	0 ^D (±2.10)	6.49 ^C (±2.10)	10.30 ^B (±2.10)	12.16 ^A (±2.10)
	OLWS	0 ^D (±2.10)	5.42 ^C (±2.10)	10.03 ^B (±2.10)	12.46 ^A (±2.10)

- 다항식 모델은 SIH, OLS 그리고 OLWS 처리한 토마토에 대해 각각 0.86, 0.72, 그리고 0.68의 R2값의 적합성을 갖는 토마토 샘플의 무게 손실에 적합하였다(그림 3.2.14).
- TSS의 경우 로그 모델은 SIH 처리된 토마토 샘플 데이터에 0.16의 적합도를 갖는 반면 다항식 모델은 TSS(°Bx)값의 변화를 예측했으며 R2값은 OLS와 OLWS에 대해 각각 0.11, 0.25로 예측하였다..
- 데이터는 SIH, OLS 그리고 OLWS 처리한 토마토에 대해 각각 0.53, 0.46 그리고 0.45의 적합성 R2값을 갖는 토마토 샘플의 경도 손실에 대한 다항식 모델에 적합하다(그림 3.2.14).
- 다항식 모델은 SIH, OLS 그리고 OLWS 처리 된 토마토 샘플에 대해 R2 값이 0.99, 0.99 그리고 0.99로 저장 기간 동안 토마토 색상의 변화를 가장 잘 설명하는 방정식이다(그림 3.2.14). 15 일간의 저장 기간 동안 SIH, OLS 그리고 OLWS 처리 하에서 처리 된 토마토의 무게, TSS, 경도 그리고 색도 매개 변수의 전반적인 감소는 그림으로 정리하였다.

(a)	$OLS: y = 0.002x^2 + 0.075x + 0.01$ $R^2 = 0.72$ $OLWS: y = 0.005x^2 + 0.041x + 0.03$ $R^2 = 0.68$ $SIH: y = 0.001x^2 + 0.073x + 0.01$ $R^2 = 0.86$
(b)	$SIH: y = -12.16x + 29.56$ $R^2 = 0.16$ $OLWS: y = -0.068x^2 + 2.160x + 1.47$ $R^2 = 0.25$ $OLS: y = 0.167x^2 - 2.673x + 4.08$ $R^2 = 0.11$
(c)	$SIH: y = -0.204x^2 + 5.579x + 0.53$ $R^2 = 0.65$ $OLWS: y = -0.146x^2 + 4.858x + 0.04$ $R^2 = 0.91$ $OLS: y = -0.152x^2 + 4.823x - 0.03$ $R^2 = 0.81$
(d)	$OLS: y = -0.046x^2 + 1.502x + 0.04$ $R^2 = 0.99$ $SIH: y = -0.029x^2 + 1.183x + 0.01$ $R^2 = 0.99$ $OLWS: y = -0.029x^2 + 1.288x - 0.07$ $R^2 = 0.99$

그림 102. 15일 동안 저장한 variety-1 파프리카의 매개 변수 변화 (SIH, OLS, and OLWS).

표 41. 저장기간에 따른 variety-1 토마토의 무게 감률, TSS, 경도, 색도 변화

Parameters	Relationships	(R ²)	Significance (5% level)
Weight loss	SIH $0.001 \times (\text{day})^2 + 0.073 \times (\text{day}) + 0.01$	0.86	<0.001
	OLS $0.002 \times (\text{day})^2 + 0.075 \times (\text{day}) + 0.01$	0.72	<0.001
	OLWS $0.005 \times (\text{day})^2 + 0.041 \times (\text{day}) + 0.03$	0.68	<0.001
	ALL $0.003 \times (\text{day})^2 + 0.063 \times (\text{day}) + 0.01$	0.72	<0.001
Firmness loss	SIH $-0.204 \times (\text{day})^2 + 5.579 \times (\text{day}) + 0.53$	0.65	<0.001
	OLS $-0.152 \times (\text{day})^2 + 4.823 \times (\text{day}) - 0.03$	0.81	<0.001
	OLWS $-0.146 \times (\text{day})^2 + 4.858 \times (\text{day}) + 0.04$	0.91	<0.001
	ALL $-0.167 \times (\text{day})^2 + 5.087 \times (\text{day}) + 0.18$	0.77	<0.001
Total soluble solids change	SIH $-12.16 \times \ln(\text{day}) + 29.56$	0.16	0.22
	OLS $0.167 \times (\text{day})^2 - 2.673 \times (\text{day}) + 4.08$	0.11	0.45
	OLWS $-0.068 \times (\text{day})^2 + 2.160 \times (\text{day}) + 1.47$	0.25	<0.001
	ALL $-4.58 \times \ln(\text{day}) + 15.63$	0.02	0.065
Color change	SIH $-0.029 \times (\text{day})^2 + 1.183 \times (\text{day}) + 0.01$	0.99	<0.001
	OLS $-0.046 \times (\text{day})^2 + 1.502 \times (\text{day}) + 0.04$	0.99	<0.001
	OLWS $-0.029 \times (\text{day})^2 + 1.288 \times (\text{day}) - 0.07$	0.99	<0.001
	ALL $-0.035 \times (\text{day})^2 + 1.324 \times (\text{day}) - 0.01$	0.98	<0.001

○ Variety-2(토마토)

- 저장 전 처리 및 저장일이 5% 유의 수준인 요인으로 있는 품질 매개변수의 분산 분석 결과를 보여준다. 세 가지 처리방법 중 저장된 토마토의 모든 품질 매개변수의 중요한(p<0.05) 변경 사항을 나타내었다. 토마토 샘플의 무게, 경도, TSS 및 색도 매개변수의 변화는 초기(0일)와 최종 값(측정 일)의 차이를 초기 값으로 나눈 값으로 고려하여 백분율로 표현하였다.
- 수확 후 처리가 시간이 지남에 따라 동일한 저장 처리에서 토마토의 무게 감률에 미치는 영향은 매우 중요했다. 저장 전 처리에서 무게 감률의 현저한 차이가 관찰되어 저장 전 처리가 토마토의 무게 감률에 중요한 영향을 미친다는 것을 나타낸다. OLWS 처리한 토마토는 무게 감률(1.73%)이 가장 높았고 SIH 처리한 토마토는 무게 감률(0.98%)이 가장 낮았다.
- SIH 처리한 토마토 샘플(36.52%)에서 경도가 가장 낮게 감소하고 OLWS 저장 전 처리한 토마토(38.59%)에서 경도 감소 가장 크게 발견 되었고 다른 모든 저장 전 처리 된 토마토 샘플에서도 경도 손실의 큰 차이가 관찰되었다.
- 모든 사전 저장 처리된 토마토 중 TSS(°Bx)값에서 매우 중요한 차이가 명확하게 관찰되었으며 저장 기간 동안 중요한 차이가 발견되었다. OLS 처리한 토마토의 TSS(°Bx)값(-1.45%) 감소는 가장 낮았으며 TSS(°Bx)값(15.48%)의 가장 큰 감소는 15일간의 저장 후 OLS 처리한 토마토에서 관찰되었다.

- 색도매개변수의 변경을 위해 15일간의 저장 기간 동안 저장 전 처리된 토마토 샘플에서 유의한 차이는 발견되지 않았다. 반면, 저장 기간 동안 동일한 저장 전 처리된 토마토 샘플에서도 색도 매개변수의 매우 중요한 차이가 관찰되었다. OLWS 처리한 토마토 샘플에서 가장 큰 색도 변화(16.39%)가 관찰되었으며 SIH 처리한 토마토에서 가장 작은 값(10.55%)이 발견되었다. 서로 다른 비선형 회귀 방정식과 관련 결정 계수에 의해 적합되는 모든 품질 매개변수의 실험 데이터를 표로 나타내었다.

표 42. 저장 전 처리방법과 저장 기간을 변수로 하여 variety-2 토마토의 무게 감률, 경도, TSS, 색도 결과; p 값은 <0.05에서 유의성을 나타냄

Source	df	MS	F	p-value
Dependent variable: weight				
Pre-storage handling	2	7.57	21.78	<0.0001
Storage period	3	27.27	78.47	<0.0001
Interaction(pre-storage handling × storage day)	11	9.35	26.91	<0.0001
Residual	348	0.35		
Replicate	29			
Total observations	359			
Dependent variable: firmness				
Pre-storage handling	2	19.55	0.08	0.920
Storage period	3	26975.11	114.45	<0.0001
Interaction(pre-storage handling × storage days)	11	7366.43	31.25	<0.0001
Residual	348	235.69		
Replicate	29			
Total observations	359			
Dependent variable: TSS				
Pre-storage handling	2	11219.41	102.16	<0.0001
Storage period	3	5299.11	48.25	<0.0001
Interaction(pre-storage handling × storage days)	11	4628.58	42.15	<0.0001
Residual	348	109.82		
Replicate	29			
Total observations	359			
Dependent variable: color				
Pre-storage handling	2	441.06	3023.83	<0.0001
Storage period	3	3107.78	21306.3	<0.0001
Interaction(pre-storage handling × storage days)	11	964.75	6614.18	<0.0001
Residual	348	0.146		
Replicate	29			
Total observations	359			

표 43. 15일간의 저장기간 동안 variety-2 토마토의 무게 감률, TSS, 경도, 색도의 변화에 저장 전처리 및 저장 기간이 미치는 영향

Changes in quality parameters(%)	Pre-storage handling	Storage period(day)			
		0	5	10	15
Weight loss	SIH	0 ^C (±14.09)	0.18 ^C (±14.06)	0.45 ^B (±14.06)	0.98 ^A (±14.07)
	OLS	0 ^C (±18.84)	0.27 ^C (±18.83)	0.65 ^B (±18.81)	1.13 ^A (±18.84)
	OLWS	0 ^D (±21.95)	0.63 ^C (±21.81)	1.16 ^B (±21.61)	1.73 ^A (±21.48)
TSS change	SIH	0 ^A (±0.32)	-27.63 ^B (±0.36)	-20.89 ^B (±0.48)	-1.45 ^A (±0.35)
	OLS	0 ^B (±0.38)	-4.71 ^C (±0.26)	15.21 ^A (±0.35)	15.48 ^A (±0.35)
	OLWS	0 ^A (±0.33)	-5.40 ^B (±0.38)	2.85 ^A (±0.46)	3.13 ^A (±0.37)
Firmness loss	SIH	0 ^C (±1.14)	23.10 ^B (±1.15)	33.53 ^{AB} (±1.14)	36.52 ^A (±1.16)
	OLS	0 ^C (±0.89)	22.09 ^B (±0.88)	34.79 ^A (±0.86)	39.76 ^A (±0.89)
	OLWS	0 ^D (±0.45)	21.66 ^C (±0.48)	33.17 ^B (±0.49)	38.59 ^A (±0.48)
Color change	SIH	0 ^D (±1.96)	4.33 ^C (±1.92)	8.17 ^B (±1.95)	0.55 ^A (±1.98)
	OLS	0 ^D (±1.31)	5.46 ^C (±1.35)	10.12 ^B (±1.38)	12.57 ^A (±1.32)
	OLWS	0 ^D (±1.92)	7.23 ^C (±1.95)	14.52 ^B (±1.87)	16.39 ^A (±1.98)

- 다항식 모델은 SIH, OLS 그리고 OLWS 처리한 토마토에 대해 각각 0.51, 0.72, 그리고 0.51의 R2값의 적합성을 갖는 토마토 샘플의 무게 손실에 적합하였다(그림 3.2.14).
- TSS의 경우 로그 모델은 SIH 처리된 토마토 샘플 데이터에 0.44의 적합도를 갖는 반면 다항식 모델은 TSS(°Bx)값의 변화를 예측했으며 R2값은 OLS와 OLWS에 대해 각각 0.39, 0.06로 예측하였다.
- 데이터는 SIH, OLS 그리고 OLWS 처리한 토마토에 대해 각각 0.53, 0.81 그리고 0.91의 적합성 R2값을 갖는 토마토 샘플의 경도 손실에 대한 다항식 모델에 적합하다(그림 3.2.14).
- 다항식 모델은 SIH, OLS 그리고 OLWS 처리 된 토마토 샘플에 대해 R2 값이 0.34, 0.32 그리고 0.42로 저장 기간 동안 토마토 색상의 변화를 가장 잘 설명하는 방정식이다(그림 3.2.14). 15 일간의 저장 기간 동안 SIH, OLS 그리고 OLWS 처리 하에서 처리 된 토마토의 무게, TSS, 경도 그리고 색도 매개 변수의 전반적인 감소는 그림으로 정리하였다.

(a)	<p style="text-align: center;">OLS: $y = 0.002x^2 + 0.075x + 0.01$ $R^2 = 0.72$</p> <p style="text-align: center;">OLWS $y = 0.005x^2 + 0.041x + 0.03$ $R^2 = 0.68$</p> <p style="text-align: center;">SH : $y = 0.003x^2 + 0.010x + 0.01$ $R^2 = 0.51$</p>
(b)	<p style="text-align: center;">OLS: $y = 0.049x^2 + 0.579x - 2.21$ $R^2 = 0.39$</p> <p style="text-align: center;">OLWS $y = 0.056x^2 - 0.498x - 1.08$ $R^2 = 0.06$</p> <p style="text-align: center;">SH : $y = 0.471x^2 - 7.012x - 1.08$ $R^2 = 0.44$</p>
(c)	<p style="text-align: center;">OLWS $y = -0.146x^2 + 4.858x + 0.04$ $R^2 = 0.91$</p> <p style="text-align: center;">OLS: $y = -0.152x^2 + 4.823x - 0.03$ $R^2 = 0.81$</p> <p style="text-align: center;">SH : $-0.148 * x^2 + 4.294 * x + 0.29$ $R^2 = 0.53$</p>
(d)	<p style="text-align: center;">OLS: $y = -0.046x^2 + 1.502x + 0.37$ $R^2 = 0.99$</p> <p style="text-align: center;">OLWS $y = -0.029x^2 + 1.288x - 0.06$ $R^2 = 0.99$</p> <p style="text-align: center;">SH : $y = -0.019x^2 + 1.003x - 0.05$ $R^2 = 0.99$</p>

그림 103. 15일 동안 저장한 variety-2 토마토의 매개 변수 변화 (SH, OLS, and OLWS).

표 44. 저장기간에 따른 variety-2 토마토의 무게 감률, TSS, 경도, 색도 변화

Parameters	Relationships	(R ²)	Significance (5% level)
Weight loss	<i>SIH</i> $0.003 \times (\text{day})^2 + 0.010 \times (\text{day}) + 0.01$	0.51	<0.001
	<i>OLS</i> $0.002 \times (\text{day})^2 + 0.075 \times (\text{day}) + 0.01$	0.72	<0.001
	<i>OLWS</i> $0.005 \times (\text{day})^2 + 0.041 \times (\text{day}) + 0.03$	0.51	<0.001
	<i>ALL</i> $0.002 \times (\text{day})^2 + 0.058 \times (\text{day}) + 0.01$	0.36	<0.001
Firmness loss	<i>SIH</i> $-0.148 \times (\text{day})^2 + 4.294 \times (\text{day}) + 0.29$	0.53	<0.001
	<i>OLS</i> $-0.152 \times (\text{day})^2 + 4.823 \times (\text{day}) - 0.03$	0.81	<0.001
	<i>OLWS</i> $-0.146 \times (\text{day})^2 + 4.858 \times (\text{day}) + 0.04$	0.91	<0.001
	<i>ALL</i> $-0.172 \times (\text{day})^2 + 5.143 \times (\text{day}) + 0.22$	0.49	<0.001
Total soluble solids change	<i>SIH</i> $0.471 \times (\text{day})^2 - 7.012 \times (\text{day}) - 1.08$	0.44	0.872
	<i>OLS</i> $0.049 \times (\text{day})^2 + 0.579 \times (\text{day}) - 2.21$	0.39	<0.001
	<i>OLWS</i> $0.056 \times (\text{day})^2 - 0.498 \times (\text{day}) - 1.08$	0.06	0.028
	<i>ALL</i> $16.67 \times \ln(\text{day}) - 39.39$	0.17	<0.001
Color change	<i>SIH</i> $-0.041 \times (\text{day})^2 + 1.151 \times (\text{day}) + 0.25$	0.34	<0.001
	<i>OLS</i> $-0.058 \times (\text{day})^2 + 1.422 \times (\text{day}) + 0.82$	0.32	<0.001
	<i>OLWS</i> $-0.025 \times (\text{day})^2 + 1.025 \times (\text{day}) + 0.64$	0.42	<0.001
	<i>ALL</i> $-0.034 \times (\text{day})^2 + 1.411 \times (\text{day}) - 0.13$	0.87	<0.001

○ Variety-3(토마토)

- 저장 전 처리 및 저장일이 5% 유의 수준인 요인으로 있는 품질 매개변수의 분산 분석 결과를 보여준다. 세 가지 처리방법 중 저장된 토마토의 모든 품질 매개변수의 중요한($p < 0.05$) 변경 사항을 나타내었다. 토마토 샘플의 무게, 경도, TSS 및 색도 매개변수의 변화는 초기(0일)와 최종 값(측정 일)의 차이를 초기 값으로 나눈 값으로 고려하여 백분율로 표현하였다.
- 수확 후 처리가 시간이 지남에 따라 동일한 저장 처리에서 토마토의 무게 감률에 미치는 영향은 매우 중요했다. 저장 전 처리에서 무게 감률의 현저한 차이가 관찰되어 저장 전 처리가 토마토의 무게 감률에 중요한 영향을 미친다는 것을 나타낸다. OLWS 처리한 토마토는 무게 감률(8.89%)이 가장 높았고 SIH 처리한 토마토는 무게 감률(8.17%)이 가장 낮았다.
- SIH 처리한 토마토 샘플(30.19%)에서 경도가 가장 낮게 감소하고 OLWS 저장 전 처리한 토마토(41.37%)에서 경도 감소 가장 크게 발견 되었고 다른 모든 저장 전 처리 된 토마토 샘플에서도 경도 손실의 큰 차이가 관찰되었다.
- 모든 사전 저장 처리된 토마토 중 TSS($^{\circ}$ Bx)값에서 매우 중요한 차이가 명확하게 관찰되었으며 저장 기간 동안 중요한 차이가 발견되었다. SIH 처리한 토마토의 TSS($^{\circ}$ Bx)값(0.25%) 감소는 가장 낮았으며 TSS($^{\circ}$ Bx)값(25.44%)의 가장 높은 감소는 15일간의 저장 후 OLWS 처리한 토마토에서 관찰되었다.
- 색도매개변수의 변경을 위해 15일간의 저장 기간 동안 사전 저장 처리 된 토마토 샘플에서 유의 한 차이는 발견되지 않았다. 반면, 저장 기간 동안 동일한 사전 저장 처리된 토마토 샘플에서도 색도 매개변수의 매우 중요한 차이가 관찰되었다. OLWS 처리한 토마토 샘플에서 가장 높은 색도 변화(12.46%)가 관찰되었으며 SIH 처리한 토마토에서 가장 작은 값(11.14%)이 발견되었다. 서로 다른 비선형 회귀 방정식과 관련 결정 계수에 의해 적합 되는 모든 품질 매개변수의 실험 데이터를 표로 나타내었다.

표 45. 저장 전 처리방법과 저장 기간을 변수로 하여 variety-3 토마토의 무게 감률, 경도, TSS, 색도 결과; p 값은 <0.05에서 유의성을 나타냄

Source	df	MS	F	p-value
Dependent variable: weight				
Pre-storage handling	2	0.14	0.27	0.762
Storage period	3	1232.57	2299.85	<0.0001
Interaction(pre-storage handling × storage day)	11	337.36	629.49	<0.0001
Residual	348	0.54		
Replicate	29			
Total observations	359			
Dependent variable: firmness				
Pre-storage handling	2	190.47	1.45	0.240
Storage period	3	7876.04	59.77	<0.0001
Interaction(pre-storage handling × storage days)	11	2308.28	17.52	<0.0001
Residual	348	131.77		
Replicate	29			
Total observations	359			
Dependent variable: TSS				
Pre-storage handling	2	4834.94	126.10	<0.0001
Storage period	3	556.01	14.76	<0.0001
Interaction(pre-storage handling × storage days)	11	1360.88	35.49	<0.0001
Residual	348	38.34		
Replicate	29			
Total observations	359			
Dependent variable: color				
Pre-storage handling	2	2.58	0.50	<0.605
Storage period	3	499.99	97.31	<0.0001
Interaction(pre-storage handling × storage days)	11	138.14	26.89	<0.0001
Residual	348	5.13		
Replicate	29			
Total observations	359			

표 46. 15일간의 저장기간 동안 variety-3 토마토의 무게 감률, TSS, 경도, 색도의 변화에 저장 전처리 및 저장 기간이 미치는 영향

Changes in quality parameters(%)	Pre-storage handling	Storage period(day)			
		0	5	10	15
Weight loss	SIH	0 ^D (±1.21)	2.36 ^C (±1.30)	5.31 ^B (±1.27)	8.17 ^A (±1.11)
	OLS	0 ^D (±1.32)	2.39 ^C (±1.19)	5.36 ^B (±1.16)	8.86 ^A (±1.29)
	OLWS	0 ^D (±1.36)	2.84 ^C (±1.32)	5.59 ^B (±1.29)	8.89 ^A (±1.27)
TSS change	SIH	0 ^D (±0.33)	-2.56 ^C (±0.43)	-7.35 ^B (±0.48)	0.25 ^A (±0.55)
	OLS	0 ^A (±0.42)	0.91 ^A (±0.45)	4.01 ^A (±0.52)	4.42 ^A (±0.62)
	OLWS	0 ^B (±0.86)	21.36 ^A (±0.51)	27.42 ^A (±0.62)	25.44 ^A (±0.27)
Firmness loss	SIH	0 ^C (±4.89)	15.09 ^B (±5.93)	20.47 ^A (±5.40)	30.19 ^A (±6.21)
	OLS	0 ^C (±4.91)	18.93 ^B (±3.88)	32.06 ^A (±4.13)	38.37 ^A (±2.94)
	OLWS	0 ^C (±4.05)	17.85 ^B (±2.14)	25.62 ^B (±3.35)	41.37 ^A (±3.99)
Color change	SIH	0 ^C (±0.96)	5.21 ^B (±1.06)	8.86 ^A (±0.63)	1.14 ^A (±0.78)
	OLS	0 ^D (±1.05)	6.49 ^C (±1.11)	10.30 ^B (±1.04)	12.16 ^A (±1.12)
	OLWS	0 ^C (±2.10)	5.42 ^B (±0.67)	10.03 ^A (±0.72)	12.46 ^A (±0.75)

- 다항식 모델은 SIH, OLS 그리고 OLWS 처리한 토마토에 대해 각각 0.97, 0.95, 그리고 0.93의 R2값의 적합성을 갖는 토마토 샘플의 무게 손실에 적합하였다(그림 3.2.14).
- TSS의 경우 로그 모델은 SIH 처리된 토마토 샘플 데이터에 0.17의 적합도를 갖는 반면 다항식 모델은 TSS(°Bx)값의 변화를 예측했으며 R2값은 OLS와 OLWS에 대해 각각 0.11, 0.25로 예측하였다.
- 데이터는 SIH, OLS 그리고 OLWS 처리한 토마토에 대해 각각 0.51, 0.59 그리고 0.67의 적합성 R2값을 갖는 토마토 샘플의 경도 손실에 대한 다항식 모델에 적합하다(그림 3.2.14).
- 다항식 모델은 SIH, OLS 그리고 OLWS 처리 된 토마토 샘플에 대해 R2 값이 0.45, 0.47 그리고 0.42로 저장 기간 동안 토마토 색상의 변화를 가장 잘 설명하는 방정식이다(그림 3.2.14). 15 일간의 저장 기간 동안 SIH, OLS 그리고 OLWS 처리 하에서 처리 된 토마토의 무게, TSS, 경도 그리고 색도 매개 변수의 전반적인 감소는 그림으로 정리하였다.

(a)	<p><i>OLS</i>: $y = 0.009x^2 + 0.432x - 0.01$ $R^2 = 0.95$</p> <p><i>OLWS</i>: $y = 0.011x^2 + 0.436x - 0.02$ $R^2 = 0.93$</p> <p><i>SIH</i>: $y = -0.003x^2 + 0.585x - 0.01$ $R^2 = 0.97$</p>
(b)	<p><i>OLWS</i>: $y = -0.233x^2 + 5.148x + 0.36$ $R^2 = 0.74$</p> <p><i>OLS</i>: $y = -0.005x^2 + 0.402x - 0.24$ $R^2 = 0.09$</p> <p><i>SIH</i>: $y = 0.101x^2 - 1.604x + 0.73$ $R^2 = 0.17$</p>
(c)	<p><i>OLS</i>: $y = -0.113x^2 + 4.169x - 0.01$ $R^2 = 0.59$</p> <p><i>OLWS</i>: $y = -0.011x^2 + 2.763x + 0.80$ $R^2 = 0.67$</p> <p><i>SIH</i>: $y = -0.069x^2 + 2.918x + 0.64$ $R^2 = 0.51$</p>
(d)	<p><i>OLWS</i>: $y = -0.014x^2 + 0.596x - 0.01$ $R^2 = 0.42$</p> <p><i>SIH</i>: $y = -0.018x^2 + 0.609x - 0.02$ $R^2 = 0.45$</p> <p><i>OLS</i>: $y = -0.007x^2 + 0.461x + 0.10$ $R^2 = 0.47$</p>

그림 104. 15일 동안 저장한 variety-3 토마토의 매개 변수 변화 (SIH, OLS, and OLWS)

표 47. 저장기간에 따른 variety-3 토마토의 무게 감률, TSS, 경도, 색도 변화

Parameters	Relationships	(R ²)	Significance (5% level)
Weight loss	<i>SIH</i> $-0.003 \times (\text{day})^2 + 0.585 \times (\text{day}) - 0.01$	0.97	<0.001
	<i>OLS</i> $0.009 \times (\text{day})^2 + 0.432 \times (\text{day}) - 0.01$	0.95	<0.001
	<i>OLWS</i> $0.011 \times (\text{day})^2 + 0.436 \times (\text{day}) - 0.02$	0.93	<0.001
	<i>ALL</i> $0.006 \times (\text{day})^2 + 0.484 \times (\text{day}) - 0.01$	0.95	<0.001
Firmness loss	<i>SIH</i> $-0.069 \times (\text{day})^2 + 2.918 \times (\text{day}) + 0.64$	0.51	<0.001
	<i>OLS</i> $-0.113 \times (\text{day})^2 + 4.169 \times (\text{day}) - 0.01$	0.59	<0.001
	<i>OLWS</i> $-0.011 \times (\text{day})^2 + 2.763 \times (\text{day}) + 0.80$	0.67	<0.001
	<i>ALL</i> $-0.064 \times (\text{day})^2 + 3.284 \times (\text{day}) + 0.48$	0.57	<0.001
Total soluble solids change	<i>SIH</i> $0.101 \times (\text{day})^2 - 1.604 \times (\text{day}) + 0.73$	0.17	0.657
	<i>OLS</i> $-0.005 \times (\text{day})^2 + 0.402 \times (\text{day}) - 0.24$	0.09	0.059
	<i>OLWS</i> $-0.233 \times (\text{day})^2 + 5.148 \times (\text{day}) + 0.36$	0.74	<0.001
	<i>ALL</i> $-0.045 \times (\text{day})^2 + 1.315 \times (\text{day}) + 0.28$	0.08	0.002
Color change	<i>SIH</i> $-0.018 \times (\text{day})^2 + 0.609 \times (\text{day}) - 0.02$	0.45	<0.001
	<i>OLS</i> $-0.007 \times (\text{day})^2 + 0.461 \times (\text{day}) + 0.10$	0.47	<0.001
	<i>OLWS</i> $-0.014 \times (\text{day})^2 + 0.596 \times (\text{day}) - 0.01$	0.42	<0.001
	<i>ALL</i> $-0.013 \times (\text{day})^2 + 0.555 \times (\text{day}) + 0.02$	0.45	<0.001

○ Variety-4(토마토)

- 저장 전 처리 및 저장일이 5% 유의 수준인 요인으로 있는 품질 매개변수의 분산 분석 결과를 보여준다. 세 가지 처리방법 중 저장된 토마토의 모든 품질 매개변수의 중요한($p < 0.05$) 변경 사항을 나타내었다. 토마토 샘플의 무게, 경도, TSS 및 색도 매개변수의 변화는 초기(0 일)와 최종 값(측정 일)의 차이를 초기 값으로 나눈 값으로 고려하여 백분율로 표현하였다.
- 수확 후 처리가 시간이 지남에 따라 동일한 저장 처리에서 토마토의 무게 감률에 미치는 영향은 매우 중요했다. 저장 전 처리에서 무게 감률의 현저한 차이가 관찰되어 저장 전 처리가 토마토의 무게 감률에 중요한 영향을 미친다는 것을 나타낸다. OLWS 처리한 토마토는 무게 감률(13.02%)이 가장 높았고 SIH 처리한 토마토는 무게 감률(8.85%)이 가장 낮았다.
- SIH 처리한 토마토 샘플(35.86%)에서 경도가 가장 낮게 감소하고 OLWS 사전 저장 처리한 토마토(41.77%)에서 가장 높은 경도 감소가 발견 되었고 다른 모든 사전 저장 처리 된 토마토 샘플에서도 경도 손실의 큰 차이가 관찰되었다.
- 모든 사전 저장 처리된 토마토 중 TSS($^{\circ}\text{Bx}$)값에서 매우 중요한 차이가 명확하게 관찰되었으며 저장 기간 동안 중요한 차이가 발견되었다. SIH 처리한 토마토의 TSS($^{\circ}\text{Bx}$)값(-2.01%) 감소는 가장 낮았으며 TSS($^{\circ}\text{Bx}$)값(3.18%)의 가장 큰 감소는 15일간의 저장 후 OLWS 처리한 토마토에서 관찰되었다.
- 색도매개변수의 변경을 위해 15일간의 저장 기간 동안 사전 저장 처리 된 토마토 샘플에서 유의 한 차이는 발견되지 않았다. 반면, 저장 기간 동안 동일한 사전 저장 처리된 토마토 샘플에서도 색도 매개변수의 매우 중요한 차이가 관찰되었다. OLWS 처리한 토마토 샘플에서 가장 높은 색도 변화(12.46%)가 관찰되었으며 SIH 처리한 토마토에서 가장 작은 값(11.14%)이 발견되었다. 서로 다른 비선형 회귀 방정식과 관련 결정 계수에 의해 적합 되는 모든 품질 매개변수의 실험 데이터를 표로 나타내었다.

표 48. 저장 전 처리방법과 저장 기간을 변수로 하여 variety-4 토마토의 무게 감률, 경도, TSS, 색도 결과; p 값은 <0.05에서 유의성을 나타냄

Source	df	MS	F	p-value
Dependent variable: weight				
Pre-storage handling	2	147.34	147.32	<0.0001
Storage period	3	1836.39	1836.05	<0.0001
Interaction(pre-storage handling × storage day)	11	544.60	544.50	<0.0001
Residual	348	1.00		
Replicate	29			
Total observations	359			
Dependent variable: firmness				
Pre-storage handling	2	312.77	3.14	0.047
Storage period	3	8230.76	82.73	<0.0001
Interaction(pre-storage handling × storage days)	11	2324.22	23.36	<0.0001
Residual	348	99.48		
Replicate	29			
Total observations	359			
Dependent variable: TSS				
Pre-storage handling	2	44.34	0.78	0.462
Storage period	3	16.53	0.29	0.833
Interaction(pre-storage handling × storage days)	11	30.02	0.53	0.882
Residual	348	57.00		
Replicate	29			
Total observations	359			
Dependent variable: color				
Pre-storage handling	2	65.46	8.58	0.002
Storage period	3	651.39	85.39	<0.0001
Interaction(pre-storage handling × storage days)	11	196.21	25.72	<0.0001
Residual	348	7.63		
Replicate	29			
Total observations	359			

표 49. 15일간의 저장기간 동안 variety-4 토마토의 무게 감률, TSS, 경도, 색도의 변화에 저장 전처리 및 저장 기간이 미치는 영향

Changes in quality parameters(%)	Pre-storage handling	Storage period(day)			
		0	5	10	15
Weight loss	SIH	0 ^D (±0.99)	2.94 ^C (±0.96)	6.08 ^B (±0.94)	8.85 ^A (±0.93)
	OLS	0 ^D (±1.26)	2.80 ^C (±1.23)	5.99 ^B (±1.18)	9.34 ^A (±1.15)
	OLWS	0 ^D (±1.36)	3.89 ^C (±1.32)	8.79 ^B (±1.29)	13.02 ^A (±1.27)
TSS change	SIH	0 ^A (±0.33)	-0.42 ^A (±0.42)	0.81 ^A (±0.86)	-2.01 ^A (±0.79)
	OLS	0 ^A (±0.47)	-1.57 ^A (±0.77)	-2.51 ^A (±0.55)	0.62 ^A (±0.81)
	OLWS	0 ^A (±0.31)	-1.30 ^A (±0.57)	2.70 ^A (±0.71)	3.18 ^A (±0.68)
Firmness loss	SIH	0 ^C (±3.61)	17.13 ^B (±5.05)	25.30 ^B (±4.61)	35.86 ^A (±3.92)
	OLS	0 ^C (±5.35)	19.19 ^B (±3.75)	28.39 ^B (±4.13)	38.52 ^A (±5.45)
	OLWS	0 ^C (±3.81)	23.87 ^B (±4.14)	34.71 ^A (±3.31)	41.77 ^A (±3.13)
Color change	SIH	0 ^C (±1.36)	3.05 ^B (±0.96)	3.92 ^B (±0.99)	5.31 ^A (±1.21)
	OLS	0 ^D (±1.19)	2.68 ^C (±0.76)	4.30 ^B (±0.96)	5.78 ^A (±1.14)
	OLWS	0 ^C (±1.12)	3.68 ^B (±0.89)	6.22 ^A (±0.94)	7.70 ^A (±1.27)

- 다항식 모델은 SIH, OLS 그리고 OLWS 처리한 토마토에 대해 각각 0.96, 0.97, 그리고 0.92의 R2값의 적합성을 갖는 토마토 샘플의 무게 손실에 적합하였다(그림 3.2.14).
- TSS의 경우 로그 모델은 SIH 처리된 토마토 샘플 데이터에 0.01의 적합도를 갖는 반면 다항식 모델은 TSS(°Bx)값의 변화를 예측했으며 R2값은 OLS와 OLWS에 대해 각각 0.02, 0.05로 예측하였다(그림 3.2.14).
- 데이터는 SIH, OLS 그리고 OLWS 처리한 토마토에 대해 각각 0.66, 0.65 그리고 0.75의 적합성 R2값을 갖는 토마토 샘플의 경도 손실에 대한 다항식 모델에 적합하다(그림 3.2.14).
- 다항식 모델은 SIH, OLS 그리고 OLWS 처리 된 토마토 샘플에 대해 R2 값이 0.38, 0.41 그리고 0.47로 저장 기간 동안 토마토 색상의 변화를 가장 잘 설명하는 방정식이다(그림 3.2.14). 15 일간의 저장 기간 동안 SIH, OLS 그리고 OLWS 처리 하에서 처리 된 토마토의 무게, TSS, 경도 그리고 색도 매개 변수의 전반적인 감소는 그림으로 정리하였다.

(a)	$OLW S y = 0.003 x^2 + 0.826 x - 0.08$ $R^2 = 0.92$ $OLS: y = y = 0.006 x^2 + 0.541 x - 0.01$ $R^2 = 0.97$ $SIH : y = -0.002 x^2 + 0.621 x - 0.03$ $R^2 = 0.96$
(b)	$OLW S y = 0.017 x^2 + 0.004 x - 0.44$ $R^2 = 0.05$ $OLS: y = 0.047 x^2 + 0.686 x + 0.17$ $R^2 = 0.02$ $SIH : y = -0.024 x^2 + 0.264 x - 0.29$ $R^2 = 0.01$
(c)	$OLS: y = -0.091 x^2 + 3.855 x + 0.55$ $R^2 = 0.65$ $OLW S y = -0.168 x^2 + 5.245 x + 0.46$ $R^2 = 0.75$ $SIH : y = -0.065 x^2 + 3.299 x + 0.56$ $R^2 = 0.66$
(d)	$OLW S y = -0.022 x^2 + 0.843 x + 0.01$ $R^2 = 0.47$ $SIH : y = -0.016 x^2 + 0.584 x + 0.13$ $R^2 = 0.38$ $OLS: y = -0.012 x^2 + 0.558 x + 0.04$ $R^2 = 0.41$

그림 105. 15일 동안 저장한 variety-3 파프리카의 매개 변수 변화 (SIH, OLS, and OLWS)

표 50. 저장기간에 따른 variety-4 토마토의 무게 감률, TSS, 경도, 색도 변화

Parameters	Relationships	(R ²)	Significance (5% level)
Weight loss	<i>SIH</i> $-0.002 \times (\text{day})^2 + 0.621 \times (\text{day}) - 0.03$	0.96	<0.001
	<i>OLS</i> $0.006 \times (\text{day})^2 + 0.541 \times (\text{day}) - 0.01$	0.97	<0.001
	<i>OLWS</i> $0.003 \times (\text{day})^2 + 0.826 \times (\text{day}) - 0.08$	0.92	<0.001
	<i>ALL</i> $0.002 \times (\text{day})^2 + 0.663 \times (\text{day}) - 0.04$	0.87	<0.001
Firmness loss	<i>SIH</i> $-0.065 \times (\text{day})^2 + 3.299 \times (\text{day}) + 0.56$	0.66	<0.001
	<i>OLS</i> $-0.091 \times (\text{day})^2 + 3.855 \times (\text{day}) + 0.55$	0.65	<0.001
	<i>OLWS</i> $-0.168 \times (\text{day})^2 + 5.245 \times (\text{day}) + 0.46$	0.75	<0.001
	<i>ALL</i> $-0.108 \times (\text{day})^2 + 4.133 \times (\text{day}) + 0.53$	0.67	<0.001
Total soluble solids change	<i>SIH</i> $-0.024 \times (\text{day})^2 + 0.264 \times (\text{day}) - 0.29$	0.01	0.641
	<i>OLS</i> $0.047 \times (\text{day})^2 + 0.686 \times (\text{day}) + 0.17$	0.02	0.938
	<i>OLWS</i> $0.017 \times (\text{day})^2 + 0.004 \times (\text{day}) - 0.44$	0.05	0.16
	<i>ALL</i> $0.014 \times (\text{day})^2 - 0.139 \times (\text{day}) - 0.18$	0.01	0.596
Color change	<i>SIH</i> $-0.016 \times (\text{day})^2 + 0.584 \times (\text{day}) + 0.13$	0.38	<0.001
	<i>OLS</i> $-0.012 \times (\text{day})^2 + 0.558 \times (\text{day}) + 0.04$	0.41	<0.001
	<i>OLWS</i> $-0.022 \times (\text{day})^2 + 0.843 \times (\text{day}) + 0.01$	0.47	<0.001
	<i>ALL</i> $-0.017 \times (\text{day})^2 + 0.662 \times (\text{day}) + 0.06$	0.41	<0.001

제 4 절 작업기계 및 이송대차 제작

1. MATLAB을 이용한 작업기계 충격 테스트 시스템의 설계 및 시뮬레이션

작업차 충격 흡수 시스템은 주로 차량의 주행 안정성을 향상시키기 위해 도로 표면 불평탄함이 차량 본체에 미치는 영향을 해결하기 위해 사용된다. 충격 흡수 시스템은 차량의 승차감을 결정할 뿐만 아니라 차량의 핸들링 안전성에 중요한 역할을 한다. 편안함과 품질 요구 사항이 지속적으로 개선됨에 따라 충격 흡수 시스템의 성능은 차량의 품질과 등급을 측정하는 중요한 지표 중 하나가 되었다. 충격 과정을 분석하기 위해 MATLAB을 사용하여 작업차 충격 흡수 시스템의 시간 영역을 시뮬레이션 했다.

다음의 그림 106은 간단한 충격 흡수 시스템을 보여준다. 스프링과 충격흡수 장치로 구성되어 있다. 댐핑 시스템의 기능은 고르지 않은 노면에 의해 야기되는 변동을 감소시키는 것이기 때문에 작업차 충격 흡수 시스템은 저역 통과 필터로 간주될 수 있다.

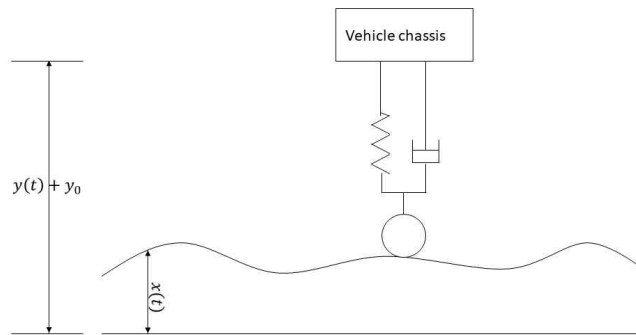


그림 106 충격흡수시스템 다이어그램

신호 $x_1(t)$ 는 m 의 품질에 대한 외력이며, $y(t)$ 는 평형 점으로부터 수평으로 이동하는 거리이다. 전체 시뮬레이션 프로세스는 중력의 영향을 받지 않는다고 가정한다. 복원력은 다음 식에 의해 주어지고 완충 장치에 의해 가해진 힘은 $F_2 = -V \frac{dy}{dt}$ 로 주어진다. 여기서, K 는 스프링 계수이고, V 는 충격 흡수의 점도 측정값이다. 충격흡수 시스템은 2 차 선형 상수 계수 미분 방정식으로 모델링 할 수 있다. 수학적 모델은 다음과 같다.

$$M \frac{d^2 y(t)}{dt^2} + b \frac{dy(t)}{dt} + ky(t) = kx(t) + b \frac{dx(x)}{dt}$$

M 은 차량 내 하중 품질, K 는 스프링의 탄성 계수, b 는 댐퍼의 감쇠 계수이다. 식을 시스템 전달 함수로 변환하면 다음과 같다.

$$H(s) = \frac{\omega_n + 2\epsilon\omega_n s}{s^2 + 2\epsilon\omega_n s + \omega_n^2}$$

ω 는 비 감쇠 고유 진동수이고 ε 는 감쇠율 이다. 비 감쇠 고유 진동수와 감쇠율은 차량의 충격 특성에 영향을 미친다. MATLAB에서 Simulink 모듈을 사용하여 $\omega = 6$, $\varepsilon = 0.3$ 이라고 가정하면 전달 함수는 다음과 같다.

$$H(s) = \frac{3.6s + 36}{s^2 + 3.6s + 36}$$

짧은 안정화 시간의 요구 사항을 충족시키기 위해 시스템은 극방정식으로 교정된다.

$$P = -\varepsilon\omega_n \pm i\omega_n\sqrt{1-\varepsilon^2}$$

연산 후 상태 피드백 행렬 $K = (10.4 \ 62)$ 가 얻어지고, 시스템 상태 피드백 전달 함수는 다음과 같다.

$$G(s) = \frac{3.6s + 36}{s^2 + (3.6 + 10.4)s + (36 + 62)}$$

다음의 그림 107은 상태 피드백 시스템의 블록 다이어그램으로 시스템이 빠른 응답 요구 사항을 충족시킬 수 있는지 여부를 시뮬레이션 및 검증한다.

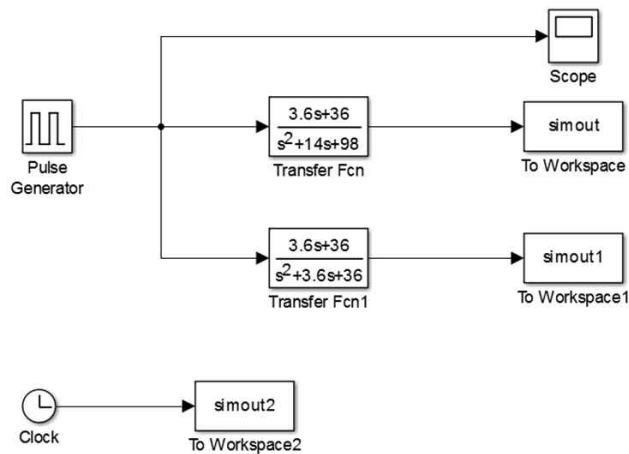


그림 107 Block diagram of system simulation

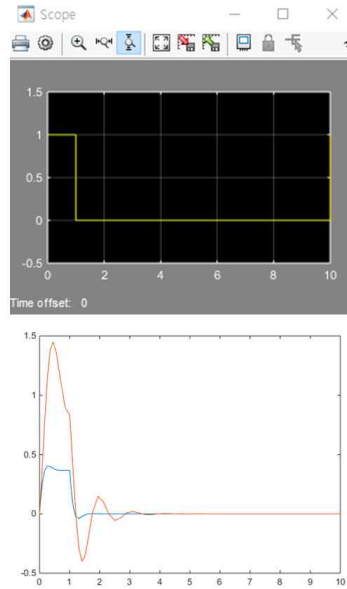


그림 108 Input pulse signal
& Simulation result

Simulink 모델을 사용하여 작업차 충격흡수 시스템의 댐핑 특성을 시뮬레이션하고, 시스템 충격 흡수 특성에 미치는 스프링 시스템 및 댐퍼의 댐핑 비율의 영향을 시뮬레이션으로 연구했다. MATLAB 소프트웨어 환경을 사용하여 실제 시스템을 시뮬레이션하고 결과를 분석하여 처리하여 문제 해결의 효율성을 높였다.

2. 작업차 진동감쇄 및 작업자 편의성을 위한 디자인 설계

농가방문 시 조사한 바에 의하면, 대부분의 농가에서 이용하는 전동레일차의 경우 안전장치가 미흡하여 고소작업 시 작업자의 낙상 등 큰 부상을 야기할 수 있는 구조로 볼 수 있다. 또한 배지와 배지 사이의 공간에 놓인 레일 위를 움직이며 작업하기 때문에, 작업차와 수확 대상 과실과의 거리가 멀 때 허리 굽힘 등의 동작은 작업자의 등허리에 큰 부담을 주게 되고 심할 경우 근골격계 질환과 같이 직업 질병으로 이어질 수 있는 여지가 있다. 이에 작업차의 작업 방향으로 추락 방지를 겸한 지지대 형태의 난간을 장착하여 작업자의 안전과 작업 편의성을 도모할 수 있다.

작업시 빈 상자와 과실의 적재가 이루어진 상자 간의 교대 과정에서 충격이 발생하는 것을 농가방문 조사에서 가속도계의 모니터링을 통해 밝혀내었다. 상자를 내리고 쌓는 과정에서 과실에 충격이 발생함은 물론이고, 10kg 내외의 중량 하중을 반복적으로 드는 행위로 인해 작업자의 허리와 같은 신체 부위에 많은 부담을 초래할 수 있으며, 작업 효율 감소뿐만 아니라 근골격계 질환을 초래할 수 있다. 이러한 부담을 절감하고 작업자의 작업 효율을 향상하기 위해 Automated parking lot 의 원리를 이용하여 작업자가 원하는 위치에 빈

상자가 위치하도록 고안하였다. 작업차의 플랫폼에 장착되는 기구로, 작업자가 스위치로 간편하게 조작할 수 있기 때문에 작업 효율 향상에 기여할 수 있다.

모든 수확 상자가 가득 차 하역 작업을 할 때 작업차에서 작업자가 하차할 시 작업차 베이스에 장착된 적외선 센서가 작동하여 상자의 적재가 이루어지는 lot 이 비어있는지의 여부를 체크하여 자동으로 장치를 가동한다. 따라서 하역 시 불필요한 스위치 작동을 할 필요가 없게 된다. Lot 의 경우, 스윙암 형태로 이루어졌기 때문에 갑작스러운 변위의 이동에 의한 충격을 어느 정도 감쇄할 수 있을 것으로 보이나, 바퀴의 직경을 크게 하거나 충격 흡수 장치를 이용하는 등 수확 절차에서 발생하는 충격을 감소시켜야 할 필요가 있다.

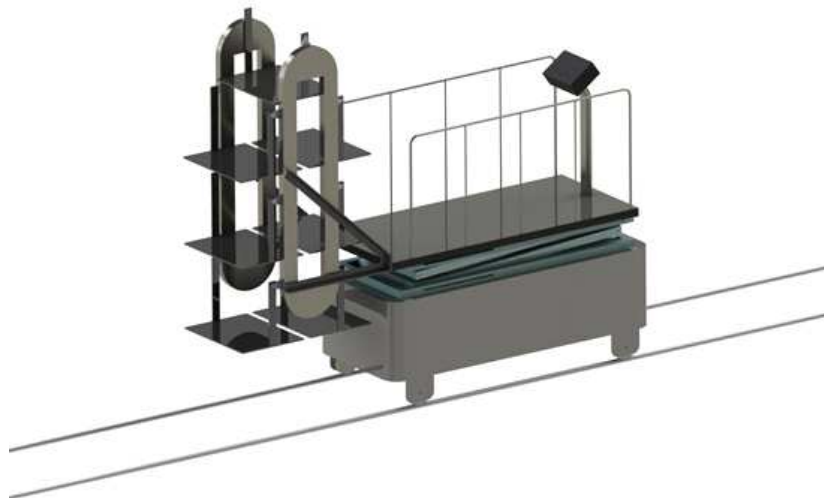


그림 109 Automated parking lot을 적용한 작업차량 초기 디자인

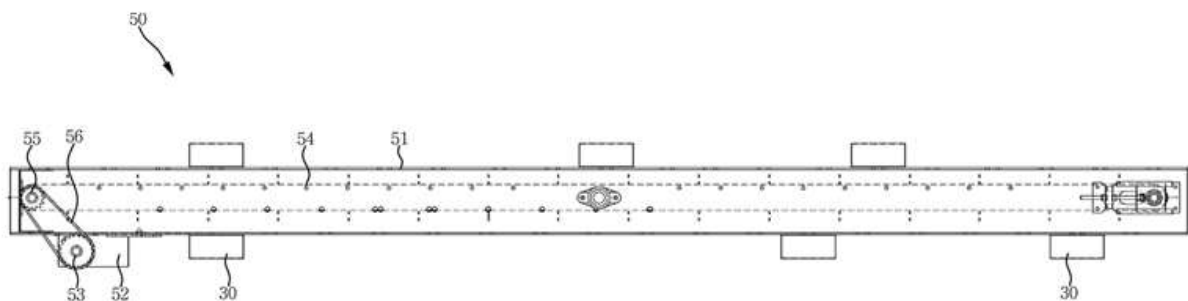


그림 110 Automated parking lot을 구현하기 위한 세부 설계

3. 수확물 품질 변화 및 작업자 부하를 예방하는 작업차 시제품 제작

가. 기존 레일 전동 작업차의 단점 분석 및 시제품 제작

토마토, 파프리카 재배 시설에서 사용하는 레일 전동 작업차의 경우, 약 4~5미터에 달하는 과수에 대해 작업해야하는 특성 상 고저조절이 가능한 특징을 가지고 있다. 작업자와 수확물의 무게를 지탱하면서 승, 하강 작동을 하기 위해 유압식 실린더가 부착되어 있는 경우가 많다. 리프트의 고저조절 뿐 만 아니라, 온수관을 겸한 레일 시설 위를 전동으로 주행하며 매립형 스위치 등을 사용하여 전, 후 방향의 주행을 조작할 수 있게 되어있다.



그림 111 레일 리프트식 전동차



그림 112 보호 장치가 부착된 작업차

기존 레일 작업차를 이용한 재배 시설 작업은 주로 작물로부터 과실 수확, 과실 상자에 과실 투입, 빈 과실 상자와 가득 찬 과실 상자의 교대, 작업차 위의 과실 상자를 운반용 파레

트에 하역 등으로 구성되어 있다. 이 외에도 시설의 유지 및 보수작업, 과수 관리 등에 이용하는 경우도 있는 것으로 확인하였다. 이 때, 노동집약형 시설 재배 특성 상 부적절한 자세로 작업하거나 무거운 중량물을 지속적으로 다루는 과정에서 과실과 작업자 신체에 부정적인 영향을 끼칠 가능성이 높은 것으로 보인다.

기존 레일 작업차를 이용한 수확 절차를 관찰하고 평가한 결과, 과실과 작업자에게 피해를 끼칠 가능성이 있어 개선이 필요한 부분을 확인하였다. 수확한 과실을 상자에 담을 때, 바닥면에 놓인 빈 상자에 넣게 되는데, 과실에 손상을 입히지 않으려면 상당히 조심스럽게 놓아야 한다. 하지만 이를 위해서는 허리를 굽히는 동작이 수반되어야 하는데, 반복작업 특성 상 작업자의 신체에 많은 부담을 주게 된다. 과실에 가한 충격으로 인한 피해가 즉시 시각적으로 나타나지 않을 뿐 만 아니라, 반복작업으로 인한 신체 부담을 줄이기 위하여 작업자들이 수확한 과실을 떨어뜨리듯 상자에 담는 경향이 있는 것을 확인하였다.

또한, 빈 상자에 과실을 가득 담은 후 다른 빈 상자와 교대하는 과정에서 무거운 상자를 다루게 되는데, 적절한 교대 장치가 부재하여 작업자마다 각각 다른 방법으로 교대하는 것을 확인하였다. 해당 동작이 정형화된 동작이 아닐 뿐 만 아니라, 바닥에 위치한 무거운 상자를 다루는 과정에서 작업자에 등허리에 많은 부하가 걸리고, 과실이 담긴 상자에 불필요한 충격이 가해지는 등의 문제가 있다. 하역 작업 시에도 마찬가지로 가득 찬 상자가 3~4층으로 쌓여있어 매우 무겁기 때문에 수확물을 하역하는 과정에서 작업자의 신체와 수확된 과실 모두 피해를 입게 될 가능성이 높은 것으로 관찰되었다.

따라서 기존 작업차를 이용한 과실 수확 작업 절차를 인간공학적 평가도구인 OWAS를 통해 평가하였고, 근골격계 질환 유발 위험성을 기준으로 분류하였다. 평가 결과, 작업자 신체로부터 먼 거리와 중간 거리에 위치한 과실을 수확할 때, 상자를 교대할 때에 신체 부담이 크게 나타나 교정이 필요한 절차인 것으로 나타났다.



그림 113 작업 부하 평가 결과, 작업 부담이 큰 동작

또한, 과실에 발생하는 낙하충격과 과실 상자에 발생하는 충격이 과실에 어떠한 영향을 미치는지 실험을 통해 평가하였다. 토마토의 신선도를 평가하기 위해 토마토의 색도, 감모

율과 경도 3개 인자변화를 조사하였다. 측정된 인자들은 저장기간이 지남에 따른 저장 조건, 낙하 충격을 받은 정도에 따라 신선도 변화추이를 잘 표현하는 것으로 나타났다. 특히 낙하충격을 받지 않은 control시료는 낙하충격을 받는 시료들에 비해 감모율이 낮고 경도와 표면 색상 명도(L*)에 더 큰 차이가 나타나는 것으로 확인됨에 따라, 수확용 작업차 차체와 덤핑 시스템을 포함하여 충격을 발생시키는 원인이 되는 수확절차에 대해 충격을 줄일 필요가 있음을 확인하게 되었다.

기존 레일 작업차에서 발생하는 문제를 해결하고 해당 장비를 이용하는 작업자의 신체부담을 경감하기 위하여 새로운 장비의 개발이 필요한 것으로 보고, 다음과 같은 주안점을 두고 설계하였다; 1) 작업자가 수확한 과실을 손상 없이 상자에 담을 수 있도록 상자 높이 설정, 2) 상자의 교대 시, 과실에 가해지는 충격 저감, 3) 상자의 교대 시, 상자의 위치와 무게로 인한 작업부하 경감, 4) 하역 작업 시, 상자의 위치와 무게로 인한 작업부하 경감.

관찰과 평가, 실험 결과를 통해 시작품을 설계하여 제작하였다. 빈 상자의 높이를 바닥면에서부터 높이 조절이 가능하도록 배치하여 작업자의 신체 부담을 경감하고 작업효율을 높일 뿐 만 아니라 과실에 가해지는 충격을 저감할 수 있도록 제작하였다. 또한, 가득 찬 상자과 빈 상자를 교대하는 과정에서 과실에 발생하는 충격을 저감하고 작업자의 힘이 최소한으로 들게끔 상자 세트가 회전하여 교대할 수 있도록 제작하였다. 이러한 구조는 과실상자를 하역할 때에도 상부에 적층된 상자를 하부로 내리는 과정에서 과도하게 소비되는 노동력을 절감하여 과실에 대한 충격 저감 효과와 더불어 작업 부담 경감에 유효하게 작동하도록 의도되었다.



그림 114 2차년도 테스트를 위한 작업차 시작품



그림 115 2차년도 시작품 리프트 구동 모습

나. 시작품 테스트를 통한 보완·개선사항 확인 및 최종 제작품 설계

시작품의 외형과 기능을 바탕으로 재배 시설에서 이루어지는 농작업 절차를 모의 동작으로 시험하고, 레일 시설이 구비된 농가를 방문 조사하여 인터뷰를 진행한 결과, 몇 가지 개선할 점이 있는 것으로 나타났다. 한 레일 당 40~50m에 달하는 재배 시설의 경우, 한 레일 수확량이 토마토의 경우 최대 4~5 상자, 파프리카의 경우 최대 8~10 상자인 것으로 조사되었다. 따라서 시작품의 적재량인 4 상자의 경우 농가의 수확량을 원활히 감당하는 것이 어렵다. 그리고 단축으로 구성된 물레 형태의 상자 교대 장치의 경우, 원형 궤도를 그리며 작동하기 때문에 부피를 비효율적으로 사용할 뿐 만 아니라 작업자의 작업 공간을 비좁게 만들기 때문에 농가에 투입하여 사용하기에 다소 불편할 수 있을 것으로 보인다.

이러한 단점을 개선하고, 자동 교대 장치에 전동 구동을 통해 작업자의 편의를 도모하고 작업 효율을 향상하기 위하여 개선안을 바탕으로 한 설계 모델을 작성하였다. 레일 전동 작업차의 리프트 상단에 설치된 작업대에 상자 교대 장치가 부착된 형태로, 상자 교대 장치는 체인과 다수의 스프라켓을 이용하여 트레이를 특정 궤도로 순환시키는 구조에 해당한다. 작업자가 마주보는 면의 궤도는 경사를 이루게 형성하여 일련의 상자의 입구가 열린 쪽을 나타내도록 의도하였다.

한편, 리프트 구조물의 특성상 하부의 작은 흔들림이 상부에서는 큰 요동으로 나타날 수 있기 때문에 상자가 안정하게 장치에 고정되어야 할 필요가 있다. 이러한 안정성을 확보하기 위해 트레이가이드에 해당하는 홈통 가이드가 설치된다. 또한 상자가 미끄러져 트레이에서 이탈하는 것을 막기 위해 트레이 상부에 원터치로 조작하는 이탈 방지턱이 설치된다.

작업차 하부에 별도로 설치된 스위치를 조작하면 전동 장치가 구동되어 트레이가 한 단위씩 궤도를 따라 회전하게 된다. 따라서 작업자가 작업 시작 전에 빈 상자를 트레이에 채워 넣는 데 이용할 수 있다. 작업차에 탑승하게 되면 리프트 상부 작업대 바닥에 매립된 페달 스위치를 작동하여 작업자의 신장이나 선호에 맞게 상자의 높이를 조절할 수 있어 과실 충격을 방지하고 작업자 신체 부담을 경감할 수 있다.

과실 상자에 수확물을 모두 채워 한 단위의 작업이 끝나게 되면, 작업차에서 하차하여 하역 작업을 하게 된다. 빈 상자를 트레이에 채워 넣을 때와 마찬가지로 작업차 하부에 설치된 스위치를 조작하여 트레이가 한 단위씩 회전하도록 하면서 한 상자씩 하역 작업을 하게 되며, 선 자세로 하역 작업을 진행함에 따라 작업자의 허리 각도 변위를 최소화하여 근골격계 부담을 경감할 수 있다.

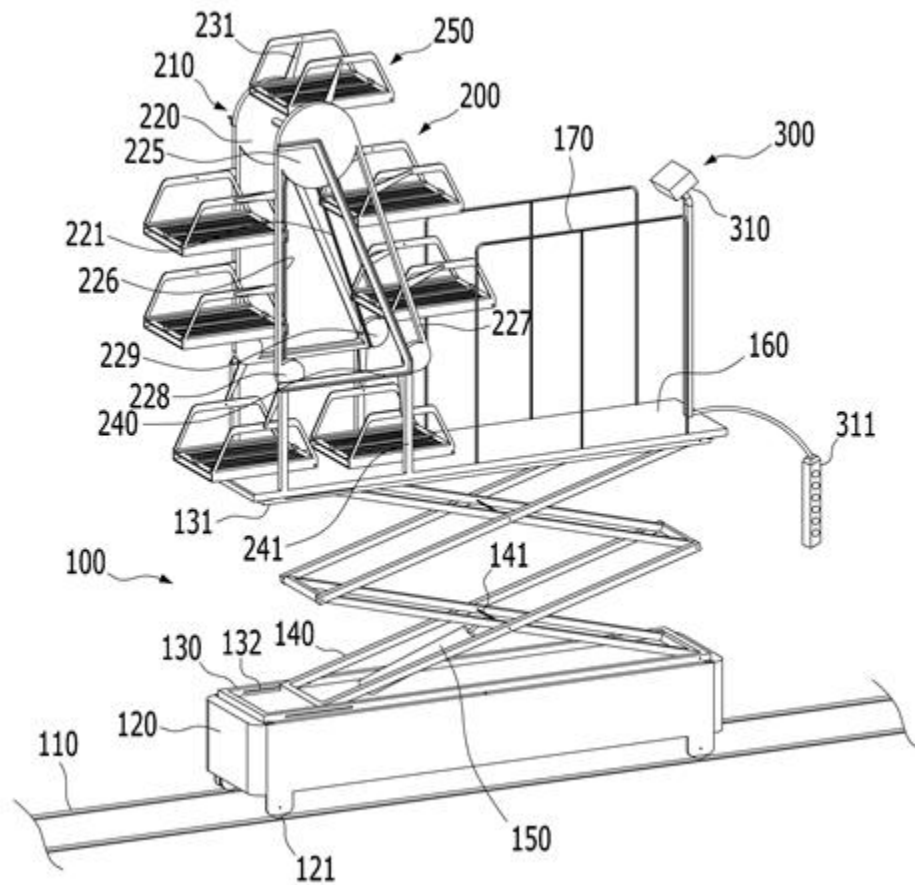


그림 116 최종 제작품 디자인 (특허 출원용)

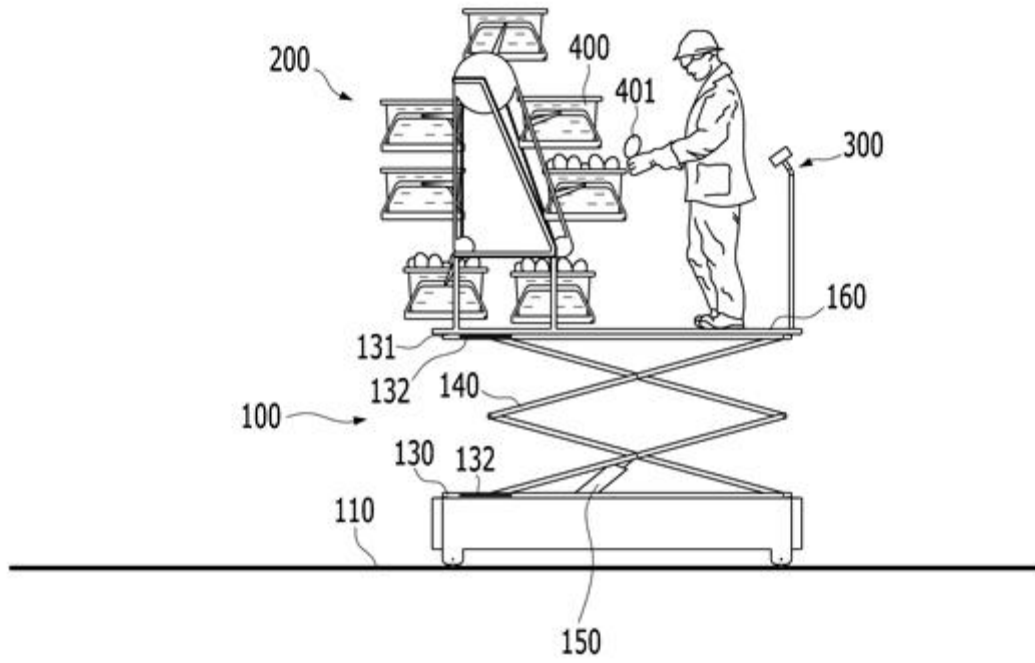


그림 117 최종 개발 제품을 통한 작업 예시 (탑승하여 과실을 수확할 때)

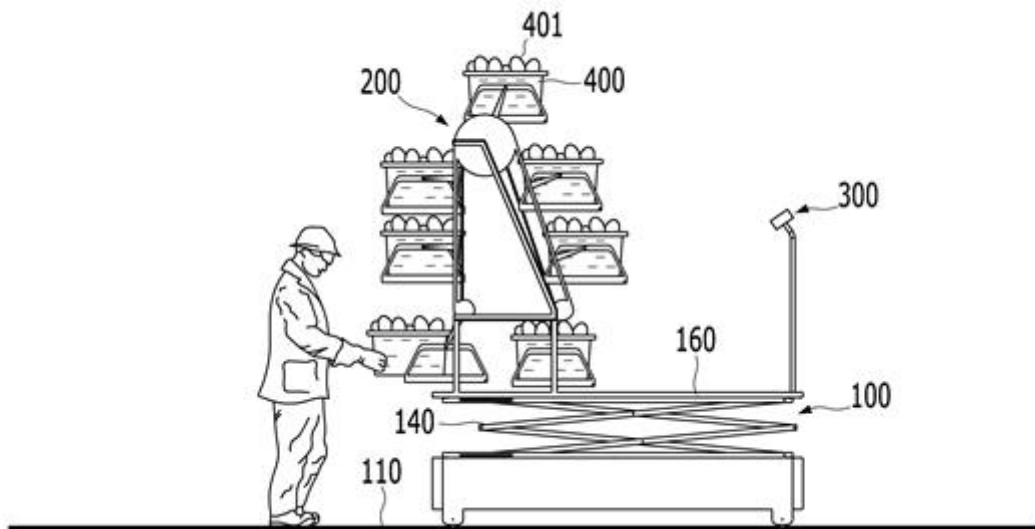


그림 118 최종 개발 제품을 통한 작업 예시 (하차하여 상자를 하역할 때)

4. 최종 작업기계 설계 및 제작

가. 최종 제작을 위한 도면 설계

(1) 수확용 작업차 설계

과실에 가해지는 충격을 줄이고 작업자의 작업 부하를 줄이는 실험 및 시작기 시험 결과에 따라 최종 작업차를 설계하였다. 레일 전동 작업차의 리프트 상단에 설치된 작업대에 상자 교대 장치를 부착하는 모양을 계획하였는데, 상자 교대 장치는 체인과 다수의 스프라켓을 이용하여 트레이를 특정 궤도로 순환시키도록 하였다. 그런데 실제 제작 단계에 들어가게 되니 특허용으로 만든 도면에서처럼 6~8개의 상자를 한꺼번에 적재하는 시스템이 역학적으로 안정적이지 않다는 것을 알게 되었다. 본 시스템에 적합한 휠 플랜지를 설계함에 있어서 6개 이상의 가득찬 과실 상자는 기계 전체에 무리한 부하를 안기는 것으로 확인되었다. 이에 안정적인 작업 환경을 위해 2차년도 시작기와 마찬가지로 4개의 상자를 회전교대하는 방식을 채택하였다. 그 대신 상자가 미끄러지지 않도록 미끄럼 방지턱을 각 브라켓마다 삽입하였으며, 보다 안정적인 회전각도를 확보하여 과실에 주어지는 진동이 실험에서 확인한 품질 변화 이상을 일으키는 값 이하가 되도록 전동 및 휠 시스템을 설계하는 데에 주안점을 두었다. 그림 119는 한번에 4상자를 운반할 수 있도록 시스템을 확정시킨 후 설계한 십자 모양의 회전자 및 상자 적재 받침대이다. 그림 120은 4개의 상자 적재 받침대를 안정적으로 회전시키며 구동할 수 있는 휠 플랜지이며, 그림 121은 이 휠을 삽입하여 과실 상자의 무게를 최소한의 진동으로 버틸 수 있는 모터 연결부이다.

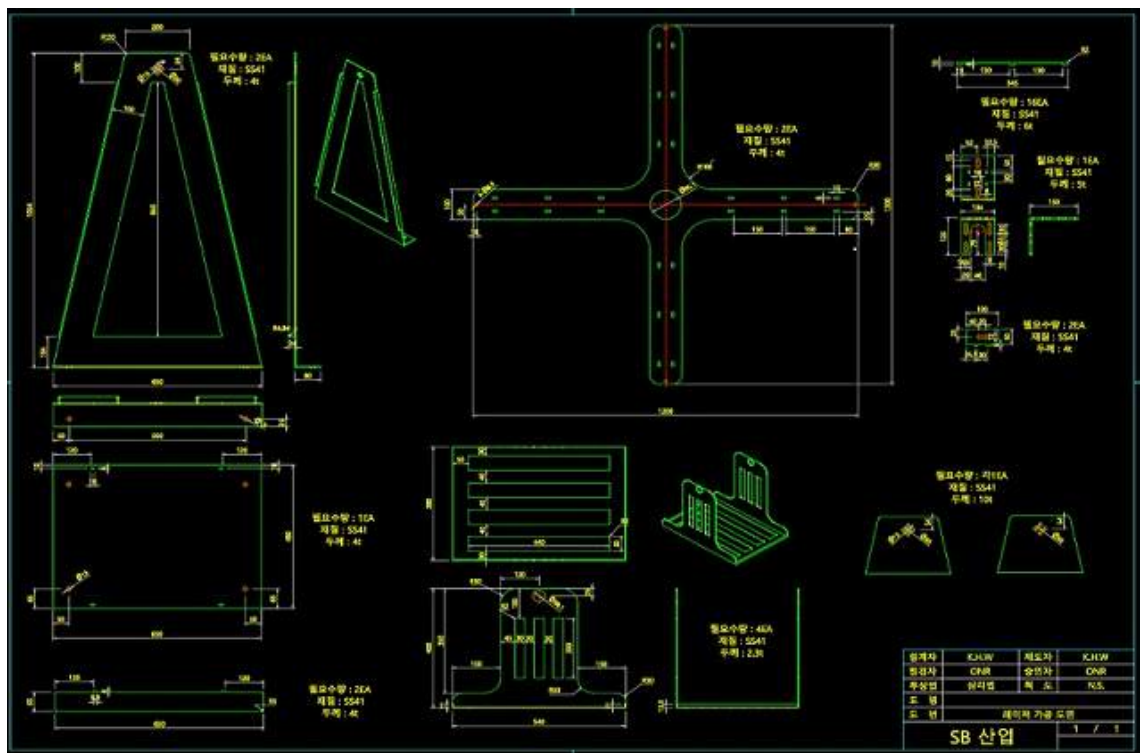


그림 119 회전자 및 상자 적재 받침대 도면

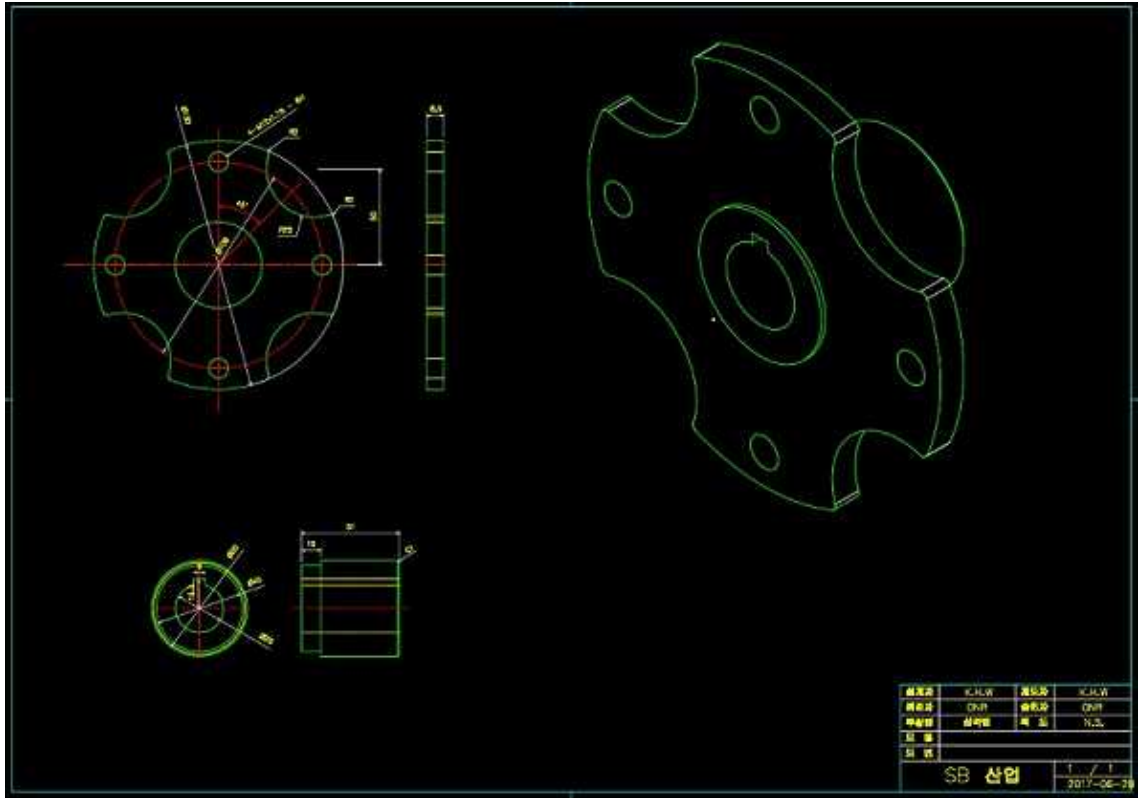


그림 120 휠 플랜지 설계 도면

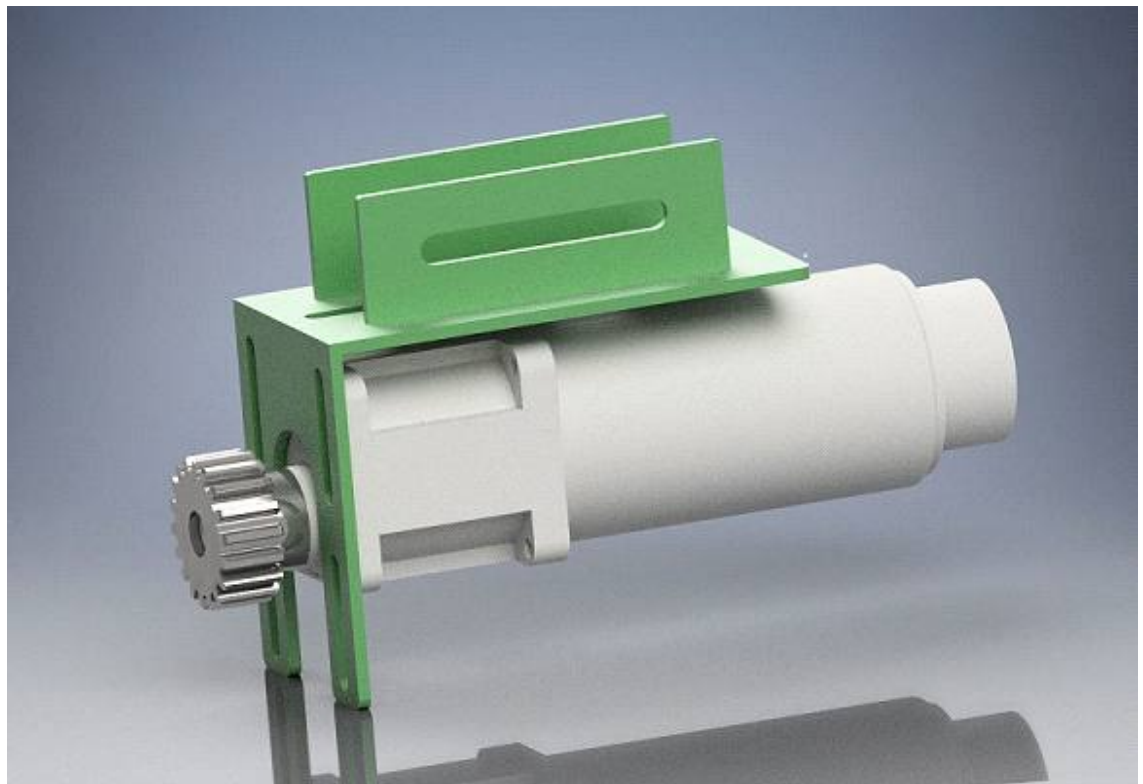


그림 121 3D로 설계된 모터-회전축 연결부

(2) 리프트·덤프 겸용 이송대차 설계

앞서 농가 방문을 통해 과실이 수확 후 출하 과정에서 손상되는 경우를 몇 가지 조사하였다. 수확도구로 과실 표면을 긁는 경우, 상자에 과적하여 쌓는 경우 윗 상자에 의해 눌리는 경우, 수확자가 수확 과정 중 과실을 떨어뜨리는 경우 등 작업자의 부주의로 인한 손상이 조사되었다. 그 외에 깊은 상자를 사용하여 낮은 층위의 과실이 상부 층위의 과실 무게로 인해 눌리는 손상이 조사되었다. 작업차가 레일에서 통로 노면으로 등반 시 발생하는 충격을 조사하기 위하여 가속도계를 수확용 상자에 담에 등반 테스트를 시행한 결과, 최대 3.5~4G의 가속도가 발생하는 것으로 나타났다. 이는 실험 결과 과실의 품질에 충분히 영향을 미칠 수 있는 값이기 때문에 이러한 충격을 흡수하면서 과실을 효율적으로 운반하기 위해 리프트 기능과 덤프 기능을 모두 가진 이송대차를 설계하였다.

기존 작업차에서 이송대차로 수확물을 옮기는 과정은 모두 작업자의 육체적 노동으로 이루어지며, 작업자의 키보다 높은 위치에 있는 상자를 하역해야 하는 문제가 있었다. 최대 20kg의 중량을 자신의 키보다 높은 위치에서 하역할 경우 작업자의 근·골격계 질환을 유발할 수 있다. 또한 몇몇 농장의 경우 지게차로 옮기는 시스템을 사용하기도 하였으나 이 경우 진동이 매우 심해 수확물의 초기 신선도에 큰 영향을 끼치는 것으로 판단되었다. 따라서 이 문제도 동시에 해결하고자 하였다. 선별장에서의 덤프 과정은 현재 사람이 직접 상자를 들어 쏟아내는 방식 또는 박스를 고정시키는 홀더를 이용하여 보다 쉽게 덤프할 수 있도록 설계된 방식이 있었으나 두 가지 경우 모두 수확물 쏟는 과정에서 과실에 충격이 가해지게 되었다.

그림 122는 충격흡수장치를 포함하며 리프트 기능과 덤프 기능을 하나의 기계 안에 모두 담은 이송대차에 대한 기체제원표, 조립도 및 부품 리스트 도면이다. 메인 프레임의 기반으로 핸들 프레임, X 바, 실린더 등을 활용하여 과실이 이송과정에서 받는 충격을 최소화하고자 하였다. 바닥의 충격흡수장치는 그림 123과 같이 설계되었으며, 그림의 오른쪽에 위치한 스프링이 과실 상자 20개까지 안정적으로 진동을 흡수할 수 있도록 하였다.

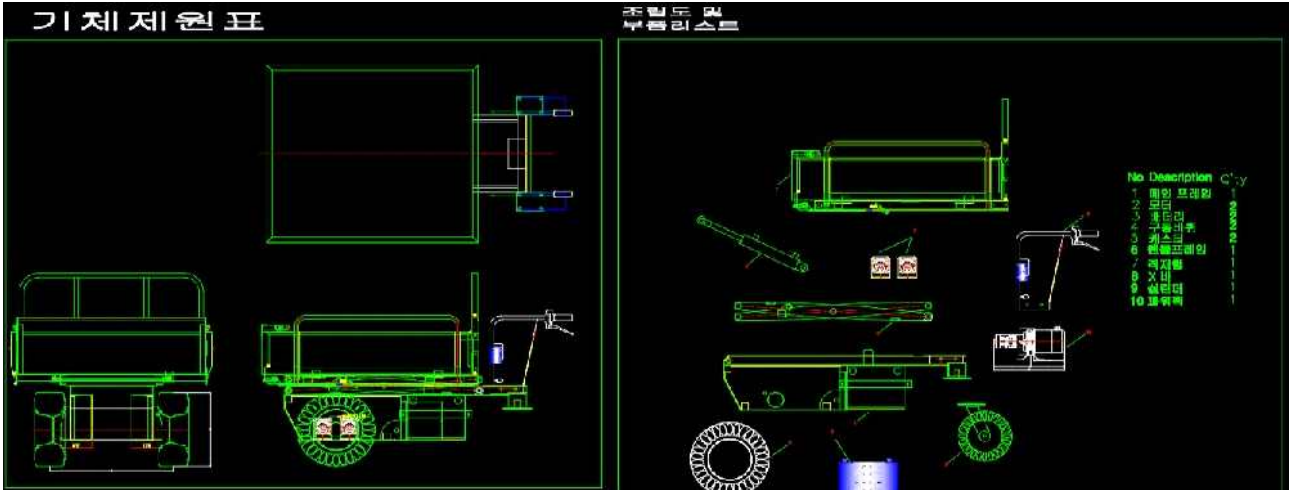


그림 122 이송대차 기체제원표, 조립도 및 부품리스트

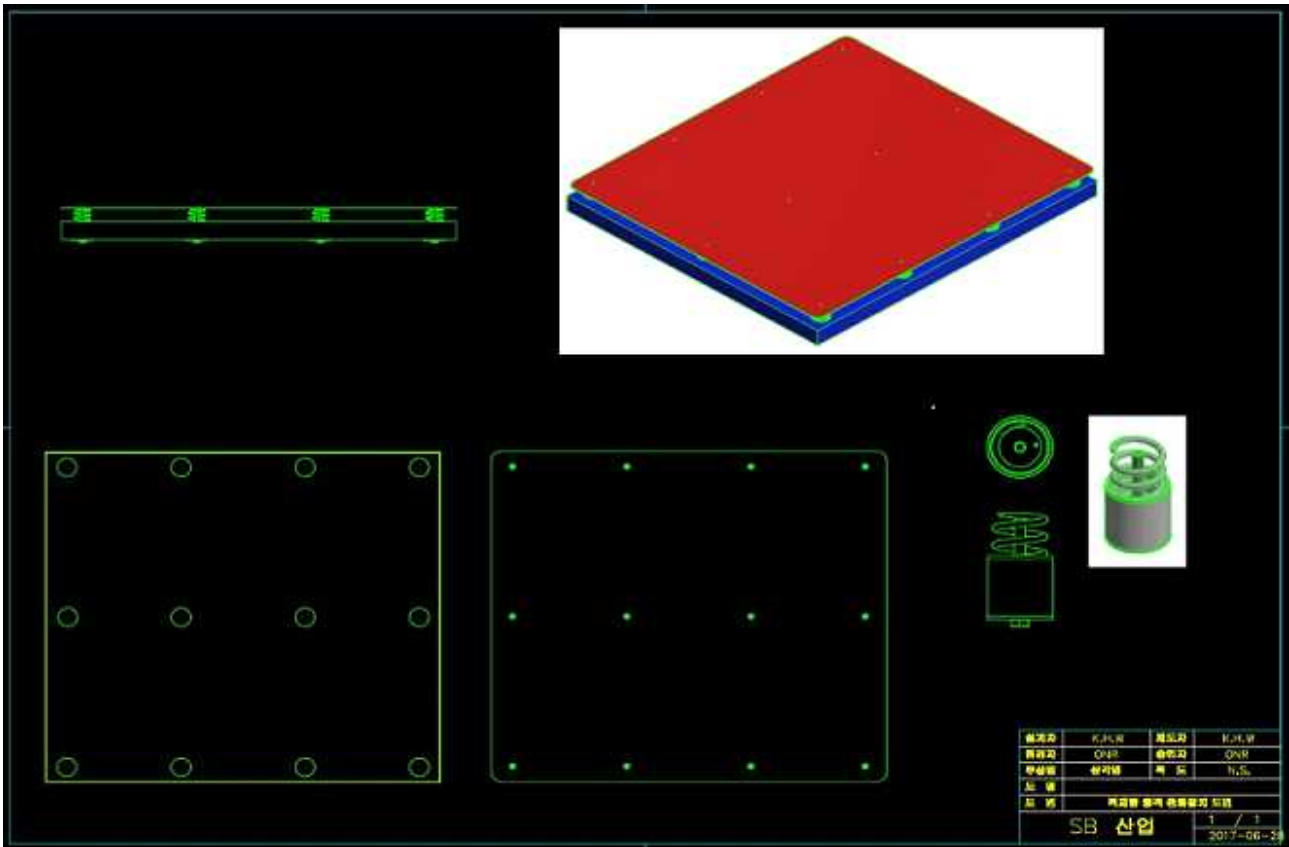


그림 123 충격흡수장치 및 스프링 설계도면

나. 최종 작업기계 제작 및 농가 실증 테스트

(1) 수확용 작업차 제작



그림 124 최종 제작 레일리프트 전동차

이상의 설계에 따라 과실에 가해지는 충격을 줄이고 작업자의 작업 부하를 줄이는 최종 작업차를 제작하였다. 그림 124에 나타난 수확물 레일리프트 전동차는 레일이 설치된 파프리카, 토마토 온실에서 작업자의 부하를 줄이고 수확된 과실이 이송하는 과정에서 받는 충격을 최소화하여 품질을 보존할 수 있도록 하는 목적에 의한 설계를 충실히 반영하여 제작되었다. 하단 전동차 부분은 일반적인 온실 과수농가의 레일 폭을 고려하여 1.2m에서 1.5m 사이의 레일을 무리없이 운전할 수 있도록 제작되었다. 그리고 최대 3m까지 상승하는 리프트는 작업자가 높은 곳에 열린 과실을 쉽게 수확할 수 있도록 하였으며, 리프트가 최대 높이로 올라간 상황에서 과실이 가득찬 상자와 전동차의 진동을 최소화할 수 있도록 시뮬레이션을 통해 설계되었기 때문에 작업자의 안전과 수확물의 품질 보존을 동시에 보장할 수 있다.



그림 125 플랜지 휠이 적용된 실제 모터-회전축 연결부



그림 126 회전축 및 상자 결합장치

그림 125는 앞서 내용에서 설명한 휠 플랜지 기술이 적용된 모터-회전축 연결부이다. 과 프리카에 비해 상대적으로 무게가 더 나가는 토마토를 4상자 가득 채운 상황에서 리프트를 최대 높이로 상승시켜도 기계와 상자에 주어지는 진동을 최소화할 수 있는 구조를 채택하였다. 그림 126은 상자가 안정적으로 결합된 회전축의 모습이다. 어떤 방향에서 예상치 못한 충격이 가해져도 상자가 기계장치에서 탈착되지 않도록 하여 작업자 안전과 수확물 품질 보존을 가능하게 하였다.

(2) 리프트 • 덤프 겸용 이송대차 제작



그림 127 리프트 덤프 겸용 이송대차



그림 128 리프트 기능과 덤프 기능을 조절할 수 있는 레버

과실이 수확 후 공판장 또는 자체 선별기까지 이동하는 과정에서 품질을 유지 보존할 수 있도록 리프트 기능과 덤프 기능을 동시에 갖춘 동력운반차를 개발하였다. 또한 앞서 설계 도면에서 파악되었던 것처럼 충격을 흡수할 수 있는 스프링 받침을 채택하여 운전 중 노면 상태에 의해 어쩔 수 없이 발생하는 진동의 영향도 최소화하고자 하였다. 그림 127은 최종 제작된 동력운반차의 모습이다. 이동식 버튼에 의해 제어가 가능하기 때문에 사용자가 좁거나 행동이 불편한 공간에서도 기계를 충분히 다룰 수 있다. 그림 128은 이 동력운반차의 리프트 기능과 덤프 기능을 제어할 수 있는 기계제어부이다. 수확용 작업차에서 과실 상자를 옮길 때에는 작업자 부하 경감 및 과실 상태 보존을 위해 리프트 기능을 사용하여 높이를 맞출 수 있고, 공판장 또는 자체 선별기에 도착했을 때에는 안정적인 덤프 기능을 사용하여 선별 직전까지 과실의 품질 유지를 가능하도록 한다.



그림 129 리프트 기능이 작동된 모습



그림 130 덤프 기능이 작동된 모습

본 연구과제로 개발된 동력운반차는 일반적인 덤프차량에 리프트 기능을 추가한 것으로, 일반적인 덤프트럭의 경우 적재함의 높이가 조절되지 않기 때문에 작업자가 수확물을 들어서 옮길 때와 수확물이 선과기로 덤프될 때 모두 높이 차이로 인한 충격이 발생한다. 이러한 구조적 결함에서 발생하는 문제점을 리프트 기능이 추가된 덤프차량으로 해결하였고, 수확물이 적재함에서 선과기로 옮겨질 때에도 적재함 하부의 스프링 받침으로 인해 표면 손상 없이 자연스러운 움직임이 가능하다.

(3) 원예과수농가 실증 테스트

제작된 기계를 이용하여 충남 부여에 위치한 파프리카 농장인 ‘올라운농장’에서 실증 테스트를 진행하였다. 우선 그림 130에서 나타났듯이 수확용 작업차의 경우 현행 온실농장의 레일 상태를 따라 자연스럽게 운전할 수 있었으며 탑승한 작업자가 큰 어려움 없이 리프트 높이를 조절하여 과실 수확을 쉽게 할 수 있었다. 또한 과실을 수확하여 상자가 모두 채워진 경우 무거운 과실 상자를 들어 나르는 작업 없이 버튼 하나로 가득 찬 과실 상자 대신 새 상자를 작업자 앞에 둘 수 있게 되어 작업자의 근골격계에 주어지는 부담이 매우 줄어들게 되었다. 또한 이 과정에서 과실에 무리한 충격이 가해지는 일이 없기 때문에 과실의 품질 유지에도 큰 도움이 되었다.

그림 131은 수확작업이 완료된 후 먼 곳에 위치한 선별장까지 이동하는 경우를 가정하여 수확용 작업차로부터 동력운반차로 과실 상자를 옮기는 작업을 시험하였다. 두 기기 모두 리프트 기능을 제공하기 때문에 작업자 자신이 편한대로 높이를 조절할 수 있으며, 수확용 작업차의 회전 기능을 활용하여 무거운 과실 상자를 옮겨야 하는 거리를 최소화하는 것이 가능했다. 동력운반차에 내장된 스프링은 작업자가 순간 부주의로 과실상자를 세게 내려놓는 경우에도 과실에 주어지는 충격을 최소화할 수 있도록 하였으며, 덤핑 시스템은 동력운반차로부터 과실 상자를 내려놓을 때에도 작업자와 과실 모두에게 안정감을 제공하였다.



그림 131 수확용 레일리프트 시험동작 모습



그림 132 수확용 작업차에서 동력운반차로 과일상자를 운반하는 모습

(4) 성능시험 관련 진행상황

제작된 수확용 레일리프트와 이송대차는 농업기계에 해당한다. 우리나라에서 농업기계의 성능시험을 담당하는 기관은 농업기술실용화재단(FACT)인데, 해당 기관의 홈페이지에 따르면 사람이 탑승하지만 레일 위만 움직이는 레일리프트와, 사람이 탑승하지 않는 이송대차 모두 검정 대상이 아니다. 그래서 본 연구팀은 기기 개발이 완료된 후 원예과수농가에서 실증 테스트를 진행하는 것으로 성과와 안전에 대한 검증을 대신하고자 하였으나 연구 종료 후 전문가들로부터 문서로 명시된 인증내역을 요구받음에 따라 관련기관인 농업기술실용화재단에 성능시험 방법 및 시기에 대해 문의하였다. 그 결과 본 연구로 개발된 기계 중에서 직접적으로 사람이 탑승하여 작동하는 수확용 레일리프트의 경우 레일 위를 움직이기 위한 구동부를 제외한 리프트 부분에 대해 성능 및 안전검정을 진행할 수 있다는 답변을 받았다. 검정은 공휴일 및 주말을 제외하고 약 30일이 소요되는 것으로 확인되었다.

● 검정대상농업기계(제3조의2제1항 관련)

구분	대상 농업기계
종합검정	<ol style="list-style-type: none"> 1. 농업용 트랙터 2. 농업용 트랙터 보호구조물(ROPS) 3. 콤팩트 4. 동력이앙기(승용형) 5. 동력이식기 6. 농용난방기 7. 농산물건조기 8. 농산물저온저장고 9. 가정용도정기 10. 농용동력운반차(승용형) 11. 농용로더(전용형, 자체중량 2톤 미만) 12. 농용굴삭기(전용형, 자체중량 1톤 미만) 13. 관리기(승용형) 14. 비료살포기(승용자주형) 15. 그 밖에 농림축산식품부장관이 필요하다고 인정하여 고시하는 농업기계

그림 133 농업기술실용화재단 종합검정 대상 농업기계 목록

제 5 절 이력추적시스템 개발

1. 이력추적시스템 설계

농산물 이력 추적시스템이란 농산물의 안전성 등에 문제가 발생할 경우 해당 농산물을 추적하여 원인을 규명하고 필요한 조치를 할 수 있도록 생산단계부터 판매 단계까지 각 단계별로 정보를 기록하는 것을 말한다. 2008년 국립농산물품질관리원에서 이력추적 전문 사이트 팜투데이블을 개발하여 농산물 이력 추적 관리 시스템 관련 서비스를 제공한 사실이 있으나 이는 농산물의 품질에 대한 정보는 포함되어 있지 않으며 현재 협약 유효기간이 끝나 정보를 확인할 수 없는 업체가 많이 있어 그 실효성에 의문이 있다. 그러므로 이력추적시스템의 올바른 정착을 위해서는 정보를 제공하는 업체와 이를 검색하는 소비자 모두가 편리하게 이용할 수 있는 유저인터페이스(UI)가 추가적으로 개발되어야 했다.

현재 시행중인 농산물 이력 추적시스템은 단순히 생산자와 농장에 대한 정보만을 제공하지만 소비자들이 더 원하는 정보는 해당 제품의 신선도 및 품질에 관한 이슈이므로 이에 대한 정보제공이 필요하며 이를 개선할 경우 대내외적 신뢰도가 향상될 것으로 판단된다. 이를 위해 우선 본 연구과제에서는 파프리카와 토마토에 한정된 시스템을 개발하였다.

이러한 사이트 개발을 위해 기본적으로 요구분석서를 작성하고 이를 기반으로 논리 기반 데이터베이스를 설계하였으며 이를 프로그래밍 언어로 구현하였다. 설계된 데이터베이스를 기반으로 시스템을 직접 가동할 수 있는 웹 사이트 및 모바일 어플리케이션을 개발하였고, 실제 농민과 소비자의 입장에서 정보를 입력하고 확인하는 작업까지 수행하였다.

2. 요구사항 분석서

올바른 웹사이트 개발 및 데이터베이스 설계를 위해서는 요구사항 분석이 중요하다. 소프트웨어 개발이 성공하려면 먼저 사용자의 요구를 빠짐없이 정확하게 정의해야 하는데, 요구를 정의하는 일은 옷을 입을 때 첫 단추를 끼우는 것과 같다. 첫 단추를 잘못 끼우면 나머지 단추도 잘못 끼워지는 것처럼, 사용자의 요구를 잘못 반영하면 설계와 구현을 잘해도 실패한 소프트웨어가 된다. 그러므로 요구를 정의하는 일은 소프트웨어 개발에서 중요한 첫 번째 단계이다. 이런 의미에서 요구 분석을 다시 정의하면, '소프트웨어 개발 생명주기의 첫 단계로, 현재의 상태를 파악하고 사용자가 잠재적으로 또는 명시적으로 원하는 요구를 파악한 후, 소프트웨어에 반영할 사용자의 요구를 결정하는 것'이다. 사용자의 요구를 잘못 분석하면 유지보수 측면에서 개발 비용 증가와 품질 저하를 가져올 수 있고 최악의 경우에는 개발이 실패로 끝날 수도 있다. 그러므로 요구 분석은 소프트웨어 개발 성패의 열쇠라 할 수 있다. 요구 분석을 하는 이유는 사용자에게서 필요한 요구 사항을 추출하여 목표하는 시스템의 모델을 만들고 요구 분석 명세서를 작성하기 위해서이다. 명세서에는 시스템이 만족시켜야 할 기능, 성능, 다른 시스템과의 인터페이스 등을 표현한다.

기존의 이력추적시스템과 본 연구과제를 통해 조사된 사항을 종합하였을 때, 본 연구과제에서 설계할 이력추적시스템 사이트는 다음과 같은 요구사항을 가지는 것으로 파악되었다.

가. 동작 제공 요구사항

- 농민과 유통업자는 회원으로 가입한다.
- 농민과 유통업자 모두 가입할 때 ID, 패스워드, 이름, 핸드폰번호, 이메일을 입력해야 한다.
- 농민은 가입할 때 농장이름, 농장주소, 농장전화번호를 입력해야 하며, 추가적으로 농장면적 또는 농장사진을 입력할 수 있다.
- 유통업자는 가입할 때 판매점이름, 판매점주소, 판매점전화번호를 입력해야 한다.
- 농민은 자신의 생산물에 대해 이력추적번호를 부여받을 수 있다.
- 농민은 이력추적번호를 부여받을 때 생산물의 품종, 등급, 수확일, GAP인증정보를 입력해야 하며, 추가적으로 무게, 생산물 사진을 입력할 수 있다.
- 이력추적번호를 부여받을 때 입력해야 하는 정보의 종류는 웹사이트 개발과정 및 연구진행에 따라 추후 수정될 수 있다.
- 유통업자는 이력추적번호가 부여된 생산물을 구매하고 난 후 농산물입고등록을 할 수 있다.
- 유통업자가 이력추적번호와 입고일을 입력하면, 해당 유통업자의 판매점이 생산물의 이력에 추가된다.
- 소비자는 별도의 회원가입 절차를 거치지 않고, 이력추적번호를 조회할 수 있다.
- 소비자가 이력추적번호를 조회하면 농민 또는 유통업자가 입력한 모든 정보가 조회된다.

나. 페이지 구성 요구사항

- (1) 메인페이지 : 접속하면 처음 나타나는 페이지로, 비로그인 유저인 소비자가 이력추적번호를 입력해서 이력조회화면으로 넘어갈 수 있도록 하는 부분과 농민, 유통업자가 이력관리화면으로 넘어갈 수 있도록 하는 부분으로 구성되어 있다.
- (2) 이력조회 : 소비자가 이력추적번호를 입력하고 난 후 이동하는 페이지로, 농민정보와 유통자정보, 농민이 입력한 품종, 등급, 수확일, GAP인증정보, 생산물 사진과 유통업자가 입력한 입고·출고 정보를 나타낸다.
- (3) 로그인 : 농민 또는 유통업자가 이력관리 페이지로 이동할 때 나타나는 페이지로, 사용자가 아이디와 비밀번호를 입력하면 농민 또는 유통업자에게 맞는 관리페이지로 이동하게 된다. 처음 사용자의 경우 여기서 회원가입 페이지로 이동할 수 있다.
- (4) 회원가입 : 농민 또는 유통업자가 본 시스템을 처음 사용하고자 할 때 자신의 정보를 입력하는 페이지로, 기본정보 입력 부분과 추가정보 입력 부분으로 구성되어 있다. 추가정보 입력 부분은 농민인지 유통업자인지에 따라 달라진다.

- (5) 이력관리화면(농민) : 농민이 자신의 생산물에 대해 품종, 등급, 수확일, GAP인증 정보(추가적으로 무게, 생산물 사진을 입력할 수 있다.)를 입력하면 시스템에서 10자리 자연수로 이력추적번호를 부여한다. 또한 이를 생산물 상자에 부착할 수 있도록 바코드 인쇄 서비스를 제공할 수 있다.
- (6) 이력관리화면(유통업자) : 유통업자가 이력추적번호를 입력할 수 있고, 현재 자신의 판매점에 남아있는 생산물의 정보를 확인할 수 있는 화면이다.

3. 스키마 다이어그램 설계

데이터베이스 구성을 위해 모델이 되는 항목을 선정해야 할 필요가 있다. 지원해야 할 기능을 감안하여 데이터 명세를 마련해 보면 다음과 같은 순서로 디자인됨을 알 수 있다. 우선 User 정보가 필요하다. 그리고 각 사용자에 대한 권한(Authorization)에 대한 정보가 데이터베이스 내에 필요하다. 농장의 각종 데이터와 유통업자의 사업체 정보는 폴리곤 형태로 이루어진다. 그리고 외부입력으로 구성되는 농산물 입고 데이터와 품질 데이터가 하나의 테이블로 구성되어 데이터 처리를 원활하게 할 수 있다.

이상의 내용으로 설계된 데이터베이스 스키마 다이어그램은 아래 그림 134와 같은 구조를 가지고 있다. 앞서 논의했던 기능 명세 각각에 대해 테이블을 만들고, 테이블을 이루는 변수들을 지정하였다. 각 테이블 간의 상호작용 공식은 원론적으로 정의되어 있고, 추후 실제 사용자 요구사항 등에 의해 세부 테이블 구성은 변경될 수 있으나 큰 틀은 유지된다.

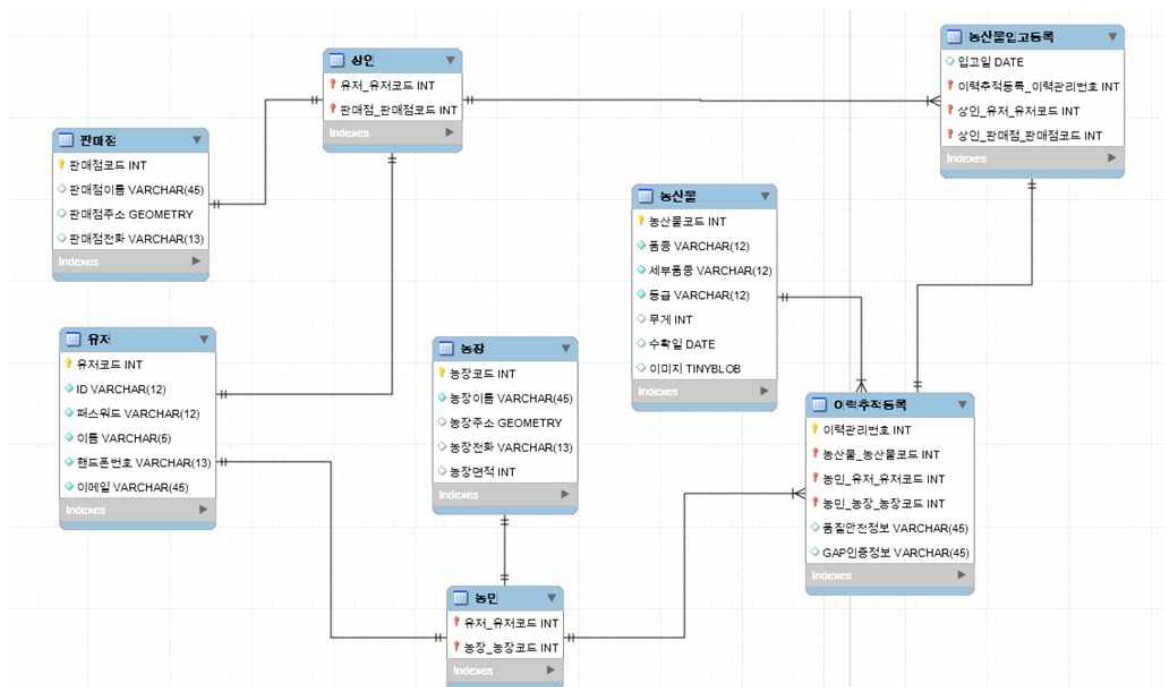


그림 134 데이터베이스 기초구성

4. SQL문을 이용한 실제 데이터베이스 구축

앞에서 설계한 스키마 다이어그램을 바탕으로 SQL 스크립트를 작성하여 웹사이트 형태를 갖출 수 있도록 하였다. 이 스크립트는 MySQL로 작성하였으며, 보고서 본문에 삽입하기에는 너무 길어서 내용 끝에 붙임 형태로 첨부하였다.

5. 웹사이트 구축

이상의 내용을 바탕으로 생산이력정보 추적 가능한 웹사이트를 만들었다. 이는 <http://beslab.cafe24.com> 으로 접속하여 확인할 수 있다.

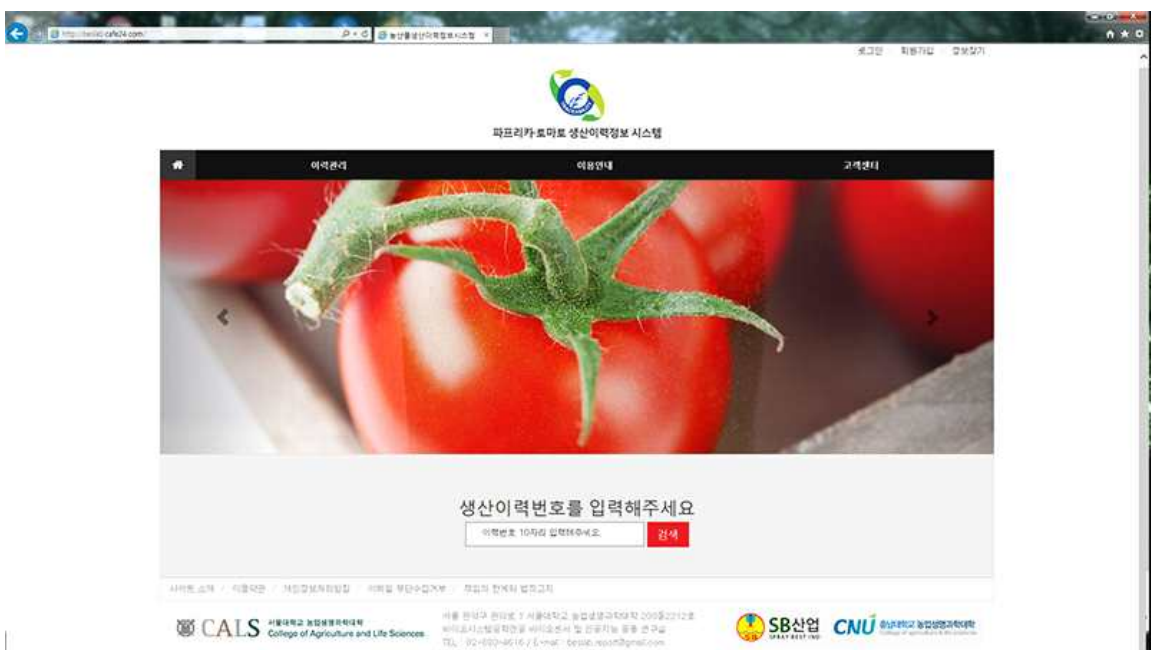


그림 135 이력추적시스템 시험사이트 메인화면

그림 135는 시험사이트의 메인화면이다. 소비자의 경우 농산물의 정보를 확인하기 위해 별도의 로그인 절차가 필요하지 않도록 메인화면에 바로 농산물 이력조회 기능을 넣었으며, 농민 또는 유통업자들은 우측 상단의 회원가입/로그인 화면을 통해 고유의 이력관리 화면으로 이동할 수 있도록 하였다.

그림 136 회원가입 정보입력 화면

그림 137 생산물 등록 화면

그림 136은 시험사이트의 회원가입 정보입력 화면이다. 파프리카·토마토 농민이 본 시스템을 이용하기 위해서는 회원가입이 필요하며, 이 때 자신의 농장 주요 정보를 입력하게 되어 있다. 유통업자는 농민과는 다른 화면으로 가입하게 되어 있고 자신의 사업체 정보를 간단하게 입력하면 된다. 그림 137을 통해 농민은 자신이 생산한 농산물을 시스템에 등록하게 되는데, 자세한 품종 정보와 GAP 인증여부 등을 자체적으로 입력할 수 있다.

입고등록

1496733726
X
입고

폐기등록

폐기한 농산물의 이력번호를 입력하세요.
입고

입고이력조회

이력추적번호	입고일	구매처	품종	수확일
1496733726	2017-06-06	초록마루	토마토(복수 2호)	2017-06-05
1495435069	2017-05-23	초록마루	토마토 (데프니스)	2017-05-22

그림 138 유통업자 관리 화면

농산물 정보

항목	내용	
이력번호	1496733726	
품종	토마토(복수 2호)	
 생산농인정보 바코드 다운로드	이름	박농부
	농장	초록마루
	농장주소	강원 춘천시 회계로 89 강원전문건설협관
	농장면적	
	전화번호	033-816-5300
	농장사진	
	GAP인증정보	
생산물결번호	수확일	2017-06-05
	등급	상

유통업자정보

유통업자명	관리자	전화	입고일
관덕농협	박상민	02-862-5885	2017-06-06

목록

그림 139 이력 조회 화면

그림 138은 유통업자가 농민으로부터 농산물을 인계받았을 때 그 이력추적번호를 입력하여 농산물이 자신의 관리책임으로 넘어왔음을 확인하는 화면이다. 이 때 유통업자 역시 농민이 입력한 정보를 조회하여 그 신뢰성을 판단할 수 있다. 그림 139는 농민, 유통업자 및 본 시스템에 로그인하지 않는 소비자 모두 농산물의 정보를 확인할 수 있는 농산물 이력조회 화면이다. 여러 가지 품질 인증에 대한 정보를 업데이트할 수 있다.

6. 모바일 환경에서 작동하는 이력추적시스템 구축

웹 상에서 구동하는 이력추적시스템 사이트를 모바일 어플리케이션으로 개발하여 사용자가 스마트 기기를 통해 언제 어디서나 실시간으로 이력추적시스템을 이용 가능하도록 하는 것에 목표를 두었다. 이력추적 시스템의 시험사이트의 구성은 메인페이지, 이력조회, 회원가입, 이력관리화면(농민), 이력관리화면(유통업자)로 이루어져 있다. 위와 같은 기존의 이력추적시스템 시험 사이트에 구성되어 있는 화면 및 기능을 모바일 어플리케이션 속에 모두 포함시킬 수 있도록 하였다. 모바일 어플리케이션은 일반 웹페이지와는 다르게 화면이 한눈에 들어오기 힘들므로 모바일기기에 적합한 화면을 구성해야 한다. 때문에 기존의 웹페이지의 정보보다는 요약된 정보를 어플리케이션에 포함하도록 하였다.



그림 140 개발된 이력추적시스템 어플리케이션 아이콘



그림 141 이력추적시스템 실행 직후 화면

아래의 그림과 같이 이력추적시스템의 모바일 어플리케이션을 개발하여, 메인페이지에서 사용자가 농산물에 표시된 농산물이력번호를 입력하면, 생산자가 입력한 농산물의 이력이 조회되도록 하였다. 또한, 모바일 환경에는 친숙하지만 웹페이지에 대한 접근성이 떨어질 수 있는 사용자를 위하여, 모바일 어플리케이션에서 간편하게 가입이 가능하도록 하여 스마트 기기를 휴대하는 모든 사람이 본 이력추적 시스템을 활용할 수 있도록 하였다.



그림 142 모바일 이력추적시스템 메인페이지



그림 143 모바일 기반의 판매자의 생산물 이력등록 페이지

모바일 이력추적시스템을 이용함에 있어, 일반 소비자들은 별도의 회원가입 없이 농산물에 표시된 이력추적번호만으로 농산물의 이력추적이 가능하도록 모바일 플랫폼을 구성하였다. 생산자의 경우 농민과 유통업자 2가지로 분류하여 별도의 범주안에 회원가입이 진행되도록 하였으며 각 범주별로 회원가입 시 필요한 정보가 다르다.

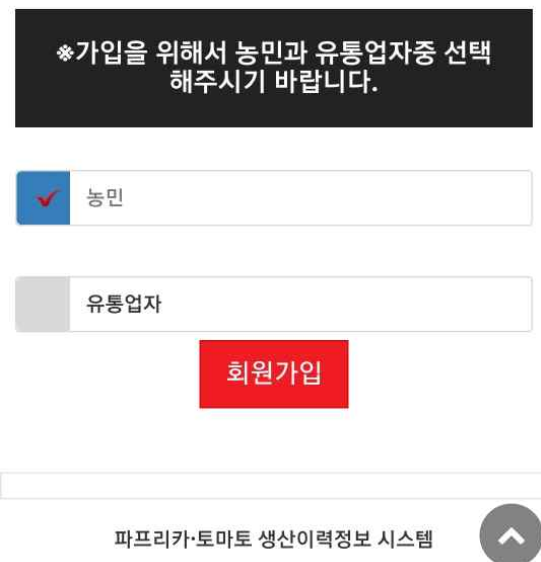


그림 144 모바일 이력추적시스템 회원가입 화면

모바일에서 생산자(농민)가 작업을 하며 실시간으로 생산물을 등록할 수 있도록 생산물 등록 기능이 가능하도록 하였다. 생산물 등록은 2차 년도에 개발된 바와 같이 이력추적번호, 농장명, 품종, 수확일, GAP 인증유무, 생산물의 중량, 생산물 사진, 등급 등의 농산물에 대한 필수정보를 입력하고 조회할 수 있도록 하였다.

그림 145 이력추적시스템 농민 생산물 등록화면

그림 146 농민 생산물 등록 화면

농산물이 생산되고 소비자에 이르기까지는 유통과정이 요구된다. 이에 따라 소비자는 생산자에 대한 정보뿐만 아니라, 수확 후 어떤 유통 업자를 통해 어떤 저장 및 운송경로를 거쳐 농산물이 소비자에게 도착했는지를 확인할 수 있어야 한다. 이에 유통업자는 별도의 회원가입을 유통업자용 회원가입을 진행하여 농산물의 이력정보입력과정에 참여할 수 있다.

제 6 절 ICT 기반 발전연구

1. 토마토의 품질인자에 대한 스펙트럼 분석

본 연구에서는 토마토를 대상으로 여러 인자들 중 외부 인자인 색상과 내부 인자인 수분 함량만을 품질 인자로 선택하여 스펙트럼을 통해 신선도 판단 모델을 구성하였다. 수분함량의 경우 감모율과 연관지어 사용하였고 이를 통해 구성된 모델의 정확성을 검증해 보았다.

같은 토마토에 대해 상온보관(22 °C, 40%RH)과 냉장보관(3°C, 80%RH)인 두 환경으로 나누어 20일 동안 저장하였고, 저장 기간 동안 감모율과 색상 변화 인자를 매일 측정하였다. 실험에서 사용한 장치는 신코(SCINCO)의 COLORMATE로 Hunter color space의 L, a, b 와 파장 범위가 420-1000 nm인 스펙트럼을 측정하고 저장하였다. 이 색상과 스펙트럼의 측정과 저장은 Colormasterplus 소프트웨어를 사용하였다. 이를 통해 획득한 데이터를 통해 PLS-DA 모델을 구성하였고, 모델 구성과 데이터 분석은 MATLAB (2014b)을 사용하였다. PLS-DA 모델을 구성할 때에 총 160개의 spectra data set에 대하여 3대 1로 나누어 calibration set과 validation set을 구성하였다. 실험에서 사용한 토마토의 감모율 계산공식은 다음과 같다.

$$\text{감모율}(\%) = \frac{\text{수확무게} - \text{저장무게}}{\text{수확무게}} \times 100$$

이 계산 공식을 이용해 20일 동안 상온보관과 냉장보관한 토마토에 대한 감모율을 구해보았고 이를 그래프로 나타내 보았다.

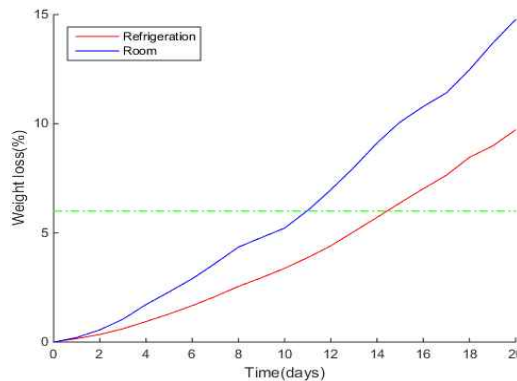


그림 147 상온,냉장보관한 토마토에 대한 감모율

상온보관한 토마토의 경우 감모율이 더 빨리 증가하며 저장기간이 길수록 두 환경에 대한 감모율 차이가 커지는 것을 확인할 수 있다. 과일의 품질 질량 감소(Quality reduction)는 감모율이 6% 이상이 되면 발생한다고 연구되었으며(Phillips, 1996), 상온보관인 경우 10일이 되었을 때, 냉장보관인 경우 14일이 되었을 때로 결과가 나왔다.

다음은 토마토의 색상 변화 L과 a/b의 결과이다.

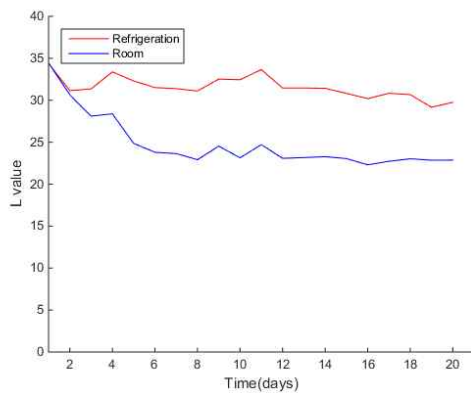


그림 148 저장기간 및 조건에 따른 L값 변화

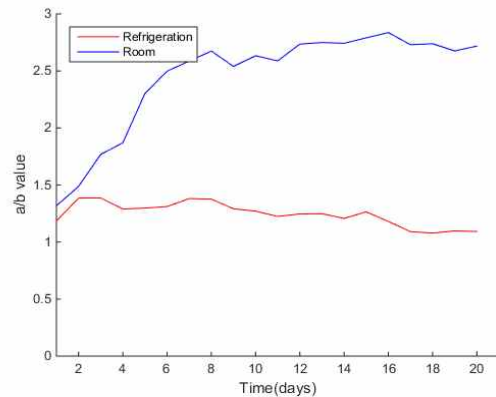


그림 149 저장기간 및 조건에 따른 a/b값 변화

L 수치가 작아지는 것은 표면의 광택이 사라짐을 나타낸다(ARTES, F., & ESCRICHE, A. J., 1994). 시간이 지남에 따라 냉장보관한 토마토는 L 값이 상대적으로 유지되는 것을 볼 수 있지만, 상온 보관의 경우에는 실험 첫 6일 이내에 가파르게 감소하다가 그 이후 24~25 사이의 값으로 유지되는 것을 볼 수 있다. Redness를 나타내는 a와 greenness를 나타내는 b값을 이용한 a/b 값은 토마토 표면의 빨간색상 정도와 성숙도를 표현한다. 이 값도 L값의 결과와 마찬가지로 냉장보관의 경우 잘 유지되었지만 상온보관은 6일 이전과 이후 차이를 보였다. 아래 사진은 냉장보관과 실온보관한 토마토의 15일 저장 후의 모습으로 표면의 광택 및 색상에 있어 현저한 차이를 보이고 있다.



그림 150 냉장보관된 토마토의 15일 후 모습



그림 151 실온보관된 토마토의 15일 후 모습

앞서 살펴본 감모율, 색상에 대한 결과와 토마토의 texture특성에 의한 파장범위인 420-1000nm VIS-NIR 스펙트럼을 통해 신선도 PLS-DA model을 구성해 보았다. 즉, 입력을 스펙트럼으로 하여 신선한 토마토인지, 부패한 토마토인지 구분하는 모델을 만들었고 이 모델을 행렬로 표현하면 다음 식과 같다.

$$X = TP + E_X$$

$$Y = UQ + E_Y$$

T는 입력 행렬 X의 score, P는 factors, U는 출력 행렬 Y의 score, Q는 factors이고 E는 error를 표시한다. 출력 Y는 두 가지에 대한 구분이므로 0 혹은 1로 된 1-dimension 행렬이

다. 여기서 스펙트럼 X의 score인 행렬 T와 가상변수 Y의 score인 행렬 U는 다음과 같은 관계가 있으며 B는 PLS-DA모델의 회귀 계수(regression coefficients)를 표시한다.

$$Y = TBQ + E$$

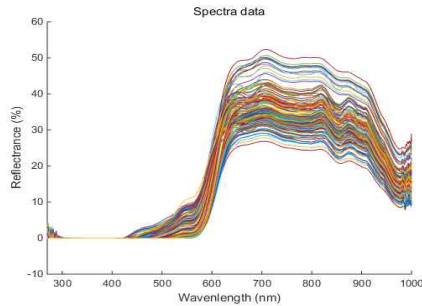


그림 152 모델과 검증에 사용한 총 스펙트럼 데이터

예측 모델의 결과는 다음과 같다. 횡축은 실제로 판단되는 변수를 표시하고 종축은 PLS-DA 모델을 통해 예측한 결과를 나타낸다. 중간값인 0.5를 threshold로 하여 0.5보다 작으면 신선한 토마토, 크면 부패한 토마토로 분류하였다. 오른쪽 그래프와 같이 각 샘플이 잘 분류됨을 확인할 수 있다.

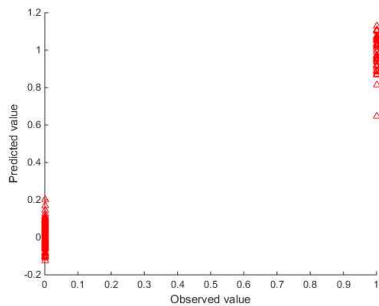


그림 153 실제 판단 변수와 PLS-DA 모델의
예측 결과

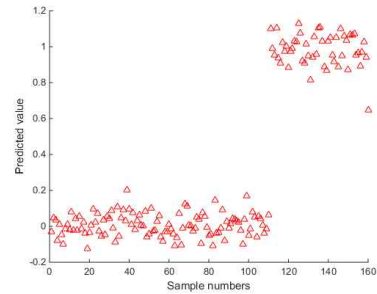


그림 154 각 샘플에 대응하는 PLS-DA모델
의
예측결과

이를 좀 더 자세히 살펴보면 다음과 같다. 결과에서 보면 92.5%로 비교적 높은 예측율이 나옴을 확인할 수 있다.

	Calibration	Validation
R^2	0.97	0.81
Classification accuracy (%)	98.7	92.5

그림 155 Calibration, validation 결과

이를 통해 토마토의 반사스펙트럼과 감모율, 색상 등을 이용해 신선도 분류 예측이 가능함을 확인할 수 있었다. 다른 인자들을 고려하고 좀 더 나은 알고리즘을 고려한다면 좀 더 정확한 신선도 판단이 가능할 것이라 생각된다.

2. 딥러닝을 활용한 추가 분석 파라미터 연구 및 실험

파프리카, 토마토의 신선도 유지를 위한 실험에는 다양한 인자들을 획득하고 그 인자들 사이의 관계를 파악해야 할 필요가 있다. 이 인자들을 feature 또는 parameter로 볼 수 있으며 이를 분석하는 알고리즘에는 실험 방법이나 분야에 따라 다양한 종류가 있다. 이 중 최근에 많이 등장하는 것이 딥러닝이다. 몇 달 전, 서울에서는 구글 딥마인드 챌린지라는 인공지능과 인간 사이의 바둑 경기가 있었다. 이 때 사용된 인공지능 알고리즘 중 하나가 바로 딥러닝이다. 이 최신의 딥러닝 기술을 농업 분야에 적용 가능한지, 이 과제에 적용 가능한지 살펴보기 위한 기초 연구를 진행하였다.

딥러닝은 인공지능경망에 기반하여 설계된 개념으로 여러 기법의 조합을 통해 다량의 데이터에서 원하는 내용을 획득하는 기계학습 알고리즘의 집합을 말한다(Schmidhuber, 2015). 기존의 인공지능경망의 한계는 많은 계산량과 초기화 문제, local minima 문제 등 존재했고, unsupervised learning을 통한 pre-training과 컴퓨터의 발전, GPGPU를 통한 병렬처리, 빅데이터의 등장 등으로 딥러닝이 나타났고 한계를 극복하게 되었다(Deng and Yu, 2014). 이러한 딥러닝 연구는 기존의 기계학습 방법으로는 해결하지 못했던 여러 문제에 대해 해결책을 제시해 주고 있다.

딥러닝의 장점 중 하나는 입력 자료에 대해 특별한 전문가의 지식 없이도 분석과 특징 추출(feature extraction)을 자동으로 할 수 있다는 점이다. 가지고 있는 데이터에서 정보를 얻기 위해서는 특징 추출 과정이 중요하다. 이 특징 추출을 얼마나 잘하나에 따라 알고리즘의 성능이 좌지우지된다. 즉, 어떤 인자가 더 신선도에 영향을 미치는지, 같은 인자 내에서도 어떤 조건에서 영향이 큰지에 대해 판단하는 것을 말한다. 기존에는 사람의 판단에 의해 특징을 뽑았지만 이를 딥러닝 알고리즘 안에 포함시켜 진행함에 따라 좀 더 객관적이고 나은 특징들을 얻을 수 있게 되었다.

딥러닝을 적용하기 위한 기초 연구로 파프리카가 포함된 여러 가지 채소, 과일 이미지에 대한 분류를 시도해 보았다. 이러한 영상처리는 신선도 판단에 있어서 중요한 부분을 차지할 수 있고, 딥러닝 알고리즘은 영상처리뿐 아니라 여러 분석에 사용될 수 있으므로 중요한 기초 연구라 할 수 있다.

연구에 사용된 딥러닝 알고리즘은 Convolutional Neural Networks(CNN, ConvNet)이다. ConvNet은 여러 개의 convolution, pooling 층 그리고 feedforward 층으로 불리는 일반적인 인공지능경망 층으로 구성되어 있으며(LeCun et al., 2010) 영상과 같은 2차원 구조의 입력 데이터에 좋은 성능을 보이고 있다(Girshick et al., 2014). 다음의 그림 154는 ConvNet 구조를 나타낸다.

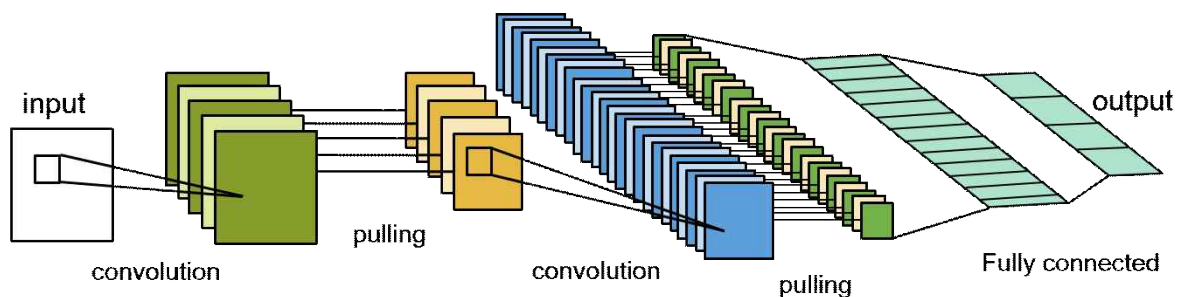


그림 156 ConvNet 구조

Convolution층은 특징을 추출하고 pooling층은 subsampling을 통해 feature를 줄여주며 이 두 층이 반복된다. 마지막 fully connected층에서는 분류작업을 진행한다. 이 ConvNet 알고리즘의 경우 연산량이 많으므로 이를 고속으로 학습시키기 위해 GPGPU(general-purpose computing on graphics processing units) 개념을 활용하여 병렬처리가 가능한 GPU를 사용하였으며, ConvNet과 GPU를 활용하기 위한 라이브러리로 CAFFE를 이용하였다. CAFFE는 특별한 코드의 수정 없이 ConvNet의 구조 변경이 가능하다는 장점이 있다. 이번 연구에서 사용한 모델은 CAFFE에서 제공해주는 BVLC Reference CaffeNet으로 그림 157과 같이 python을 통해 프로그래밍을 수행하였다.

```

labels = np.loadtxt(imagenet_labels_filename, str, delimiter='#')
except:
    ! ./data/ilsvrc12/get_ilsvrc_aux.sh
    labels = np.loadtxt(imagenet_labels_filename, str, delimiter='#')

for i in file_list :
    # load file

    path='/home/bckin@92/MK/'+class_name+'/' +os.path.basename(i)
    net.blobs['data'].data[...] = transformer.preprocess('data', caffe.io.load_image(path))
    out = net.forward()

    #print os.path.basename(i)
    #print labels[top_2]
    #print out['prob'][0][top_2]
    #print
    #print("Predicted class is #{}.".format(out['prob'][0].argmax()))

    # sort top k predictions from softmax output
    top_2 = net.blobs['prob'].data[0].flatten().argsort()[-1:-3:-1]
    top_5 = net.blobs['prob'].data[0].flatten().argsort()[-1:-6:-1]

    result_history=result_history+[os.path.basename(i),
                                   labels[top_5][0],out['prob'][0][top_5][0],
                                   labels[top_5][1],out['prob'][0][top_5][1],
                                   labels[top_5][2],out['prob'][0][top_5][2],
                                   labels[top_5][3],out['prob'][0][top_5][3]]

```

그림 157 알고리즘을 구현하기 위한 python 코드 예시

분류 정확도를 살펴보기 위해 알고리즘 모델에 대한 training, validation, test가 필요하며 각 단계에 맞는 이미지 데이터가 필요하다. Training에 사용된 이미지는 ILSVRC 2012의 이미지로 약 1000개의 카테고리 이루어진 총 120만 장이었고, validation에는 마찬가지로 ILSVRC의 이미지를 사용하였다. Test는 구글 이미지 검색과 직접 촬영한 영상을 통해 7 종류의 채소 혹은 과일을 구성하였으며 총 1000장 정도의 이미지를 사용하였다. Test에 사용된 이미지 수는 다음과 같다.

표 51. 테스트에 사용한 카테고리 및 이미지 수

Categories	Image
Bell pepper	181
Strawberry	140
Orange	103
Lemon	140
Pineapple	144
Banana	153
Pomegranate	122
Total	984

이미지들을 알고리즘의 input으로 사용하기 위해 일정한 dimension으로 구성해야 했고 image resize과정을 거치게 된다. 이 이미지들을 학습시킨 뒤 학습된 모델을 통해 분류를 수행하였고 그 때 걸린 시간과 top-1, top-2 분류 정확도를 구했다. 이 flow chart는 다음과 같다.

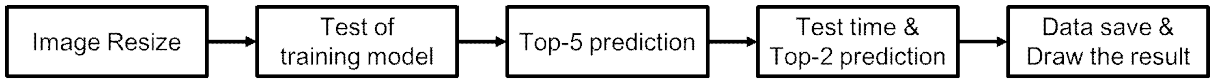


그림 158 전체 알고리즘 flow chart

이 flow chart를 수행한 결과는 다음 그림과 같다. 텍스트 형태로 각 이미지가 분류된 결과 label과 확률을 확인할 수 있으며 이를 저장하게 된다. 이와 더불어 결과를 그래프로도 확인할 수 있다.

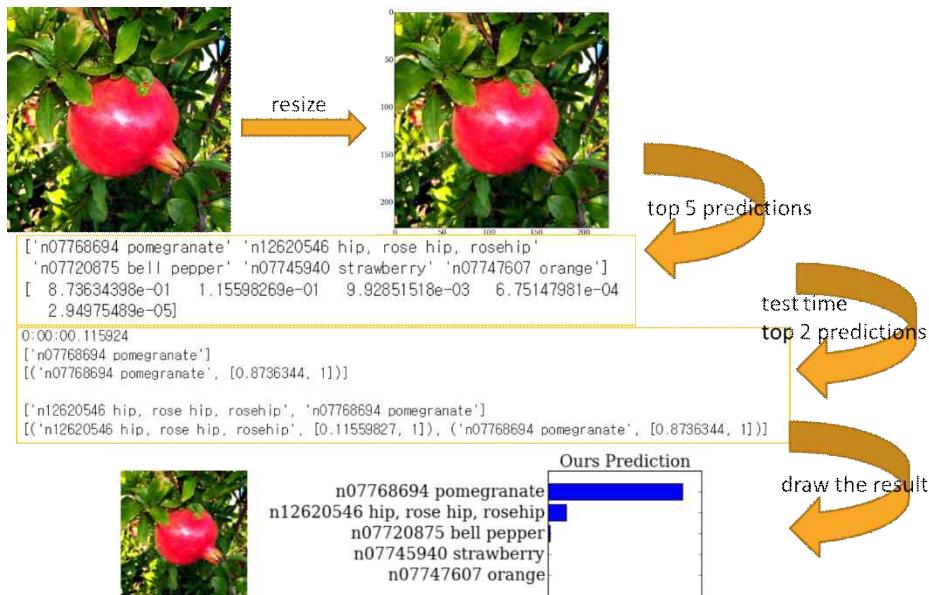


그림 159 전체 알고리즘을 수행한 결과

984장의 이미지를 분류하는데 약 242초의 시간이 걸렸으며 이미지 한 장에 걸린 시간은 평균적으로 0.245초가 소요되었다. 걸린 시간의 경우 카테고리에 따른 시간의 차이가 크게 없는 것으로 보아 이미지의 복잡도나 채소 혹은 과일의 종류와는 무관한 것으로 확인되었다.

표 52. 테스트 이미지에 대한 처리 속도

Categories	Time(s)	Image	Time/image (s)
파프리카	34.67845	181	0.191594
딸기	32.23572	140	0.230255
오렌지	33.14519	103	0.318704
레몬	34.19451	140	0.244246
파인애플	32.5731	144	0.226202
바나나	38.54656	153	0.251938
석류	37.02629	122	0.303494
합계	242.3998	984	0.246341

각 이미지에 대한 top-1, top-2 분류 정확도를 confusion matrix로 나타내 보았다. 종류에 따라 분류 정확도는 80~100%로 나타났다. Top-1 정확도의 평균은 91.66%, top-2 정확도의 평균은 95.83%로 매우 높은 분류 정확도를 보임을 확인할 수 있었다.

표 53. 테스트 이미지에 대한 분류 정확도

Classification	No. of Top1	No. of Top2	Total	Top1 Accuracy(%)	Top2 Accuracy(%)
파프리카	171	176	181	94.48	97.24
딸기	140	140	140	100.00	100.00
오렌지	98	102	103	95.15	99.03
레몬	123	136	140	87.86	97.14
파인애플	116	120	144	80.56	83.33
바나나	140	147	153	91.50	96.08
석류	113	121	122	92.62	99.18
				91.66	95.83

이 결과는 기존의 PCA와 SVM 방식의 88%인 결과보다 좋은 수치로 확인되었다(Zang & Wu, 2012). 더욱이 test 시간도 훨씬 빠르게 나타났다. 분류에 실패한 이미지에는 사람이 그린 그림이나 워터마크가 포함된 이미지 등 몇 가지 잘못된 이미지가 포함되어 있었는데 이를 제거한다면 더 좋은 분류 정확도를 보일 것으로 판단된다.

이를 통해 딥러닝 알고리즘 기술이 본 과제와 관련된 분석에 있어 충분히 사용 가능할 것이라는 가능성을 확인하였다. 파프리카의 신선도를 판단하기 위한 여러 인자와 관련된 실험에 있어 영상처리 뿐만 아니라 다양한 분석에 딥러닝 기술을 적용하는 방법을 모색해 볼 필요가 있다 생각된다.

3. 수확 후 토마토 품질 판정을 위한 열화상 영상 분석

토마토는 신선하고 잘 자란 전형적인 채소이며, 조리하지 않은 상태에서 식중독을 일으킬 수 있다. 따라서 토마토의 품질 및 부식성 분류는 널리 연구되는 조사 분야이다. 음식의 품질 개념은 주로 소비자 인식 및 선호도와 관련이 있으며 일반적으로 최적 품질이라고 한다. 기기적 관점에서, 인간의 감각과 광학 센서의 적용 사이에는 명백한 상관관계가 있다. 몇 년 동안, 과일 품질의 도구 적 측정은 대부분 질감과 견고함과 같은 유변학 적 특성의 기초에 기반을 두고 있었다(Wang, Teng, & Yu, 2004). 토마토 과일 품질의 검출 및 분류는 유통 및 가공의 중요한 부분이다. 현재, 과일 품질 등급 분류의 많은 국가는 보통 수작업으로 수행되며, 시간 소모적인 생산 효율성은 높지 않다. 디지털 이미지 처리 기술의 개발 및 적용은 과일 품질의 비파괴 및 신속 탐지를 위한 중요한 기술 지원을 제공한다. 디지털 이미지 처리 품질 검사, 과일 이미지의 수집 및 분석, 평가의 과일 표면 이미지 특성을 추출하고, 다음 자동 장치로 과일의 자동 분류를 완료하는 컴퓨터 비전 시스템의 사용을 기반으로 한다. 이 방법은 시간과 노동력을 절약하고 과일 손상을 최소화한다. 현재 디지털 이미지연구는 토마토 외관 크기, 모양 및 색상 측면을 기반으로 수행되었다. 그러나 충돌 피해를 감지하기 위한 포괄적인 수확 후 품질 평가 시스템은 없다. 따라서 디지털 영상 처리 기술을 바탕으로 토마토의 외형 크기, 모양 및 색상 특성을 종합적으로 분석하여 토마토 과일의 성숙도를 종합적으로 판단하고 손상을 효과적으로 감지하고 토마토 과일 품질 등급분류에 대한 포괄적인 기술 지원을 제공한다. 본 연구의 목적은 (1) 토마토의 품질 인자인 경도, 원형율, 충격명 등을 파악하고, (2) RGB 영상과 열화상 영상(TI)을 포함한 검출 시스템을 구축하고, (3) 토마토 품질 등급 분류 방법을 탐구하였다.

토마토 과일은 2017 년 5 월 10 일 경기도 광주에서 수확하여 수확 후 2 시간 이내에 실험실로 옮겼고 도테랑다디아 품종이 사용되었다. 본 연구에서는 균일 한 크기의 손상되지 않은 중량이 150g에서 180g 평균 165g인 토마토를 엄선하여 충격 시험 및 품질 측정에 사용하였다. 토마토는 23 °C, 40 %RH의 일정한 온도 및 습도 환경에 보관되었다. 모든 측정은 똑같은 절차를 거쳐 같은 날짜와 연속된 시간에 이루어졌다. 토마토시료는 서로 다른 식물에서 수확되고 무작위 추출되었기 때문에 실험 설계에서 사용된 시료는 무작위 추출했다. 각 건본의 모든 토마토는 개별적으로 번호가 매겨졌다.

낙하 충격기는 충격명 시행에 사용되었으며, 그림 158에서와 같이 다양한 길이로 경질 표면 (철판) 위에 토마토시료를 낙하 충격 가하게 한다. 3개의 토마토는 무낙하 실험조 (Control set)로 따로 보관했다. 나머지 12 개의 토마토는 4개의 낙하 충격시행으로 나뉘어졌는데, 각각 20cm, 30cm, 40cm 및 50cm의 낙하 높이로 설정하였다. 모든 토마토의 충격 표면이 측면에 있었다. 충격 시험 후 충격 표면을 표시하고 품질 인자 시험 및 열화상, RGB 이미지 시험을 수행했다.

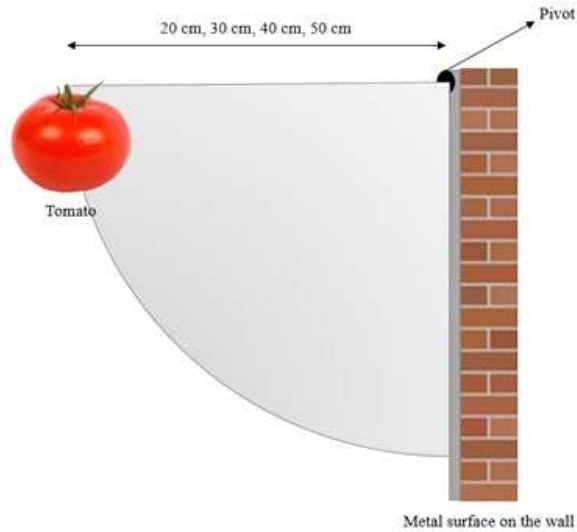


그림 160 Pendulum impactor for impact tests of the tomatoes

이미징시스템은 RGB 이미지와 TI 이미지의 수집을 용이하게 하기 위해 구성되었다(그림 69 참조). 주요구성은 RGB, TI 카메라, 검정 배경 플레이트, 히팅 광원(heating light source), 컴퓨터이다. 50W 히팅 광원은 열 자극 소스로 사용되었고 시료 플랫폼 위 15cm의 높이 센터에 위치했다. FLIR ONE TI 카메라 (FLIR Systems, Wilsonville, Oregon, USA)를 샘플 플랫폼의 18cm 측면에 직접 장착했다.

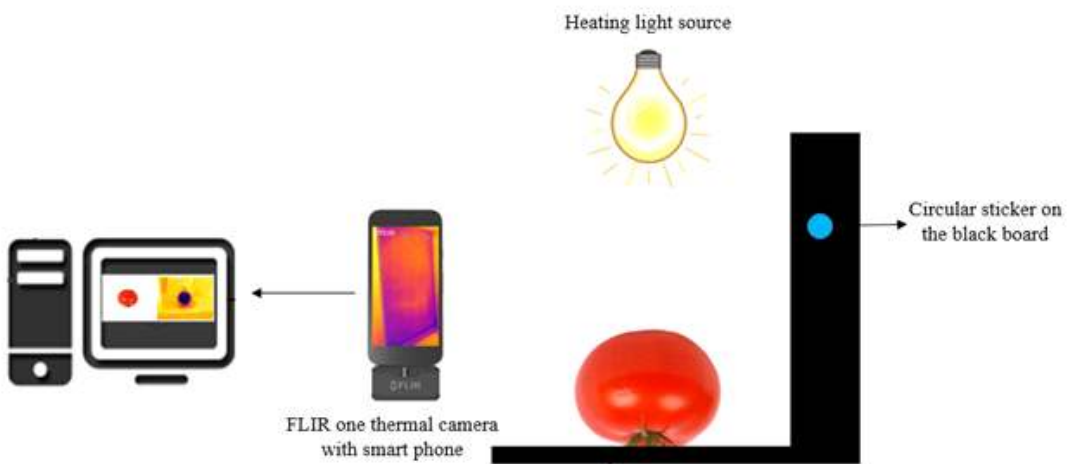


그림 161 RGB & thermography image acquisition system

RGB, TI 이미지데이터는 온도 23 °C, 상대습도 40%인 환경에서 수집되었다. 각 토마토 시료에 대한 이미지는 3 분 이내에 10 초 간격으로 수집되었다. RGB 및 TI 이미지는 동시에 획득했다. 즉, 3 분 동안 샘플 당 총 19개의 이미지가 수집되었다. 이미지 획득 실험은 충격명이 생선 된 후 0, 24, 48 시간에 수행되었다. 토마토는 상처 입은 표면이 카메라 쪽으로 향하도록 조정되었다.

토마토의 성숙도를 알아보기 위해 이미지처리 기술을 기반으로 토마토 모양, 체적크기,

색상의 세 가지 매개 변수를 추출했다. 토마토 크기 매개 변수 추출에는 토마토 과일의 측면 수직 사영의 최대 단면적과 체적이 포함된다. 추출 영역은 원형 스티커로 교정되었다. 검은 배경 보드를 사용하여 배경 노이즈의 영향과 토마토 영역분류의 어려움을 줄였다. 그림 160은 토마토 매핑의 최대 단면적을 나타내는 검출 과정이다.

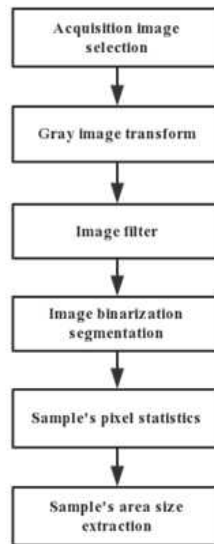


그림 162 Flow chart of size measurement

토마토의 크기(체적) 매개 변수를 신속하게 추정하기 위해 토마토 측면 이미지를 기반으로 단면 근사 분석 방법을 사용했다. 그림4에서 이미지는 수평 방향의 각 픽셀 높이에서 접선을 이룬다. 토마토의 가장자리를 가로 지르는 두 점 "a"와 "b"사이의 거리는 원형 단면의 직경이다. 따라서 각각의 직경 길이, 근사 원형 면적, 다층 누적을 계산하고, 마지막으로 토마토의 크기를 구한다. 계산공식은 다음과 같다.

$$V = \sum_{i=0}^i \pi \left(\frac{R_i}{2} \right)^2 \quad (1)$$

여기서 V는 토마토의 예상픽셀크기이고 i는 [0,240] 픽셀의 접선 수고 R_i는 접선 길이, 즉 R_i> 0 일 때의 대략 원형 단면적이다.

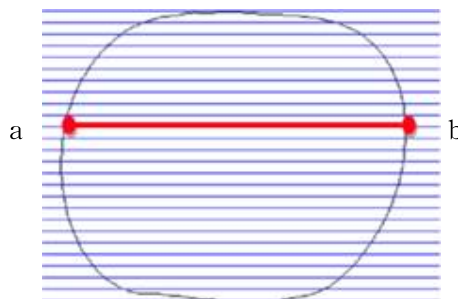


그림 163 Estimation of tomato volume

토마토의 모양은 원형으로 평가되었는데 아래의 그림 162에서처럼 가장자리에 있는 최대 거리를 장축 L로 정의하고 최소 거리를 단축 S로 정의하였으며 비율을 C로 정의 하였다.

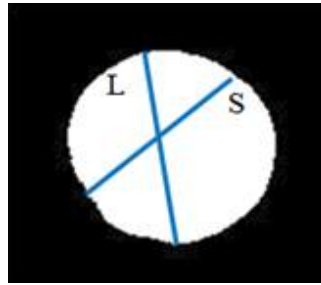


그림 164 Diagram of major and minor axis

토마토의 붉은 표면적의 백분율을 성숙도 평가 지수로 선정 하였다. 이미지 적색 성분은 HIS 색 공간에 의해 추출되었다. 토마토의 과일 숙성 정도는 적색 (NR %) 및 순수 적색 (PR %) 근처의 적색 토마토의 픽셀 면적의 백분율로 정의된다. 적색은 H 공간 $[0^\circ \text{C}, 60^\circ \text{C}]$ 및 $[300^\circ \text{C}, 360^\circ \text{C}]$ 로 정의되며 순수한 빨간색은 H 공간 $[0^\circ \text{C}, 30^\circ \text{C}]$ 및 $[330^\circ \text{C}, 360^\circ \text{C}]$ 에 속하는 픽셀로 정의된다. 토마토의 측면 RGB 이미지를 기반으로 한 성숙도 추출 과정은 그림 165와 같다.

충격 표면은 3분간 히팅램프로 조사하는 동안 열화상 이미지로 온도 변화를 관찰하고 분석되었다. 토마토의 충격을 받는 쪽이 충격을 받지 않은 쪽과 비교했을 때, 내부가 손상되고 온도 분포가 균일하지 않아 표면이 불균일했다. 그러기 때문에 실험에서 일반적으로 충돌 표면이 비충격 표면보다 낮은 온도를 보였다. 위의 특성을 기반으로 토마토의 낙하손상을 분류 할 수 있었다.

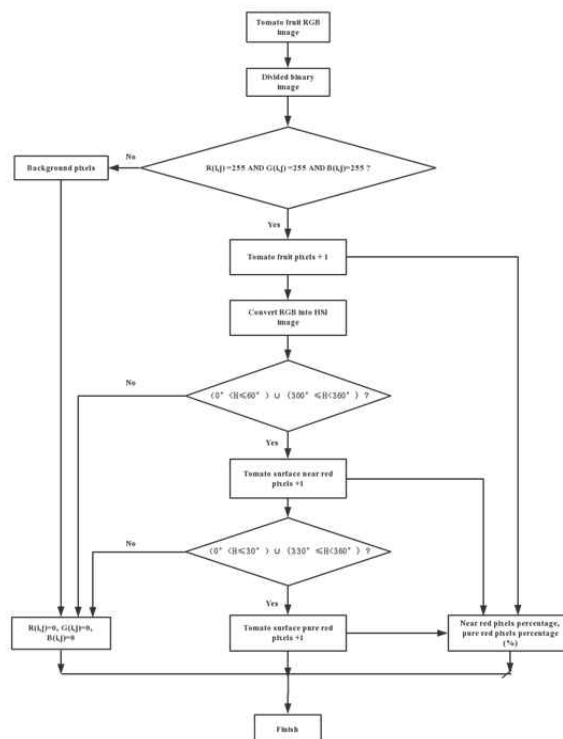


그림 165 Flow chart of color detection

분산분석은 다섯 가지의 낙하 높이 (0, 20, 30, 40, 50cm)에 대해 기록 된 데이터 값으로 수행 하였다. 시험은 총 15개의 토마토를 사용하여 각 낙하 높이당 3회씩 반복 수행되었다. 통계적으로 충돌 위치 및 낙하 높이의 효과를 연구하기 위해 완전 무작위 설계(모든 데이터를 정규 분포의 무작위 표본으로 보는 형식)를 사용하여 분석되었다. 통계 분석은 SPSS Statistics 20.0 통계 프로그램 (IBM, USA)을 사용하여 수행되었다. 원본 이미지와 이진화 이미지는 각각 그림 164에 나와 있다. 이미지 결과에서 원형스티커는 474 (76800) 픽셀이고 실제 원형 스티커의 지름은 1.9cm이고 면적은 약 2.8cm²이다. 이미지의 각 픽셀에 대한 실제 면적은 $1.386 \times 10^{-7} \text{ cm}^2$ 를 나타낸다. 토마토 측면의 경우, 면적은 약 64.4 cm² 이고 토마토의 부피는 단면 분석에 의해 148.3 cm³이었다. 토마토 이미지의 짧은 축과 긴축의 픽셀은 각각 112 픽셀과 133 픽셀이었고 단축과 장축의 비율은 약 0.84이었다. 토마토 숙성도는 RGB 이미지를 사용하여 분석되었는데 그림166에서 적색 픽셀(NR) 백분율 93.5 % d이고 순수 적색(PR) 픽셀 백분율은 87.2 %였다.

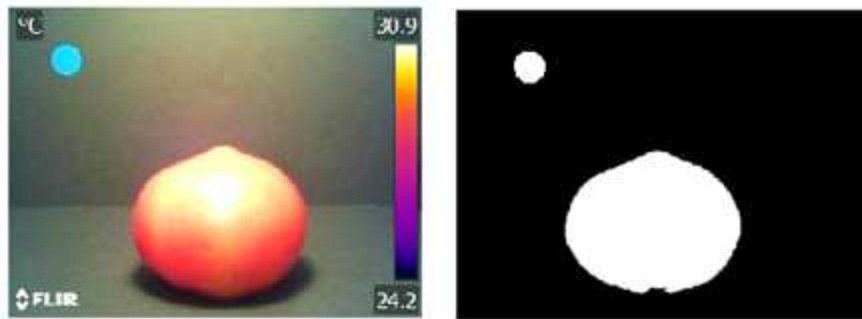


그림 166 RGB and binarized image of circular sticker and tomato

다음 그림 167은 15개 토마토시료 원형을 및 부피의 본 이미징 시스템 측정값과 실제크기의 상관분석 결과이다.

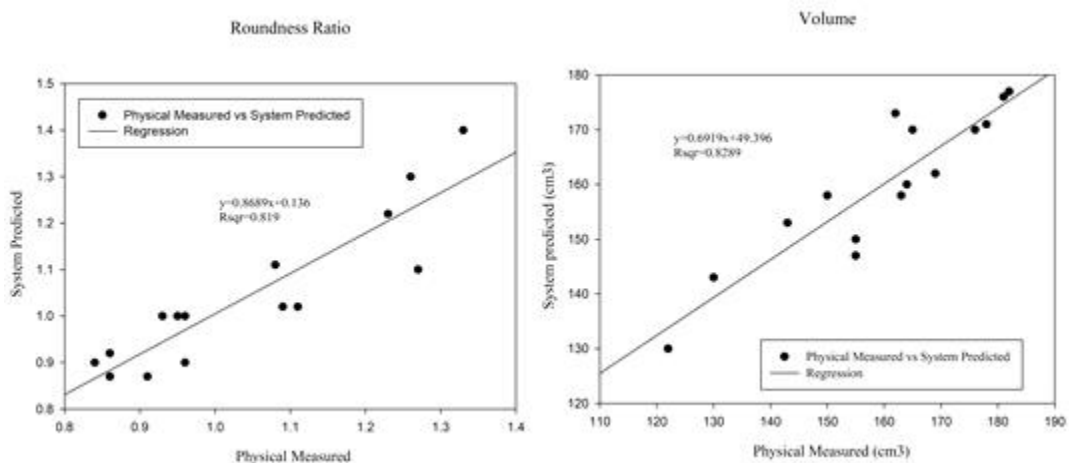


그림 167 Correlation results of roundness ratio and volume

확인 된 낙하 상처 입은 토마토의 시험조는 토마토 외부의 열화상 이미지를 획득하고 선택한 토마토가 완전히 상처를 입었거나 전혀 손상되지 않은 조로 나뉘었다. 10s 간격의 온도 변화를 픽셀 단위로 분석하면 타박상과 충격이 없는 표면이 약 1 °C 차이가 있음을 알 수 있다. 다음 그림 168은 50cm 높이에서 낙하 충격을 받은 토마토 시료의 충격 표면, 충격 표면 및 환경 배경 온도를 보여준다. 토마토의 표면에 충격이 가해지면서 내부와 표피 조직이 불균일해지기 때문에 온도차가 관찰되었다.

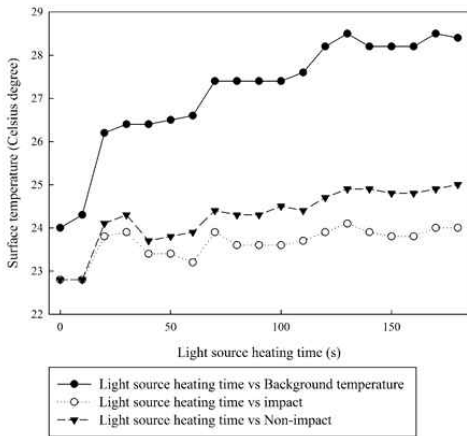


그림 168 낙하 충격을 받은 토마토 시료의 온도 분포

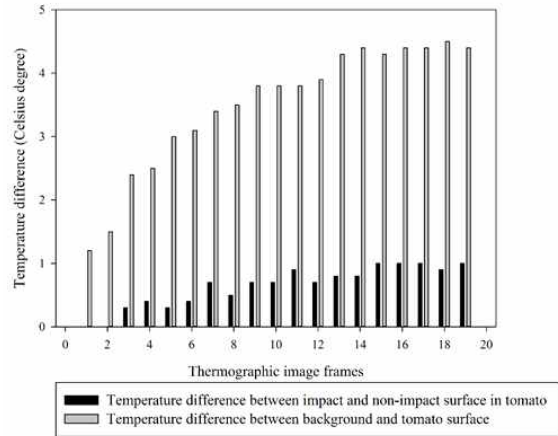


그림 169 주위 환경과 토마토 충격 표면과 비충격 표면온도차

그림 169는 환경배경과 토마토 표면의 온도차, 토마토의 충격 표면과 비충격 표면온도차 막대그래프를 보여준다. 열화상 카메라는 일정한 시간 간격으로 온도 보정이 필요하기 때문에 측정 결과는 대상 온도가 같더라도 카메라 보정한 상태에 따라 달라질 수 있어 측정된 표면 온도는 약 ±0.2 °C의 약간의 오차를 갖는다. 그러나 이것은 충격 또는 멍이 있는 과일 분류에 큰 영향을 미치지 않는다. 분류시험은 상처 입은 것과 상처가 없는 것으로 가정하여 시도되었다. 다음의 표는 75 개의 열화상 이미지에 대한 간단한 2진 분류 결과를 보여준다. 고르게 분산 된 분류 문제의 경우, 2 등급 문제의 기준 성능은 50 %이지만 이 실험의 데이터 세트는 20 % 무낙하 및 80 % 낙하조로 구성되어 있기 때문에 기준선은 80 %이다. 토마토와 충격명 위치는 배경과 토마토의 표면 온도의 차이로 쉽게 확인할 수 있고 토마토 영역의 각 화소에 대응하는 온도차 분산분석을 통하여 토마토의 충격 손상을 판정 하였다.

표 44 Confusion matrix for simple binary classification of thermography images

		True Class	
		Unbruised	Bruised
Output Class	Unbruised	13	5
	Bruised	2	55
Accuracy (%)		0.87	91.67

4. 신선도 및 품질 평가를 위한 3차원 복원 기법 추가 연구

농업의 경쟁력 향상과 급변하는 기후 변화의 문제를 해결하기 위해 스마트 팜으로 대표되는 ICT기반 융합 스마트 농업에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있으며 이를 위한 원천기술의 개발 및 확보가 중요해지고 있다. 농작물 분석을 위한 융합 기술의 발전에 따라 작물의 생리, 형태, 생화학적 특성 등 표현형 전체를 관측 및 해석하는 피노믹스 (phenomics) 연구 분야의 중요성이 대두되고 있다. 이에 따라 작물의 정확한 분석을 위해서는 2차원 이미지를 넘어선 3차원 영상의 분석이 요구되는 상황이다. 파프리카와 토마토의 경우에도 마찬가지로 신선도를 파악하기 위한 다양한 인자가 존재한다. 이를 분석하기 위해 기본이 되는 것이 형태이며 이 형태에 따라 수확물의 상품성이나 신선도 및 품질이 나뉘게 된다. 이 형태는 하나의 면이 아니며 3차원 공간 상에 존재하므로 이를 분석하기 위해선 작물과 마찬가지로 3차원 영상을 통한 분석이 진행되어야 한다. 본 연구에서는 이를 위한 간단한 시도로 촬영한 2차원 이미지를 3차원 영상 복원 (3D Reconstruction)하는데 있어 수행되는 알고리즘을 살펴보고 이를 직접 구현해 보았다. 3차원 영상을 위한 물체는 파프리카, 토마토와 유사한 형태를 가진 사과와 좀 더 복원이 쉬운 사람 얼굴을 시도해보았다.

3차원 영상 복원하는 방법에는 크게 능동형, 수동형 기법이 있다. 능동형의 경우 거리 정보를 측정할 수 있는 센서를 가지고 있는 장비를 이용하는 방식이며 수동형은 일반 2차원 이미지 여러장을 이용하는 방식이다. 능동형은 정확한 깊이 정보를 통해 실시간으로 복원이 가능한 반면 측정 장비가 매우 고가라는 단점이 있다. 반대로 수동형은 데이터 취득이 쉽지만 복원 속도가 느리다는 단점이 있다. 본 연구에서는 데이터 취득이 쉬운 수동형 기법의 한 종류인 SfM (structure from motion) 방식을 이용하였다. SfM은 다양한 각도에서 촬영된 여러 장의 2차원 영상들을 이용하여 카메라의 촬영 위치를 계산한 뒤 이를 이용해 3차원 영상을 획득하게 되며, 능동형에 비해 촬영의 용이성과 결과물의 품질이 우수하다는 장점이 있다. 기본적인 알고리즘은 다음과 같다.

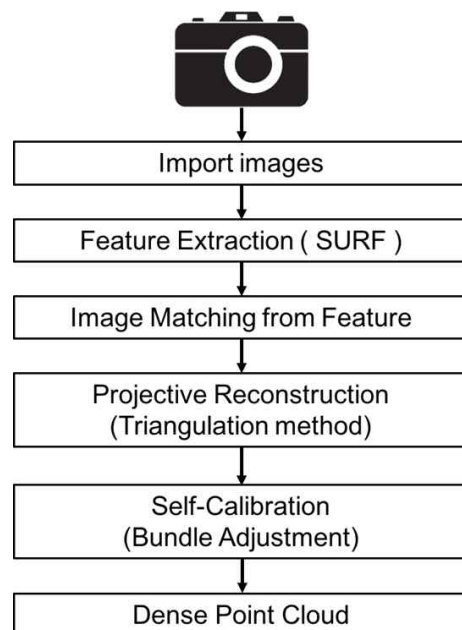


그림 170 SfM 알고리즘

알고리즘의 구현에는 SfM의 알고리즘인 특징을 추출하여 카메라의 위치를 계산한 후 특징 점들의 3차원 좌표를 계산 및 복원하는 방법을 사용하였으며, 구현을 위해 MATLAB (MATLAB_R2016, Mathworks, USA)을 이용하였고 스마트폰 카메라 (iPhone 6 Plus, Apple, USA)를 이용해 영상을 획득하였다.

몇 장의 이미지를 통해 알고리즘을 구현 및 확인해 보았다. 영상의 특징점을 획득하기 위해 SIFT (Scale-invariant feature transform), SURF (Speeded-Up Robust Features) 등의 알고리즘을 활용하였으며 3차원 특징점을 위해 bundleAdjustment 알고리즘을 사용하였다. 3차원 복원 결과는 다음과 같다.

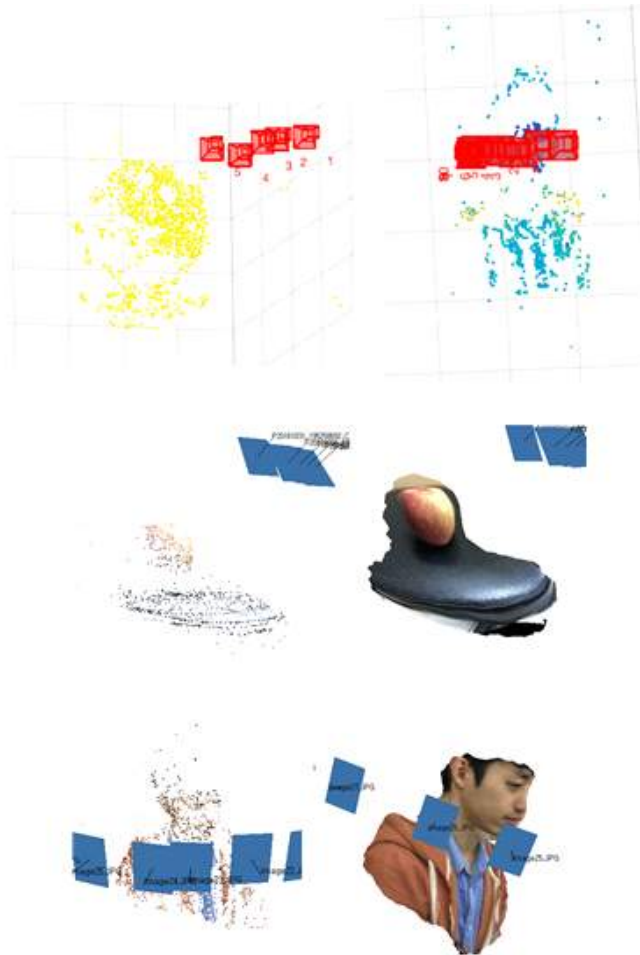


그림 171 3차원 복원을 수행한 결과

직접 3차원 복원을 수행한 결과 기존의 상용프로그램만큼은 아니지만 가능성을 보여주는 결과물을 획득하였다. 3차원 복원을 위한 알고리즘에는 다양한 종류가 있고 측정하고자 하는 대상에 따라 최적의 알고리즘이 다르므로 다양한 알고리즘의 검증을 통해 작품의 적합한 알고리즘을 찾아야 할 것으로 판단된다. 그리고 좀 더 정밀한 복원을 위해서는 더 많은 수의 이미지를 이용하여 복잡한 과정이 수행되어야 하므로 이를 위한 고려도 되어야 할 것이다. 파프리카, 토마토와 유사한 둥근 형태의 수확물과 복잡한 형태를 가진 사람 얼굴에 대한 3차원 복원은 신선도 및 품질 평가에 있어 또 다른 가능성을 열어주는 결과라 할 수 있다.

제 7 절 연구성과

1. 논문, 특허, 학술발표 성과

가. 논문 성과

번호	논문명/특허명/기타	소속 기관명	논문게재지	Impact Factor	논문게재일	사사여부	특기사항 (SCI여부/인용횟수 등)
1	Estimation of Tomato Bruising by Mechanical Impact Force Using Multivariate Analysis	서울대학교	Hort Science	0.83	2018.10.	단독사사	SCI, 선정 완료 (게재 예정)
2	Influence of Pre-storage Treatments on Quality Parameters of Tomatoes Stored in a Controlled Chamber	충남대학교	Horticultural Science and Technology	0.301	2018.08.17	단독사사	SCIE, 투고 완료
3	Effect of environment and vibration on quality change of bell pepper (<i>Capsicum annum</i> L.)	서울대학교	Indian journal of agricultural research	-	2017.03.14.	단독사사	비SCI, 게재 완료
4	비파괴적인 경도 측정을 통한 저온저장 토마토 (티와이250)의 감모율 예측	서울대학교	한국식품저장유통학회지	-	2017.03.15.	단독사사	비SCI, 게재 완료
5	Influence of Pre-storage Treatments on Quality Parameters of Paprika Stored in a Controlled Chamber	충남대학교	Journal of The Science of Food and Agriculture/ 미국	2.379	2018.10	단독사사	SCI, 투고 준비중
6	Modelling Changes in Quality Parameters of Tomatoes Stored in a Controlled Chamber	충남대학교	Horticultural Science and Technology/ 대한민국	0.301	2018.12	단독사사	SCIE, 투고 준비중
7	Modelling Changes in Quality Parameters of Paprika Stored in a Controlled Chamber	충남대학교	Journal of The Science of Food and Agriculture/ 미국	2.379	2019.01	단독사사	SCI, 투고 준비중

나. 특허 성과

번호	특허명	발명자	특허등록국가 (특허등록번호)	특허등록일	사사여부
1	수확용 리프트 작업차	이원식 외 1명	대한민국 (1017997920000)	2017.11.15. (등록)	단독사사
2	자율주행 온실농업용 이송대차	조성인 외 5명	대한민국 (1018084280000)	2017.12.06. (등록)	단독사사
3	열매 수확용 리프트 작업차	이원식 외 1명	대한민국 (10-2018-0093896, 출원번호)	2018.08.10. (출원)	단독사사

다. 주요 학술발표 성과

번호	학술발표명	학회명 (학회장소)	발표자	소속 기관명	발표일	사사여부	특기사항 (SCI여부/ 인용횟수 등)
1	Fruit Classification using Convolutional Neural Network	ISMAB 2016 (일본 니가타)	양명균	서울 대학교	2016.05.23.	단독사사	-
2	토마토 온실 내 레일 전동 작업차의 인간공학적 작업 부하 평가	한국농업기계학 회(경북대)	정은성	서울 대학교	2017.04.07.	단독사사	-
3	Machine vision and thermographic imaging for determining of grading of tomato on postharvest	ASABE 2017 (미국 스포켄)	최금실	서울 대학교	2017.07.17.	단독사사	-
4	Tomato bruise detection using thermal imaging based on combining algorithm of genetic and ant colony	ISMAB 2018 (제주)	최금실	서울 대학교	2018.05.28.	단독사사	-
5	Classification of Tomato Impact Bruise Using Hyperspectral Imaging Based on Spatial-spectral Method	ASABE 2018 (미국 디트로이트)	최금실	서울 대학교	2018.07.30.	단독사사	-
6	Post-harvest freshness of tomato and paprika during storate period	ISMAB 2016 (일본 니가타)	한광민	충남 대학교	2016.05.23.	단독사사	-

7	Post-harvest freshness variation of paprika depend on save environment before storage	the 7th joint symposium "environmentat protection and effective utilization of resources" (중국)	한광민	충남대학교	2016.06.01.	단독사사	-
8	Freshness variation of tomato and paprika during storage by pre-storage treatment	International Symposium on Agricultural, Food, Environmental and Life Sciences in Asia 2016 (대전)	이원재	충남대학교	2016.11.08.	단독사사	-

2. 사업화 성과

○ 사업화성과 및 매출실적

- 사업화 성과

항목	세부항목			성 과	
사업화 성과	매출액	개발제품	개발후 현재까지	0억원	
			향후 3년간 매출	10억원	
		관련제품	개발후 현재까지	0억원	
			향후 3년간 매출	15억원	
	시장 점유율	개발제품	개발후 현재까지	국내 : 15% 국외 : 0%	
			향후 3년간 매출	국내 : 25% 국외 : 5%	
		관련제품	개발후 현재까지	국내 : 20% 국외 : 0 %	
			향후 3년간 매출	국내 : 35 % 국외 : 5%	
	시장 경쟁력 순위	현재 제품 시장 경쟁력 순위			7위
		3년 후 제품 시장경쟁력 순위			2위

- 사업화 계획 및 매출 실적

항 목	세부 항목		성 과		
사업화 계획	사업화 소요기간(년)		1		
	소요예산(백만원)		200		
	예상 매출규모 (억원)		현재까지	3년후	5년후
			0	50	75
	시장 점유율	단위(%)	현재까지	3년후	5년후
		국내	15	25	30
		국외	0	5	15
향후 관련기술, 제품을 응용한 타 모델, 제품 개발계획		파프리카, 토마토에 한정되지 않고 다른 온실작물 전반에 응용할 수 있도록 확장할 계획			

3. 기술, 경제, 산업 측면의 성과

가. 기술적 성과

- 파프리카와 토마토의 모든 품질 매개 변수에 대한 실험 데이터를 확보하고 각각의 변화를 설명하기에 가장 적합한 모델을 선택하였기 때문에 추후 원예작물 전반의 품질 매개 변수에 대한 연구를 할 수 있는 기반을 확보하였다. 또한 축적된 정보를 국가적 차원의 정책 수립에도 활용할 수 있을 것이다.
- 실제 개발제품에 적용된 유효 특허가 이미 등록까지 완료되어 지적재산권을 확보하였으며 이로 인해 대기업에 의존한 시스템을 개선할 수 있으며 기존의 제품과 차별성을 확보하였다.
- 본 연구과제 제품의 부품들은 수입에 의존하지 않은 국산화로 개발되었으며, 해당 분야 선진국 수준에 도달하였다고 판단된다.

나. 경제적 성과

- 본 연구과제 종료 시점까지 제품 매출은 발생하지 않았지만 협동연구기관에서 관련 분야 고용이 발생하였으며, 제품 개발 및 사업화가 완료된 만큼 이를 통해 매출액 증대 및 시장점유율 확대가 기대된다.
- 2016년 농림축산식품부에서 발간한 '2016 시설채소 온실현황 및 채소류 생산실적'에 따르면 국내 토마토 재배면적은 약 6,400ha이고 파프리카 재배면적은 720ha이다. 온실 농가가 보통 가구당 10ha 정도의 면적을 가진다고 하면 국내에서만 700여 가구의 농가를 대상으로 판매할 수 있으며, 레일에서 작업하는 수확기의 특성상 한 농가에서 3대~5대는 구매해야 제대로 작업할 수 있으므로 2,500여대의 총 수요가 있다. 시장점유율을 20%로 가정해도 약 50억원의 매출을 기대할 수 있는 것이다.
- 파프리카, 토마토 원예 산업이 발달한 일본과 네덜란드 등에 수출 판로 개척이 가능할 것으로 보이며, 향후 비즈니스 모델 개발을 통해 다른 온실원예 작물 관련 기기 개발의 가능성이 있다. 딸기, 장미 등의 원예작물 관련 기기를 개발하는 업체와 협력하여 기술 이전 및 기술실시를 통한 부가가치를 창출하는 것도 기대할 수 있다.

다. 산업적 파급 성과

- 기존 농가를 방문하여 실제로 발생하는 문제점들을 파악한 후 기술 개발을 진행하였기 때문에 농기계 시장에 크게 기여할 수 있고, 기술 파급을 통해 원예농업 시장 확대에도 기여할 수 있을 것으로 보인다.
- 원예농가 운영에 있어서 편의성을 제공하는 제품 개발로 인해 귀농 및 사업 확장이 용이하게 되어 농업생산 전반의 인프라 활성화에도 도움이 될 가능성이 있다.

제 4 장 목표 달성도 및 관련분야 기여도

제 1 절 목표 달성도

1. 연구목표

가. 연구개발 최종 목표

- 파프리카, 토마토 온실 내 신선도 유지를 위한 최적조건 구명 및 이를 통한 신선도 유지 이송시스템 개발
 - 파프리카, 토마토 수확 과정별 프로세스 분석 및 품질유지 최적조건 구명
 - 원예농가 생산성 향상을 위한 생력 시스템 및 기계화 시스템 개발
 - 대용량 수확에 따른 ICT 기반 생산물 품질이력 시스템 개발

나. 연구내용

- 파프리카, 토마토 생육 특성 분석 연구
 - 파프리카, 토마토 품질 유지 최적 조건 구명
 - 파프리카, 토마토 과실의 외부환경 노출에 따른 품질변화 모델 개발
- 수확 후 품질관리를 위한 원예농업 기계화 시스템 개발
 - 파프리카, 토마토 수확과정 프로세스 분석
 - 운송과정 품질변화 최소화 기술 개발
 - 수확물 충격 완화 시스템을 구비한 이송대차 개발
 - 반자동 수확물 선과기 덩핑시스템 개발
- 원예농가 노동 생산성 향상을 위한 생력 시스템 개발
 - 고저조절 가능 작업차 부착식 수확물 하강장치 개발
 - 수확량을 감지하여 무인으로 이동하는 이송컨테이너 개발
- ICT 기반 파프리카, 토마토 스마트 이력추적 시스템 구축
 - 온실 내 생산물 이력추적시스템 개발
 - ICT 기술을 적용하여 소비자 접근성을 높인 웹 플랫폼 개발

2. 연구목표 달성 여부

가. 정성적 목표

제 1 세부: 파프리카, 토마토 수확 생력 이동시스템 및 품질유지를 위한 이력추적시스템 개발	
○ 파프리카, 토마토의 수확 프로세스 분석 및 품질유지 조건 구명을 통한 품질변화 모델 개발	100%
- 수확 및 이송과정에서 발생할 수 있는 물리적 손상을 판단할 수 있는 지표 구명	100%
- 온습도 변화에 따른 원예작물의 화학적 성질 변화 조사	100%
- 온실 원예작물(파프리카, 토마토)의 품질변화 모델식 개발 및 구축	100%
○ 온실 내 운송 과정에서 품질 손상을 최소화하는 이송 기술 개발	100%
- 온실 내 수확물 이송 프로세스 분석	100%
- 수확물의 물리화학적 성질 변화 구명을 통한 신선도 유지 기술 개발	100%
- 자체 시뮬레이션 및 현장 적용을 통한 성능 시험	100%
○ 소비자 접근성을 높인 파프리카, 토마토 전용 이력추적시스템 개발	100%
- 원예농민과 소비자가 모두 활용하기 쉬운 시스템 인터페이스 개발	100%
- 기존의 정부 이력추적시스템과 데이터베이스 연동 가능한 시스템 개발	100%
- 스마트 디바이스에서 활용할 수 있는 이력추적시스템 플랫폼 개발	100%
제 1 협동 : 파프리카, 토마토 온실 내 이송시스템 제작 및 성능시험	
○ 고저조절이 가능하여 작업자 편의성을 높인 작업차 부착식 수확물 하강장치 개발	100%
- 레일식 이동과 차륜구동식 이동이 모두 가능한 작업차 개발	100%
- 리프트 기능이 있는 작업차에 적용 가능한 수확물 하강장치 개발	100%
○ 수확물 품질 손상을 막는 이송 기술을 적용한 수확물 이송대차 및 이송컨테이너 개발	100%
- 원예작물의 특성을 고려한 수확물 충격 완화시스템 개발	100%
- 작업자의 작업 효율을 높이는 이송대차 개발	100%
- 자체 시뮬레이션 결과가 적용된 수확물 이송컨테이너 개발	100%
○ 파프리카, 토마토의 특성을 고려한 반자동 선과 덩핑시스템 개발	100%
- 현재의 수동 덩핑시스템 구조 분석 및 문제점 파악	100%
- 수확물에 가해지는 물리적 충격을 줄이는 덩핑시스템 구조 결정	100%
- 원예작물의 특성을 고려한 반자동 선과 덩핑시스템 개발	100%

나. 정량적 목표

성과 목표	사업화지표											연구기반지표								
	지식 재산권			기술 실시 (이전)		사업화					기술 인증	학술성과				교육 지도	인력 양성	정책 활용-홍보		기타 (타 연구 활용 등)
	특 허 출원	특 허 등록	품 종 등록	건 수	기 술 료	제 품 화	매 출 액	수 출 액	고 용 창 출	투 자 유 치		논문		학 술 발 표	정 책 활 용			홍 보 전 시		
												SC I	비 SC I						논 문 평 균 IF	
단위	건	건	건	건	백만원	백만원	백만원	백만원	명	백만원	건	건	건	건	명	건	건			
가중치																				
최종목표	4	3		2		2	2				1	3	2		3			1		
1차년도	목표	1											1		1					
	실적	1													5					
2차년도	목표	1										1	1		1					
	실적	1											2		4					
3차년도	목표	2	1		1		2				1	1			1			1		
	실적	1	2				2					1			2					
소계	목표	4	1		1		2				1	2	2		3			1		
	실적	3	2		1		2				0	1	2		11			0		
종료 1차년도		1		1			2					1								
종료 2차년도		1																		
소계		2		1			2					1								
합계	4	3		2		2	2				1	3	2		3			1		

3. 목표 미달성 시 원인(사유) 및 차후 대책

가. 정성적 목표

- 이력추적 시스템 : 현재는 사용자(농민)이 입력한 농가 정보와 기존의 정부인증(GAP, HACCP 등) 간의 데이터 연계를 사용자가 직접 입력하도록 되어 있는데, 정부 데이터 베이스와 본 시스템이 직접 연동할 수 있다면 사용자(농민)의 번거로움이 줄어들게 될 것이다.
- 반자동 선과 덩핑시스템 : 본 연구과제에서 개발한 수확용 작업차와 전동운반차는 과실에 가해지는 충격을 줄이는 것을 가장 큰 목표로 하고 있는데, 전동운반차의 덩핑 시스템의 경우 사용자의 기계 작동에 따라 반자동으로 덩핑을 하는 시스템까지는 구축하였으나 과실에 주어지는 충격을 감쇄하는 부분이 없다. 차후 기체를 개량함에 있어서 이 점을 고려해야 할 것이다.

나. 정량적 목표

- 특허 출원 : 본 연구과제와 관련된 특허는 최종 제작 기체에 꼭 필요하면서도 특허심사관이 별다른 이견 없이 빠르게 특허를 인정할만한 부분만으로 구성하다보니 출원 횟수에 있어서 당초 계획에 비해 1건 모자라게 되었다. 그러나 1차년도와 2차년도에 출원한 특허가 벌써 등록되는 등 특허 등록에 있어서는 과제 종료시점에 이미 2건이 등록되어 당초 계획을 초과하는 성과를 기록하였다. 추후 기체를 개량하여 추가적인 특허를 출원할 수 있다.
- 논문 발표 : 비SCI 게재 건은 이미 목표를 달성하였고, SCI 논문은 1건이 accept되어 게재를 기다리고 있다. 그리고 이미 1건의 SCI 논문을 추가 투고 완료하였고, 3건을 추가 작성하여 투고할 계획이므로 목표를 충분히 달성할 수 있을 것으로 생각된다.
- 기술실시, 기술인증 : 기술실시는 연구종료 이후 SB산업과 농림식품기술기획평가원의 협의 하에 보유 특허에 대해 직접실시를 시행하여 정량목표를 달성하였으며 기 개발된 제품들에 대한 기술인증은 농업기술실용화재단에 의뢰할 예정임.
- 정책활용 : 본 연구를 통해 작업자 및 수확물에 과도한 부하가 가해지는 농작업환경을 인간공학적으로 개편해야 할 필요성을 실감하고 이에 대한 정책 건의사항을 농림부에 제출할 예정임.

제 5 장 연구결과의 활용계획

제 1 절 연구결과의 활용계획

1. 연구성과의 활용분야 및 활용방안

- 본 연구를 통해 개발된 수확용 작업차 및 전동운반차는 실제 농가 실험을 거친 결과 지금 바로 원예농가 현장에 활용할 수 있는 것으로 확인되었다. 이에 협동연구기관인 SB산업의 주도로 즉시 제품화 작업이 진행되고 있다.
- 서울대학교와 충남대학교가 개발한 파프리카, 토마토의 각종 생리적 반응에 대한 모델 식은 각종 연구에 활용되어 시설원예농가에서 사용하는 또다른 장비 개발에도 적용할 수 있을 것으로 생각된다.

2. 타 연구에의 응용

- 본 연구를 일반적인 노지과수 산업에 적용하기는 어려울 것으로 판단되나, 시설원예를 통해 재배되는 온실 작물 전반에 대해서는 응용 개발이 가능할 것으로 생각된다. 또는 약간 시설이 열악하여 레일 설비가 갖추어지지 않은 농가에 대해서 추가적인 응용 기체를 개발할 수 있을 것이다.

3. 기업화, 기술이전 추진방안

- 본 연구과제로 개발된 기술은 모두 협동연구기관인 SB산업에서 직접 기술실시 및 산업화를 진행하고 있으므로 별도의 기업화 및 기술이전은 필요하지 않을 것으로 생각된다.

<붙임> 참고문헌

- Wilcox, J. K., G. L. Catignani, S. Lazarus. 2003. Tomatoes and cardiovascular health. *Crit Rev Food Sci Nutr* 43: 1-18
- Ali, A., M. Maqbool, S. Ramachandran, P. G. Alderson. 2010. Gum Arabic as a novel edible coating for enhancing shelf life and improving postharvest quality of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit. *Postharvest Biol Technol* 58(1): 42-47
- Giovanelli, G., V. Lavelli, C. Peri, S. Nobili. 1999. Variation in ripening. *J Sci Food Agric* 79: 1583-1588
- Arab, L., S. Steck. 2000. Lycopene and cardiovascular disease. *Am J Clin Nutr* 71: 1691-1695
- Arah, I. K., G. K. Ahorbo, E. K. Anku, E. K. Kumah, H. Amaglo. 2016. Postharvest handling practices and treatment methods for tomato handlers in developing countries: A mini review *Adv Agric* 2016: 1-8
- Tano, K., M. K. Oulé, G. Doyon, R. W. Lencki, J. Arul. 2007. Comparative evaluation of the effect of storage temperature fluctuation on modified atmosphere packages of selected fruit and vegetables. *Postharvest Biol Technol* 46: 212-221
- Maul, F., S. A. Sargent, C. A. Sims, E. A. Baldwin, M. O. Balaban. 2000. Tomato flavor and aroma quality as affected by storage temperature. *J Food Sci* 65: 1228-1237
- Roberts, K. P., S. A. Sargent, A. J. Fox. 2002. Effect of storage temperature on ripening and postharvest quality of grape and mini-pear tomatoes. *Pro Fla State Hort Soc* 115: 80-84
- Gharezi, M., N. Joshi, E. Sadeghian. 2012. Effect of postharvest treatment on stored cherry tomatoes. *J Nutr Food Sci* 2(8): 157
- Arah, I. K., H. Amaglo, E. K. Kumah, H. Ofori. 2015. Preharvest and postharvest factors affecting the quality and shelf life of harvested tomatoes: A mini review *Int J Agron* 2015: 1-6
- Paull, R. E. 1999. Effect of temperature and relative humidity on fresh commodity quality. *Postharvest Biol Technol* 15: 263-277
- Pila, N., N. B. Gol, T. R. Rao. 2010. Effect of post-harvest treatments on physicochemical characteristics and shelf life of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) fruits during storage. *American-Eurasian J Agric and Environ Sci* 9(5): 470-479
- Getinet, H., T. Seyoum, K. Woldetsadik. 2008. Effect of cultivar, maturity stage and storage environment on quality of tomatoes. *J Food Eng* 87: 467-478
- Teka, T. A., 2013. Analysis of the effect of maturity stage on the postharvest biochemical quality characteristics of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Int Res J Pharm App Sci* 3(5): 180-186
- Javanmardi, J., C. Kubota. 2006. Variation of lycopene, antioxidant activity, total soluble

- solids and weight loss of tomato during postharvest storage. *Postharvest Biol Technol.*, 41(2):151–155
- Toor, R. K. G. P. Savage. 2006. Changes in major antioxidant components of tomatoes during post-harvest storage. *Food Chem.*, 99: 724–727
 - Tigist, A., T. S. Workneh, K. Woldetsadik. 2012. Effects of variety on yield, physical properties and storability of tomato under ambient conditions. *Afr J Agric Res* 7(45): 6005–6015
 - Sibomana, M. S., T. S. Workneh, K. Audain. 2016. A review of postharvest handling and losses in the fresh tomato supply chain: a focus on Sub-Saharan Africa. *Food Secur* 8(2):389–404
 - Raju, M. A., J. Yasmin, W. H. Lee, C. Mo, B. K. Cho. 2017. Imaging technologies for nondestructive measurement of internal properties of agricultural products: A review. *J of Biosystems Eng* 42(3): 199–216
 - Park, H. J. 1999. Development of advanced edible coatings for fruits, *Trends Food Sci Technol* 10: 254–260
 - Lim, B. S., J. S. Lee, H. J. Park, S. Y. Oh, J. P. Chun. 2016. Effects of ethylene treatment on postharvest quality in kiwi fruit. *Korean j Agric Sci* 43: 340–345
 - Kusumaningrum, D., S. H. Lee, W. H. Lee, C. Mo, B. K. Cho. 2015. A review of technologies to prolong the shelf life of fresh tropical fruits in Southeast Asia. *J of Biosystems Eng* 40(4):345–358
 - Kim, J. H., J. R. Gu, G. Kim, S. Choi, J. Y. Yang. 2010. Effect of storage temperature on the quality of tomato. *Korean J Food & Nutr* 23(3): 428–433
 - Tilahun, S., D. S. Park, A. M. Taye, C. S. Jeong. 2017. Effects of storage duration on physicochemical and antioxidant properties of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Hortic Sci Technol* 35(1): 88–97
 - Taye, A. M., S. Tilahun, D. S. Park, M. H. Seo, C. S. Jeong. 2017. Effects of continuous application of CO₂ on fruit quality attributes and shelf life during cold storage in cherry tomato. *Hortic Sci Technol* 35(3): 300–313
 - Barrett, D. M., J. C. Beaulieu, R. Shewfelt. 2010. Color, flavor, texture, and nutritional quality of fresh-cut fruits and vegetables: desirable levels, instrumental and sensory measurement, and the effects of processing. *Crit Rev Food Sci* 50: 369–389
 - Nesvadba, P., M. Houska, W. Wolf, V. Gekas, D. Jarvis, P. A. Sadd. 2004. Database of physical properties of agro-food materials. *J Food Eng* 61: 497–503
 - Curl, A. L., 1962, The carotenoids of red bell peppers. *J Agric Food Chem* 10:504–509
 - Curl, A. L., 1964, The carotenoids of green bell peppers. *J Agric Food Chem* 12:522–524
 - Matus Z., J. Deli, J. Szabolcs. 1991. Carotenoid composition of yellow pepper during ripening: Isolation of β -cryptoxanthin 5, 6-epoxide. *J Agric. Food Chem* 39:1907–1914
 - Marin, A., F. Ferreres, F. Tomas-Barberan, M. Gil. 2004. Characterization and quantitation of antioxidant constituents of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). *J Agric Food Chem*

- Maria, S., P. Zapata, S. Castillo, F. Guillen, D. Martinez-Romero, 2010 Antioxidant and nutritive constituents during sweet pepper development and ripening are enhanced by nitrophenolate treatments. *J Food Chem* 118:497-503
- Topuz, A., H. Feng, M. Kushad. 2009. The effect of drying method and storage on color characteristics of paprika. *LWT-Food Sci Technol* 42:1667-1673
- Vanderslice, J. T., D. J. Higgs, J. M. Hayes, G. Block. 1990. Ascorbic acid and dehydroascorbic acid content of food-as-eaten. *J Food Compos Anal* 3:105-118
- Simonne, A. H., E. H. Simonne, R. R. Eitenmiller, H. A. Mills, N. R. Green. 1997. Ascorbic acid and provitamin A contents in unusually colored bell peppers (*Capsicum annuum* L.). *J Food Comp Anal* 10:299-311
- Nyanjage, M. O., S. P. O. Nyalala, A. O. Illa, B. W. Mugo, A. E. Limbe, E. M. Vulimu. 2005. Extending post-harvest life of sweet pepper (*Capsicum annuum* L. 'California Wonder') with modified atmosphere packaging and storage temperature. *Agric Trop Subtrop* 38:28-34
- Lownds, N. K., M. Banaras, P. W. Bosland. 1993. Relationship between postharvest water loss and physical properties of pepper fruit (*Capsicum annuum* L.). *Hort Science* 28:1182-1184
- Simmons, S. L., P. J. Hofman, A. W. Whiley, S. E. Hetherington. 1997. Effects of preharvest calcium sprays and fertilizer, leaf: Fruit ratios and water stress on mango fruit quality. In: Proc. Int. workshop, Chiang Mai, Thailand., ACIAR Proceeding No. 81166, 19-26
- Hameed, R., A. U. Malik, A. S. Khan, M. Imran, M. Umar, R. Riaz. 2013. Evaluating the effect of different storage conditions on quality of green chillies (*Capsicum annuum* L.). *Trop Agric Res* 24(4):391-399
- Tano, K., M. K. Oulé, G. Doyon, R. W. Lencki, J. Arul. 2007. Comparative evaluation of the effect of storage temperature fluctuation on modified atmosphere packages of selected fruit and vegetables. *Postharvest Biol Technol* 46:212-221
- Arah, I. K., H. Amaglo, E. K. Kumah, H. Ofori, 2015. Preharvest and postharvest factors affecting the quality and shelf life of harvested tomatoes: A mini review. *Int J Agron* 2015:1-6
- El-Ramady, H. R., É. Domokos-Szabolcsy, N. A. Abdalla, H. S. Taha, M. Fári. 2015. Sustainable agriculture reviews 15. Springer Publishing, E. Lichtfouse (ed.), pp77-79
- Paull, R. E. 1999. Effect of temperature and relative humidity on fresh commodity quality. *Postharvest Biol Technol* 15:263-277
- Thompson, J., M. Cantwell, M. L. Arpaia, A. Kader, C. Crisosto, J. Smilanick. 2001. Effect of cooling delays on fruits and vegetable quality. *Perishables Handling Quarterly* 105:2-5
- Kader, A. A., R. S. Rolle. 2004. The role of postharvest management in assuring the quality and safety of horticultural produce. Rome, FAO Agric Serv Bull 152:50-51

- Chitravathi, K., O. P. Chauhan, P. S. Raju. 2015. Influence of modified atmosphere packaging on shelf-life of green chillies (*Capsicum annuum* L.). *J. Food Pack. Shelf Life* 4:1-9
- Ramaswamy, H. S. 2015. Post-harvest technologies of fruits and vegetables. DEStech Publications, Inc., Pennsylvania: Lancaster, pp 1-10
- Bosland, P. W., E. J. Votava. 2012. Peppers: vegetable and spice capsicum. *Crop production science in horticulture 2nd edn.*, CABI Publishing, Wallingford, UK. pp.155-158
- El-Ramady, H. R., É. Domokos-Szabolcsy, N. A. Abdalla, H. S. Taha, M. Fári. 2015. Sustainable agriculture reviews 15. Springer Publishing, E. Lichtfouse (ed.), pp77-79
- Tsegay, D., B. Tesfaye, A. Mohammed, H. Yirga, A. Bayleyegn. 2013. Effects of harvesting stage and storage duration on postharvest quality and shelf life of sweet bell pepper (*Capsicum annuum* L.) varieties under passive refrigeration system. *Int J Biotechnol Mol Biol Res* 4(7):98-104
- Di'az-Pe'rez, J. C. 2013. Bell pepper (*Capsicum annuum* L.) crop as affected by shade level: microenvironment, plant growth, leaf gas exchange, and leaf mineral nutrient concentration. *HortScience* 48(2):175-182
- Belović, M. M., J. S. Mastilović, Ž. S. Kevrešan. 2014. Change of surface colour parameters during storage of paprika (*Capsicum annuum* L.). *Food and Feed Res* 41(2):85-92
- Cheemaa, A., P. Padmanabhan, A. Amer, M. J. Parry, L. T. Lim, J. Subramanian, G. Paliyath. 2018. Postharvest hexanal vapor treatment delays ripening and enhances shelf life of greenhouse grown sweet bell pepper (*Capsicum annuum* L.). *Postharvest Biol Technol* 136:80-89
- Shim, J. Y., D. G. Kim, J. T. Park, L. M. Kandpal, S. J. Hong, B. K. Cho, W. H. Lee. 2016. Physicochemical quality changes in Chinese cabbage with storage period and temperature: A Review. *J of Biosystems Eng* 41(4):373-388
- Lim, B.S., J. S. Lee, H. J. Park, S. Y. Oh, J. P. Chun. 2016. Effects of ethylene treatment on postharvest quality in kiwi fruit. *Korean J of Agric Sci* 43:340-345
- Choi, J. H., U. Y. Lee, J. H. Lee, J. J. Choi, J. P. Chun. 2017. Effect of 1-methylcyclopropene on quality of new mid-season Asian pear 'Changjo' during simulated marketing. *Korean J of Agric Sci* 44:332-338
- Kader, A. A., M. A. Stevens, M. Albright-Holton, L. L. Morris, M. Algazi, 1997. Effect of fruit ripeness when picked on flavor and composition in fresh market tomatoes. *J Am Soc Hortic Sci* 102(6):724-731
- Satyan, S. H., M. V. Patwardhan. 1983. Organic acid metabolism during ripening of fruits. *Indian J Biochem Biophys* 20(5):311-4
- Barrett, D.M., J. C. Beaulieu, R. Shewfelt. 2010. Color, flavor, texture, and nutritional quality of fresh-cut fruits and vegetables: desirable levels, instrumental and sensory measurement, and the effects of processing. *Crit Rev Food Sci* 50:369-389

- Simson, S. P., M. C. Straus. 2010. Post-harvest technology of horticultural crops. Oxford Book Company, Mehra Offset Press, Delhi, pp 249–256
- Nesvadba, P., M. Houska, W. Wolf, V. Gekas, D. Jarvis, P. A. Sadd, 2004. Database of physical properties of agro-food materials. *J Food Eng* 61:497–503
- Abedi, G. and E. Ahmadi, 2014. Bruise susceptibilities of Golden Delicious apples as affected by mechanical impact and fruit properties. *J. Agric. Sci.* 152:439–447.
- Allende, A., M. Desmet, E. Vanstreels, B.E. Verlinden, and B.M. Nicolai, 2004. Micromechanical and geometrical properties of tomato skin related to differences in puncture injury susceptibility. *Postharvest Biol. Technol.* 34:131–141.
- Baranowski, P. (2008). Radiation temperature of chosen fruit and seed as a parameter of their quality evaluation (model investigation). *Acta Agrophysica*
- Baritelle, A., G. Hyde, and J. Varith. 2000. Turgor and temperature effects on pear tissue failure.
- Chun, J.-P. and D.J. Huber, 1998. Polygalacturonase-mediated solubilization and depolymerization of pectic polymers in tomato fruit cell walls: regulation by pH and ionic conditions. *Plant Physiol.* 117:1293–1299.
- Crisoto, C. H., Slaughter, D., Garner, D., and Boyd, J., 2001. Stone fruit critical bruising thresholds. *J. Am. Pomol. Soc.* 55: 76–81.
- Cui, J., M. Yang, D. Son, and S.-I. Cho. 2017a. Machine vision and thermographic imaging for determining of grading of tomato on postharvest. *Proc. Trans. ASABE* 10:1–12.
- Cui, J., A. Yu, M. Yang, and S.-I. Cho, 2017b. Prediction of weight loss of low temperature storage tomato (Tiwai 250) by non-destructive firmness measurement. *Korean J. Food Preserv.* 24:181–186.
- De Ketelaere, B., M. Desmet, and J. De Baerdemaeker, 2006. Determination of bruise susceptibility of tomato fruit by means of an instrumented pendulum. *Postharvest Biol. Technol.* 40:7–14.
- Doosti-Irani, O., M.R. Golzarian, M.H. Aghkhani, H. Sadrnia, and M. Doosti-Irani, 2016. Development of multiple regression model to estimate the apple's bruise depth using thermal maps. *Postharvest Biol. Technol.* 116:75–79.
- Geyer, M., B. Herold, B. Oberbarnscheidt, F. Jakovác, and B. Borsa. 2002. Minimized losses by mechanical tomato harvest in consideration of maturity and susceptibility. *Proc. Agri. Eng.* 1: 225–226.
- Harker, F.R., R.J. Redgwell, I.C. Hallett, S.H. Murray, and G. Carter, 2010. Texture of fresh fruit. *Hortic. Rev.* 20:121–224.
- Hertog, M.L., R. Ben-Arie, E. Róth, and B.M. Nicolai, 2004. Humidity and temperature effects on invasive and non-invasive firmness measures. *Postharvest Biol. Technol.* 33:79–91.
- Hosmer Jr, D.W., S. Lemeshow, and R.X. Sturdivant, 2013. Applied logistic regression. John Wiley & Sons. 3rd ed. 89–151.

- Kerstens, S., W. Decraemer, and J. Verbelen. 2000. Viscoelastic properties of cell walls are related to the orientation of cellulose fibrils. *Plant Biomech.* 487.
- Kheiralipour, K., H. Ahmadi, A. Rajabipour, S. Rafiee, M. Javan-Nikkhah, and D. Jayas, 2013. Development of a new threshold based classification model for analyzing thermal imaging data to detect fungal infection of pistachio kernel. *Agric. Res.* 2:127–131.
- Lubes, G. and M. Goodarzi, 2017. Analysis of volatile compounds by advanced analytical techniques and multivariate chemometrics. *Chem. Rev.* 117:6399–6422.
- McGuire, R.G., 1992. Reporting of objective color measurements. *HortScience* 27:1254–1255.
- Menesatti, P., C. Beni, G. Paglia, S. Marcelli, and S. D’Andrea, 1999. Predictive statistical model for the analysis of drop impact damage on peach. *J. Agr. Eng. Res.* 73:275–282.
- Mohsenin, N., V. Jindal, and A. Manor, 1978. Mechanics of impact of a falling fruit on a cushioned surface. *Trans. ASABE* 21:594–0600.
- Opara, U.L. and P.B. Pathare, 2014. Bruise damage measurement and analysis of fresh horticultural produce—a review. *Postharvest Biol. Technol.* 91:9–24.
- Sargent, S., J. Brecht, and J. Zoellner, 1989. Assessment of mechanical damage in tomato packinglines. *Proc. Trans. ASABE Paper No.* 89-6060.
- Scheerlinck, N., M. Desmet, and J. De Baerdemaeker, 2006. Factors that affect tomato bruise development as a result of mechanical impact. *Postharvest Biol. Technol.* 42:260–270.
- Studman, C. 1997. Factors affecting the bruise susceptibility of fruit. *Proc. Conf. Plant* 1: 273–281
- Studman, C. and L. Boyd. 1994. Measurement of firmness in fruits and vegetables. *AgEng. Conf. Milan Report No.* #94-G-066.
- Topuz, A., H. Feng, and M. Kushad, 2009. The effect of drying method and storage on color characteristics of paprika. *LWT-Food Sci. Technol.* 42:1667–1673.
- Tran, D.T., M.L. Hertog, T.L. Tran, N.T. Quyen, B. Van de Poel, C.I. Mata, and B.M. Nicolai, 2017. Population Modeling Approach to Optimize Crop Harvest Strategy. The Case of Field Tomato. *Front. Plant Sci.* 8:608.
- Van Linden, V. and J. De Baerdemaeker. 2004. The phenomenon of tomato bruising: where biomechanics and biochemistry meet. *ACTA Hort.* 682: 925–932.
- Wang, J., Teng, B., & Yu, Y. (2004). Pear dynamic characteristics and firmness detection. *European Food Research and Technology*, 218(3), 289–294. doi:10.1007/s00217-003-0850-9

<뒷면지>

주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부에서 시행한 첨단생산기술개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 농림축산식품부에서 시행한 첨단생산기술개발사업의 연구 결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.